

Análisis de Confiabilidad de Circuitos Electrónicos Usando Matlab®

Isidro I. Lázaro, Gerardo Cervín

ilazaro@ieee-sco.org

Facultad de Ingeniería Eléctrica-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Morelia, Michoacán C.P. 58030, México

Juan Anzurez

j.anzurez@ieee.org

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Morelia, Michoacán C.P. 58030, México

RESUMEN

El concepto de confiabilidad es tema importante hoy en día, debido a que está relacionado con la calidad de los productos que un consumidor demanda. Dentro de la Ingeniería Eléctrica y Electrónica es un tema que todo estudiante debe conocer plenamente. En este artículo se presenta el análisis de confiabilidad de algunos circuitos electrónicos básicos utilizando para ello el método de Monte Carlo, el cual se emplea para efectuar un análisis de corrimiento del sistema. Las simulaciones son realizadas usando la plataforma de Matlab® y a través de una interfaz gráfica el estudiante de Ingeniería puede conocer los efectos que tiene la tolerancia de un componente del funcionamiento de un circuito y con ello explicar las posibles fallas que éste puede presentar en su funcionamiento. Como casos de estudio se analiza la confiabilidad de un amplificador basado en BJT y una Amplificador Diferencial.

Palabras Claves: Confiabilidad, Monte Carlo, Tolerancia, Corrimiento.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la confiabilidad ha tomado mayor importancia en los circuitos electrónicos, ya que estos se pueden considerar como el cerebro de muchos dispositivos tecnológicos. Por lo cual, muchas compañías que fabrican productos basados en dispositivos electrónicos, deben de contar con sistemas de confiabilidad para poder ofrecer productos con mayor calidad y así poder mantenerse en el mercado tan competido.

Aunado a ello, los dispositivos electrónicos en la actualidad tiene un mayor auge y los sistemas cada vez son más complejos, por lo que es necesario estudiar la confiabilidad de tales componentes con el fin de conocer qué tanto influye cada uno en el funcionamiento global del sistema, para que éste finalmente pueda ser confiable.

Para obtener esta información existen varias técnicas de análisis que permiten calcular la confiabilidad de los sistemas, algunas de las cuales están basados en la confiabilidad por corrimiento, entre los cuales está el método de Monte Carlo, dicho método ha sido empleado para efectuar el análisis de

diversos sistemas con resultados satisfactorios, diversos resultados se encuentra publicados en [1-4].

El efecto de variaciones de parámetros, tales como la tolerancia, recibe poca o ninguna consideración en muchos programas de Ingeniería Eléctrica o Electrónica. Para los estudiantes de dicha carreras, la comprensión de los efectos de tolerancia es importante debido a su trabajo en los laboratorios y las aplicaciones prácticas en proyectos de ingeniería, así como en su trabajo futuro dentro del sector productivo, por ejemplo: un cliente quiere saber las especificaciones de costo y rendimiento de un sistema y un ingeniero tiene que entender las ventajas y desventajas entre el rendimiento, la fabricación, capacidad de prueba, la confiabilidad, cumplimiento de la normativa y el costo del producto producido.

Un sistema es probable que no cumplen con las especificaciones de diseño debido a la ignorancia de los efectos de las tolerancias de los componentes, o el sistema puede cumplir

las condiciones señaladas, pero a costa de una excesiva calidad y componentes caros. Muchos enfoques están disponibles para el diseño y análisis de tolerancia incluyendo el peor de los casos, la sensibilidad, y la simulación vía Monte Carlo. Estos conceptos pueden introducirse dentro de los cursos referentes al análisis y diseño de circuitos electrónicos que en toda carrera de Ingeniería Eléctrica o de Electrónica se imparten, además se puede aprovechar las diversas herramientas computacionales con las que el estudiante se va formando, entre dicha herramientas se encuentra el uso de Matlab®. En este artículo se presentan los conceptos generales de confiabilidad y se muestra el análisis de la confiabilidad por corrimiento de varios circuitos electrónicos básicos, para lo cual se hace uso de la plataforma de Matlab®, mediante el diseño de una interfaz gráfica se realiza el análisis de la confiabilidad de los circuitos bajo prueba.

