

Mecanismo de generación pseudoaleatorio para el diseño automático de filtros analógicos pasivos

Braulio Jesús Montoya Padilla¹, Aurora Torres Soto¹,
María Dolores Torres Soto²

¹ Universidad Autónoma de Aguascalientes,
Departamento de Ciencias de la Computación,
México

² Universidad Autónoma de Aguascalientes,
Departamento de Sistemas de Información,
México

al188428@edu.uaa.mx, {atorres, mdtorres}@correo.uaa.mx

Resumen. Este trabajo presenta un innovador mecanismo de generación pseudoaleatorio desarrollado específicamente para el diseño automático de filtros analógicos pasivos, el cual tiene como principal ventaja disminuir el costo computacional asociado con la simulación de los circuitos generados aleatoriamente. Ya que el mecanismo garantiza que cualquier circuito generado se va a poder simular, eliminando la necesidad de descartar diseños no viables. El mecanismo propuesto utiliza una serie de reglas y restricciones cuidadosamente definidas que guían el proceso de generación, asegurando que los componentes y las conexiones resultantes cumplan con los requisitos básicos de un filtro analógico pasivo funcional. Para demostrar la eficiencia del mecanismo, se incluye un ejemplo detallado en el que se analiza el comportamiento del circuito y observa que el circuito generado tiene el comportamiento esperado por un filtro, validando así la efectividad del método de generación pseudoaleatoria. Este mecanismo tiene el potencial de acelerar significativamente el proceso de diseño y optimización de filtros analógicos pasivos en diversas aplicaciones de ingeniería eléctrica.

Palabras clave: Generación de circuitos, diseño automático, circuitos analógicos, filtros.

Pseudorandom Generation Mechanism for the Automatic Design of Passive Analog Filters

Abstract. This work presents an innovative pseudo-random generation mechanism developed specifically for the automatic design of passive analog filters, which has the main advantage of reducing the computational cost associated with the simulation of randomly generated circuits. The mechanism guarantees that any generated circuit can be simulated, eliminating the need to discard unfeasible designs. The proposed mechanism uses a set of carefully

defined rules and constraints to guide the generation process, ensuring that the resulting components and connections meet the basic requirements of a functional passive analog filter. To demonstrate the efficiency of the mechanism, a detailed example is included in which the behavior of the circuit is analyzed, and it is observed that the generated circuit has the expected behavior for a filter, thus validating the effectiveness of the pseudo-random generation method. This mechanism has the potential to significantly accelerate the design and optimization process of passive analog filters in various electrical engineering applications.

Keywords: Circuit generation, automatic design, analog circuits, filters.

1. Introducción

El diseño de circuitos es una tarea que se realiza partiendo de circuitos simples que posteriormente se les añaden ciertas características, se encuentran fallas y se corrigen errores hasta encontrar el funcionamiento deseado. Por esto los diseñadores de circuitos necesitan de su experiencia, su conocimiento y su habilidad para diseñar circuitos que cumplan un funcionamiento deseado [1].

Claramente esta tarea llega a consumir mucho tiempo, dinero y esfuerzo, por lo que existe gran esfuerzo para automatizar el diseño de circuitos eléctricos para disminuir los costos de producción. Pero esta también es una tarea que requiere de muchos esfuerzos, ya que los algoritmos deben contener la experiencia y los conocimientos de los diseñadores [2].

En el presente artículo se propone un mecanismo de generación pseudoaleatorio de filtros analógicos pasivos. Se dice pseudoaleatorio ya que los circuitos no se construyen considerando todas las combinaciones posibles, sino que parten de topologías que garantizan que el circuito generado va a simular correctamente. Debido a que la simulación ayuda a evaluar el funcionamiento del circuito, y es esta una tarea que consume más recursos computacionales.

Este mecanismo de generación pseudoaleatorio es el primer paso en el diseño automático de filtros analógicos pasivos. Ya que este puede ser utilizado para generar soluciones iniciales, las cuales pueden ser tomadas por algoritmos de optimización para mejorar los circuitos y aproximarlos a un filtro ideal.

2. Filtro analógico pasivo

En general un filtro se describe como un dispositivo que de un modo específico puede modificar una señal. En otras palabras, estos dispositivos permiten el paso de una señal en ciertas bandas de frecuencia y la bloquean en otras [3]. Y éstos se pueden clasificar según el tipo de señal que procesan:

- **Analógicos:** Los filtros analógicos son diseñados para tratar señales analógicas, y durante el procesamiento de la señal esta puede tomar cualquier valor en un intervalo de tiempo.

