

Diseño y construcción de una estación enfocada a la enseñanza de: Análisis Frecuencial, Interferencia, Lissajous y análisis de circuitos dependientes de la frecuencia

J. M. Alvarado Reyes

*Laboratorio de Acústica, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
Apartado Postal 70-348, Delegación Coyoacán, 04511 México, Ciudad de México,
e-mail: jmar@ciencias.unam.mx*

C. M. Sune Reimer López

*Prof. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
Apartado Postal 70-348, Delegación Coyoacán, 04511 México, Ciudad de México,
e-mail: ingenieromreimer@ciencias.unam.mx*

Received 22 April 2024; accepted 11 October 2024

La instrumentación utilizada en los laboratorios de enseñanza a nivel medio superior y licenciatura suele ser costosa, y los limitados recursos destinados a la educación experimental a menudo dificultan su adquisición. En la enseñanza teórica, la comprensión de un determinado concepto depende en gran medida del profesor, su conocimiento y su habilidad para comunicar ideas. La enseñanza experimental permite conceptualizar la parte teórica mediante la experimentación, proporcionando a los estudiantes la oportunidad de vivenciar los conceptos abstractos a través de la práctica. Al realizar experimentos, los alumnos pueden observar cómo las teorías se aplican en situaciones reales, lo que facilita la comprensión y asimilación de los principios científicos o técnicos. Este proceso de vincular teoría con experimentación no solo refuerza el aprendizaje, sino que también fomenta una comprensión más tangible y significativa de los conceptos, permitiendo que se interioricen de manera más efectiva. En este contexto, el presente trabajo presenta un sistema que permite reforzar cuatro de los conceptos importantes en el análisis de señales, la Transformada de Fourier, las figuras de Lissajous, la interferencia de señales y el ancho de banda, y que hasta hoy día se abordan de manera teórica o mediante la simulación. EGOS (Estación Generadora y Operadora de Señales) es una estación compuesta por dos instrumentos, un generador de señales y un sumador de señales, diseñados y contruidos específicamente para facilitar la enseñanza experimental de los conceptos antes mencionados.

Descriptor: Fourier; Lissajous; interferencia; filtros; ancho de banda.

The instrumentation used in teaching laboratories at the secondary and undergraduate levels is often expensive, and the limited resources allocated to experimental education often make it difficult to acquire. In theoretical teaching, the understanding of a given concept depends largely on the teacher, his knowledge and his ability to communicate ideas. Experimental teaching allows the theoretical part to be conceptualized through experimentation, providing students with the opportunity to experience abstract concepts through practice. By carrying out experiments, students can observe how theories are applied in real situations, which facilitates the understanding and assimilation of scientific or technical principles. This process of linking theory with experimentation not only reinforces learning, but also fosters a more tangible and meaningful understanding of the concepts, allowing them to be internalized more effectively. In this context, this work presents a system that allows four of the important concepts in signal analysis to be reinforced: the Fourier Transform, Lissajous figures, signal interference and bandwidth, which until now are addressed theoretically or through simulation. EGOS (Signal Generator and Operator Station) is a station composed of two instruments, a signal generator and a signal adder, designed and built specifically to facilitate experimental teaching of the aforementioned concepts.

Keywords: Fourier; Lissajous; interference; filters; bandwidth.

DOI: <https://doi.org/10.31349/RevMexFis.22.010217>

1. Motivación

Una de las principales motivaciones, para el desarrollo y construcción de un dispositivo como el descrito en el presente trabajo, es la necesidad de experimentar con dispositivos y elementos reales en las aulas de enseñanza. En la actualidad los conceptos tales como ancho de banda, figuras de Lissajous, interferencia, Transformada de Fourier, son conceptos que son transmitidos generación tras generación de manera

matemática y actualmente simulados empleando una computadora mediante software de alto costo o gratuito. El software empleado para el análisis de circuitos electrónicos también proporciona análisis de frecuencial y de fase. No obstante, sin duda alguna esta forma de enseñanza, en la mayoría de las ocasiones, dista mucho de la realidad. Los programas de simulación aplican generalmente fórmulas idealizando el comportamiento de señales y minimizando las características de los instrumentos. La simulación ofrece una herramienta po-

derosa para la enseñanza, permitiendo a los estudiantes visualizar y experimentar con sistemas complejos de manera segura y económica. Sin embargo, la experimentación en el mundo real presenta desafíos únicos que no se pueden replicar completamente en un entorno simulado. En la experimentación, los estudiantes aprenden a manejar variables que pueden no estar completamente modeladas en un software, como la tolerancia de los componentes, las variaciones ambientales, y la interacción física con el equipo. Estas experiencias son esenciales para desarrollar habilidades prácticas y una comprensión profunda de cómo los sistemas funcionan en la realidad.

La discrepancia entre simulación y experimentación también pone en evidencia la importancia de tener laboratorios con instrumentos que coadyuven al entendimiento de determinados conceptos. Aunque la simulación es un complemento valioso, no puede reemplazar la experiencia tangible y la capacidad de solucionar problemas reales que se adquiere a través de la experimentación directa. Si bien la simulación es útil para la preparación y comprensión teórica, la experimentación es crucial para el desarrollo de habilidades prácticas, y ninguna simulación puede sustituir el aprendizaje que se obtiene al enfrentarse a la realidad.

