

TECHNOLOGICAL TOOL FOR THE DESIGN OF CIRCUITS WITH OPERATIONAL AMPLIFIERS

HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE CIRCUITOS CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Est. Luis Eduardo Ramírez Carvajal, MSc. Karla Cecilia Puerto López, PhD. Dinael Guevara Ibarra.

Universidad Francisco de Paula Santander

Departamento de electricidad y electrónica, programa de Ingeniería Electrónica
Grupo de investigación y desarrollo en electrónica y telecomunicaciones - GIDET
Av. Gran Colombia No. 12E-96, San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.
E-mail: {luiseduardorc, karlaceciliapl, dinaelgi}@ufps.edu.co

Abstract: We present a technological tool for the design of circuits with operational amplifiers in configurations: Non-inverter, Inverter, Differential, Adder and Inverter-Adder. It consists of a main unit where the type of configuration is chosen and a secondary unit where the design or analysis of the selected configuration is performed. A methodology was developed, represented by a flow chart and coded using a free programming language. Circuits were designed and analyzed with the tool and these circuits were simulated in a software of academic use endorsed by the scientific community, obtaining an error lower than 1.8% in all tests. It is concluded that this tool allows to carry out an effective design or analysis process, in a short time, being useful in the pedagogical and experimental field.

Keywords: Amplifiers, tool, operational, technology.

Resumen: Presentamos una herramienta tecnológica para el diseño de circuitos con amplificadores operacionales en configuraciones: No inversor, Inversor, Diferencial, Sumador e Inversor-Sumador. Está compuesta por una unidad principal donde se elige el tipo de configuración y una unidad secundaria donde se realiza el diseño o análisis de la configuración seleccionada. Se desarrolló una metodología representada a través de un diagrama de flujo y se codificó usando un lenguaje de programación de uso libre. Se realizaron diseños y análisis de circuitos con la herramienta y se simularon dichos circuitos en un software de uso académico avalado por la comunidad científica, obteniendo un error inferior al 1.8% en todas las pruebas. Se concluye que esta herramienta permite llevar a cabo un proceso de diseño o análisis efectivo, en corto tiempo, siendo útil en el ámbito pedagógico y experimental.

Palabras clave: Amplificadores, herramienta, operacionales, tecnología.

1. INTRODUCCIÓN

Los primeros amplificadores operacionales (amps-op) fueron utilizados principalmente para realizar operaciones matemáticas tales como adición, sustracción, integración y diferenciación, de ahí el término operacional. Estos primeros dispositivos se construyeron con tubos de vacío y funcionaban con altos voltajes. Los amplificadores operacionales actuales son circuitos integrados lineales (IC) que utilizan voltajes de cd relativamente bajos y son confiables y baratos (Floyd, 2008). En la literatura se pueden encontrar múltiples investigaciones acerca de amplificadores

operacionales (Gómez *et al.*, 2016) y con el pasar del tiempo han venido tomando diferentes enfoques dependiendo de la necesidad; entre los cuales encontramos: software de enfoque académico (Garcés, 1998), localización de fallas en circuitos (Peraza *et al.*, 2008), lógica difusa (Sanabria *et al.*, 2009), tecnología CMOS (Hernández *et al.*, 2012; Simancas, 2013), un sistema de captación de energía sonora (Fang *et al.*, 2018), estabilidad, frecuencia de cruce y ancho de banda (Mishonov *et al.*, 2019), un sistema de detección de 3 electrodos (Rani *et al.*, 2018), lectura de infrarrojos (Tong *et al.*, 2019), entre otros.

La ingeniería es una rama ligada al desarrollo de proyectos. Y es esta metodología (proyectos) de suma importancia para que los respectivos planes de mejoramiento alcancen los objetivos que la sociedad en general requiere y demanda de los programas de ingeniería (Flórez *et al.*, 2018). Un proyecto conlleva una gran responsabilidad ya que la evolución de las tecnologías impone retos en la búsqueda de nuevos modelos y mejores sistemas de información (Sánchez *et al.*, 2018).

