

# Desarrollo de una Aplicación Android para el Análisis de Vibraciones usando el Acelerómetro de un Smartphone

Giovanna Lucía López Armas, Diego Javier Reinoso Chisaguano  
Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito-Ecuador

**Resumen** – La medición y análisis de vibraciones se utiliza para determinar las características de eventos que generan una vibración. Esto se puede suscitar en diversos casos como son la sismografía, fallos en maquinarias, entre otros. Comúnmente la medición y análisis se realiza utilizando equipos especializados que son costosos y grandes, por lo que no es común que un especialista disponga de ellos en todo momento. Este trabajo presenta una aplicación que permite acceder a la información del acelerómetro integrado dentro de los Smartphones con un sistema operativo Android. Estos datos obtenidos por la aplicación permiten un análisis de las vibraciones de forma rápida, sencilla y utilizando un dispositivo que normalmente siempre está con nosotros. La aplicación permite detectar y guardar la señal del acelerómetro en un archivo de texto plano y realizar un análisis para adquirir parámetros como el PGA (Peak Ground Acceleration) y la frecuencia más predominante mediante el análisis espectral con ayuda de la Transformada de Fourier. Se presentan pruebas de la aplicación en dos diferentes Smartphones para comprobar su correcto funcionamiento. Además, se realizan pruebas de comparación con dos equipos dedicados a este tipo de mediciones, el sensor 1043\_0 – PhidgetsSpatial Precision 0/0/3 y el Guralp CMG-5TD.

**Palabras Clave** – Acelerómetro, Android, FFT, Smartphone, Vibraciones.

## I. INTRODUCCIÓN

El análisis de vibraciones tiene un amplio campo de usos y aplicaciones, este trabajo se centra en aplicaciones en el campo de la Ingeniería Civil y para el análisis de vibraciones mecánicas. En el campo de la Ingeniería Civil es de gran utilidad para el análisis in situ de las estructuras, edificios o suelos; detectando y guardando la señal generada para posteriormente a través del análisis obtener parámetros como el PGA (Peak Ground Acceleration), parámetro muy usado en sismografía y la frecuencia fundamental de una estructura, que es el resultado del procesamiento de la señal con la Transformada de Fourier. De igual forma dentro del uso del análisis de vibraciones mecánicas se requiere obtener la frecuencia fundamental de la vibración de la máquina, y de acuerdo con esto verificar si se encuentra dentro de los rangos aceptables de frecuencias de vibración definidas por los fabricantes. Dado el caso de darse una frecuencia de vibración diferente, se puede detectar si existe un componente fallando dentro de la maquinaria como un tornillo, engrane u otros elementos que la conforman.

Para la medición de vibraciones se utilizan principalmente acelerómetros. Estos equipos comúnmente integran además del sensor de aceleración, un digitalizador, un módulo de grabación y una fuente de alimentación portátil como una batería. Un acelerómetro especializado puede costar miles de dólares, puede ocupar un espacio considerable y puede ser difícil que un especialista lo pueda llevar siempre consigo.

Hoy en día el Smartphone se ha convertido en un dispositivo muy importante por integrar varias funciones, portabilidad, facilidad de instalar aplicaciones, etc. Para el año 2018 se espera que el número de usuarios de Smartphone a nivel mundial sea alrededor de 2500 millones [1]. Esto muestra que es muy posible que un especialista que requiera hacer un análisis de vibraciones lleve consigo todo el tiempo un Smartphone que le pudiera servir para realizar un análisis básico in situ.

Los dispositivos con el sistema operativo Android cuentan con una plataforma digital de distribución de aplicaciones móviles, conocida como Play Store o Google Play, donde se puede encontrar una gran variedad de aplicaciones, que usan el acelerómetro del Smartphone para el análisis de vibraciones, como: Vibrations!, Vibration meter, Vibsensor, etc. Estas aplicaciones tienen ciertas limitaciones como: presentación de publicidad en las versiones gratuitas, costo para acceder a ciertas funciones avanzadas, limitaciones en la configuración de parámetros de grabación para el análisis y no tener acceso al código fuente de la aplicación. Por estas limitaciones es importante el desarrollo de una aplicación que permita el análisis de una vibración con características como: selección del tiempo de grabación de la señal, análisis de parámetros de la señal en el dominio del tiempo y de la frecuencia, así como posibilidad de futuras mejoras a la misma.

Este artículo presenta el desarrollo de una aplicación para un sistema operativo Android, la cual permite el análisis de vibraciones usando el acelerómetro integrado en el Smartphone. La importancia del desarrollo de esta aplicación radica en la gran utilidad que representa dentro del análisis de vibraciones, ya que, gracias a sus ventajas de portabilidad, bajo costo y fácil manejo, se puede realizar una evaluación inmediata de las vibraciones cuando no se tiene a mano un equipo profesional de medición. Además, esta aplicación se puede utilizar de forma didáctica para el estudio de asignaturas relacionadas a la enseñanza de la Ingeniería Civil.

El resto del artículo es organizado de la siguiente manera: La sección II presenta una introducción sobre vibraciones y los instrumentos que se utilizan para su medición. Luego, la Sección III presenta la estructura general de la aplicación Android. La Sección IV presenta las pruebas y resultados obtenidos con la aplicación. Finalmente, la Sección V presenta las conclusiones de este trabajo.

## II. VIBRACIONES

### A. Definición

La medición de vibraciones se ha reconocido como un importante método de análisis desde que se vio la posibilidad de extraer datos de una señal generada. Estos datos pueden



ser analizados y tratados con diferentes métodos, de acuerdo con la necesidad del investigador y extraer cierta información que sirven para llegar a conclusiones de un problema o situación.