- **Digitales:** Los filtros digitales son diseñados para tratar señales digitales, y durante el procesamiento de la señal esta solo puede tomar valores discretos en un intervalo de tiempo.

O bien, se pueden clasificar por su ganancia:

- **Activos:** Un filtro activo tiene el mismo propósito que un filtro pasivo, con la diferencia de que en su construcción se suelen usar tantos elementos pasivos como elementos activos, por eso estos filtros suelen contar con amplificadores operacionales, lo que hace que sean de mayor factor de calidad.
- **Pasivos:** Un filtro pasivo está conformado por componentes pasivos, como lo son las resistencias, conductancias e inductancias; estos dos últimos son los elementos reactivos del filtro, es decir, son elementos que hacen que cambie la fase de la corriente que pasa por ellos. El número de componentes reactivos determina el orden del filtro.

La función de un filtro analógico pasivo consiste en alterar una señal de entrada para obtener sus propiedades aprovechables en ciertas circunstancias, eliminando las propiedades que se quieren ignorar. Estos filtros son usados para seleccionar un conjunto determinado de frecuencias de una señal para amplificarlas, atenuando el conjunto excluido, siendo de especial utilidad en el mundo del audio y las comunicaciones [4].

El principio de funcionamiento de un filtro pasivo se basa en que la impedancia de algunos elementos es variable con la frecuencia, de manera que cuando se disponen de la manera apropiada algunas frecuencias permanecen inalteradas, mientras que otras sufren distintos grados de atenuación. Los elementos de impedancia variable son la capacitancia y la inductancia. Estos pueden emplearse con una resistencia formando filtros de primer orden.

2.1. Aplicaciones de los filtros

A continuación, se describen algunas de las aplicaciones de los filtros analógicos pasivos [5].

- Los filtros del tipo pasa bajas son utilizados para proteger componentes electrónicos de repentinos picos de frecuencia.
- Los filtros del tipo pasa altas son utilizados para reducir el desplazamiento entre etapas de amplificación de una señal.
- Los filtros del tipo pasa bandas son utilizados en dispositivos de medición de comunicación y de procesamiento de señales.
- Los filtros del tipo rechaza bandas son utilizados para eliminar los rangos de frecuencias que generan ruido en una señal, en otras palabras eliminan las interferencias de un señal.

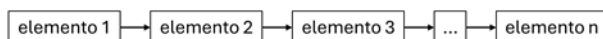


Fig. 1. Codificación de un circuito mediante una lista.

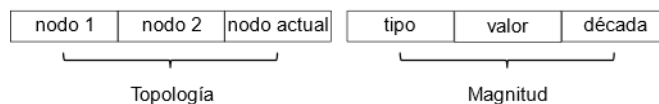


Fig. 2. Codificación de un elemento del circuito.

Tabla 1. Nodos reservados.

Conexión	Nodo
Inicio	1
Final	1002
Tierra	0

Tabla 2. Series de valores comerciales.

Valor	E12	E6	E3
0	10	10	10
1	12	15	22
2	15	22	47
3	18	33	
4	22	47	
5	27	68	
6	33		
7	39		
8	47		
9	56		
10	68		
11	82		

Tabla 3. Codificación de la magnitud para cada elemento.

Elemento	Tipo	Valor	Década
Capacitancia	0	E6 (0 – 5)	$10^{-5} - 10^{-9}$ (0 – 4)
Resistencia	1	E12 (0 – 11)	$10^1 - 10^6$ (0 – 5)
Inductancia	2	E12 (0 – 11)	$10^{-1} - 10^{-6}$ (0 – 5)

3. Representación de circuitos

A fin de generar circuitos analógicos pasivos automáticamente, se debe establecer como se van a representar en la computadora. Existen distintas formas de representar un circuito, pero la mayoría de las representaciones coinciden en que una buena forma de representar un circuito en la computadora es mediante una lista encadenada.

