

Frequency Analyzer: a new teaching app for Android

Analizador de Frecuencia: una nueva aplicación docente para Android

José A. Gómez-Tejedor, Juan A. Monsoriu
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
jogomez@fis.upv.es, jmonsoni@fis.upv.es

Abstract

In this paper we present an application for Android mobile device able of measuring the fundamental frequency of a sound very precisely. This application may be used in diverse fields as in music for tuning musical instruments, in physics for measuring the Doppler effect or in speech recognition systems to determine the fundamental frequency of the voice. Specifically, in this paper we present some examples in the field of physics related to the Doppler effect for sound waves.

En este trabajo se presenta una aplicación para dispositivo móvil Android capaz de medir la frecuencia fundamental de un sonido de forma muy precisa. Esta aplicación puede ser utilizada en campos tan diversos como la música para afinar instrumentos musicales, en física para la medida del efecto Doppler o en sistemas de reconocimiento del habla para determinar la frecuencia fundamental de la voz. En concreto, en este trabajo presentamos algunos ejemplos en el campo de la física relacionados con el efecto Doppler para ondas acústicas.

Keywords: Fundamental frequency, acoustics.

Palabras clave: Frecuencia fundamental, acústica.

1 Introducción

En este trabajo presentamos una aplicación para dispositivos móviles Android capaz de medir la frecuencia fundamental de un sonido con gran precisión. La aplicación puede medir la frecuencia fundamental de un sonido con una precisión menor del 0,04%. Hay que mencionar que existen en GooglePlay multitud de aplicaciones para el análisis del espectro de una señal (por ejemplo, por citar unas pocas: AudioSpectrumMonitor, Real-time Audio Analyzer Free, Waterfall Spectrum Analyzer, Speedy Spectrum Analyzer, SPL and Spectrum Analyser, SpectralPro Analyzer) algunas de ellas gratuitas, y otras de pago. Sin embargo, ninguna de ellas es capaz de medir la frecuencia fundamental de un sonido con la precisión suficiente como la aplicación que presentamos en este trabajo. Dicha aplicación se encuentra disponible en GooglePlay con el nombre de “Analizador de frecuencia” o en la versión en inglés “Frequency Analyzer” de forma gratuita (Gómez-Tejedor, 2014).

Esta aplicación puede tener multitud de utilidades. Por ejemplo, en el campo de la música puede ser utilizada para afinar con gran precisión instrumentos musicales, ya que mide la frecuencia fundamental del sonido de forma muy precisa. Otro ejemplo puede ser en sistemas de reconocimiento de voz, que tanto se están desarrollando en los últimos tiempos en diferentes campos, y en concreto en dispositivos móviles. En este sentido, la frecuencia fundamental de la voz humana presenta una gran variabilidad entre los 75 Hz y los 300 Hz. Este hecho implica un aumento en la tasa de error en los sistemas de reconocimiento de voz (García & Tapias, 2000), por lo que la determinación precisa de dicha frecuencia puede ayudar a mejorar estos sistemas. En el campo de la física, puede ser utilizada para la medida del efecto Doppler en un dispositivo móvil.

Esta aplicación ha sido diseñada y elaborada por personal del Departamento de Física Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño de la Universitat Politècnica de València, por lo que en este trabajo presentamos algunos ejemplos relacionados con la física; en concreto presentamos dos ejemplos de medida del efecto Doppler. Uno de ellos en un Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU), que permite además medir la velocidad del sonido en el aire. El segundo ejemplo se trata de un Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado (MRUA), en el que se mide la frecuencia percibida por el dispositivo en función del tiempo, y se calcula la aceleración del sistema.

2 Funcionamiento de la aplicación

A continuación se detalla el funcionamiento de la aplicación para la medida de la frecuencia del sonido recibido por el teléfono móvil. En el momento pulsamos la tecla “Start” de la aplicación (ver Figura 1), se comienza a grabar el sonido recibido por el micrófono en un archivo de audio, con la frecuencia de muestreo máxima que permite el dispositivo. Típicamente, esta frecuencia suele ser de 44100 Hz para la mayoría de dispositivos móviles.