En procura de lo anterior y en vista de que las tecnologías de la información se han convertido en una herramienta tan útil, inclusive en la toma de decisiones (Arencibia *et al.*, 2018) se decide por el desarrollo de una herramienta tecnológica para llevar a cabo el presente proyecto; pues estas han arrojado excelentes resultados en el desarrollo de investigaciones de diferentes índoles, tales como: empresarial (Márquez *et al.*, 2018; Zapata, 2010), industrial (Rada *et al.*, 2011; Loera, 2014), y sobre todo, proyectos académicos (Wilches *et al.*, 2009; Ávila *et al.*, 2012; Sierra *et al.*, 2017; Ramírez *et al.*, 2018) como el que se presenta a continuación.

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la presente investigación se utilizó una metodología descriptiva y aplicada que se puede ver en la Fig. 1.



Fig 1. Metodología usada en el proyecto

Fuente: los autores

2.1 DESARROLLO DE METODOLOGÍA DE DISEÑO Y ANÁLISIS:

Se consultaron fuentes sobre amplificadores operacionales (Savant *et al.*, 1991; Boylestad y Nashelsky, 2009; Horensteins, 1997; Sedra y Smith, 1998) y con base a las ecuaciones y procedimientos planteados por los diferentes autores se desarrolló una metodología práctica y sencilla que muestra paso a paso las ecuaciones que se deben ejecutar para llevar a cabo el proceso de análisis o diseño.

2.2 DESARROLLO DE DIAGRAMA DE FLUJO: En la Fig 2. Se puede observar el diagrama de flujo que se elaboró a partir de la metodología desarrollada.

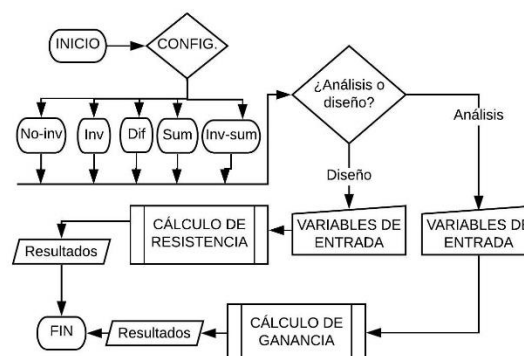


Fig 2. Diagrama de flujo desarrollado

Fuente: los autores

2.3 CODIFICACIÓN: Con el propósito de desarrollar una herramienta práctica y accesible se utilizó lenguaje de programación Android a través del uso de: “MIT App inventor”. Esta herramienta funciona en línea. Originalmente fue creada por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) pero luego fue adoptada por Google para ofrecer a sus usuarios/as una interesante solución tecnológica para crear apps para Android de forma sencilla. (Posada, 2019).

Se desarrolló una interfaz compuesta por dos unidades. Una unidad principal que se observa en la Fig 3. En esta unidad se muestran los diferentes botones con los cuales se accede a la configuración deseada: No inversor, Inversor, Diferencial, Sumador o Inversor-sumador.

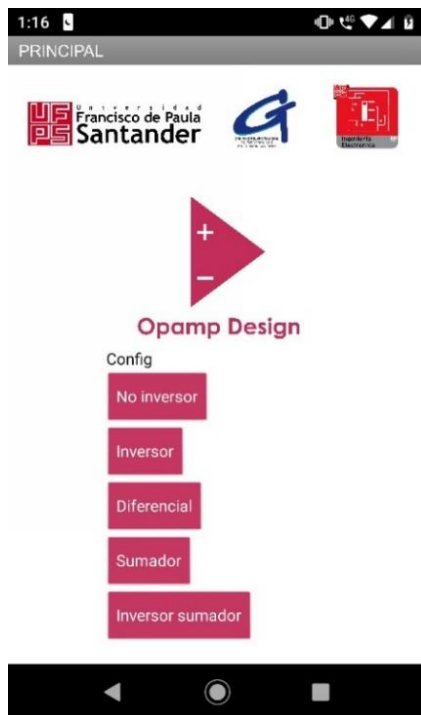


Fig 3. Unidad principal

Fuente: los autores

Al presionar cualquiera de los botones se accede a la unidad secundaria que se observa en la Fig 4.