La vibración se define como la variación de un sistema con respecto a su punto de equilibrio estable, en relación con el tiempo [2]. El estudio de vibraciones puede incluir vibraciones periódicas como es el caso de sistemas mecánicos y vibraciones aleatorias que pueden surgir en casos relacionados con la sismografía, donde se analizan fenómenos naturales emergentes y pueden generar este tipo de señales aleatorias. Las excitaciones periódicas presentan como ventaja que basta con extraer un periodo de la vibración para realizar su análisis y extraer la información necesaria. No obstante, las vibraciones aleatorias son las que se encontrarán en un mayor porcentaje dentro del campo de trabajo donde sea indispensable realizar un análisis de vibraciones [3].

Para realizar estas mediciones se han requerido equipos que realizan la tarea específica de detectar una señal de vibración y grabarla, para posteriormente con la ayuda de un software o mediante procesos matemáticos poder tratarla y analizarla, a estos equipos se los denomina sensores. Las vibraciones se caracterizan por la frecuencia, desplazamiento, aceleración o velocidad, dirección y duración, y se cuantifican en función a éstas.

### B. Instrumentos de medición

Dentro de la medición de vibraciones se ocupan equipos específicos conocidos como acelerómetros o acelerógrafos; los cuales detectan las oscilaciones y vibraciones de una máquina, una instalación, una estructura o cualquier sistema en el que se produzca una excitación y se altere su posición de equilibrio. Los medidores de vibración representan una ayuda insustituible in situ para el profesional, por lo que, se caracterizan por ser portátiles y pueden almacenar los resultados.

El acelerómetro es un instrumento electromecánico para medir las aceleraciones estáticas o dinámicas, como la constante gravitatoria o aceleraciones generadas por vibraciones, respectivamente. Éste, al ser un sensor tiene como objetivo captar una señal eléctrica que es una diferencia de potencial, proporcional a la magnitud a medir, como en este caso la aceleración. Dependiendo de la tecnología que utilicen para medir esta magnitud, se diferencian los tipos de acelerómetros; existen: mecánicos, capacitivos, piezoeléctricos, láser, de inducción magnética, ópticos [2].

Un Smartphone está lleno de componentes electrónicos tanto en su interior como en su exterior. Cada uno de ellos tiene una funcionalidad específica, que trabajando en conjunto hacen que el dispositivo móvil sea una potencial herramienta para el desarrollo de aplicaciones. La gran mayoría de los componentes internos de un Smartphone son sensores. "Un sensor es un dispositivo capaz de dar una respuesta eléctrica a estímulos físicos externos". Estos componentes convierten magnitudes físicas o químicas, como la temperatura, aceleración, longitud, nivel de azúcar, etc., en unidades eléctricas que un dispositivo electrónico sea capaz de interpretar, generalmente es el voltaje [4].

El acelerómetro de un Smartphone es un chip de tamaño muy reducido y es definido como un elemento sensor que permite la medida de la aceleración y es responsable de detectar los cambios de orientación en los terminales. Aunque

es posible en base a un acelerómetro determinar la orientación, normalmente se usa un giroscopio. Es muy común que en el mismo circuito integrado pueda existir un acelerómetro y giroscopio. En la Fig. 1 se puede observar un ejemplo de la ubicación física del acelerómetro dentro del terminal. Los teléfonos móviles utilizan los acelerómetros del tipo capacitivo.

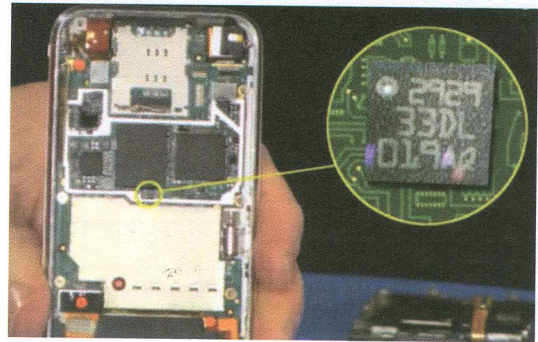


Fig. 1. Ubicación del acelerómetro en un iPhone 3g [5].

El acelerómetro es uno de los principales sensores en un dispositivo Android y brinda una lectura de la aceleración dada en unidades de  $m/s^2$  que se encuentra repartida en cada uno de los tres ejes de coordenadas. Un factor principal que afecta la aceleración del sensor es la gravedad, por lo que siempre existirá una aceleración aproximada de  $9,8 m/s^2$  en alguno de los ejes de coordenadas dependiendo de la orientación del Smartphone. Un ejemplo de los ejes de coordenadas de un Smartphone se muestra en la Fig.2.

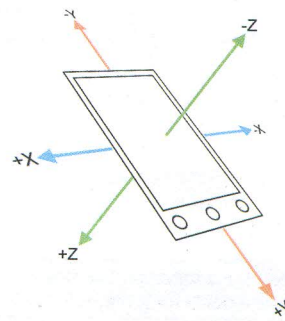


Fig. 2. Representación de las coordenadas en un smartphone [5].

### III. ESTRUCTURA GENERAL DE LA APLICACIÓN ANDROID

El trabajo tiene como objetivo desarrollar una aplicación que sea compatible con el sistema operativo Android que permita realizar un análisis de una señal de las vibraciones que afectan a una estructura o sistema. Los datos de las vibraciones serán obtenidos a través del sensor de aceleraciones que viene integrado en el interior de un Smartphone, para posteriormente ser procesados y llegar a la obtención de las frecuencias predominantes de los tres ejes de orientación. En la Fig. 3 se muestra un diagrama con las etapas que debe cumplir la aplicación para llegar a la obtención de los resultados finales, con estos resultados se podrá conocer la frecuencia a la cual se produce la mayor intensidad de vibración de la medición que se realice.