2. CONCEPTOS DE CONFIABILIDAD

La confiabilidad de un componente o sistema es la probabilidad de que el componente no falle durante el intervalo $[0, t]$ o en el mejor de los casos que esté en funcionamiento después del tiempo t [5], esto se puede expresar matemáticamente como:

$$R(t) = P(T > t) \quad (1)$$

Donde:

T = tiempo de duración del componente.

t = tiempo.

P = probabilidad.

R = función de confiabilidad.

La confiabilidad de los equipos eléctricos y electrónicos, es con frecuencia descrita por la curva mostrada en la figura 1

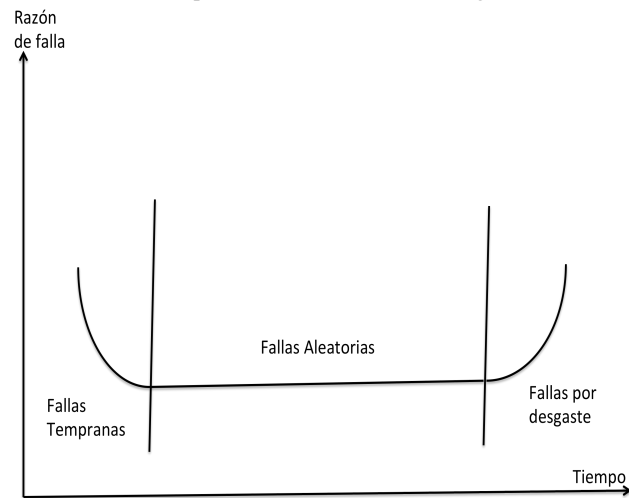


Fig. 1. Curva de Confiabilidad.

De la curva mostrada en la figura 1, podemos señalar algunas de las fallas más comunes para cada caso.

Causas por Fallas Tempranas.

- Uniones sobrepuestas.
- Uniones de soldadura pobres.
- Conexiones pobres.
- Superficies sucias.
- Elementos en mala posición.

Causas Aleatorias.

- Defectos que se pasan en el control de calidad.
- Errores humanos en el uso.
- Esfuerzos de un sistema, operación fuera de límites.
- Falla de aplicaciones inadecuadas.
- Condiciones Ambientales.

Causas por falla de desgaste.

- Oxidación en uniones.
- Ruptura de aislamientos.
- Fricción.
- Rompimiento de Materiales.

Efectos de tolerancia de los componentes en los circuitos electrónicos.

Los materiales con los que fueron fabricados los componentes de los circuitos electrónicos, contienen impurezas y por lo tanto tienen una tolerancia, el grado de impureza de un

componente electrónico, es la tolerancia del mismo, por esa razón la tolerancia influye en los circuitos electrónicos de tal manera que entre mayor tolerancia tenga el circuito. Este tendrá un margen de variación mayor en el resultado de salida, este efecto es muy importante para los circuitos electrónicos ya que este influye directamente en los resultados de salida del dispositivo [5].

Conceptos y representaciones

A) Parámetros de espacio

Es una representación de los parámetros con los que cuenta un sistema. Esta contiene igual importancia que las variables del sistema.

Cuando un circuito está compuesto por varios dispositivos electrónicos para hacer una representación en parámetros de espacio, cada uno de los dispositivos del circuito es caracterizado por un parámetro simple.

B) Valor nominal

Determinación cuantitativa particular de la variable ó conjunto de variables P_1 y P_2 que representan a un parámetro de un circuito en variables de espacio.

El valor nominal de las variables de un sistema no es fácil de encontrar porque en la práctica, los valores de estas variables fueron escogidos de una manera aleatoria.

C) Tolerancia

Rango de variación de una variable que determina su variación con respecto a una referencia.

La tolerancia de una variable se utiliza en el sistema, para saber la variación que soportan los componentes que lo integran. Este valor es de manera aleatoria para cada una de las variables.

D) Tolerancia Regional

Rango de variación con ciertos límites prefijados, los cuales son establecidos por el valor nominal y por la tolerancia de los parámetros establecidos por el fabricante.