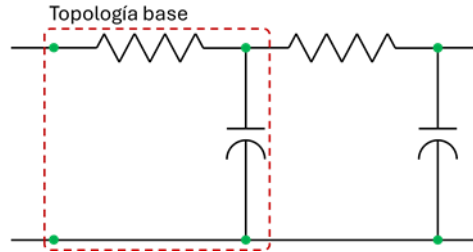


Fig. 3. Ejemplo de circuito con una topología base que se replica dos veces.

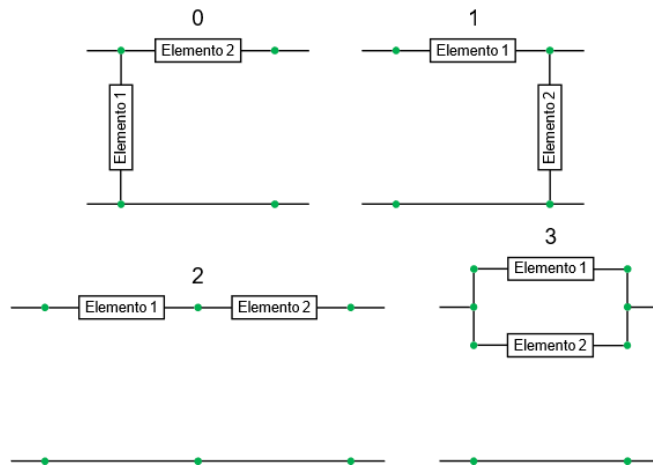


Fig. 4. Topologías base para circuitos con dos elementos.

Tabla 4. Disposición de elementos para circuitos con dos elementos diferentes.

Disposición	Elemento 1	Elemento 2
0	Capacitancia	Resistencia
1	Capacitancia	Inductancia
2	Resistencia	Capacitancia
3	Resistencia	Inductancia
4	Inductancia	Capacitancia
5	Inductancia	Resistencia

Tal como lo proponen los autores en el artículo Mecanismo de representación para la evolución automática de circuitos analógicos [6].

El circuito se codifica como una lista de n elementos, es decir, cada componente de la lista contiene la información del n-ésimo elemento, como se muestra en la Fig. 1.

Mientras que cada componente de la lista (o elemento del circuito) se codifica considerando su topología y su magnitud. En donde la topología es la información sobre la conexión del elemento mediante un nodo 1, un nodo 2 y un nodo actual, y la magnitud

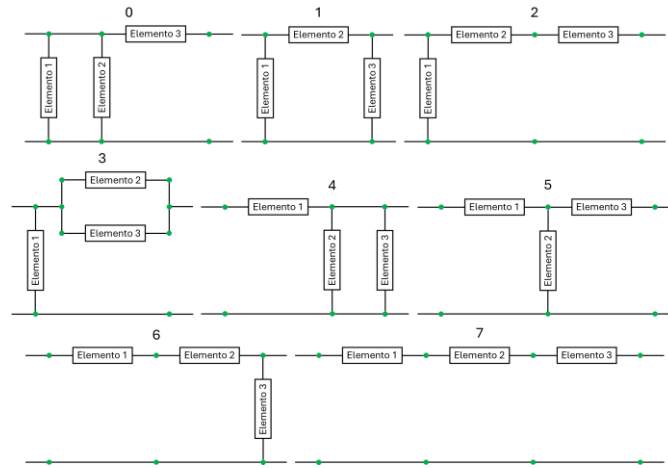


Fig. 5. Topologías base para circuitos con tres elementos (Parte 1).

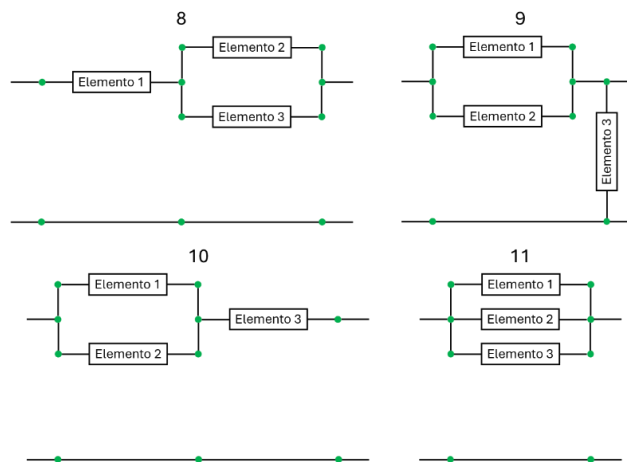


Fig. 6. Topologías base para circuitos con tres elementos (Parte 2).