La aplicación está constituida por 4 actividades como se muestra en la Fig. 4. La actividad SplashActivity tiene la característica launcher definido en el archivo AndroidManifest.xml de la aplicación, que significa que es la



primera actividad en ser lanzada cuando se ejecuta la aplicación, contiene el mensaje de bienvenida y el logo de la aplicación. Las otras actividades se describen a continuación.

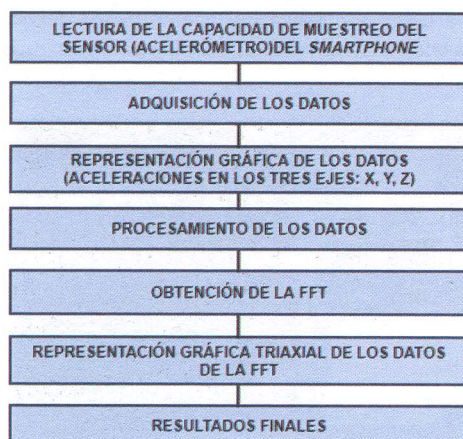


Fig. 3. Diagrama de la estructura general de la aplicación Android

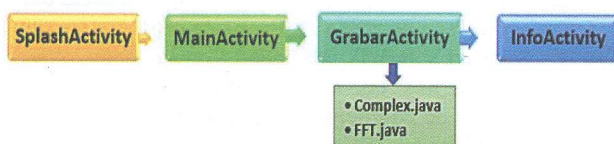


Fig. 4. Estructura organizacional de las Actividades de la aplicación Android.

#### A. Actividad principal (MainActivity.java)

Dentro de esta actividad se implementan las funciones principales para iniciar con el desarrollo de la aplicación y las cuales llevarán al cumplimiento del objetivo funcional de la misma. Las etapas que se deberán cumplir para obtener los resultados de esta aplicación se observan en el diagrama de la Fig. 5.



Fig. 5. Diagrama de las etapas a cumplir en la Actividad Principal de la aplicación.

Los datos que se toman del acelerómetro están dispuestos en los tres ejes del dispositivo de acuerdo con la orientación indicada en la Fig. 2. Al trabajar con sensores se debe manejar los eventos que ocurren en el sensor. Se define como el evento de un sensor, al cambio que se detecta en alguno de los parámetros que se van a medir.

Para las aplicaciones a las que están destinadas el uso de la aplicación Android a desarrollar, se necesita una frecuencia de muestreo adecuada de 100 Hz como mínimo, ya que dentro

de esta frecuencia se pueden observar los efectos que sufren las máquinas, estructuras o ambientes en donde se requiere el análisis de vibraciones. Es por esto que se requiere conocer como parámetro la frecuencia máxima a la que trabaja el acelerómetro del dispositivo.

Para realizar este proceso se implementa la interfaz `EventListener`, la cual llamará a la escucha de los cambios que se den en los valores del sensor, se define las variables de objeto de clase para manejar el sensor:

```

SensorManager sensorManager;
private Sensor acelerometro;
  
```

Se debe conectar el gestor de sensores con el servicio para obtener la instancia de la clase, se llama a la función de gestión del servicio del sistema con el argumento `SENSOR_SERVICE`, de esta forma se obtiene un servicio a nivel de sistema y así ya se podrá acceder a los sensores del sistema del dispositivo, una vez que ya se tiene el acceso se indica el tipo de sensor que se va a ocupar, en este caso el acelerómetro `Sensor.TYPE_ACCELEROMETER` [7].

El parámetro que ayuda a conocer la frecuencia de muestreo se lo conoce como `getMinDelay`, y se define como el valor de mínimo retardo entre cada evento del sensor, este valor es en microsegundos ( $\mu s$ ). La selección de la frecuencia de muestreo se la realiza mediante la elección de un `RadioButton` que se encuentra dentro de un `RadioGroup`. La aplicación da como opción elegir entre una frecuencia de muestreo de 100 Hz y la frecuencia máxima que tenga como capacidad el Smartphone.

Se debe tomar en cuenta que al pasar la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia se puede producir el efecto de aliasing o solapamiento del espectro, esto puede ocurrir cuando no se cumple el Teorema de Nyquist-Shannon. Este teorema indica que la frecuencia de muestreo debe ser igual o mayor al doble de la frecuencia máxima de la señal. En el caso de que no se cumpliera lo mencionado, las réplicas que se producirían al aplicar la FFT se sobrelaparían, haciendo que al momento de tratar la señal no presente la exactitud deseada. La aplicación está desarrollada para que el análisis sea realizado en base a la frecuencia de 100 Hz o a la frecuencia de muestreo máxima del celular y dependiendo de cuál se elija se determina la frecuencia máxima que se mostrará en el espectro de frecuencia.

La captura de los eventos como ya se mencionó se realiza mediante la escucha del `SensorEventListener` y a través del método `onSensorChanged()`. Este método es llamado cada vez que el sensor sufre un cambio en su valor u orientación capturando el motivo o valor que provoca el cambio en el sensor [8].

Dentro del `onSensorChange` se captura el evento de cada uno de los ejes mediante los valores asignados a cada uno, eje X (valores [0]), eje Y (valores [1]) y finalmente eje Z (valores [2]), de acuerdo con estos valores se puede referir a cada uno de los ejes de orientación.

```

ejeX = sensorEvent.values[0];
ejeY = sensorEvent.values[1];
ejeZ = sensorEvent.values[2];
  
```

Para realizar la gráfica de los valores de aceleración que se captan en cada uno de los tres ejes de coordenadas se utilizará una librería disponible para Android y que brinda grandes características para generar gráficas. La librería `GraphView` es una biblioteca disponible para Android que se puede



implementar libremente dentro de cualquier tipo de aplicación.