Una vez pulsada la tecla “Stop” de la aplicación, comienza el tratamiento de los datos obtenidos. En primer lugar se realiza una transformada rápida de Fourier (FFT) (Press, Teukolsky, T., & Flannery, 2007) para detectar la frecuencia fundamental del sonido. En este primer análisis no se trata de conseguir una gran precisión en la medida de la frecuencia, sino simplemente de un primer valor aproximado, necesario para el siguiente paso.

A continuación se procede a aplicar dos filtros de Butterworth de segundo orden alrededor

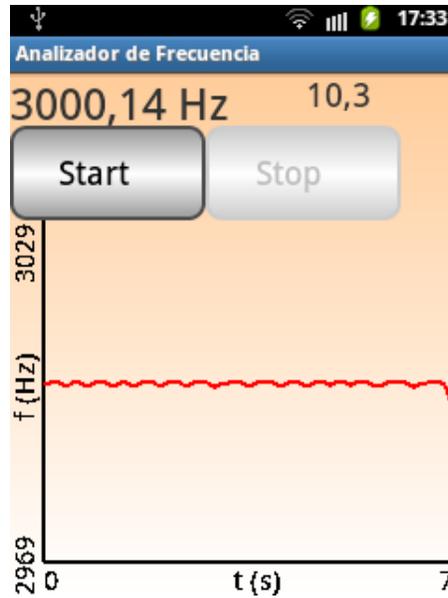


Figura 1: Captura de pantalla de la aplicación tras una medida de la frecuencia de un sonido de 3000 Hz estando el dispositivo en reposo.

de la frecuencia fundamental (Butterworth, 1930; Baker, 2005) un filtro pasa-baja con una frecuencia de corte igual a la frecuencia fundamental más un 3%, y un filtro pasa-alta con una frecuencia de corte igual a la frecuencia fundamental menos un 3%. De esta forma se eliminan los armónicos no deseados en la señal.

Después, se trata la señal a intervalos de 0,1 s. En cada intervalo temporal, se determina la mitad del período de la señal midiendo el tiempo entre dos pasos sucesivos por cero, y se realiza un promedio del resultado obtenido para dicho intervalo temporal. La inversa del periodo así calculado es el valor de la frecuencia medida.

El tiempo que tarda la aplicación en realizar estos cálculos depende del modelo del teléfono móvil, y de la duración de la grabación. Para todos los experimentos que hemos realizado en este trabajo, hemos utilizado un teléfono Samsung Galaxy Mini S5570, dotado con un procesador Qualcomm MSM7227 a 600 MHz, que emplea aproximadamente 1s de cálculo por cada segundo de grabación. En modelos más potentes, este tiempo se reduce sustancialmente. Por ejemplo en un Samsung Galaxy SII, con un procesador ARM Cortex-A9 de doble núcleo y 1,2 GHz este tiempo se reduce en un factor diez. De esta forma, se podría desarrollar una aplicación capaz de proporcionar los datos en tiempo real. Sin embargo, hemos preferido que la aplicación realice primero la grabación de datos, y luego el tratamiento de los mismos para que pueda ejecutarse en cualquier dispositivo móvil con sistema Android, y no sea necesario un dispositivo de última generación, con velocidad de procesador alta.

Hemos comprobado el funcionamiento de la aplicación midiendo la frecuencia de un sonido puro de una única frecuencia, generado con un ordenador mediante el programa de libre distribución Audacity (Mazzoni & Dannenberg, 2014). Hemos encontrado que la aplicación obtiene muy buenos resultados para frecuencias comprendidas entre 250 Hz y 8000 Hz con discrepancias en la medida de la frecuencia menores del 0,040%, destacando el intervalo de frecuencia entre 2500 y 7000 Hz donde la discrepancia es menor del 0,010%. Hemos escogido la frecuencia de 3000 Hz para la medida del efecto Doppler porque en esa frecuencia obtuvimos un valor medido con la aplicación de 3000,02 Hz, lo que supone una discrepancia del 0,0007%. No obstante hay

que mencionar que estas observaciones fueron realizadas con la habitación en silencio, y que al realizar la medida con el sonido del carril cinemático que utilizamos para la realización de la experiencia, la discrepancia aumenta.