Tabla 5. Disposición de elementos para circuitos con tres elementos diferentes.

Disposición	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
0	Capacitancia	Resistencia	Inductancia
1	Capacitancia	Inductancia	Resistencia
2	Resistencia	Capacitancia	Inductancia
3	Resistencia	Inductancia	Capacitancia
4	Inductancia	Capacitancia	Resistencia
5	Inductancia	Resistencia	Capacitancia

está compuesta del tipo de elemento, un valor y un multiplicador del valor. Como se observa en la Fig. 2.

Tabla 6. Disposición de elementos para circuitos con dos elementos iguales y uno diferente.

Disposición	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
0	Capacitancia	Resistencia	Capacitancia
1	Capacitancia	Inductancia	Capacitancia
2	Resistencia	Capacitancia	Resistencia
3	Resistencia	Inductancia	Resistencia
4	Inductancia	Capacitancia	Inductancia
5	Inductancia	Resistencia	Inductancia

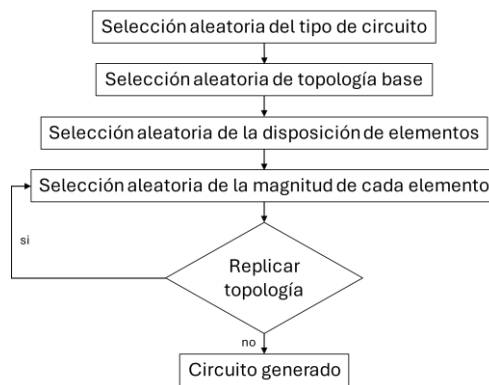


Fig. 7. Diagrama del mecanismo de generación pseudo aleatorio de circuito.

Tabla 7. Disposición de elementos para cada topología base de circuitos con dos elementos diferentes.

Topología base	Disposición de elementos
0	0 – 5
1	0 – 5
2	0, 1, 3
3	0, 1, 3

Cabe indicar que dentro de la topología existen nodos reservados que sirven para identificar el inicio y el final del circuito, así como un componente conectado a tierra. Estos nodos reservados se muestran en la Tabla 1.

Para codificar la magnitud del elemento, se considera para el valor una serie de valores comerciales (véase la Tabla 2) y para la década una serie de valores que determina si se trata de cantidades en el orden nano, micro, mili, kilo, etc. Según estas consideraciones un elemento se puede codificar en base a la Tabla 3 [7].

4. Mecanismo de generación pseudoaleatorio

El mecanismo para la generación automática de filtros analógicos se presenta a continuación. Este mecanismo garantiza que los circuitos generados se puedan simular

correctamente y además no contengan demasiados elementos. Ya que se han estudiado distintas topologías, que sin importar los elementos que contengan, no presentan problemas en la simulación. Por lo que se obtienen soluciones con un buen desempeño, lo que ayuda a que un algoritmo encuentre buenas soluciones en pocas generaciones [8]. El mecanismo parte de la idea de que los circuitos están formados por topologías base que se van replicando, como se muestra en la Fig. 3 [9]. De esta forma se evita generar circuitos abiertos o con elementos que estén conectados en corto.

Una topología base está formada por dos o tres elementos que forman un circuito en serie, en paralelo o mixto. En donde, según el tipo de elementos, se consideran tres tipos de circuitos según su topología base:

- 1 Circuitos con dos elementos diferentes.
- 2 Circuitos con tres elementos diferentes.
- 3 Circuitos con dos elementos iguales y uno diferente.

Para los circuitos con dos elementos diferentes se contemplan las topologías mostradas en la Fig. 4, en donde sus elementos toman una disposición en base a la Tabla 4. Para los otros dos tipos de circuitos se contemplan las topologías base mostradas en la Fig. 5 y 6. En donde los circuitos con tres elementos diferentes sus elementos toman una disposición en base a la Tabla 5, mientras que los circuitos con dos elementos iguales y uno diferente toma una disposición en base a la Tabla 6.

Una vez que se ha seleccionado el tipo de circuito, la topología base y la disposición de los elementos que contendrá, se le asigna una magnitud (según la codificación de la Tabla 3) a cada elemento. Para finalmente decidir las veces que se va a replicar el circuito, en donde los elementos pueden tener la misma magnitud o cualquier otra.