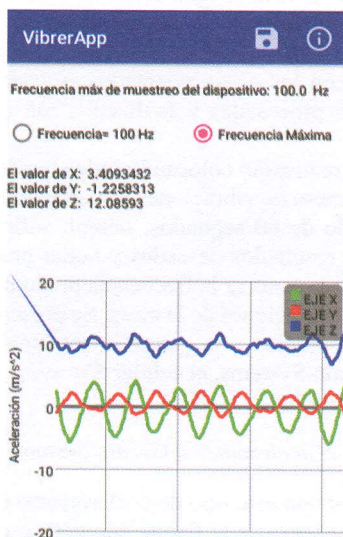


Fig. 6. Actividad principal de la aplicación para el análisis de vibraciones.

**B. Actividad de almacenamiento y procesamiento de datos (GrabarActivity.java)**

Esta actividad tiene como objetivo el almacenamiento de los datos dentro de un archivo de texto plano, el cual se guardará en la memoria del dispositivo para posteriormente ser extraído y tener la posibilidad de tratar los datos externamente. Se implementan dos clases que permitirán trasladar la señal al dominio de la frecuencia usando la FFT. Las clases implementadas son Complex.java y FFT.java.

En la Fig. 7 se observa todas las etapas que se cumplen en la actividad denominada GrabarActivity, en la cual se realiza todo el procesamiento de los datos para almacenamiento en un archivo de texto plano y trasladarlos al dominio de la frecuencia mediante la FFT. Una vez realizado el procesamiento se determinan los puntos máximos de los datos en ambos dominios. Así de esta forma se conoce el valor máximo en el dominio del tiempo (PGA) y en el dominio de la frecuencia (frecuencia predominante y el valor de su amplitud).

En la Fig. 8 se observa los resultados finales de todo el procesamiento de los datos grabados durante un periodo de tiempo ingresado por el usuario. Se presenta los resultados obtenidos en cada uno de los ejes tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. Los datos que se presentan en el dominio del tiempo se calculan en base a los valores absolutos máximos de aceleraciones en unidades de m/s<sup>2</sup> y posteriormente según su posición en un vector de almacenamiento se conoce si fue positivo o negativo y es asignado el símbolo respectivo. Los valores en el dominio de la frecuencia corresponden a la frecuencia predominante en cada uno de los ejes y su correspondiente valor de amplitud.

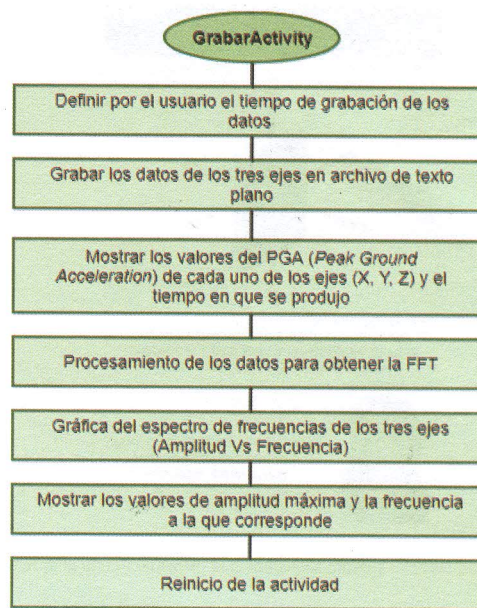


Fig. 7. Diagrama de las etapas a cumplir en la Actividad de almacenamiento y procesamiento de datos.

**C. Actividad de información de la aplicación (InfoActivity.java)**

Esta actividad es utilizada únicamente con el fin de mostrar información extra de la aplicación. Se tiene acceso a ésta desde el botón ⓘ ubicado en la barra de acción de la actividad principal (MainActivity). La Fig. 9 muestra esta actividad.

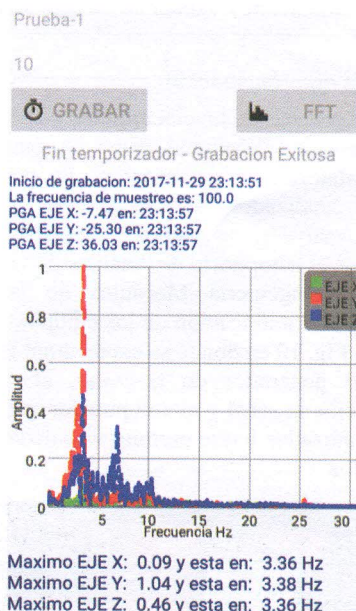


Fig. 8. Ejecución de la segunda actividad GrabarActivity.





Fig. 9. Actividad lanzada cuando se accede a la información de la aplicación.

#### IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

En esta sección se presentan las pruebas de funcionamiento de la aplicación Android, para lo cual se realizará la implementación en dos Smartphones que permitan comprobar su correcto funcionamiento y realizar comparaciones entre ellos, evidenciando la similitud de los resultados o diferencias. Posteriormente, se efectuarán pruebas de comparación con los resultados obtenidos en sensores de mayor gama y dedicados especialmente al análisis de vibraciones. De esta forma se podrá confirmar el cumplimiento del objetivo para lo cual fue planteado el desarrollo de esta aplicación y validar su funcionalidad.

##### A. Escenario de experimentación

Para realizar las pruebas de funcionamiento y comparación se utilizará la mesa de vibraciones como un generador de movimientos oscilatorios y se receptorá la señal de la vibración en el analizador de vibraciones ADQ-1600 Multichannel Analyzer. Ambos equipos serán proporcionados por el laboratorio de Análisis de vibraciones de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. La ubicación de los equipos utilizados se puede ver en la Fig. 10 en donde se encuentran: la mesa de vibraciones como generador de la señal, el analizador multicanal que recibe la señal y el computador que contiene el software del analizador y que permite visualizar y grabar los datos receptados.