La tolerancia regional de un sistema, es una tolerancia condicionada de la variable de estudio, para que no se salga de los límites prefijados, en dado caso de que la variable se salga de esos límites, esta variable no será aceptada, y con ello el sistema en general. Esta tolerancia está condicionada por dos parámetros P_1 y P_2 , como se muestra en la figura 2 [6,7].

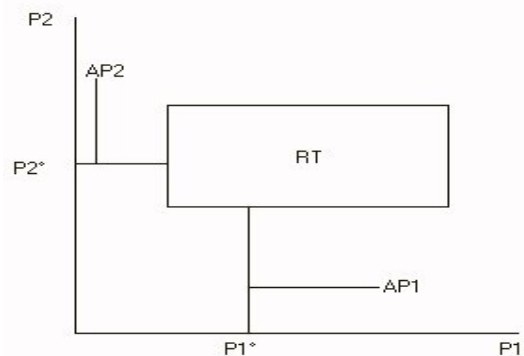


Fig. 2. Tolerancia condicional de un sistema.

E) Región de aceptabilidad

La región de aceptabilidad es un rango de variables, que el fabricante de un sistema, requiere para que sus sistemas cumplan esas variables. Cuando se delimita una región de aceptabilidad de un sistema, debe estar delimitado por dos o más variables para conocer si el sistema es aceptado o rechazado.

3. ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD USANDO EL MÉTODO DE MONTE CARLO

Existen varias maneras de encontrar la confiabilidad de un dispositivo, una de ellas es mediante el corrimiento de un dispositivo. Para encontrar la confiabilidad por corrimiento de un dispositivo existen varios métodos de análisis. En este artículo se presenta el análisis de la confiabilidad por corrimiento de un dispositivo usando el método de Monte Carlo.

Cuando los alumnos de ingeniería han aprendido análisis de circuitos básicos, y en la electrónica que comienzan a diseñar los circuitos basados en transistores tales como el BJT, o bien diseñan circuitos basados en amplificadores operacionales, se presenta una excelente oportunidad para introducir los efectos que las variaciones de parámetros tienen en el rendimiento y operación de los dispositivos. El diseño debe satisfacer las especificaciones indicadas para una correcta operación, incluyendo variación de parámetros. El método de análisis para lograr dicho objetivo implica la introducción de un método para calcular la confiabilidad por corrimiento del un sistema, en este caso el análisis se hace mediante la simulación del sistema a través del método de Monte Carlo [1,7].

Método de Monte Carlo

El método de Monte Carlo tiene una vital relevancia con el surgimiento de las disciplinas de los circuitos electrónicos, suple a las técnicas experimentales y matemáticas, para dar paso a la familia de las simulaciones en computadoras.

La simulación de Monte Carlo fue creada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos. Para resolver estas integrales se usaron números aleatorios. Posteriormente se utilizó para cualquier esquema, que emplee números aleatorios, usando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas, en la actualidad es utilizado para resolver ciertos problemas estocásticos y determinísticos, donde el tiempo no juega un papel importante. La idea básica del método de Monte Carlo consiste en [7,8]:

- Escribir un programa de computadora que calcule los lotes de cada una de las variables que integran el sistema a analizar. Esto se realiza generando un espacio de variables de manera aleatoria. Una vez que se han calculado todos los valores de cada una de las variables, se resuelve el problema analizado mediante las ecuaciones matemáticas que rigen el sistema a analizar.
- Los valores generados de manera aleatoria se encuentran a partir de una función de densidad de probabilidad, para cada una de las variables del programa.
- Calculadas las variables del programa, se generan los valores de salida para compararlos con las restricciones de salida del propio sistema. Esto se realiza comparando cada una de las funciones, con el valor ideal del sistema