Es sabido que los seres humanos escuchan ondas (la voz), ven ondas (la luz), hablan ondas y detecta ondas mediante el sentido del tacto; por lo que surge una pregunta sarcástica ¿Cómo se comunicará el universo, la naturaleza, con nosotros? Una afirmación más profunda es que ¡la materia vibra! Cuando la física e ingeniería tratan de entender o comprender la materia, o cuanto nos rodea, sin duda alguna se debe estudiar y analizar señales. El setenta por ciento de los experimentos realizados en un laboratorio de enseñanza por lo general son señales en el dominio temporal. En el aula, lo esencial es la formación de conceptos, más que la exactitud en las mediciones. La enseñanza experimental de nivel superior está basada en el estereotipo de que el uso de instrumentos de alto costo está estrechamente relacionado con una mejor enseñanza; sustentado en el paradigma de que la precisión es muy importante en la enseñanza experimental; más alejado de la verdad tan injustificada aseveración. La información es más importante que la precisión, ya que la precisión aumenta su importancia según su aplicación, es decir, la precisión es muy importante en la investigación y no precisamente en la enseñanza. Esto quiere decir que la enseñanza en ocasiones se mezcla con dos conceptos indistinguibles en el proceso de aprendizaje: informar y/o formar. El entendimiento de un determinado concepto es una formación y, la importancia de medir con precisión es una información que habrá que considerar conforme la aplicación lo amerite y que impactará fuera de las aulas.

La construcción de una estación con dos instrumentos (EGOS) se presenta como una solución innovadora para facilitar el aprendizaje, en los laboratorios de enseñanza, de conceptos tales como ancho de banda, Figuras de Lissajous, interferencia, suma de señales, Transformada de Fourier. La novedad radica en que permite una exploración experimental

de temas que suelen requerir instrumentos costosos o especializados, diseñados para investigación más que para enseñanza. EGOS es un sistema valioso porque permite la coyuntura entre lo teórico y lo experimental, permitiendo que los estudiantes puedan interactuar y comprender fenómenos físicos que, de otro modo, sólo se analizan en investigación avanzada. El hecho de que estos conceptos deban ser abordados en la enseñanza, y no solo en la investigación, es una crítica válida al enfoque tradicional en laboratorios donde la tecnología avanzada a menudo excluye a los estudiantes de experiencias prácticas fundamentales para su formación.

2. Diseño de instrumentos

Como se mencionó en la motivación, se presentan en este trabajo dos instrumentos que permitirán reforzar experimentalmente conceptos de variables relacionadas con señales, en particular, *interferencia de señales, fase, figuras de Lissajous, señales en el dominio frecuencial, y por último, un concepto relevante en señales dependientes de la frecuencia, el ancho de banda y algunas de sus aplicaciones*. Todos estos conceptos son posible analizarlos experimentalmente, y que rara vez se analizan en un laboratorio de enseñanza superior.

2.1. Sumador de señales

Uno de los instrumentos inexistentes en los laboratorios de enseñanza es un sumador de señales. Con un sumador de señales es posible introducir a los estudiantes de manera experimental y sencilla al concepto de la Transformada de Fourier. Con este mismo instrumento es posible mostrar el concepto de batimiento, fenómeno que sucede cuando dos señales contienen frecuencias muy semejantes o frecuencias muy cercanas [1, 2].

El diagrama de este instrumento se presenta en la Fig. 1, es un instrumento autónomo, no requiere de una fuente de voltaje externa ya que tiene su propia fuente de voltaje, diseñada con reguladores LM7812 y LM7912. El sumador de señales está diseñado para mezclar dos o tres señales empleando un amplificador LM741. Con este instrumento es posible sumar tres señales diferentes, y cuyas características de dichas señales son voltaje de 0-24 V_{pp} y frecuencias entre 1 kHz a 10 kHz en cada canal. Este trabajo no tiene la finalidad de mostrar el funcionamiento del diagrama mostrado en la Fig. 1, pero sin duda alguna se puede revisar la bibliografía electrónica sobre la suma de señales empleando un amplificador LM741 [3–5], sólo se desea mostrar el circuito diseñado y construido para la suma de señales. *El sumador está diseñado para sumar hasta tres señales simultáneamente, ya sea empleando tres generadores de funciones independientes o empleando el generador que se describe en este trabajo más adelante. Es importante mencionar que en el mercado existen generadores de funciones con dos canales independientes de salida. Pero EGOS está compuesto de un generador de tres canales diseñado exclusivamente para que los*

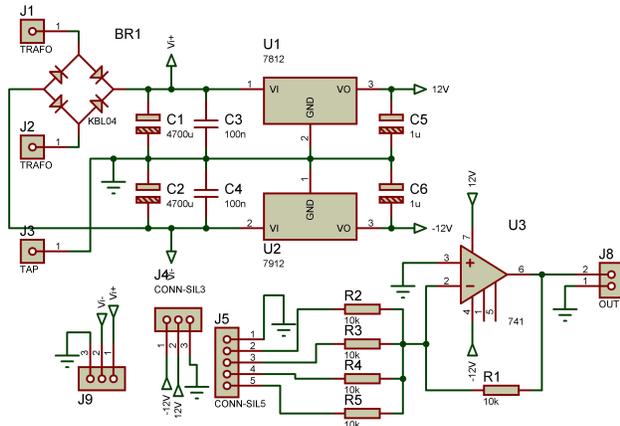


FIGURA 1. Circuito sumador de tres señales empleando un amplificador operacional LM741.