Es importante mencionar que los circuitos con dos elementos iguales y uno diferente, presenta algunas condiciones para los casos en que la disposición de los elementos es 4 o 5, ya que en estos casos no se puede replicar cuando la topología base es 0, 1, 3, 4 o 9 y no se puede seleccionar la 11. Por lo que el mecanismo considera estas condiciones al momento de generar un circuito.

Ya que, bajo estas condiciones, estos circuitos no simulan porque las inductancias generan corto en las conexiones en paralelo.

En general, el mecanismo de generación funciona en base al diagrama mostrado en la Fig. 7.

Disminución de la disposición de los elementos

En los circuitos en serie o en paralelo la disposición de los elementos tiene equivalencias. Ya que, en los circuitos en serie, el voltaje es la suma del voltaje de todos los elementos, y en los circuitos en paralelo, el voltaje permanece constante [10].

Por ejemplo, si se va a un construir un circuito con dos elementos diferentes y se selecciona la topología base 2, en donde los dos elementos se encuentran conectados en serie (véase Fig. 4). Y se selecciona la disposición de elementos 0, es decir, una capacitancia seguido de una resistencia, es equivalente a seleccionar la disposición de elementos 2, una resistencia seguido de una capacitancia.

Por lo que se puede disminuir las distintas disposiciones de elementos en las topologías base en serie o en paralelo. Para el caso de los circuitos con dos elementos

Tabla 8. Disposición de elementos para cada topología base de circuitos con tres elementos diferentes.

Topología base	Disposición de elementos
0	0, 1, 3
1	0 – 5
2	0, 2, 4
3	0, 2, 4
4	0, 2, 4
5	0 – 5
6	0, 1, 3
7	0
8	0, 2, 4
9	0, 1, 3
10	0, 1, 3
11	0

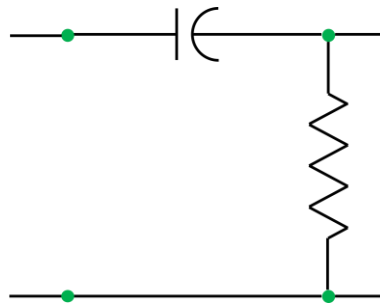


Fig. 8. Circuito generado hasta el paso tres del mecanismo.

diferentes, a las diferentes topologías base le corresponde la disposición de elementos mostradas en la Tabla 7.

Para los circuitos con tres elementos diferentes, les corresponde la disposición de elementos, mostradas en la Tabla 8. En el caso de los circuitos con dos elementos iguales y uno diferente, se puede seleccionar cualquiera de las 6 diferentes disposiciones de elementos, ya que no se cuentan con disposición equivalentes cuando existen elementos conectados en serie o en paralelo.

Ejemplo del funcionamiento del mecanismo

Siguiendo el diagrama del mecanismo (véase Fig. 7), como primer paso se selecciona el tipo de circuito de forma aleatoria, en este caso se selecciona el tipo de circuito 1 (circuito con dos elementos diferentes). Después se selecciona una topología base, correspondiente al tipo de circuito (véase Fig. 4), en este caso se selecciona la topología base 1.

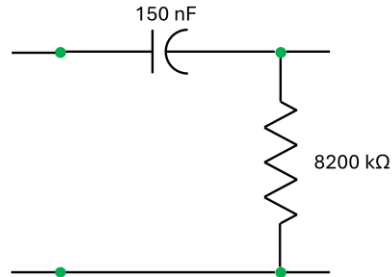


Fig. 9. Circuito generado al asignarle una magnitud a cada elemento.

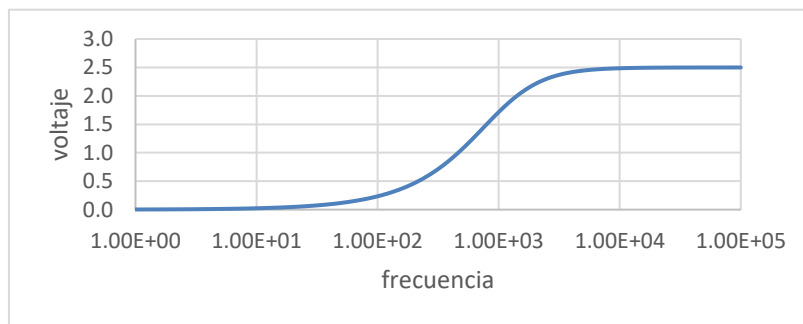


Fig. 10. Gráfico de voltaje contra frecuencia del circuito generado.