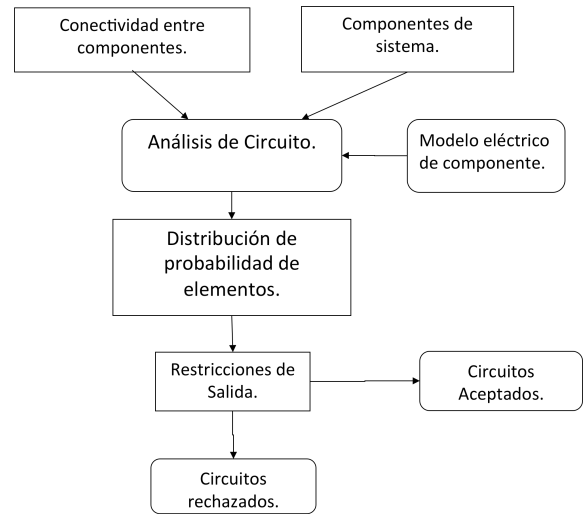


Fig. 3. Descripción del método de Monte Carlo.

La descripción del método de Monte Carlo a través de un diagrama de flujo se muestra, en la figura 3.

4. CASO DE ESTUDIO

El análisis de confiabilidad de un circuito electrónico se puede realizar usando como herramienta de apoyo la computadora digital. Esta permite realizar una serie de simulaciones de un circuito en específico. Uno de los métodos más comunes para efectuar dicho análisis, es el Método de Monte Carlo.

Una alternativa para realizar el análisis de Monte Carlo es utilizar Matlab®, este programa es un laboratorio matemático y cuenta con diversos instrumentos para realizar operaciones matemáticas. Estas pueden repetirse una serie de veces, y las realiza de manera rápida, además cuenta con la opción para crear interfaces gráficas, lo cual permite al usuario contar con un programa amigable que le permita realizar un análisis más detallado de lo que ocurre en el sistema programado cuando hay cambios en algunos parámetros del mismo. Por esta razón los casos de estudio se programaron en Matlab®, la cual es una herramienta que manejan frecuentemente los estudiantes de ingeniería, en esta sección se muestran como casos de estudio el análisis de confiabilidad de un amplificador BJT y de un amplificador diferencial [8].

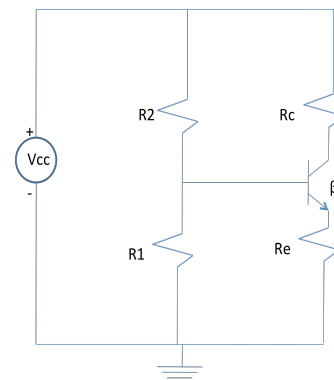


Fig. 5. Circuito de polarización del transistor BJT.

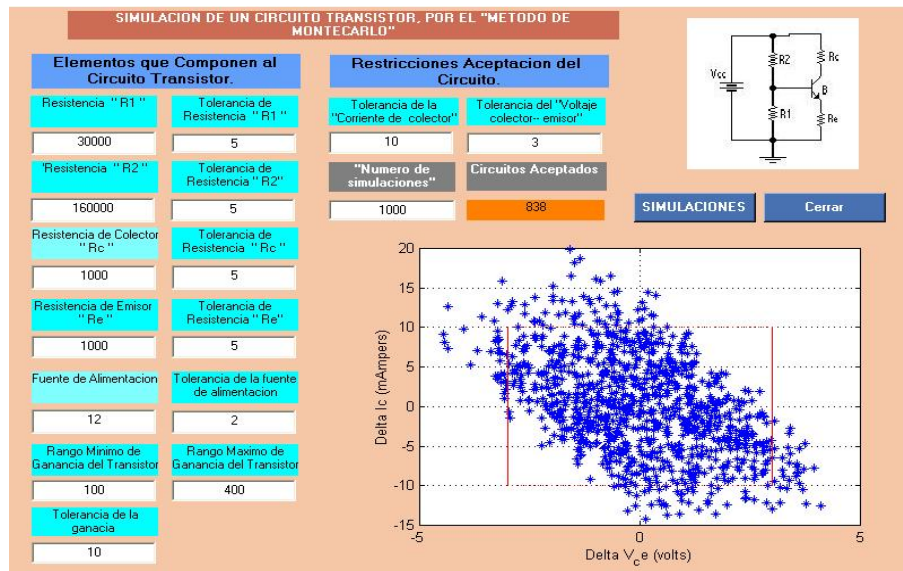


Fig. 6. Análisis de la confiabilidad de un transistor.