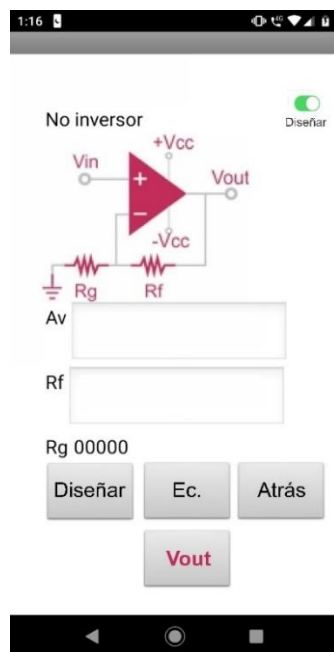


Fig 4. Unidad secundaria, modo: "Diseñar"

Fuente: los autores

Como se observa en la parte superior derecha de la unidad secundaria, aparece seleccionado un botón de nombre "Diseñar" al deseleccionar dicho botón la unidad secundaria cambia de diseño a "Análisis", como se observa en la Fig 5.

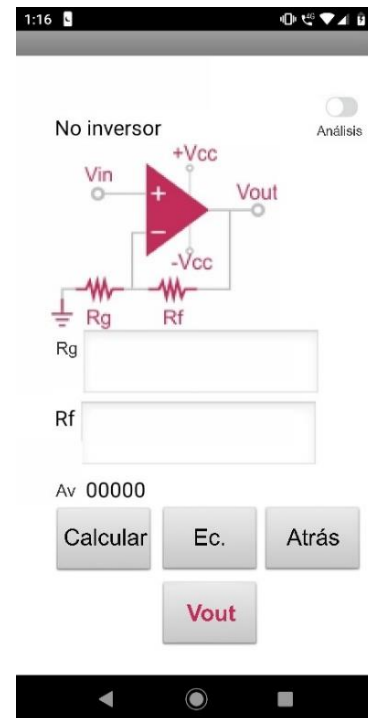


Fig 5. Unidad secundaria, modo: "Análisis"

Fuente: los autores

La unidad secundaria permite visualizar el esquemático de la configuración, permite ingresar las variables de entrada y tiene 4 botones. El primero de nombre "Diseñar" que se observa en la Fig 4 se utiliza para llevar a cabo el proceso de diseño después de haber ingresado los datos de A_v y R_f . Dicho botón cambia a "Calcular" cuando la unidad secundaria se coloca en modo Análisis. Este permite mostrar el valor de la ganancia después de haber ingresado los valores de las resistencias.

El botón "Ec." Sirve para mostrar en pantalla las ecuaciones, el botón "Atrás" permite regresar a la unidad principal y el botón "Vout" permite graficar la señal de salida.

2.4 PRUEBAS: Por cada configuración se realizaron 2 pruebas. Una de análisis y una de diseño, para un total de 10 pruebas.

2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS: Los resultados mostrados por la herramienta tecnológica fueron comparados con los resultados mostrados por el software académico de simulación para calcular el error promedio de las pruebas.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación, se pueden observar los esquemáticos de los circuitos realizados con el uso de la herramienta en diez (10) pruebas:

En la Fig 6. y Fig 7. se observan los circuitos “no inversor” realizados con la herramienta en modo análisis y diseño, respectivamente.

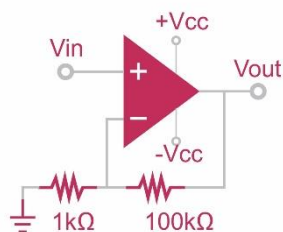


Fig 6. Prueba 1- No inversor modo análisis

Fuente: los autores

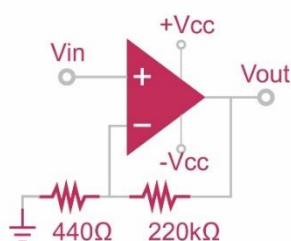


Fig 7. Prueba 2 – No inversor modo diseño

Fuente: los autores

En la Fig 8. y Fig 9. Se observan los circuitos “Inversor” realizados con la herramienta, en modo análisis y diseño, respectivamente.