En la Figura 1 se puede observar un ejemplo de la medida de la frecuencia con el dispositivo móvil en reposo situado sobre el carril cinemático en funcionamiento para una frecuencia emitida por la fuente de 3000 Hz. A partir de los datos obtenidos en esta medida, el valor medido por el dispositivo móvil es de $(3000,1 \pm 0,5)$ Hz, lo cual supone una medida de la frecuencia con un error relativo del 0,017%, y una discrepancia con el valor esperado de 0,003%. El rizado que se observa en la figura tiene una amplitud aproximada de 0,42 Hz y es debido al error en el proceso de medida de la frecuencia, asociado en este caso fundamentalmente a las interferencias producidas por el sonido del carril cinemático.

De esta forma, podemos concluir que esta aplicación puede ser utilizada para la medida del efecto Doppler puesto que es capaz de medir frecuencias en el carril cinemático con una precisión de 0,5 Hz para una señal de 3000 Hz.

3 Medida del efecto Doppler en el dispositivo móvil

En el efecto Doppler (Doppler, 1842; Tipler & Mosca, 2008), la frecuencia registrada por un observador en movimiento, estando la fuente en reposo, viene dada por

$$f' = f \left(\frac{1 \pm v_0}{v} \right), \quad (1)$$

donde f es la frecuencia de la fuente, v_0 la velocidad del observador, y v la velocidad de la onda, en este caso del sonido en el aire. El signo $+$ se corresponde con el observador acercándose a la fuente (aumento de frecuencia) y el signo $-$ para el observador alejándose de la fuente (disminución de frecuencia). Teniendo en cuenta que en el laboratorio, mediante un carril cinemático, podemos observar movimientos rectilíneos, con velocidades típicamente menores de 1 m/s, eso implica que el cambio en la frecuencia asociado a estas velocidades ha de ser menor del 0,3%, por lo que tal y como se ha comentado anteriormente, con la aplicación que hemos desarrollado somos capaces de obtener resultados significativos.

Para la realización de los experimentos del efecto Doppler, hemos situado el teléfono móvil sobre la deslizadera del carril cinemático. En un extremo del carril hemos colocado un altavoz, conectado al ordenador, que emite una señal sonora de una única frecuencia. Hemos regulado el volumen del altavoz de forma que se obtenga una medida precisa de la frecuencia recibida en el teléfono móvil, teniendo en cuenta que el ruido del carril cinemático produce algunas interferencias en el sonido recibido en el teléfono.

Con este montaje, hemos realizado dos experimentos diferentes. Por un lado, mediante un disparador dotado de un muelle, proporcionamos a la deslizadera una velocidad inicial, y dado que el rozamiento con el carril lo podemos considerar prácticamente nulo, la deslizadera se mueve a velocidad constante, en un Movimiento Rectilíneo Uniforme. Hemos medido dicha velocidad mediante un sensor de paso conectado a un cronómetro y medimos también la frecuencia registrada en el teléfono móvil mediante la aplicación descrita. Como medimos también la frecuencia emitida por la fuente, mediante la Ecuación 1 podemos calcular la velocidad del sonido en el aire v .

Por otro lado, hemos inclinado el carril cinemático formando un ángulo de 0,03 rad con la horizontal. Situando la deslizadera en el punto más alto del carril, y soltándola, obtenemos un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado, y despreciando el rozamiento con el carril cinemático, la aceleración del sistema es igual a

$$a = g \sin \alpha, \tag{2}$$

siendo g la aceleración de la gravedad, y α el ángulo que forma el plano inclinado con la horizontal. En el MRUA, la velocidad de la deslizadera en función del tiempo es igual a la aceleración multiplicada por el tiempo. Sustituyendo en la Ecuación 1, obtenemos que la frecuencia medida en el teléfono móvil viene dada por:

$$f' = \frac{f}{v} \pm \frac{f}{v} at. \tag{3}$$

Si representamos gráficamente la frecuencia medida en el teléfono móvil como función del tiempo, obtendremos una línea recta, cuya pendiente está relacionada con la aceleración del sistema a través de la Ecuación 3.

4 Resultados

Mediante el procedimiento descrito en la sección anterior, hemos medido el cambio de frecuencia debido al efecto Doppler mediante un teléfono móvil, en las dos situaciones comentadas anteriormente.