Amplificador BJT

Un transistor BJT puede operar como un amplificador en tres configuraciones distintas: Emisor Común, Base Común y colector Común, para el correcto funcionamiento del mismo se requiere que el punto de operación permanezca lo más estable posible, para el caso de una configuración Emisor común este punto está dado por V_{CEQ} y I_{CQ} . Con la finalidad de observar la influencia que tiene la confiabilidad del dispositivo ante variación de los parámetros resistivos, de la ganancia β y variaciones en el voltaje de alimentación se analizó el circuito mostrado en la figura 5, mientras que en la figura 6 se muestra la interfaz gráfica diseñada para hacer un análisis de confiabilidad del dispositivo tomando en cuenta que las resistencias tiene una tolerancia del 5%, la fuente de alimentación puede variar hasta 2%, mientras que la ganancia β cuyo valor esta en el rango de 100 a 400 presentan una variación alrededor del valor medio geométrico del 10%.

Para el punto de operación se permite una variación del 10% para I_{CQ} y del 3% para el V_{CEQ} .

Los resultados de la simulación por corrimiento muestran que de un lote de 1000 circuitos el 83% de estos es aceptado, pues operan dentro del rango especificado. En este caso hay dos variables de salida que determinan el rango de operación bajo el cual el circuito debe ser aceptado.

Amplificador Diferencial

Como segundo caso de estudio, se considera un amplificador operacional diferencial cuyo diagrama se muestra en la figura 7.

El amplificador diferencial tiene como ecuación fundamental, la mostrada por (2), en ella la ganancia está dada por el factor A_{vf} .

$$V_o = A_{vf}(V_1 - V_2) \quad (2)$$

Donde

V_o voltaje de salida del amplificador diferencial.

A_{vf} ganancia diferencial

V_1 voltaje de entrada de la terminal no inversora (+)

V_2 voltaje de entrada de la terminal inversora (-)

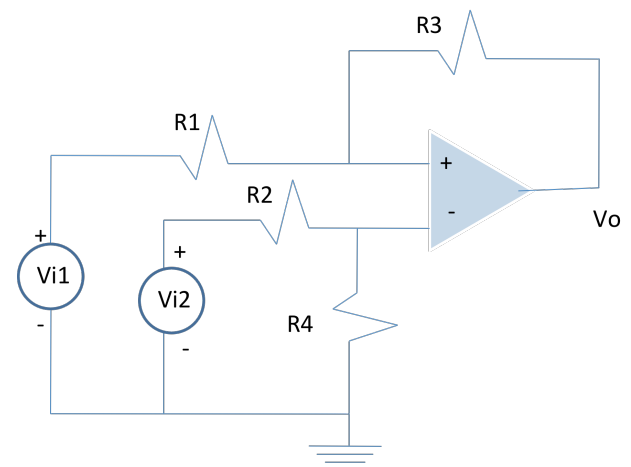


Fig. 7. Amplificador diferencial.

Como se puede apreciar en (2) el voltaje de salida del amplificador diferencial V_o es proporcional a la diferencia de voltajes aplicados a las entradas (+) y (-) además de ser multiplicados por una ganancia diferencial, la cual está dada por:

$$A_{vf} = \frac{R_3}{R_1} \quad o \quad A_{vf} = \frac{R_3}{R_2} \quad (3)$$

Para este caso $R_1=R_2$ y $R_4=R_3$.