FIGURA 2. Placa PCB del circuito sumador.

alumnos comprendan los conceptos antes mencionados. Los generadores comerciales con tres o más canales son más complicados de adquirir en el mercado y su precio crece exponencialmente.

La placa PCB del circuito mostrado en la Fig. 1, se muestra en la imagen de la derecha de la Fig. 2; esta placa puede ser obsequiada si se solicita a cualquiera de los autores de este trabajo (gracias al apoyo del proyecto PAPIME PE103024). En el diagrama PCB se puede observar con claridad los componentes y su valor para que el lector sea capaz de construir su propio sumador de señales.

La imagen de la izquierda de la Fig. 2 muestra la caja del sumador terminada, este dispositivo entrega a su salida la suma de dos o tres señales ingresadas a las entradas BNC enumeradas del 1 al 3 como se muestra al costado.

2.2. Generador de tres canales (Fase, barrido, FFT).

Sin duda alguna existen generadores de funciones de bajo costo de un solo canal cuyo precio oscila entre \$4000 a \$10,000 MN/100, este precio varía según el ancho de banda de frecuencias que proporciona el instrumento. Existen generadores de dos canales que son más caros y cuyo precio oscila entre \$7,000 y \$55,000 [6–8]. Generalmente este tipo de instrumentos son empleados en la investigación y su uso en los laboratorios de enseñanza es un exceso, debido a que la mayor parte de las funciones con las que cuentan estos ins-

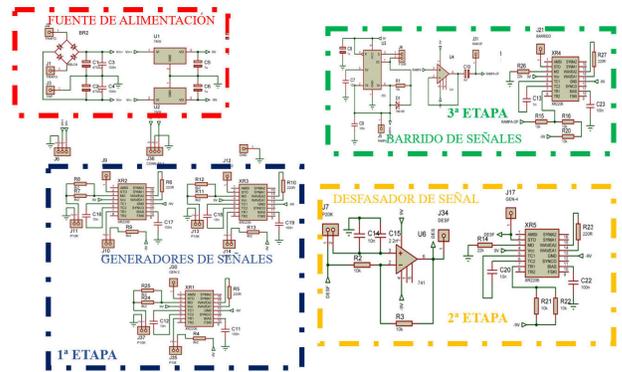


FIGURA 3. Diagrama de bloques del generador de señales.

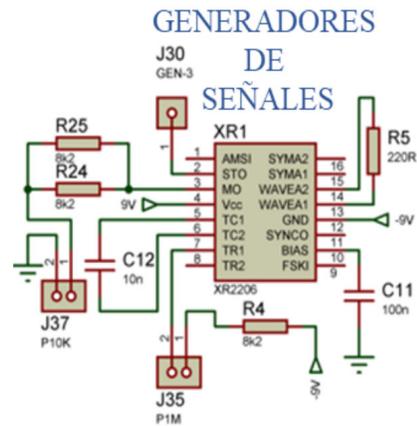


FIGURA 4. Generador de señal sinusoidal, con amplitud (J13) y frecuencia variable (J14).

trumentos de patente de alto costo difícilmente se emplean en las prácticas o experimentos de laboratorios de enseñanza.

En la Fig. 3 se presenta el diagrama del generador de señales, en dicho circuito se muestran las etapas construidas. Una etapa muestra una fuente de alimentación empleada para alimentar tres importantes etapas que constituyen al generador y que son: los tres generadores de señales sinusoidales, el desfasador y la etapa de barrido de señales. La etapa de generación de señales consta de tres integrados que proporcionan señales sinusoidales mediante el uso de elementos adecuados. La segunda etapa proporciona el desfasamiento de dos señales y finalmente, la tercera etapa proporciona un barrido de señales con un ancho de banda 100 kHz.

2.2.1. Etapa 1. Generador de señales

Esta primera etapa emplea tres circuitos integrados; el XR2206, [9, 10], es un generador de señales monolítico capaz de generar señales sinusoidales, cuadradas, triangulares y rampas. Los circuitos integrados monolíticos (o CI monolíticos) son chips de circuitos electrónicos que contienen todos los elementos lógicos necesarios, almacenamiento y otros componentes esenciales empaquetados en una sola pieza de semiconductores. La Fig. 4 muestra las conexiones de

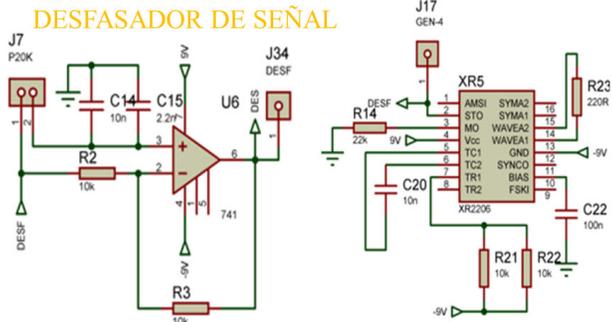


FIGURA 5. Etapas del desfasador.

un XR2206 con los elementos externos necesarios para producir una señal sinusoidal. Para el control de la amplitud y la frecuencia de la señal se emplean dos potenciómetros: J13 (controla el voltaje) y el J14 (controla la frecuencia de la señal).