4.1 Movimiento Rectilíneo Uniforme. Medida de la velocidad del sonido

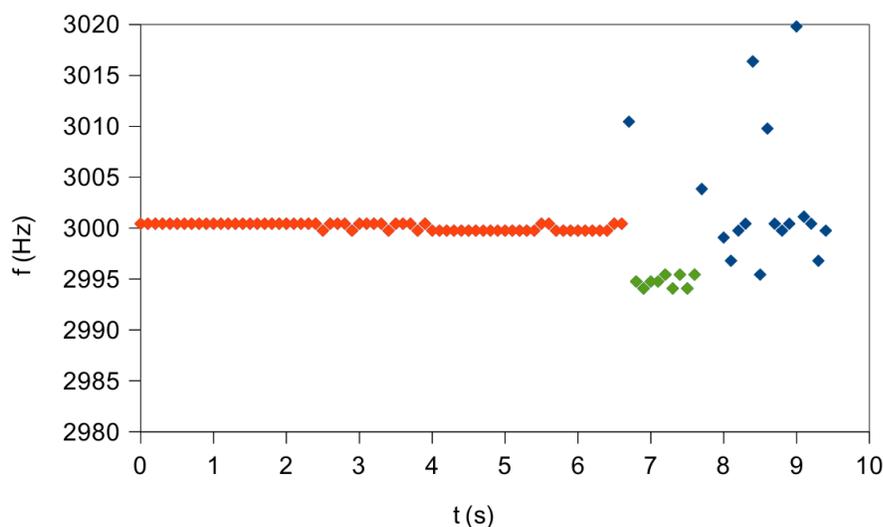


Figura 2: Medida de la frecuencia en función del tiempo para el MRU.

En la Figura 2 se muestra los resultados obtenidos en la medida experimental del MRU. Se observa claramente la zona inicial (en color rojo) cuando el teléfono está en reposo donde la

frecuencia recibida coincide con la frecuencia del emisor (3000Hz en este caso), después se observa una disminución de la frecuencia debido al movimiento del teléfono móvil alejándose de la fuente (en color verde) y finalmente, cuando el teléfono se aleja demasiado del altavoz, la disminución del volumen registrado por el dispositivo móvil impide que la aplicación pueda medir la frecuencia con suficiente precisión, y se obtienen valores muy alejados del valor esperado.

También hay un punto con un valor 3010,5 Hz justo en el momento que el dispositivo comienza a moverse. Dicho valor lo hemos atribuido al ruido producido por el muelle del disparador en el momento de lanzar la deslizadera. El valor de este punto no lo hemos tenido en cuenta en los cálculos realizados.

En la Figura 2, la frecuencia medida cuando el teléfono se encuentra en reposo es de $(3000,2 \pm 0,3)$ Hz y la frecuencia medida cuando el teléfono se aleja de la fuente es de $(2994,8 \pm 0,6)$ Hz. La velocidad registrada de la deslizadera mediante el sensor de paso es de $(0,637 \pm 0,010)$ m/s, con lo cual, aplicando la Ecuación 1, obtenemos un valor de la velocidad del sonido de (353 ± 6) m/s.

4.2 Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado. Medida de la aceleración

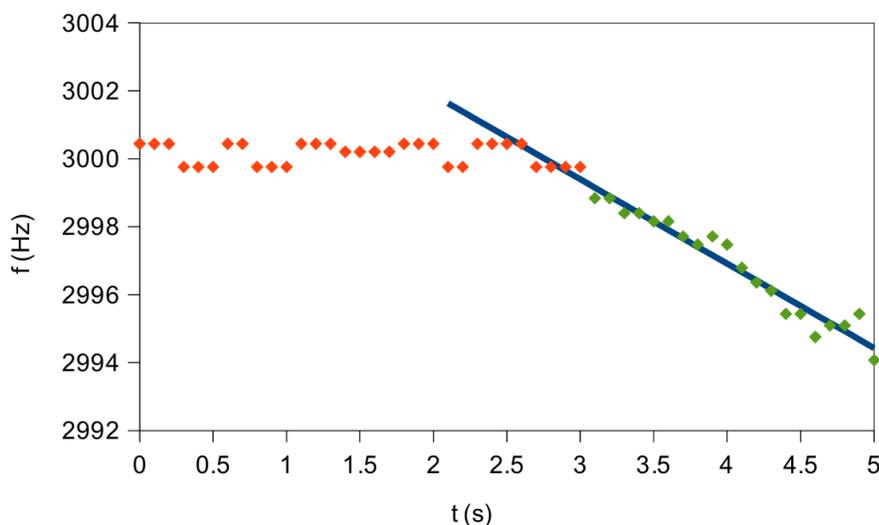


Figura 3: Medida de la frecuencia en función del tiempo para el MRUA.