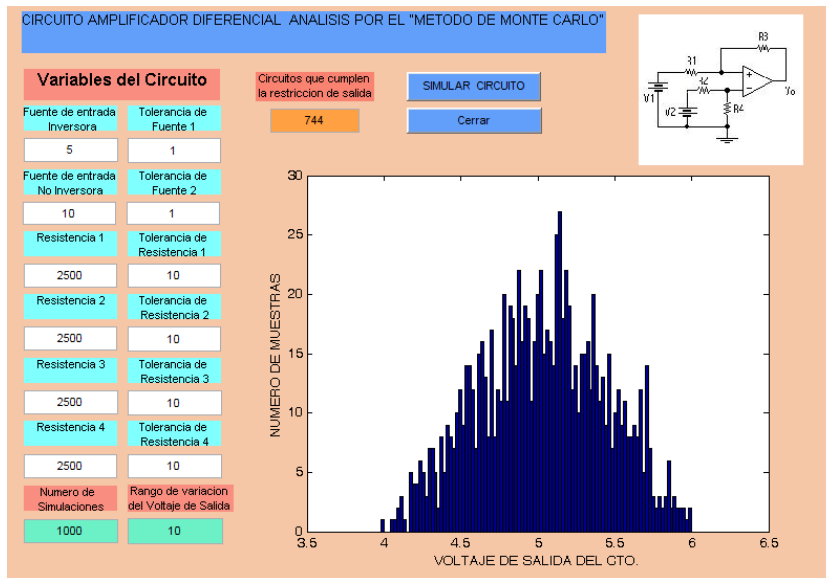


Fig. 8. Amplificador diferencial.

Una vez identificadas las ecuaciones básicas que describen la operación del circuito a analizar, se desarrolla la interfaz gráfica en el entorno de Matlab. La figura 8 muestra la interfase diseñada para este caso, esta contiene la siguiente estructura; en primer lugar el título, el cual describe el tipo de circuito a analizar y el método que utiliza. Adicionalmente, se tienen una serie de campos en donde se ingresan las parámetros del circuito y sus correspondientes tolerancias, finalmente se incluye un campo en donde se ingresa el número de circuitos a simular o tamaño del lote, así como el rango de voltaje de salida del circuito diferenciador y un campo destinado a mostrar el número de circuitos simulados que cumplen con el rango de salida que se especifico para el circuito, el resultado se muestra a través de un histograma.

En el caso de estudio mostrado en la figura 8, se simula un circuito con ganancia unitaria, en donde todas las resistencias son iguales, tanto en magnitud como en tolerancia, $R_1=R_2=R_3=R_4=2.5K\Omega$, con tolerancia del 10%, la fuentes de voltaje son: $V_1=10$ y $V_2=5$ con tolerancia del 1%, por cual se espera un voltaje de salida alrededor de 5 volts, en este caso con una tolerancia del 10%, por lo cual los circuitos aceptados deberán producir como salida un voltaje comprendido entre 4.5v a 5.5v, al simular un lote de 1000 circuitos se observa que el 74.4% de ellos son aceptados.

Obsérvese que al intentar reducir costos de fabricación del producto, sustituyendo las resistencias por otras del mismo valor pero con tolerancia del 20%, el número de dispositivos que caen en el rango de operación señalado como aceptable cae al 46.7%, esto pone de manifiesto al estudiante el impacto que tiene la variación de parámetros en el correcto funcionamiento de un circuito. La figura 9 muestra esta condición señalada.

5. Conclusiones

Se ha presentado el análisis de confiabilidad de diferentes circuitos electrónicos usando el método de Monte Carlo, así mismo se ha mostrado la relevancia de la confiabilidad dentro de la ingeniería y la industria, En el ámbito educativo, la introducción del concepto de confiabilidad aplicado a los circuitos electrónicos, brinda al estudiante un panorama más completo cuando éste se enfrenta a problemas de diseño, en donde el análisis y simulación de confiabilidad por corrimiento le permite conocer el impacto que tiene la tolerancia de componentes de un circuito en el correcto funcionamiento del sistema. Una de las finalidades de mostrar los casos de estudio como son el amplificador BJT y el Amplificador Diferencial, es conocer la confiabilidad de cada uno de ellos considerando su fabricación en serie y con ello establecer si es posible garantizar que los lotes de fabricación cumplan con los requisitos o estándares de salida del mismo sistema, esto permite al estudiante de ingeniería reconocer la importancia que tiene el análisis de la confiabilidad que debe tener un producto con el fin de poder ofrecer productos con mayor calidad a precios competitivos, y de esta manera mantener a una empresa en el mercado que en la actualidad es muy competido. Finalmente, la interfase grafica diseñada para cada caso de estudio permite al estudiante emplear mayor tiempo de análisis, lo cual tiene ciertas ventajas entre las cuales están:

- No es necesario armar un circuito para determinar si este funcionará adecuadamente.
- Después de simular un lote N de circuitos se puede determinar cuánto cumplen con las especificaciones.