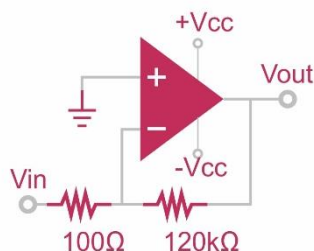


Fig 8. Prueba 3 – Inversor modo análisis

Fuente: los autores

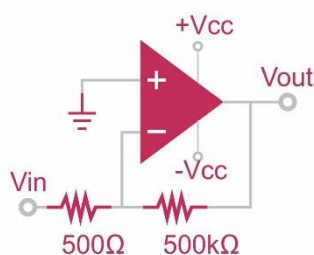


Fig 9. Prueba 4 – Inversor modo diseño

Fuente: los autores

En la Fig 10. y Fig 11. Se observan los circuitos “Diferencial” realizados con la herramienta, en modo análisis y diseño, respectivamente.

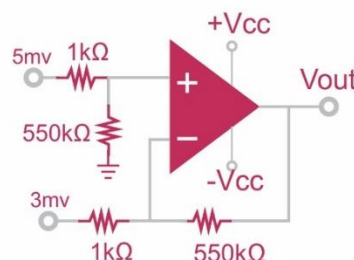


Fig 10. Prueba 5 – Diferencial modo análisis

Fuente: los autores

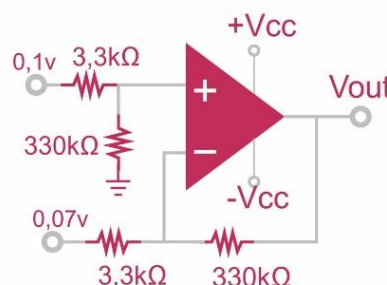


Fig 11. Prueba 6 – Diferencial modo diseño

Fuente: los autores

En la Fig 12. y Fig 13. Se observan los circuitos “Sumador” realizados con la herramienta, en modo análisis y diseño, respectivamente.

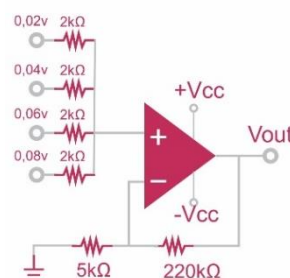


Fig 12. Prueba 7 – Sumador modo análisis

Fuente: los autores

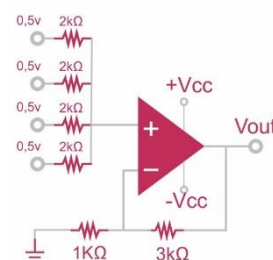


Fig 13. Prueba 8 – Sumador modo diseño

Fuente: los autores

En la Fig 14. y Fig 15. Se observan los circuitos “Inversor-sumador” realizados con la herramienta, en modo análisis y diseño, respectivamente.

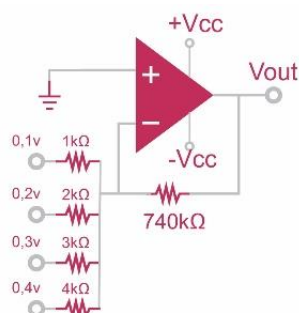


Fig 14. Prueba 9 – Inversor-sum modo análisis

Fuente: los autores

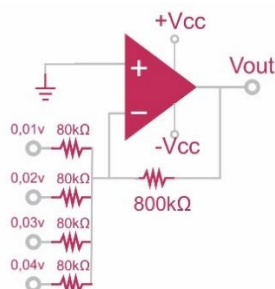


Fig 15. Prueba 10 - Inversor-sum modo diseño

Fuente: los autores

4. RESULTADOS

La simulación de los circuitos realizados se hizo con el propósito de comparar la herramienta con el software de simulación de uso académico avalado por la comunidad científica.

A continuación, se pueden observar las salidas de cada prueba en las dos herramientas:

En la Fig 16. y Fig 17. Se muestra la señal de salida del circuito de la prueba 1 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 16. Vout herramienta – prueba 1

Fuente: los autores



Fig 17. Vout simulador – prueba 1

Fuente: los autores

En la Fig 18. y Fig 19. Se puede observar la señal de salida del circuito de la prueba 2 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 18. Vout herramienta - prueba 2

Fuente: los autores



Fig 19.7 Vout simulador - prueba 2

Fuente: los autores

En la Fig 20. y Fig 21. Se muestra la señal de salida del circuito de la prueba 3 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 20. Vout herramienta - prueba 3

Fuente: los autores



Fig 21. Vout simulador - prueba 3

Fuente: los autores

En la Fig 22. y Fig 23. Se muestra observar la señal de salida del circuito de la prueba 4 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.