En la Figura 3 se muestra los resultados obtenidos en la medida experimental del MRUA. Se observa la zona inicial (en color rojo) cuando el teléfono está en reposo donde la frecuencia recibida coincide con la frecuencia del emisor. A partir del momento que se deja deslizar el teléfono móvil sobre el carril cinemático, se observa una disminución de la frecuencia debido al movimiento del teléfono móvil alejándose de la fuente (en color verde). Mediante un ajuste por mínimos cuadrados (línea azul en la Figura 3), hemos obtenido el valor de la pendiente en esta zona, que podemos relacionar con la aceleración de caída mediante la Ecuación 2, obteniendo un valor para la aceleración de $(0,287 \pm 0,017)$ m/s².

4.3 Discusión de resultados y conclusiones

Las experiencias fueron realizadas a una temperatura ambiente de 25,5 °C, de modo que podemos comparar el valor obtenido en la primera experiencia para la velocidad del sonido con el

valor esperado a esa temperatura que es de 346,5 m/s (Cramer, 1993). La discrepancia con el valor esperado es del 2% y el error relativo en la medida es del 1,7%, por lo que podemos concluir que el valor obtenido para la velocidad del sonido es adecuado.

En la segunda experiencia, dado que el ángulo con la horizontal es de 0,03 rad, el valor esperado para la aceleración de acuerdo a la Ecuación 2 es de 0,294 m/s², mientras que el valor obtenido ha sido de 0,287 m/s², un resultado un poco más pequeño del valor esperado, que puede justificarse a partir del hecho de que existe un pequeño rozamiento en el sistema, que produce una disminución de la aceleración. En este caso, la discrepancia ha sido del 2%, y el error relativo un poco más elevado, del 6%. En cualquier caso, podemos concluir también que este método permite medir la aceleración del sistema con buena aproximación.

En ambos casos, hay que tener en cuenta que hemos estado midiendo diferencias de frecuencia entre la señal emitida y la señal recibida menores de 6Hz, de modo que cualquier pequeño error en la determinación de la frecuencia produce un error bastante elevado en el resto de cálculos.

De todas formas, consideramos que en este trabajo lo más importante no es la precisión del valor obtenido, sino el ser capaces de observar el efecto Doppler en un dispositivo móvil Android así como lo novedoso del método para la medida de la velocidad del sonido y de la aceleración.

Los experimentos descritos en este trabajo son bastante sencillos de realizar, por lo que pueden ser utilizados como experiencia de cátedra, para que los alumnos de Física puedan comprobar el efecto Doppler en el aula.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de ciencias de la Educación de la Universitat Politècnica de València, programa de Equipos de Innovación y Calidad Educativa, por el apoyo dado al Equipo de Innovación en Metodologías Activas para el Aprendizaje de la Física (e-MACAFI) y al Equipo de Modelización Matemática y Aprendizaje Colaborativo (MoMa).

Referencias

-  Baker B. (2005).
Dozen: Real analog solutions for digital designers.
Burlington, Massachusetts: Elsevier.
-  Butterworth S. (1930).
On the theory of filter amplifiers.
Experimental Wireless and the Wireless Engineer, 7, 536-541.
-  Cramer O. (1993).
The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO₂ concentration.
Journal of the Acoustical Society of America, 93 (5), 2510-2516.
-  Doppler C. (1842).
Über das farbige licht der doppelsterne und einiger anderer gestirne des himmels.
Abhandlungen der k. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften, 2, 465-482.
-  García C., Tapias D. (2000).
La frecuencia fundamental de la voz y sus efectos en el reconocimiento de habla continua.
Procesamiento del lenguaje natural, 26, 163-168.
-  Gómez-Tejedor J. A. (2014).
Analizador de frecuencia.
<https://play.google.com/store/apps/details?id=fqan.frequencyanalyzer>
-  Mazzoni D., Dannenberg R. (2014).
Audacity.
<http://audacity.sourceforge.net/>
-  Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P. (2007).
Numerical recipes, the art of scientific computing.
New York: Cambridge University Press.
-  Tipler P. A., Mosca G. (2008).
Physics for scientists and engineers.
New York: W.H. Freeman and Company.