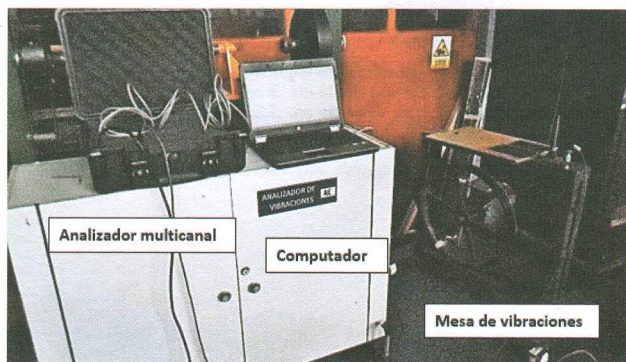


Fig. 10. Esquema de los equipos utilizados para las pruebas de análisis de señales de vibraciones.

Las señales de las vibraciones generadas en la mesa serán receptadas tanto por los dos Smartphones para comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación en cada uno de ellos y también por el analizador de vibraciones. Tanto la aplicación desarrollada como el analizador generarán un archivo de texto con los datos receptados en cada uno para posteriormente ser procesados y analizados con el software de Matlab.

Las pruebas se realizarán colocando todos los dispositivos sensores sobre la mesa de vibraciones y se grabarán los datos durante un periodo de 60 segundos, tiempo suficiente para poder obtener los resultados deseados y poder procesarlos a través de la FFT para conocer la frecuencia predominante que genera la señal de vibraciones de la mesa. Se presentará como ejemplo los resultados de experimentación con el acelerómetro Guralp Systems, el celular Samsung J2 Prime y el celular Huawei P9 lite.

##### B. Prueba con el acelerómetro Guralp Systems

Para las pruebas con este tipo de acelerómetro se necesitó de la conexión del sensor a la fuente energética, conectar el computador y el sensor a través de los puertos ethernet y USB, para poder receptor los datos y guardar en el computador los datos generados durante el ensayo. El esquema de ubicación de los equipos se puede ver en la Fig. 11.

Una vez que se han extraído los datos del archivo de texto plano de los tres equipos, se procesa los datos en un script de Matlab, el cual da como resultado el valor de PGA que se ve en la Tabla 1 y la gráfica de los espectros de cada uno de los ejes respectivamente de cada equipo. La Fig. 12 presenta el espectro de frecuencia del eje X obtenido en Matlab para el Smartphone Samsung J2 prime. De forma similar la Fig. 13 presenta el espectro del eje X para el Smartphone Huawei P9 lite y la Fig. 14 para el Acelerómetro Guralp CMG-5TDE.

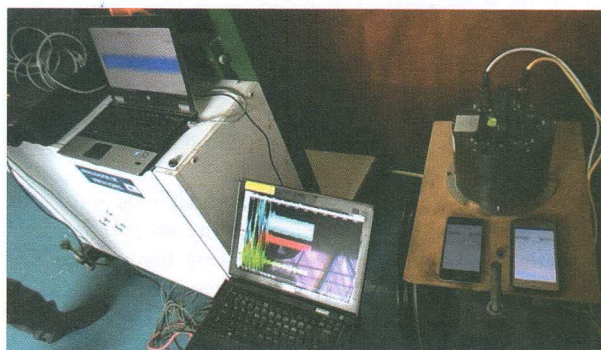


Fig. 11. Pruebas con los dos Smartphone y el sensor Guralp CMG-5TDE.

TABLA 1  
VALORES DEL PGA DE CADA EJE OBTENIDOS EN MATLAB DE LOS DOS SMARTPHONE Y ACCELERÓMETRO GURALP SYSTEMS.

| EQUIPO           | PGA X (m/s <sup>2</sup> ) | PGA Y (m/s <sup>2</sup> ) | PGA Z (m/s <sup>2</sup> ) |
|------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| SAMSUNG J2 PRIME | -0.3333                   | 0.1777                    | 0.1635                    |
| HUAWEI P9 LITE   | -0.3689                   | -0.1348                   | 0.3026                    |
| ACCELERÓMETRO    | -0.2612                   | -0.2677                   | 0.0037                    |

Para realizar la comparación de resultados se calcula el porcentaje de error porcentual tomando como valor exacto los resultados obtenidos por el sensor especializado Guralp Systems y como valores aproximados a los resultados de los celulares. Estos valores se presentan en la Tabla 2.



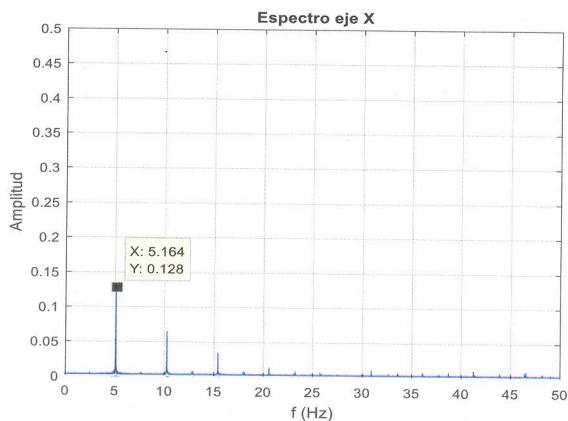


Fig. 12. Espectro eje X Smartphone Samsung J2 prime.

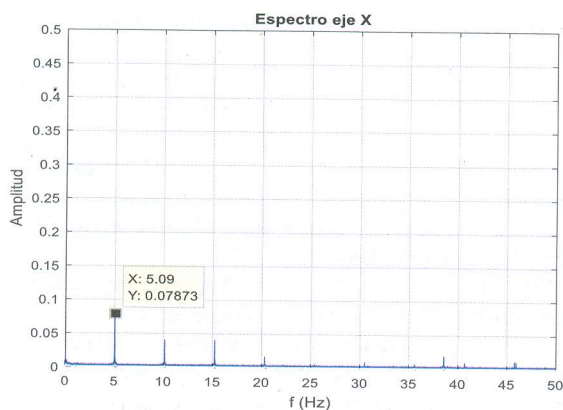


Fig. 13. Espectro eje X Smartphone Huawei P9 lite

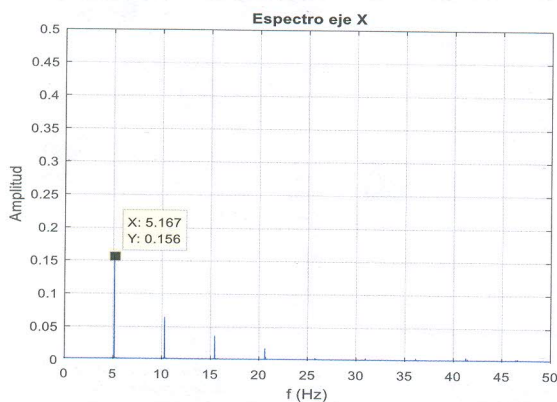


Fig. 14. Espectro eje X Acelerómetro Guralp CMG-5TDE.

TABLA 2  
ERROR RELATIVO PORCENTUAL OBTENIDO ENTRE LOS RESULTADOS DEL EJE X DE LOS SMARTPHONE Y EL ACCELERÓMETRO GURALP SYSTEMS.

| EQUIPO           | FRECUENCIA (Hz)    |              | AMPLITUD           |         |
|------------------|--------------------|--------------|--------------------|---------|
|                  | Valor exacto=5.167 | Valor aprox. | Valor exacto=0.156 | % Error |
| Samsung J2 prime | 5.164              | 0.058        | 0.128              | 17.95   |
| Huawei P9 LITE   | 5.09               | 1.49         | 0.0787             | 49.5    |

Como se puede observar en los resultados mostrados en la Tabla no existe un gran porcentaje de error con respecto a los valores de frecuencia obtenidos en la aplicación instalada en los celulares. Sin embargo, al referirse al valor de amplitudes, en este caso si se puede notar que el celular Huawei tiene un porcentaje de error alto, lo que nos indica que se posee una

menor sensibilidad para receptor la intensidad de las vibraciones.

De forma similar las Fig. 15, Fig. 16 y Fig. 17 presentan el espectro del eje Y para el Smartphone Samsung J2 prime, Smartphone Huawei P9 lite y Acelerómetro Guralp CMG-5TDE, respectivamente. La Tabla 3 presenta el cálculo de los errores para el eje Y. Como se puede ver en esta Tabla los resultados son similares a los anteriores del eje X ya que no presentan una notable diferencia con respecto a los valores de frecuencia. De igual forma con respecto al valor de amplitud obtenido por el celular Huawei es notoria la diferencia con respecto al valor obtenido por el sensor Guralp.

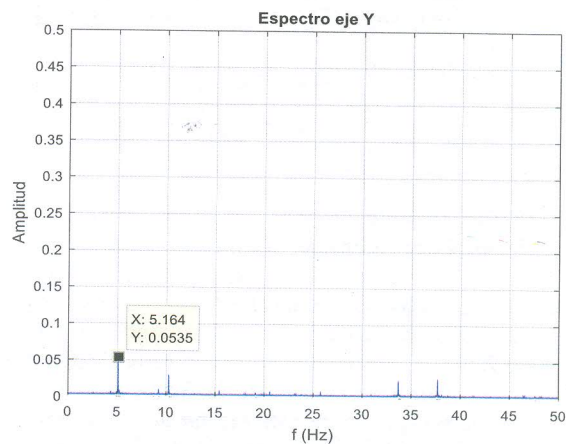


Fig. 15. Espectro eje Y Smartphone Samsung J2 prime.

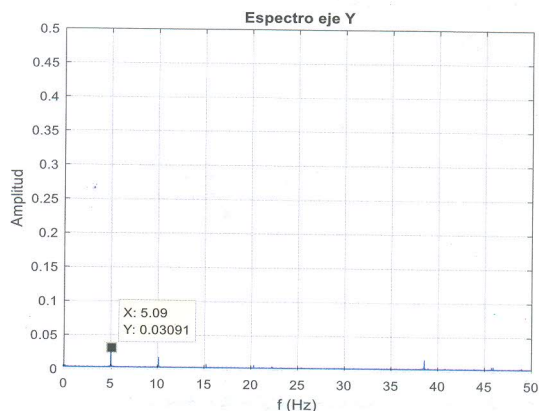


Fig. 16. Espectro eje Y Smartphone Huawei P9 lite.

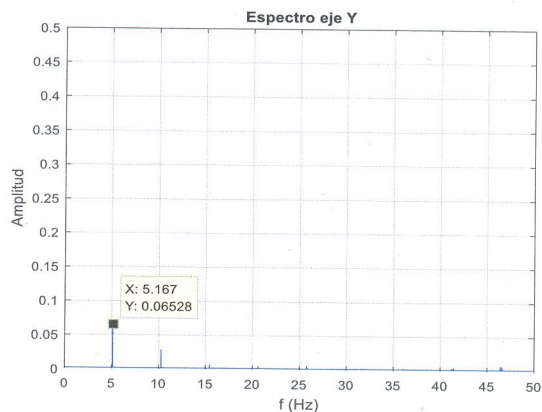


Fig. 17. Espectro eje Y Guralp CMG-5TDE.

TABLA 3

ERROR RELATIVO PORCENTUAL OBTENIDO ENTRE LOS RESULTADOS DEL EJE Y DE LOS SMARTPHONE Y EL ACELERÓMETRO GURALP SYSTEMS.

| EQUIPO           | FRECUENCIA (Hz)    |         | AMPLITUD             |         |
|------------------|--------------------|---------|----------------------|---------|
|                  | Valor exacto=5.167 | % Error | Valor exacto=0.06528 | % Error |
| Samsung J2 prime | 5.164              | 0.058   | 0.0535               | 18.95   |
| Huawei P9 LITE   | 5.09               | 1.49    | 0.06528              | 52.65   |

TABLA 4

ERROR RELATIVO PORCENTUAL OBTENIDO ENTRE LOS RESULTADOS DEL EJE Y DE LOS SMARTPHONE Y EL ACELERÓMETRO GURALP SYSTEMS.

| EQUIPO           | FRECUENCIA (Hz)   |         | AMPLITUD            |         |
|------------------|-------------------|---------|---------------------|---------|
|                  | Valor exacto=46.5 | % Error | Valor exacto=0.0137 | % Error |
| Samsung J2 prime | 37.77             | 18.77   | 0.02991             | 118.3   |
| Huawei P9 LITE   | 20.37             | 56.19   | 0.01355             | 1.46    |

Las Fig. 18, Fig. 19 y Fig. 20 presentan el espectro del eje Z para el Smartphone Samsung J2 prime, Smartphone Huawei P9 lite y Acelerómetro Guralp CMG-5TDE, respectivamente. La Tabla 4 presenta el cálculo de los errores para el eje Z. Como se puede observar los resultados con respecto al eje Z tienen una notable variación en la amplitud detectada por el Smartphone, así como la frecuencia. Esto puede darse debido a que sobre este eje no actúa en gran magnitud las señales de las vibraciones. Se puede producir distorsión también a causa de la sensibilidad del teléfono en el momento de la experimentación o por la posición en la que se encontraba dispuesto.

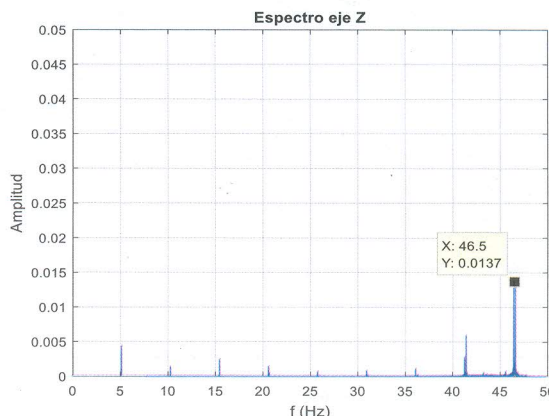


Fig. 20 Espectro eje Z Acelerómetro Guralp CMG-5TDE.

Como se puede evidenciar en los espectros obtenidos de cada equipo utilizado, en cada uno de los ejes surgen frecuencias similares, pero con diferente amplitud. Existe una gran similitud entre las frecuencias obtenidas en los ejes X y Y debido a que las vibraciones se realizan en dirección a estos ejes. Es notorio que el valor de la frecuencia predominante se encuentra alrededor de los 5,1 Hz y el resto de las frecuencias se generan con una mejor amplitud, pero con una separación similar de 5 Hz aproximadamente.

En la Fig. 21 se observa los resultados obtenidos por la aplicación Android desarrollada ViberApp en cada uno de los Smartphones. Se puede evidenciar que los espectros coinciden con los espectros obtenidos del acelerómetro especializado Guralp Systems.

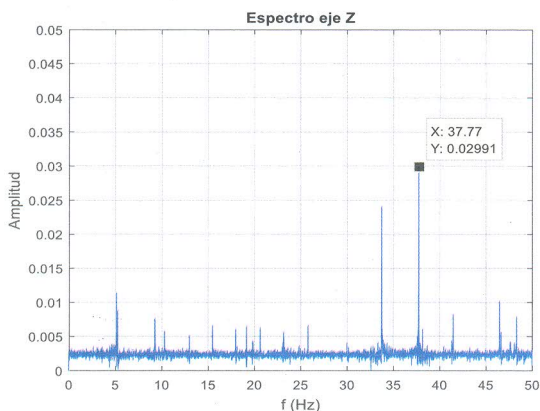


Fig. 18. Espectro eje Z Smartphone Samsung J2 prime.

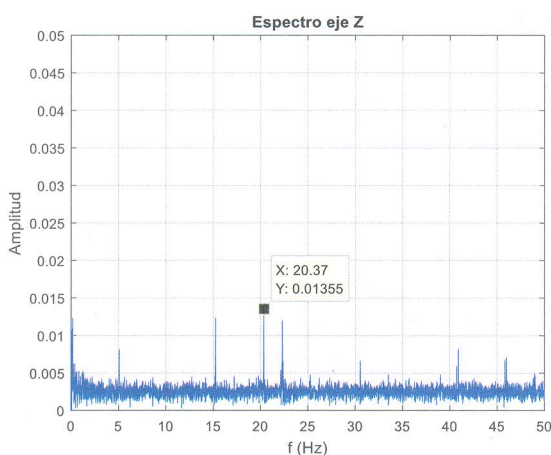


Fig. 19. Espectro eje Z Smartphone Huawei P9 lite.

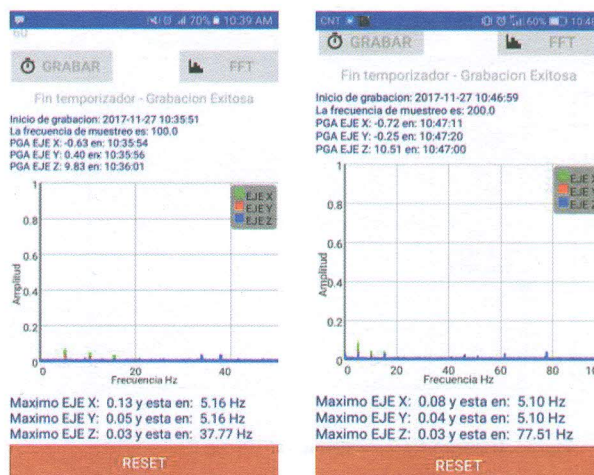


Fig. 21. Resultados de la aplicación Android a) Smartphone Samsung J2 prime. b) Smartphone Huawei P9 lite.