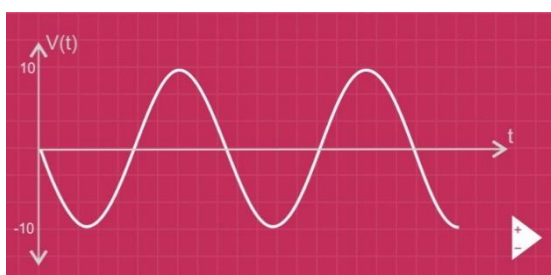


Fig 22. Vout herramienta - prueba 4

Fuente: los autores

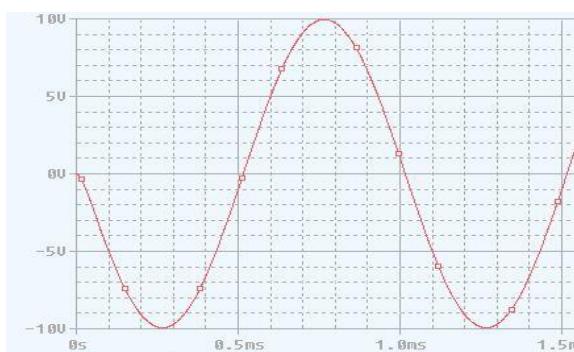


Fig 23. Vout simulador - prueba 4

Fuente: los autores

En la Fig 24. y Fig 25. Se muestra la señal de salida del circuito de la prueba 5 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 24. Vout herramienta - prueba 5

Fuente: los autores



Fig 25. Vout simulador - prueba 5

Fuente: los autores

En la Fig 26. y Fig 27. Se muestra la señal de salida del circuito de la prueba 6 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 26. Vout herramienta - prueba 6

Fuente: los autores

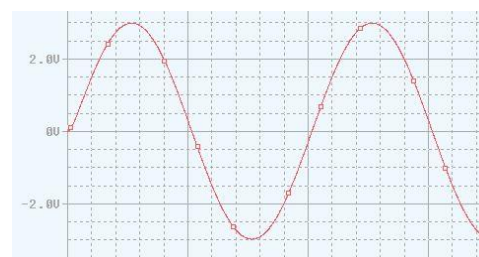


Fig 27. Vout simulador - prueba 6

Fuente: los autores

En la Fig 28. y Fig 29. Se muestra la señal de salida del circuito de la prueba 7 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 28. Vout herramienta - prueba 7

Fuente: los autores

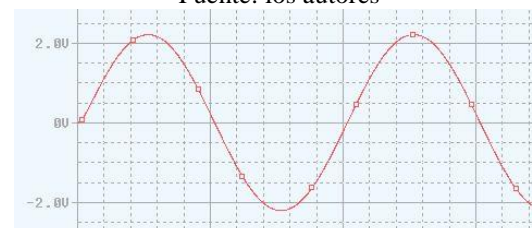


Fig 29. Vout simulador - prueba 7

Fuente: los autores

En la Fig 30. y Fig 31. Se observa la señal de salida del circuito de la prueba 8 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 30. Vout herramienta - prueba 8
Fuente: los autores

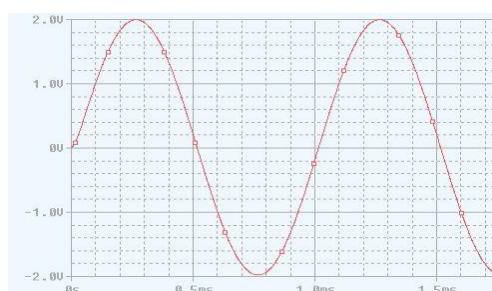


Fig 31. Vout simulador - prueba 8
Fuente: los autores

En la Fig 32. y Fig 33. Se muestra la señal de salida del circuito de la prueba 9 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 32. Vout herramienta - prueba 9
Fuente: los autores

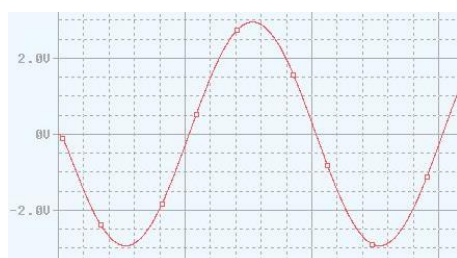


Fig 33. Vout simulador - prueba 9
Fuente: los autores

En la Fig 34. y Fig 35. Se puede observar la señal de salida del circuito de la prueba 10 en la herramienta y en el simulador, respectivamente.