Como tercer paso, selecciona aleatoriamente la disposición de los elementos según el tipo de circuito (véase Tabla 3), en este se selecciona la disposición 0. Hasta el momento se tiene el circuito mostrado en la Fig. 8.

Posteriormente se selecciona aleatoriamente una magnitud para cada elemento, en base a la Tabla 3. En este caso, se le asigna una magnitud de $15 \times 10^{-8} \text{ F}$ o 150 nF a la capacitancia y una de $82 \times 10^5 \Omega$ o 8200 kΩ a la resistencia. Entonces se tiene el circuito mostrado en la Fig. 9.

Finalmente se decide si el circuito se va a replicar, para este no será el caso. Por lo que el circuito final es el mostrado en la Fig. 9. Al simular el circuito y analizar su voltaje de salida, se ha obtenido el grafico de voltaje contra frecuencia mostrado en la Fig. 10. Se puede observar que el comportamiento esperado de un filtro pasa altas, ya que esta atenuando las frecuencias bajas.

Se observa que el mecanismo genera circuitos con buenas aproximaciones a filtros, lo que ayuda a que un algoritmo de diseño automático de circuitos inicie con buenas soluciones. Cabe resaltar que el circuito de ejemplo fue generado aleatoriamente usando el mecanismo propuesto, y no se ha sometido a un algoritmo de optimización de parámetros.

5. Conclusiones

El mecanismo de generación propuesto garantiza que los circuitos generados se pueden simular, ya que éstos se generan en base a topologías que evitan la generación de circuitos abiertos o con conexiones en corto. Esto ayuda a que un algoritmo de diseño

automático de circuitos inicie con soluciones factibles para obtener el mejor rendimiento.

Adicionalmente, este mecanismo de generación puede ser usado en algoritmos de optimización para encontrar la mejor combinación de valores de cada elemento del circuito. O bien, para encontrar la mejor topología con los mejores valores, según el tipo de filtro que se quiere construir.

Al haber probar el mecanismo en un algoritmo genético, se observó que este obtiene mejores resultados cuando se generan filtros pasa bajas y pasa altas, a comparación de filtros pasa bandas y rechaza bandas. Por lo que se está trabajando en una mejora del mecanismo generación para obtener mejores filtros pasa bandas y rechaza bandas.

Cabe mencionar, que también se está utilizando este mecanismo con otras metaheurísticas para analizar su comportamiento en cada una de estas. De forma que se pueda encontrar la mejor metaheurística para este mecanismo.

Referencias

1. Brito, M.A., Giraldo, J.S.: Metodologías para diseño de circuitos ladder con base en sistemas secuenciales y combinatoriales. Universidad Tecnológica de Pereira (2011)
2. Torres, J.C.: Diseño asistido por ordenador. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad de Granada, vol. 20 (1998)
3. Haver, J.J.: Análisis comparativo de filtros activos y filtros pasivos en sistemas de comunicación analógica. Biblioteca Virtual SEMISUD (2018)
4. Alvarez, F.O.: Estudio y programas digitales para el diseño de filtros pasivos analógicos. Escuela Politécnica Nacional (1984)
5. López D.A.: Historia, definición, descripción, tipos y aplicaciones de filtros electrónicos (2003)
6. Soto, A., Soto, M.A., Ponce, E.E.: Mecanismo de representación para la evolución automática de circuitos analógicos. *Research in Computing Science*, vol. 149, no. 8, pp. 253–265 (2020)
7. Chouza, M., Rancan, C., Clúa, O., García, R.: Diseño de filtros analógicos pasivos basados en programación genética. En: XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación,(2008)
8. Soto, A., Soto, M.A., Ponce, E.E., and Montoya, B.J.: Diseño automático de filtros analógicos pasivos mediante un algoritmo genético. *Research in Computing Science*, vol. 151, no. 5, pp. 75–90 (2022)
9. Miyara, F.: Filtros activos, Cátedra de Electrónica III, FCEIA-UNR (2004)
10. Pozuelo, J., Cascarosa, E.: Intensidad, Resistencia, Circuitos en Serie y en Paralelo. ¿Quién es quién? Una actividad práctica para trabajar los circuitos en 2o de ESO (2022)