De las pruebas de comparación realizadas con acelerómetros de alta gama se pudo observar una limitada sensibilidad de los acelerómetros de los Smartphone. Esto era de esperarse ya que los unos son equipos dedicados con alta sensibilidad pero también alto costo, mientras que los Smartphones están diseñados para otros fines y el acelerómetro que usualmente posee, no tiene muy buena sensibilidad. Sin embargo, en las pruebas se puede observar que, a pesar de una limitada sensibilidad, la aplicación desarrollada para los Smartphone es capaz de determinar los valores de las frecuencias predominantes de forma bastante aproximada comparado con los acelerómetros de alta gama.



Los acelerómetros de los Smartphone entregan a su salida señales ya digitalizadas y poseen filtros pasabajos con una frecuencia de corte, sin embargo, esta frecuencia de corte no puede ser contralada o configurada desde la programación de la aplicación. Además, Android studio solo permite seleccionar el periodo de muestreo (inverso de la frecuencia de muestreo), por lo que se asume que éste configura internamente una frecuencia de corte adecuada del filtro pasabajos para evitar el aliasing. Éstas son limitaciones de la aplicación diseñada y también de las aplicaciones similares disponibles en la Play store.

## V. CONCLUSIONES

El análisis de vibraciones puede brindar grandes ventajas al profesional que requiere realizar un mantenimiento, estudio o registro de eventos suscitados en una maquinaria, estructura o área geográfica. La aplicación desarrollada tiene la ventaja de ser utilizada en un Smartphone que hoy en día muchas de las personas ya poseen, lo que implica la ventaja de movilidad y portabilidad.

De acuerdo con las pruebas realizadas en distintos dispositivos móviles se pudo evidenciar que en la actualidad los Smartphone de última generación incluyen ya todos, un acelerómetro triaxial dentro de su circuitería, los cuales tienen una frecuencia de muestreo de entre 100 Hz y 200 Hz.

De las pruebas de comparación entre los Smartphone, se puede observar que, para la detección de amplitud de la frecuencia predominante, el celular Samsung tiene una mejor sensibilidad comparado al celular Huawei. Por otra parte, con relación al celular Huawei, este presenta la ventaja de que el dispositivo alcanza una frecuencia de muestreo de 200 Hz comparada con los 100 Hz del Samsung.

A pesar de que el acelerómetro de un Smartphone no tiene gran precisión, con el desarrollo de una aplicación Android es posible realizar el procesamiento de los datos del acelerómetro para generar el espectro de frecuencia y analizar las frecuencias predominantes en una vibración mecánica, obteniendo resultados válidos para establecer conclusiones instantáneas de un análisis in situ.

Como trabajo futuro se considera mejorar la aplicación desarrollada para que pueda servir de base en el estudio didáctico de asignaturas relacionadas con la Ingeniería Civil.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Statista, Number of smartphone users worldwide from 2014 to 2020 (in billions), 17 Febrero 2014. [En línea]. Available: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/> [Último acceso: Julio 2018].
- [2] B. L. Valle, UVa Biblioteca Universitaria, Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Junio 2017. [En línea]. Available: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/23113>. [Último acceso: 2017].
- [3] Grupo de Investigación IMAC, Ingeniería Mecánica Aplicada y Computacional, 2006. [En línea]. Available: [http://www.imem.unavarra.es/EMyV/pdfdoc/vib/vib\\_fourier.pdf](http://www.imem.unavarra.es/EMyV/pdfdoc/vib/vib_fourier.pdf). [Último acceso: septiembre 2017].
- [4] S. H. ELECTRÓNICA, ABC del acelerómetro, 17 Febrero 2014. [En línea]. Available:

<http://5hertz.com/tutoriales/?p=228#Inicio>. [Último acceso: Diciembre 2016].

- [5] E. A. E. Stories, Engineer Guy, 2012. [En línea]. Available: <http://www.engineerguy.com/elements/>. [Último acceso: septiembre 2017].
- [6] L. E. Asri, "Así funcionan las tripas de tu móvil: el acelerómetro, un sensor que te puede salvar", *Hoja de Router*, 2014.
- [7] J. Girones, "El gran libro de Android", Tercera ed., MARCOMBO S.A., 2013.
- [8] T. Cornez y R. Cornez, *Android Programming Concepts*, Jones & Bartlett Learning, 2015, p. 834.

## VII. BIOGRAFÍAS



**Giovanna Lucía López Armas**, nació el 26 de diciembre en el año de 1991, en la ciudad de Quito-Ecuador. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional de Señoritas "IBARRA", donde obtuvo el título de bachiller en Ciencias Físico-Matemático. Recibió el Título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional en el año 2018. Actualmente se desarrolla como Ingeniera Técnica en el desarrollo de sistemas de seguridad, comunicación de datos y domótica en la ciudad de Ibarra. Áreas de interés: Sistemas de comunicación inalámbrica, Telefonía IP, Domótica con Arduino y módulos inalámbricos, Redes SDN, Desarrollo de aplicaciones Android.



**Diego Javier Reinoso Chisaguano**, recibió el Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional en 2009. Realizó sus estudios de postgrado en Japón, en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Nara (NAIST) a través de una beca del Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología de Japón (MEXT). Recibió el Título de Máster en Ingeniería y Doctor en Ingeniería en los años 2013 y 2016, respectivamente. Desde septiembre de 2017 es Profesor Titular a Tiempo Completo en la Escuela Politécnica Nacional. Sus campos de investigación incluyen: sistemas OFDM, televisión Digital, estimación de canales inalámbricos y procesamiento digital de señales.