2.2.2. Etapa 2. Desfasamiento de señales

El desfasador, [11–13], está conformado por un circuito integrado XR2206 y un amplificador operacional LM741 empleado como desfasador de señal. El elemento XR5, mostrado en el diagrama de la derecha de la Fig. 5, corresponde al circuito integrado XR2206. Esta parte del circuito genera la señal sinusoidal a una frecuencia y amplitud fija, y su salida se puede observar empleando un osciloscopio en J17 de la Fig. 5. Esta señal se envía a la entrada del circuito integrado LM741 a través de J7 que corresponde a un potenciómetro empleado para cambiar la fase de la señal de entrada, Fig. 5 extrema izquierda. Finalmente, las señales proporcionadas por J34 y J17 son enviadas al osciloscopio en dos canales diferentes para analizar la interferencia de señales observando su desfasamiento simultáneamente.

Para observar el desfasamiento se obtiene una señal del XR2206 (salida J17), la cual se introduce (entrada DESF) al desfasador construido con el LM741. La salida del desfasador (J34) se compara con la salida J17. Las señales de las salidas de J17 y J34 tienen variaciones de fase desde 0°C a 180°C.

El concepto del desfasamiento no es sencillo realizarlo experimentalmente, los generadores que permiten hacer un desfasamiento son de alto costo. El desfasamiento es un concepto importante empleado en el análisis de señales, rara vez estudiado experimentalmente, pero con frecuencia es estudiado teóricamente, empleando señales sinusoidales. Entre los conceptos más empleados en algunos fenómenos físicos está el concepto de interferencia constructiva o destructiva; así mismo, sirve para estudiar las figuras de Lissajous, conceptos que se desarrollarán más adelante.

2.2.3. Etapa 3. Barrido de señal

El barrido de señales es una herramienta poco empleada, o desconocida, en los laboratorios de enseñanza, [14], es una

etapa importante y pocos generadores tienen la capacidad de proporcionar dicho barrido de frecuencia. Este tipo de señales permite conocer la respuesta en frecuencia de circuitos, en general, dependientes de la frecuencia. Además, permite el análisis de filtros pasa altos, pasa bajos, pasa bandas, etc. Estos circuitos son estudiados en cursos elementales de laboratorio de electrónica, por lo que esta etapa del instrumento EGOS es de gran utilidad en el análisis y estudio de circuitos dependientes de la frecuencia. Así mismo esta etapa, poco empleada, en los laboratorios de enseñanza, permite a los alumnos reafirmar un concepto tan importante como lo es el ancho de banda, que no sólo es concepto de circuitos electrónicos, sino también de fenómenos físicos.

La etapa de barrido de señales, Fig. 6, lo comprenden dos etapas, el circuito de la izquierda de la Fig. 6 es un circuito que permite realizar una variación de voltaje lineal, o rampa, la cual se introduce en un circuito que emplea un XR2206, usado para generar señales sinusoidales; entre las propiedades importantes de este circuito integrado está la variación de frecuencia de la señal mediante la variación del voltaje se logra con la rampa.

La Fig. 7 muestra la PCB del circuito de la Fig. 6, en la cual están las etapas antes descritas.

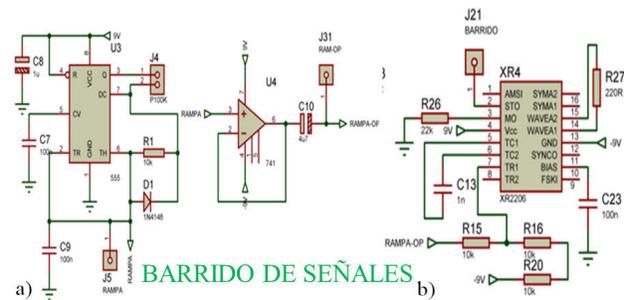


FIGURA 6. Se presentan las dos etapas que conforman un barrido de señal. a) Generador de la rampa. b) Entrada de voltaje producido por la rampa de a).

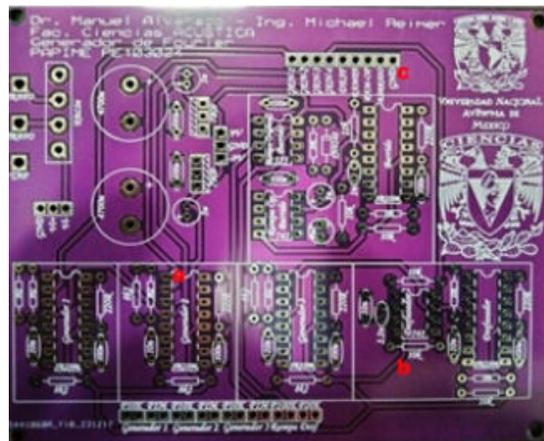


FIGURA 7. PCB del generador de señales. a) Proporciona tres señales independientes en voltaje y frecuencias. b) Desfasador de señal proveniente de un generador de señal. c) Barrido de señal empleando un generador de señales XR 2026.



FIGURA 8. EGOS Estación Generadora Operativa de Señales.

La Fig. 8 representa la caja terminada de la Estación Generadora y Operadora de Señales (EGOS). Este generador, igual que el sumador representado en la Fig. 3, está diseñado con una robustez que garantiza su duración de uso en los laboratorios de enseñanza, ambos instrumentos conforman la estación. EGOS está diseñada para mostrar fundamentalmente cuatro conceptos, con el apoyo de un osciloscopio, relevantes en la ciencia e ingenierías: Transformada de Fourier, Ancho de banda de una señal y sus aplicaciones, Figuras de Lissajous (en fase y frecuencia) y por último, interferencia constructiva y destructiva de señales. Conceptos que generalmente son estudiados de manera teórica y pocas veces experimentalmente.