Fig 34. Vout herramienta - prueba 10
Fuente: los autores

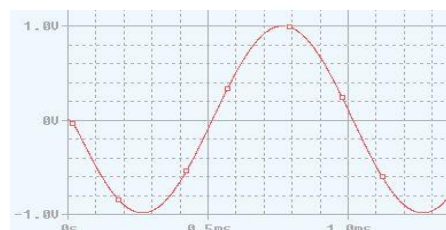


Fig 35. Vout simulador - prueba 10
Fuente: los autores

En la Tabla 1. Se muestran los errores, como resultado de las diez (10) pruebas realizadas. Se obtiene el desempeño de la herramienta tecnológica comparando los resultados con el software de simulación avalado por la comunidad académica.

Tabla 1: Errores en pruebas

PRUEBA	Vout(v) APK	Vout(v) Software	e%
1. No Inversor	5,05	5,09	0,89
2. No Inversor	2,50	2,52	0,97
3. Inversor	12,00	12,14	1,23
4. Inversor	10,00	10,14	1,45
5. Diferencial	1,10	1,11	1,67
6. Diferencial	3,00	3,05	1,73
7. Sumador	2,25	2,27	0,92
8. Sumador	2,00	2,01	0,98
9. Inversor-sum	2,96	2,99	1,24
10. Inversor-sum	1,00	1,01	1,57

Los resultados de la Tabla 1. muestran que los errores fueron inferiores a 1.8% en todas las pruebas realizadas. El error promedio total fue de 1,19% para las pruebas de análisis, de 1,34% para las pruebas de diseño y de 1,26% para todas las pruebas.

5. CONCLUSIONES

La implementación de tecnologías de la información debe llevar a estudiantes, docentes e investigadores a centrar los esfuerzos académicos más allá de lo tradicional, haciendo uso de la innovación tecnológica.

La herramienta desarrollada es exacta comparada con el software de simulación ya que los errores

promedio fueron inferiores al 1,8% como se evidenció en todas las pruebas realizadas.

La herramienta desarrollada cuenta con una interfaz interactiva, práctica e intuitiva que le permitirá a los estudiantes, docentes e investigadores llevar a cabo procesos de diseño y análisis de circuitos con amplificadores operacionales de manera dinámica.

El uso de la herramienta motiva a los estudiantes al desarrollo de tecnologías de la información y a la gestión de proyectos de investigación de carácter tecnológico.