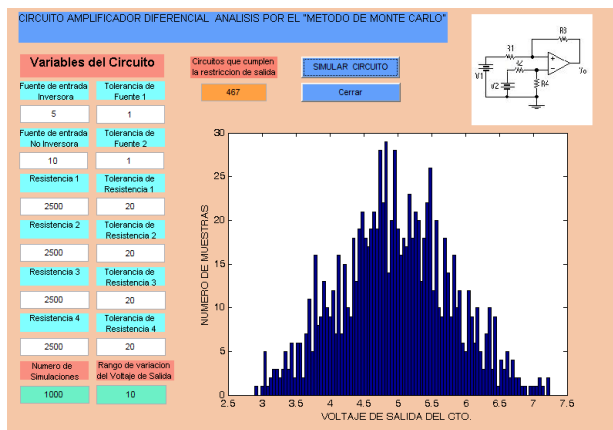


Fig. 9. Análisis de la confiabilidad de un amp. Diferencial don tolerancia del 20% en sus elementos resistivos.

- Se puede evaluar cuál componentes es el más crítico.
- Se puede evaluar la capacidad de diseño.

6. REFERENCIAS

- [1] Hamann J, "Using Monte Carlo Simulations to Introduce Tolerance Desing to Undergraduates", IEEE Transactions on Education, No. 1, Vol. 42, pp. 1-7, 1999.
- [2] Distler R. J., "Monte Carlo Analysis of System Tolerance", IEEE Transactions on Education, May, pp. 98-101, 1977.
- [3] Marascu, A., Dumitriu, L., Iordache, M., Niculae, D., "Tolerance analysis for Chebysev filters", Circuits and Systems for Communications, 2008. ECCSC 2008. 4th European Conference on Digital Object, pp. 133 – 137, 2008.
- [4] Xiaobin X., Chenglin W., "A random set method of circuit tolerance analysis", Intelligent Control and Automation, WCICA 2008. 7th World Congress on Digital Object, pp. 3554 – 3559, 2008.
- [5] Lewis E. E., "Introduction to Reliability Engineering", Wiley, 1976.
- [6] Fuqua N., "Reliability Engineering for Electronic Design", Reliability analysis center Griffiss Air Force Base, New York, 1987.
- [7] Spence, R, "Tolerance Design of Electronic Circuits", Imperial College of Science and Technology, 1997.
- [8] Cervin G., "Análisis y Simulación de Confiabilidad en Circuitos Eléctricos", Tesis de Licenciatura, UMSNH, México, Feb. 2011.

BIOGRAFÍAS:



Isidro Ignacio Lázaro Castillo nació en Cordoba, Veracruz, México. Recibió el grado de Ingeniero Electricista en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el grado de maestro en Ingeniería Eléctrica en la misma Institución en 1992 y 1999 respectivamente. Actualmente es Profesor Investigador de tiempo completo de la misma Facultad. Autor del libro Ingeniería de Sistemas de Control Continuo. Sus áreas de interés son Calidad de la Energía, Control e Instrumentación.



Juan Anzurez Marin, nació en el estado de Puebla en 1968. Recibió el título de: Ingeniero Electricista por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en 1991; Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica opción instrumentación por el Instituto Tecnológico de Chihuahua en

1997 y Dr. en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, Unidad Guadalajara en 2007. Ha sido profesor de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana desde 1987 actualmente colabora tanto en los programas de Licenciatura como en Posgrado de la misma Facultad. Sus áreas de interés son Instrumentación y Control de Sistemas así como el desarrollo de algoritmos para el Diagnóstico de Fallas en Sistemas no Lineales.

Gerardo Cervin Rodríguez, nació en Cherán, Mich. México en 1978, Recibió el título de Ingeniero Electricista por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en 2011; Sus áreas de interés son: Confiabilidad de Sistemas Eléctricos y Electrónicos.