3. Aplicaciones y análisis de señales de EGOS

3.1. Introducción a la transformada de Fourier

En un artículo de docencia, [15], sobre el uso experimental de la transformada de Fourier se reportó que el 86 % de los estudiantes y 71 % de los profesores encuestados no habían aplicado experimentalmente la transformada de Fourier. Si bien no debería ser una necesidad según el área de investigación de los egresados; debería ser un tópico en áreas de ciencias e ingenierías que todos los estudiantes deberían experimentar con este importante concepto y herramienta, como una incuestionable necesidad.

La Fig. 9 muestra la aplicación de la transformada de Fourier. Las imágenes a), b) y c) muestran la transformada de

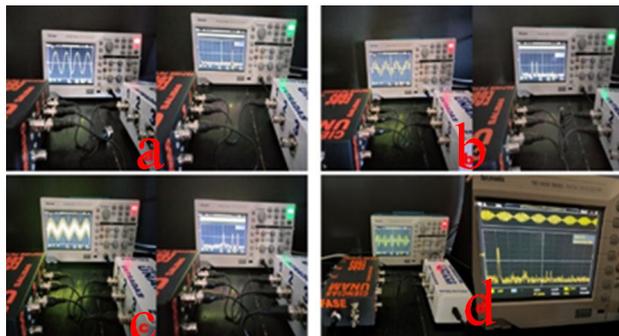


FIGURA 9. Introducción a la transformada de Fourier: a) Una señal y su FFT, b) Dos señales y su FFT, c) tres señales y su FFT, d) Dos señales con frecuencias muy cercanas (batimiento) y su FFT.

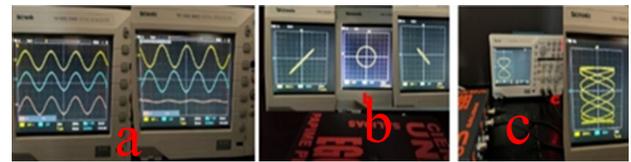


FIGURA 10. a) Desfasamiento: Interferencia constructiva y destructiva. b) Figura de Lissajous de las señales desfasadas. c) Figuras de Lissajous de dos señales de diferentes frecuencias.

Fourier para una señal sinusoidal, dos señales y tres señales respectivamente; mostrando claramente la importancia de un análisis frecuencial aplicando la transformada de Fourier experimentalmente. La imagen d) muestra, por un lado, el batimiento, [1, 2], de señales en el dominio temporal. El batimiento es un fenómeno que se produce cuando dos señales tienen frecuencias semejantes o muy cercanas.

3.2. Figuras de Lissajous

En la Fig. 10 se observan las imágenes de la suma de dos señales desfasadas. En la imagen (a) es posible observar el fenómeno de interferencia. La imagen de la izquierda son dos señales en fase y se produce una interferencia constructiva, mientras que la imagen de la derecha muestra una interferencia destructiva. El resultado de dicho ejercicio se muestra en la traza rosa a). Mediante este ejercicio es posible comprender el concepto de interferencia constructiva y destructiva. La imagen b) muestra otra perspectiva del resultado del mapeo estas dos señales desfasadas vistas mediante las figuras de Lissajous. Siendo el círculo cuando las dos señales están desfasadas 90° .

Uno de los conceptos que en ocasiones es más complicado entender es el comportamiento de las figuras de Lissajous con señales de diferentes frecuencias, aunque existen gráficas en la bibliografía, y simulaciones, pocas veces puede realizarse este fenómeno de forma experimental, como se puede observar en la imagen c) de la Fig. 10.

3.3. Barrido de frecuencias y sus aplicaciones

El barrido de señales es un concepto poco conocido y pocas veces empleado, esto es posible por el desconocimiento de



FIGURA 11. Barrido de señales, la imagen de la izquierda es el dominio temporal y la de la derecha el dominio frecuencial, en este dominio es donde se mide el ancho de banda de una señal proveniente de un fenómeno físico o sistema electrónico.

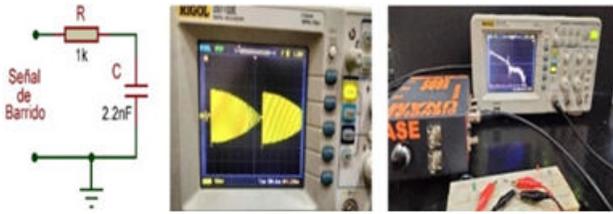


FIGURA 12. Filtro pasa bajos.

de dicho barrido; no obstante, es una importante herramienta que además de mostrar el ancho de banda de una señal, su uso permite conocer el comportamiento frecuencial de un determinado sistema o circuito. La Fig. 11 muestra el barrido proporcionado por EGOS.

3.3.1. Filtro pasa bajos

La Fig. 12 presenta el diagrama, extrema izquierda, de un circuito pasa bajos [3–5], circuito que es indispensable analizar en un curso elemental de electrónica.

La imagen central de la Fig. 12 muestra el comportamiento temporal de la salida de un circuito pasa bajos al introducir un barrido de señales o frecuencias. En dicha imagen es muy claro cómo decae la amplitud de la señal de salida del circuito. Por otro lado, el comportamiento frecuencial, imagen extrema derecha, muestra con claridad la disminución de la amplitud conforme aumentan las frecuencias; mostrando de esta manera lo que se conoce, en el argot de electrónica, como el respuesta en frecuencia de un circuito o sistema electrónico.

3.3.2. El circuito pasa altos

La Fig. 13 presenta el diagrama, extrema izquierda, de un circuito pasa altos, [3–5], circuito que es indispensable analizar en un curso elemental de electrónica.

La imagen central de la Fig. 13 muestra el comportamiento temporal de la salida de un circuito pasa altos al introducir el barrido de señales. En dicha imagen es muy claro cómo aumenta la amplitud de la señal de salida del circuito. Por otro lado, el comportamiento frecuencial, imagen extrema derecha, muestra con claridad el aumento de amplitud conforme aumentan las frecuencias; mostrando de esta manera lo que se conoce, en el argot de electrónica, como el respuesta en frecuencia de un circuito o sistema electrónico.

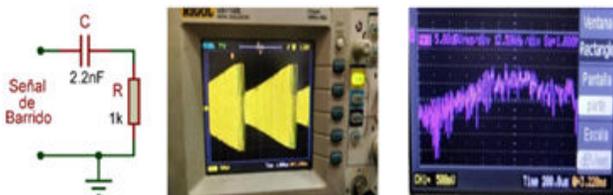


FIGURA 13. Filtro pasa altos.

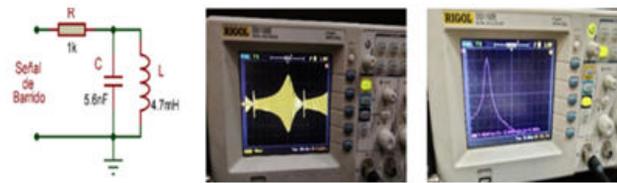


FIGURA 14. Filtro resonante.

3.4. Filtro resonante

La Fig. 14 presenta el diagrama, extrema izquierda, de un circuito resonante [3–5], otro circuito que es indispensable analizar en un curso elemental de electrónica.

La imagen central de la Fig. 14 muestra el comportamiento temporal de un barrido de señales introducido a un circuito RLC, imagen extrema izquierda de la Fig. 14. Finalmente, en la imagen extrema derecha se muestra la Transformada de Fourier del mismo circuito. Este fenómeno se conoce como resonante y se identifica cuando hay una máxima amplitud para una frecuencia determinada, y frecuencias antes o después de este punto máximo la amplitud de la señal disminuye, mostrando de esta manera lo que se conoce, en el argot de electrónica, como respuesta en frecuencia de un circuito o sistema electrónico.

Con los ejemplos anteriores se pretende mostrar la gran utilidad de EGOS, en el sentido extenso de la palabra. Esta estación está enfocada exclusivamente a introducir a los alumnos de ciencias exactas e ingenierías ha experimentar conceptos que generalmente son revisados de manera teórica y, en el mejor de los casos, analizando fenómenos físicos. Los filtros analizados son circuitos que aún en los laboratorios de electrónica se estudian mapeando las amplitudes de salida del circuito que se está analizando.

La estación EGOS no es un sistema electrónico complejo, y si es un sistema que resuelve problemas importantes en la enseñanza. Mostrando que **para un gran conocimiento no se requiere instrumentación de alto costo**. La realización de EGOS no es fortuita, este sistema se ha estado trabajando desde hace más de 20 años. El primer instrumento fue diseñado y creado en 1997, [16, 17]. Cabe mencionar que, aunque distan mucho en semejanza, el primer diseño fue creado enfocado al análisis de filtros; y sin el fin de ser presuntuoso, a partir del año 2002, comenzaron a adquirirse generadores de barrido en los laboratorios de enseñanza.

4. EGOS: Análisis didáctico y técnico vs instrumentos comerciales

La necesidad de experimentar en lugar de simplemente simular circuitos electrónicos es fundamental para la formación de ingenieros y técnicos competentes; con lo que se adquiere una mayor comprensión de las limitaciones reales, desarrollo de habilidades prácticas, resolución de problemas reales, interacción con el entorno físico, validación de diseños y la formación integral; coadyuvando la experimentación con la si-

mulación al proporcionar una comprensión integral del comportamiento de los circuitos o fenómenos físicos. La combinación de teoría, simulación y experimentación es lo que realmente prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo real. En resumen, la experimentación no solo refuerza los conocimientos teóricos, sino que también desarrolla habilidades esenciales para la práctica profesional. Es por eso que, aunque la simulación es una herramienta valiosa, la necesidad de experimentar con circuitos electrónicos en un entorno real es insustituible.

4.1. EGOS: Un sistema compuesto de dos instrumentos

1. Generador de señales sinusoidales: Tiene la capacidad de proporcionar tres señales simultáneamente. Los instrumentos de patente solo tienen hasta dos canales de salida. EGOS requiere de un osciloscopio para observar las frecuencias de las señales salientes, pero esta limitante solo garantiza la certeza o calibración que lo que se está enviando es lo mismo que recibe el osciloscopio.

El generador tiene con tres canales de salida, Fig. 15a), que proporcionan señales sinusoidales en cada canal, con una amplitud máxima de 3 Vpp, y con un intervalo de frecuencia por canal de 1 kHz hasta 15 kHz. La Fig. 15b), proporciona a la salida dos señales sinusoidales desfasadas, con lo que el estudiante será capaz de visualizar el comportamiento de dos señales desfasadas en tiempo real empleando un osciloscopio. Así mismo, el osciloscopio permitirá visualizar las figuras de Lissajous, como se mostró en la Fig. 10. Por último, en la Fig. 15c) se tiene la salida de señales, una de ellas sirve para mostrar el tiempo de barrido, este control puede ajustarse al tiempo de muestreo en los osciloscopios. En esta misma etapa se proporciona el barrido de señales con un ancho de banda de 100 kHz, en un intervalo de frecuencias de 10 kHz a 110 kHz.

2. El sumador es otro instrumento que forma parte de EGOS, así mismo es otra de las partes innovadora del sistema del presente trabajo, debido a que en los laboratorios de enseñanza no existen sumadores de señales. El sumador permite mezclar hasta tres señales simultáneamente, coadyuvando a introducir al alumno a la Transformada de Fourier de manera sencilla y versátil. El sumador se describió en la Fig. 9 del apartado 3.3.1. Este instrumento difiere enormemente con la suma de señales proporcionada por el osciloscopio; si bien el osciloscopio suma señales, no tiene la capacidad de obtener la Transformada de Fourier de la suma, solo es capaz de obtener la transformada de un solo canal, como se muestra en la Fig. 16.

Una de las limitantes del sumador es que la suma de sus señales no debe exceder 12Vpp, y señales cuya frecuencia no excedan los 200 kHz. Estas limitaciones no impiden de ninguna manera que los estudiantes sean capaces de relacionar los conceptos antes mencionados.

El sistema EGOS, al estar compuesto por un generador de señales y un sumador de señales, no debería compararse directamente con un generador de funciones comercial. EGOS

está diseñado para cumplir un objetivo específico que es generar señales sinusoidales y combinarlas para estudiar y analizar su comportamiento frecuencial, lo cual es perfecto para aplicaciones educativas. El generador de señales proporciona una señal sinusoidal ajustable en frecuencia y amplitud dentro de un margen razonable, con un enfoque didáctico. El Sumador de señales permite la combinación de señales, lo que abre la puerta a experimentos que involucren la superposición de ondas o análisis de interferencias, algo que no es común en generadores de funciones comerciales básicos. La interfaz manual de ajuste de EGOS, aunque menos precisa, es ideal para entornos donde el objetivo es el aprendizaje de los principios fundamentales. EGOS no está cargado de funciones innecesarias para su propósito principal, como señales cuadradas o rampas, solo se enfocan en una operación esencial y eficiente.

Los generadores de funciones comerciales proporcionan una variedad de formas de onda (sinusoidal, cuadrada, diente de sierra, rampa, etc.) con gran precisión en frecuencia y amplitud. Estos instrumentos comerciales son herramientas mucho más flexibles y potentes, aptos para investigación avanzada y aplicaciones industriales. Un solo generador de señales incluye todas las funciones, lo que lo hace conveniente para usuarios que requieren versatilidad y precisión en distintos contextos. Incluye pantalla digital para visualizar la señal generada, ajustes finos, y la capacidad de generar señales complejas y realizar cálculos matemáticos. Sin embargo, muchas de estas funciones son irrelevantes para los objetivos básicos de EGOS. Aunque más caro y complejo, es una opción poderosa cuando se necesitan mediciones precisas y una amplia variedad de señales para aplicaciones diversas.

Comparar EGOS con un generador de funciones comercial podría ser injusto para los generadores comerciales debido a que su diseño y objetivo son diferentes. Es injusto porque EGOS es un sistema con dos instrumentos y está destinado a un uso más específico y educativo, enfocándose en la enseñanza de principios básicos de mezclas de señales sinusoidales. En cambio, un generador de funciones comercial está diseñado para ofrecer un abanico más amplio de funciones con mayor precisión, lo cual es innecesario para los fines por lo que se construyó el sistema EGOS.

Por tanto, EGOS debe evaluarse no en términos de competencia con equipos comerciales, sino en cómo satisface su propósito educativo y experimental en un entorno de laboratorio básico. EGOS es una excelente herramienta educativa cuando el objetivo es entender los principios básicos de las señales sinusoidales y su comportamiento en el dominio frecuencial, con un diseño simple y económico. Sin embargo, para aplicaciones que requieren mayor precisión, diversidad de señales o análisis más avanzado, un generador de señales comercial sería más adecuado, aunque a un mayor costo y complejidad que puede no ser necesaria para fines educativos. EGOS se destaca como un sistema innovador debido a su enfoque en temas que, hasta la fecha, solo habían sido explorados teóricamente o mediante la simulación. La propues-

ta y realización de un sistema diseñado específicamente para abordar estos temas lo convierten en un producto interesante para aborar los temas mencionados en el presente trabajo.

5. Conclusiones

El sistema EGOS, mostrado en este trabajo, consta de una etapa generadora de señales de tres canales y un sistema que suma dichas señales. Con dicha suma es posible mostrar una de las aplicaciones más importantes en la ciencia e ingeniería: La Transformada de Fourier experimentalmente. Así mismo, y de manera independiente, proporciona una señal de barrido que además pretende mostrar el concepto de ancho de banda, también es empleado para mostrar el comportamiento en frecuencias de circuitos RLC. Por otro lado, el concepto de desfaseamiento es un concepto que la física y la ingeniería menciona con mucha frecuencia. EGOS sin duda es innovador, diseñado para transmitir temas que hoy por hoy se siguen revisando de manera teórica; y aún no existen instrumentos de alto costo que permitan al estudiantado experimentar dichos temas.

La opinión de los autores es que, el error que se está cometiendo en las universidades, y sus profesores, es estar convencidos que sin equipo de alto costo no es posible transmitir conocimiento. Las universidades deben tener un departamento enfocado a la creación de dispositivos electrónicos, eléctricos y mecánicos que conceptualicen temas del argot científico. Esto sin duda disminuiría los costos de equipo y la enseñanza.

Existen instrumentos que no pueden postergarse por ser importantes en el avance del conocimiento. En este trabajo se presenta una propuesta de un instrumento de bajo costo que permitirá a los estudiantes de licenciatura a comprender, experimentalmente conceptos importantes en el área de la física, ingeniería y carreras afines con mayor facilidad. Conceptos que generalmente se estudian solamente de manera teórica. Su versatilidad y su enfoque hacen que el instrumento presentado en este trabajo sea novedoso.

Este trabajo destaca la necesidad de complementar la enseñanza teórica con la experimentación práctica, mediante dispositivos accesibles en laboratorios educativos. Aunque las simulaciones computacionales son útiles para visualizar y analizar conceptos complejos, no pueden reemplazar la experiencia práctica que brinda el manejo directo de los equipos, donde los estudiantes aprenden a enfrentar las imperfecciones y variables del mundo real. El dispositivo EGOS se presenta como una solución innovadora para enseñar conceptos avanzados, como el ancho de banda y la Transformada de Fourier de manera asequible, permitiendo a los estudiantes interactuar con estos fenómenos en un entorno experimental. La enseñanza debe priorizar la formación conceptual más que la precisión técnica, y que la experiencia práctica es fundamental para el aprendizaje.

El sistema EGOS, compuesto por un sumador y un generador de señales sinusoidales, destaca por su innovación, ya que no existe en el mercado un dispositivo similar que combine estas funciones de manera integrada. Su costo accesible, entre \$2000 y \$3000, lo convierte en una solución viable frente a la alternativa de acoplar instrumentos individuales, cuyo costo ascendería a aproximadamente \$10,000. Esta característica refuerza la propuesta de EGOS como una herramienta innovadora y económica para facilitar la enseñanza de conceptos avanzados en los laboratorios educativos, y como un punto más a favor de EGOS es que es un sistema que puede ser reproducido y reparado en cualquier laboratorio que conste de soldadura, cautín y elementos electrónicos de fácil adquisición.

Agradecimiento

Los autores deseamos agradecer a DGAPA UNAM por el apoyo económico, mediante el proyecto PAPIME PE103024 para la construcción de EGOS. Con su apoyo fue posible realizar varios de estos dispositivos, que fueron obsequiados en varios laboratorios de la Facultad de Ciencias de la UNAM, para ser promovidos y empleados en cursos de laboratorios.

1. H. y K. Resnick, *Física*, Vol I. México. Ed. Ccsa. Pp. 564.
2. Hecht. *Optics*, 5ed, Pearson, Pp. 294, ISBN 13: 978- 0-133-97722-6
3. Floyd. *Dispositivos Electrónicos*, 8ª Ed. Pearson Prentice Hall, Pp. 593
4. I. B. Henaó, J. I. Calle Pérez, D. Hernando Orozco, Sergio Gómez, O. Hernando Ruiz *Introducción a la Electrónica Componentes y Aplicaciones*, Institución Universitaria Pascual Bravo, Fondo Editorial RED Descartes, Pp. 299, ISBN: 978-84-18834-24-0
5. Hermosa, A. *Principios de electricidad y electrónica II*, Marcombo, Barcelona, (1999) 143-144.
6. GENE <https://www.cedesa.com.mx/bkprecision/generadores-funciones/analogicos/4010A/>
7. GENE2 https://www.globaltestsupply.com/product/bk-precision-4011a-5-mhz-function-generator?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA440tBhAOEiwAj4gpOTcSUy2UbQ69Ax1N3GaGGq6ZKdr3H1dEHcxFl3WynZWhoP0garQC1BoCHrcQAvD.BwE
8. GENE3 <https://www.inceleris.com.mx/producto/generador-de-funciones-mfg-2000/>
9. TESIS <https://www.incb.com.mx/index.php/articulos/9-articulos-tecnicos-y-proyectos/735-generador-de-funciones-com-el-xr2206-ins019s>

10. INSTRU <https://www.uctronics.com/download/Amazon/U6035.pdf>
11. F. Coughlin Robert, and F. F. Driscoll, *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*, 5^a edición. Prentice Hall Hispanoamerica, México, 1999, Pp.139-140
12. M. Piedra, R. Cardona, and G. Mosquera, *Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo*, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, (2000) Caracas, Pp. 59.
13. R. L. Boleystad, *Introducción al análisis de circuitos*, Pearson Educación, México, 2004, 535-537.
14. R. Cárdenas, *Generador de barrido de bajas frecuencias*, Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, 1974.
15. J. M. Alvarado Reyes and C. Stern Forgach, Introduction to the Fourier transform studying the oscillations of a pendulum, *Rev. Mex. Fis. E* **20** (2023) 020210.
16. J. Darío Guzmán López, J. Manuel Alvarado R., Generador de audiobarrido para análisis de sistemas dependientes de la frecuencia, *Rev. Mex. Fís.* **45** (1999) 418.
17. J. Darío Guzmán López, J. Manuel Alvarado R., Nueva Forma de Enseñanza de Circuitos Eléctricos y electrónicos, *Rev. Mex. Fís.* **44** (1998) 312.