REFERENCIAS

- Floyd, T. (2008). *Dispositivos electrónicos*, Pearson Educación, Octava edición, México.
- Gómez, H., Cediell F. y Neira C., (2016). *Amplificador operacional de transconductancia con alto rango modo común y bajo consumo de potencia*, Revista ingeniería, investigación y desarrollo, **Vol.16**, No. 2.
- Garcés, J., (1998). *Software para la enseñanza de los amplificadores operacionales. Teoría, diseño y simulación*, Escuela politécnica nacional, Quito.
- Peraza, C., Díaz, J., Arteaga, F., Villanueva, C. y Gonzáles, F., (2008). *Modelado de fallas en circuitos con amplificadores operacionales utilizando Bond Graphs*, Revista ingeniería UC, **Vol. 15**, No. 1.
- Sanabria, F., Hostos, H. y Melgarejo, M., (2009). *Diseño de circuitos analógicos basados en amplificadores operacionales usando algoritmos genéticos con función de aptitud difusa*, Revista Ingeniería, **Vol. 14**, No. 2.
- Hernández, F., Antolínez, F., Pineda, E., Yamhure, G. y Páez, C., (2012). *Diseño de un amplificador riel a riel con tecnología CMOS 0,18 μm* , Revista EIA, No. 17.
- Simancas, J., (2013). *Diseño de un amplificador operacional CMOS de amplio ancho de banda y alta ganancia para aplicaciones de alta velocidad*, Inge CuC, **Vol. 9**, no. 1.
- Fang, L., Rahim, R., Isa, M., Syed, H., y Bin, B., (2018). *The Design of Operational Amplifier for Low Voltage and Low Current Sound Energy Harvesting System*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, **Vol. 318**.
- Mishonov, T., Danchev, V., Petkov, E., Gourev, V., Dimitrova, I., Serafimov, N., Stefanov, A. y Varonov, A., (2019). *Master equation for operational amplifiers: stability of negative differential converters, crossover frequency and pass-bandwidth*, IOP Journal of Physics Communications, **Vol. 3**.
- Rani1, S., Abdullah, W., Zain, Z. Y Aqmar N., (2018). *Integrated Circuit Design of 3 Electrode Sensing System Using Two-Stage Operational Amplifier*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, **Vol. 340**.
- Tong, Z., Liu, H., Xu, Y., Jiang, B. y Su, Y., (2019). *A high-performance operational amplifier for infrared readout circuit application*, IOP Journal of Physics: Conference Series, **Vol. 1176**.
- Flórez, E., Moreno, G. y Laguado, R., (2019). *Modelo analítico para acreditación de alta calidad en programas de ingeniería, una experiencia en la Unipamplona*, Revista Educación en Ingeniería, **Vol. 14**, No. 17.
- Sánchez, C., Quintero, B., Guerrero, L. y Moreno, E., (2018). *Innovación y tecnología en el tercer sector: paradigmas y desafíos*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, **Vol. 1**, No. 33.
- Arencibia, F., Thomas, S. y Peña, B., (2018). *La nueva toma de decisiones en el mundo actual*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, **Vol. 1**, No. 31.
- Márquez, D., Camargo, J. y Castro, H., (2018). *La transformación y disrupción de las tecnologías de la información y las políticas económicas de Colombia como parte de la globalización empresarial*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, **Vol. 1**, No. 31.
- Zapata, J., Arango, M. y Adarme, W., (2010). *Herramientas tecnológicas al servicio de la gestión empresarial*, Revista Avances en Sistemas e Informática, **Vol. 7**, No. 3.
- Rada, O., Chaverra, Y., Morante, D. y Mosquera, O., (2011). *La gestión tecnológica: una herramienta para el desarrollo de La cadena productiva del ají en el Valle del cauca*, Entramado, **Vol. 7**, No. 1.
- Loera, H., (2014). *La innovación tecnológica como herramienta para el desarrollo de la competitividad en las pymes*, Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración, **Vol. 3**, No. 6.
- Wilches, A., Puerto, K. y Gómez, J., (2009). *Aplicación móvil para acceder a la información académica de la Universidad Francisco de Paula Santander a través de una picocelda bluetooth*, Respuestas, No. 1.
- Ávila, A., Flórez, E. y Gualdrón, O., (2012). *Diseño e implementación de un curso interactivo multimedia para el aprendizaje*

- de los procesos CAM en un centro de mecanizado LeadWell V30*, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, **Vol. 2**, No. 20.
- Sierra, G., Puerto, K. y Gómez, F., (2017). *Herramienta computacional de uso pedagógico para el modelamiento de los transistores de unión bipolar BJT*, Mundo Fesc, **Vol. 7**, No. 14.
- Ramírez, L., (2019). *Computer-aided design software for multi-stage amplifiers with bipolar transistors and field effect*, IOP Journal of Physics: Conference Series, **Vol. 1418**.
- Savant, C., Roden, M. y Carpenter G., (1991). *Diseño electrónico, circuitos y sistemas*, Segunda, edición, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Boylestad, R. y Nashelsky, L. (2009), *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*, Pearson Educación, Décima edición México.
- Horenstein, M., (1997). *Circuitos y dispositivos microelectrónicos*, Prentice-Hall Hispanoamericana, Segunda edición, México
- Sedra A., y Smith K., (1998). *Microelectronic circuits*, Oxford University, Sexta edición, New York.
- Posada F., (2019). *Creando aplicaciones para móviles Android con MIT App Inventor 2*, Observatorio de tecnología educativa, Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF).