



**XVI**  
Congreso Nacional de  
Investigación Educativa  
CNIE-2021

## Simulación por computadora como recurso didáctico y metodológico en la enseñanza e investigación en ingeniería

**Ángel Vergara Betancourt**

TecNM, Campus Zacapoaxtla  
[angel.vb@zacapoaxtla.tecnm.mx](mailto:angel.vb@zacapoaxtla.tecnm.mx)

**Lina Ramírez Zamudio**

TecNM, Campus Zacapoaxtla  
[linaramirez@live.itsz.edu.mx](mailto:linaramirez@live.itsz.edu.mx)

Área temática 06. Educación en campos disciplinares.

Línea temática: Papel de las tecnologías en los procesos educativos, en el marco de los saberes específicos de un campo de conocimiento disciplinar.

Tipo de ponencia: Intervenciones educativas.



### Resumen

En este trabajo se discute el uso de simuladores computacionales dentro del aula de clases, como un recurso didáctico y metodológico en el proceso de enseñanza aprendizaje, en el campo de la investigación y en el desarrollo tecnológico, sobre todo, en los tiempos actuales de COVID-19. Se enfatiza en la importancia y las ventajas que ofrece la simulación de procesos dinámicos, en el contexto actual, donde las clases virtuales y a distancia, han tomado protagonismo en todos los países y en las diferentes áreas de estudio, dificultando el desarrollo de trabajo práctico y de laboratorio. Para exponer este punto, se ejemplifica con un caso de estudio en particular: la enseñanza de las clases de control de la carrera de ingeniería mecatrónica. Se demuestra que, a través de la simulación, es posible establecer un enlace entre los conceptos teóricos matemáticos (ecuaciones diferenciales, función de transferencia, modelos matemáticos) y su aplicabilidad e implementación en casos prácticos. Para este trabajo se utiliza el simulador computacional de acceso gratuito, Scilab/Xcos, para simular un sistema de control y posteriormente implementarlo físicamente.

**Palabras clave:** Simulación, enseñanza-aprendizaje, recurso didáctico, COVID-19, Sistemas de Control.

## Introducción

El último año ha significado un cambio de paradigmas en el proceso de enseñanza-aprendizaje en alumnos y docentes de los diferentes niveles académicos (Guzmán, Vázquez, & Escamilla, 2020). La pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2, obligó a la virtualidad y la educación a distancia, situación para la cual, la mayoría de la gente no estaba preparada, ni en el manejo de herramientas tecnológicas, ni en su implementación en el aula virtual. Si además de esta situación, se considera que en muchas disciplinas como en ingeniería, comprobar teorías y leyes en la mayoría de las veces resulta difícil y en otras se exige el uso de laboratorios, la situación se complica aún más. Por esta razón el uso de tecnologías de información y recursos digitales, se han vuelto los grandes aliados de la educación, y su uso y manejo eficiente dentro del aula virtual es indispensable para todo actor de la educación.

Por otra parte, es una realidad que en la enseñanza en ingeniería, la complejidad matemática y de abstracción de algunos temas, en muchas ocasiones conlleva a que los estudiantes pierdan el interés de forma prematura, desaprovechando así la oportunidad de observar, experimentar, analizar, deducir e inducir nuevos fenómenos físicos. Sin embargo, con la llegada de la computadora y su implementación en la educación, se inició una nueva perspectiva de enseñanza aprendizaje en el aula de clases, la simulación computacional. La cual según (Wachutka, 1994), consiste en el uso de la computadora para reproducir de forma aproximada y estudiar la dinámica de diversos fenómenos, ya sean físicos, químicos, biológicos, económico, sociológico, etc. (Tomado de, (Duarte & Fernández Morales, 2005)).

Además, el uso de simuladores promueve y desarrolla en los alumnos, la capacidad de análisis y síntesis de distintos problemas de la ingeniería. En este sentido, como se menciona en (Albiter Jaimes, Mendoza Mendez, & Dorantes Coronado, 2019), el concepto y la aplicación de Pensamiento Computacional (Computational Thinking) (Zapotecatl López, 2018), forman parte de las estrategias de enseñanza que permiten formar a los futuros profesionistas para la era digital, enfoque que pretende promover habilidades orientadas a la creatividad y la innovación. Tal y como lo exige el modelo educativo para el siglo XXI (DGEST, 2012) que rige los planes de estudio del TecNM y que apunta al desarrollo de competencias del saber hacer.

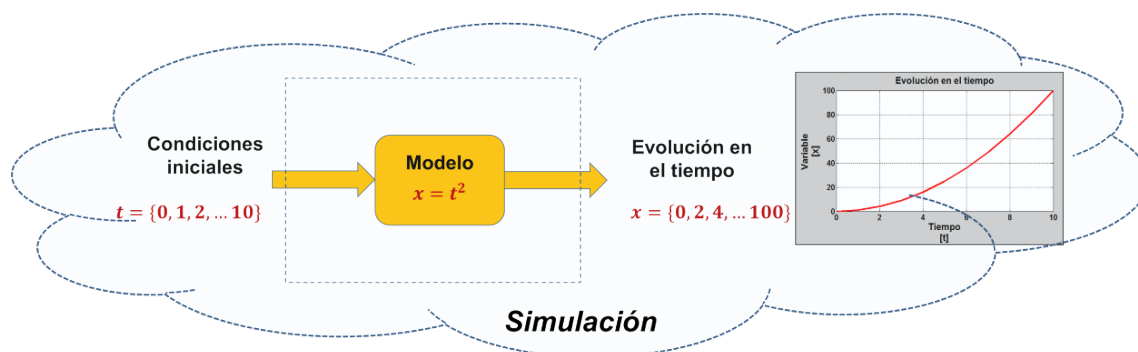
Ante este reto, la implementación de simulaciones como parte de las estrategias que el TecNM ha propuesto para garantizar la continuidad académica en tiempos de COVID-19 (TecNM), han representado una alternativa que suple temporalmente las prácticas de laboratorio, contribuyendo de esta manera con la formación integral del estudiante. De esta manera, y como caso particular de estudio, en este trabajo se presenta la implementación de simulaciones para la enseñanza de la asignatura de Control de la carrera de Ing. Mecatrónica. En este caso, el uso de simuladores, juegan un papel importante, ya que son un eslabón entre los conceptos teóricos y el desarrollo experimental de proyectos.

Aún más, el uso de simuladores computacionales contribuye con el proceso de aprendizaje, el cual está compuesto por una serie de diferentes fases: motivación, interés, atención, adquisición, comprensión e interiorización, asimilación, aplicación, transferencia y evaluación (Pozo & Monereo, 1999). Tomando en cuenta que cada una de estas fases, son relevantes en el desarrollo de proyectos y en la formación integral del estudiante.

## Desarrollo

La simulación por computadora es una herramienta multidisciplinar que intenta modelar situaciones reales por medio de programas de cómputo especializados (González, 2012), es decir, imita la operación de un proceso real o sistema y observa su evolución en el tiempo (Figura 1). Para lograr este objetivo, se requiere tener o desarrollar un modelo que represente las características principales del comportamiento o funcionamiento del sistema o proceso, físico o abstracto (Valdivia, 2015) y a partir de este modelo, establecer condiciones iniciales para observar el comportamiento del sistema en el tiempo.

Figura 1. Proceso de simulación por computadora



Fuente. Diseño propio.

Con el desarrollo de programas de simulación, los estudiantes pueden experimentar de forma virtual sobre los diferentes fenómenos físicos y el comportamiento de estos (predicción del pasado y futuro) estableciendo condiciones iniciales y/o de frontera (Serna, 2015), (Duarte & Fernández Morales, 2005). Además de que el uso de software de simulación ofrece algunas ventajas en los procesos de enseñanza, tales como: reducción del tiempo de diseño, reducción de costos, la posibilidad de modificar efectos internos y externos de los sistemas, la observación de forma detallada del desempeño del sistema que se está simulando; lo que se traduce en una mejor comprensión del fenómeno de estudio, además de que se puede experimentar con nuevas situaciones y con ello anticipar resultados no previstos (Pareja Aparicio, 2013).

La simulación por computadora es aplicable a distintos campos del conocimiento, tales como: medicina, biología, economía, física, química e ingeniería entre otros. La simulación involucra dos aspectos, 1) construir un modelo

(Dinámico, estático, matemático, físico, analítico, numérico, determinístico, estocástico, continuo o discreto), y 2) experimentar diversas opciones para elegir y utilizar la mejor (óptima o suficientemente aproximada) en un sistema real Sin embargo, simular no significa simplemente ingresar datos a la computadora y observar los resultados que esta arroja, simular es todo un concepto, es un arte. Si la información que se está proporcionando a la máquina es incorrecta o insuficiente, se pueden obtener resultados erróneos o alejados de la realidad. Para desarrollar una adecuada simulación, se deben considerar diversos aspectos, tales como: tipo de modelo que se está proporcionando, información inicial y condiciones de simulación que se tiene para evaluar el modelo, tiempo y resolución del proceso de simulación, así como consumo de recursos computacionales, algoritmos a utilizar y métodos de validación de los resultados. En la figura 2, se resume de forma general la metodología para llevar a cabo un proceso de simulación.

Figura 2. Metodología para realizar simulación por computadora



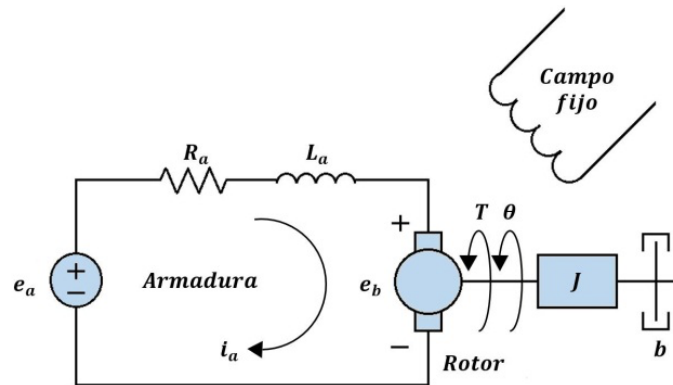
Fuente. Diseño propio.

Como ejemplo, se propone utilizar Scilab/Xcos, que es un software de ingeniería con acceso gratuito, para simular el desempeño de un motor de DC cuando a este se le ha agregado un sistema de control PID. Con base en los resultados observados, se procede a su implementación física. A continuación, se muestran los pasos de la simulación para este caso particular, según lo descrito en la metodología.

### Obtención o desarrollo de modelos

En este caso se propone estudiar la dinámica de un motor de corriente continua (figura 3) y después de un formalismo matemático riguroso, se obtiene el modelo que representa la velocidad de dicho motor, como lo describe la ecuación 1 y 2.

Figura 3. Diagrama de cuerpo libre de un motor de DC controlado por armadura



Fuente. Diseño propio.

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{s[(R_a + sL_a)(Js + b) + KK_b]}; \quad (1)$$

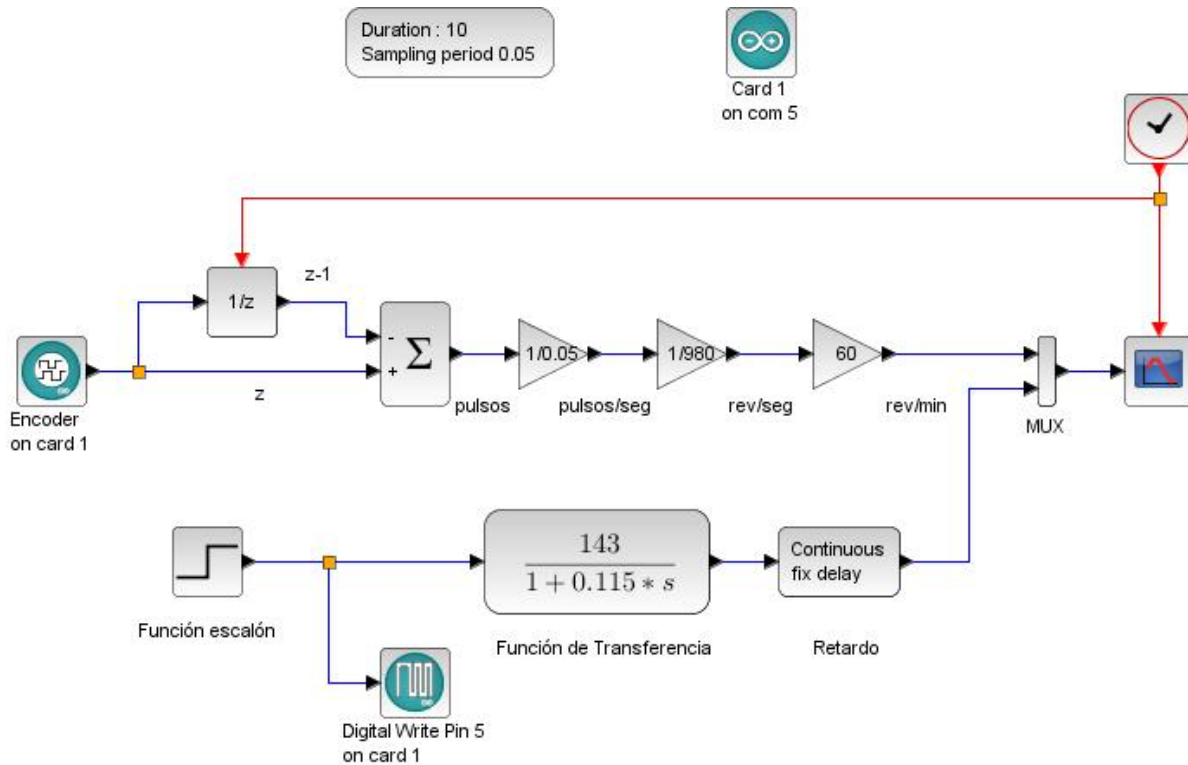
$$G(s) = 143 \frac{e^{-0.05s}}{0.115s + 1}; \quad (2)$$

Como se puede apreciar, este modelo matemático puede resultar complejo y difícil de interpretar, lo cual puede desmotivar al estudiante a continuar analizando este tipo de problema, los cuales, vale mencionar, son muy usuales en la vida diaria, tanto en la industria, como en el entorno cotidiano. Sin embargo, como ya se ha mencionado, la simulación computacional, ofrece un recurso didáctico, que puede facilitar el análisis de este tipo de problemas. Lo que conduce al siguiente paso.

### Representación computacional del modelo

Para esta etapa, suele ser importante definir el recurso computacional que se desea utilizar. Puede estar determinado por las características funcionales del programa de cómputo o bien, por su facilidad en el manejo. Para este trabajo, se ha optado por utilizar el software matemático Scilab, ya que representa una opción de software libre que está disponible en la red para todo usuario. De este software, se desea utilizar la herramienta de Xcos, la cual consiste en una representación gráfica del modelo matemático. De tal suerte, que el estudiante solo tendrá que interconectar bloques que representen cada parte del modelo, como se muestra en la figura 4. Este paso es muy importante, ya que contribuye al análisis del problema y lleva a estudiante a revisar y analizar de manera minuciosa cada parte del problema.

Figura 4. Modelo en Xcos que representa la velocidad de un motor descrita por la ecuación 2



Fuente. Diseño propio.

En la figura 4, por ejemplo, se realizan operaciones matemáticas lógicas y algebraicas, y el resultado obtenido, se muestra a través de un elemento de visualización. Para este caso en particular, el simulador, también puede comunicarse con el entorno físico a través de bloques y comparar la respuesta física con la respuesta del modelo computacional.

### Establecimiento de condiciones iniciales o de frontera

Para llevar a cabo el proceso de simulación, se deben establecer las condiciones bajo las cuales se desea experimentar el modelo, teniendo en cuenta que un sistema físico podrá operar de forma distinta bajo diferentes condiciones, como se muestra en la tabla 1. En este punto se seleccionan las condiciones de operación del sistema.

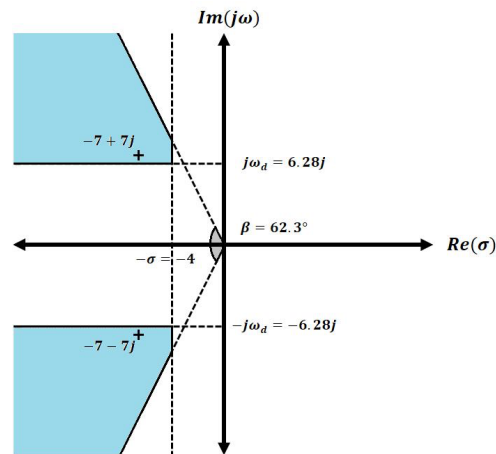
Tabla 1. Parámetros que se desean cumplir en la curva de respuesta transitoria del sistema controlado

Parámetro	Condición
Tiempo de establecimiento	$t_s(2\%) < 1 \text{ seg}$
Tiempo pico	$t_p < 0.5 \text{ seg}$
Sobrepaso máximo	$M_p < 20 \%$

Fuente. Diseño propio.

Mientras que en la figura 5, se estudia el margen de operación de los valores de los parámetros, que permiten conocer que tanto pueden ser modificados, antes de que el sistema del motor pueda colapsar o caer en inestabilidades. Precisamente esta es una ventaja sustancial de la simulación, se puede anticipar la operación del sistema, sin necesidad de que opere de forma física.

Figura 5. Parámetros de la respuesta deseada descritos en el plano complejo. El área en azul contiene los valores que satisfacen los requerimientos de estado transitorio establecidos



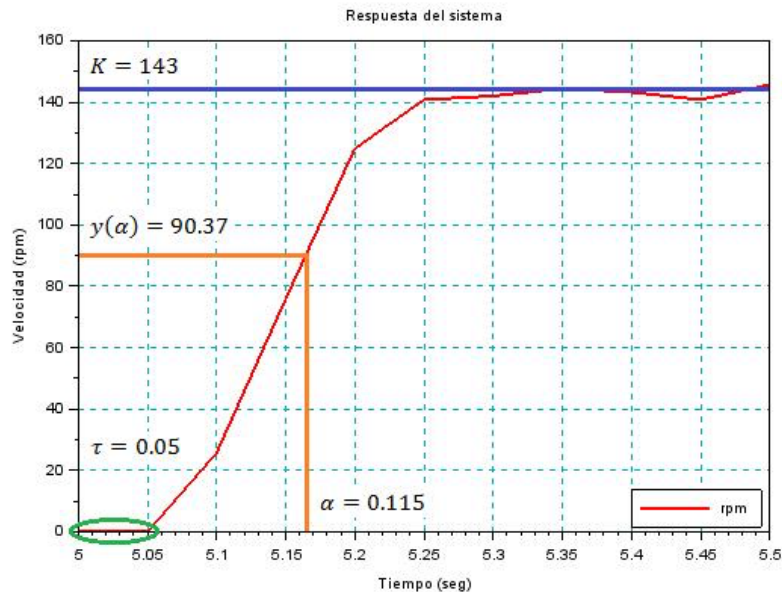
Fuente diseño propio.

Para el caso que se está estudiando, estas condiciones consisten, por ejemplo, en la velocidad que se desea gire el motor, o el tipo de señal eléctrica que será introducida al motor. Aquí también se puede establecer si existen perturbaciones externas o algunos efectos adicionales que modifiquen la respuesta del motor.

### Experimentación computacional

En este punto, el estudiante puede observar el comportamiento de un sistema y puede experimentar con él, sin el riesgo de dañar equipo físico. Incluso, se puede experimentar bajo condiciones de operación extremas y observar singularidades en el sistema, situaciones que no serían observables de forma física. En esta etapa, se pueden modificar los parámetros que inicialmente fueron establecidos al sistema, y estudiar la respuesta del sistema, extraer información del sistema y analizar los resultados observados. Como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Parámetros de la Respuesta Transitoria de la velocidad del motor



Fuente. Diseño propio.

En la figura 6, se obtiene la respuesta del comportamiento de la velocidad del motor, y se deduce que, para este caso, el motor logra alcanzar una velocidad de 142 RPM. Pero también se puede determinar que le toma alrededor de 0.25 segundos alcanzar este valor y que al inicio hay un retraso de aproximadamente de 0.05 segundos antes de que el motor gire, estos datos son obtenidos sin necesidad de utilizar un motor físico, solamente utilizando un modelo matemático que representa la dinámica de motor.

La información recabada hasta este momento, le permitirá al estudiante tomar decisiones acerca de si las condiciones de operación del sistema que está analizando son suficientes y adecuadas, si necesita realizar ajustes o si hay margen de maniobra, por mencionar algunos puntos de análisis.

### Validación de modelo y resultados

Una vez analizado los resultados, el estudiante tendrá que validar los resultados para establecer entonces, conclusiones de lo observado. Para ello, es necesario que compare con sistemas ya conocidos o bien que experimente bajo otras suposiciones y certifique el que resultado esperado ha sido el que se observa. Por ejemplo, en la figura 7 y 8 el sistema es sometido a diferentes situaciones de operación y los resultados observados validan que el sistema se comporta según lo previsto.



Figura 7. Comparación de curvas de respuesta entre el sistema real vs respuesta de la simulación del modelo propuesto.  
Fuente. Diseño propio

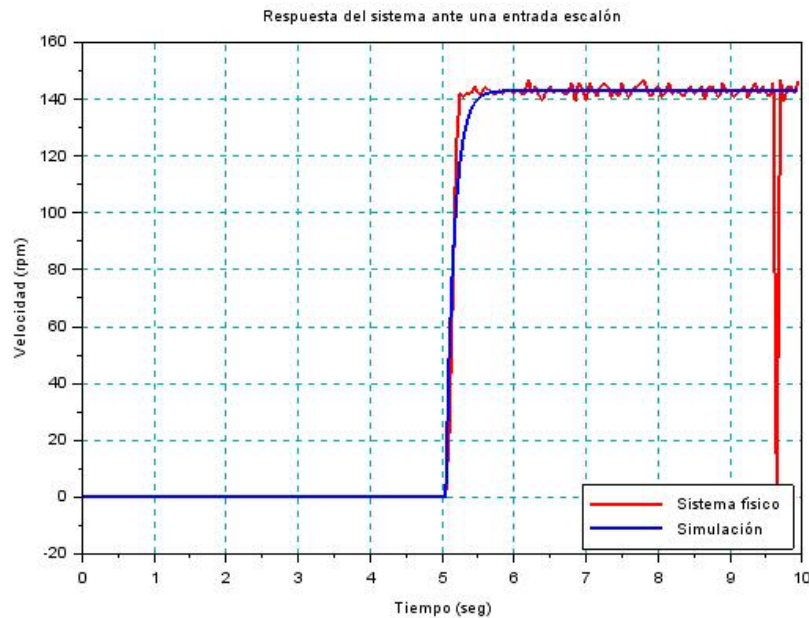
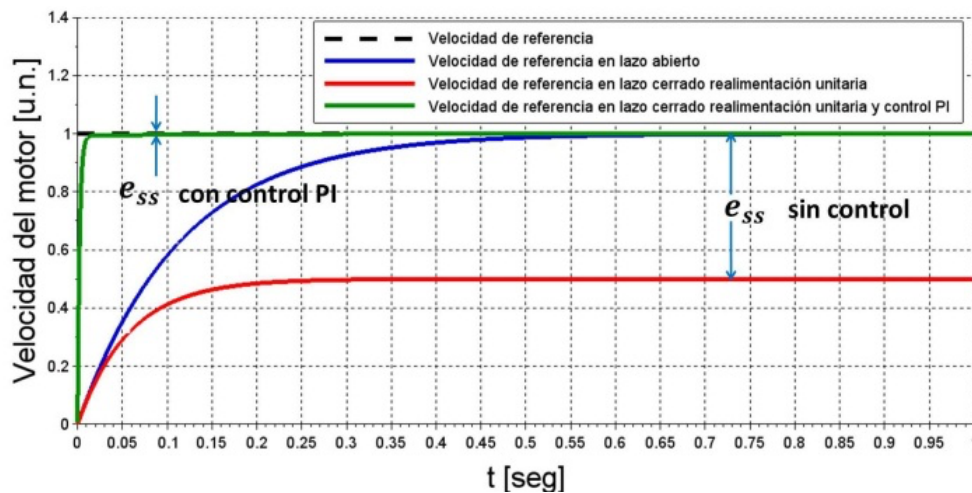


Figura 8. Respuesta dinámica del modelo del motor cuando el sistema es realimentado con ganancia unitaria y se agrega un controlador

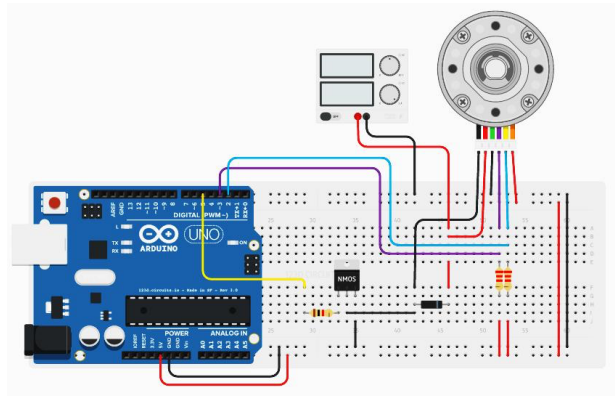


Fuente. Diseño propio.

## Documentación de resultados

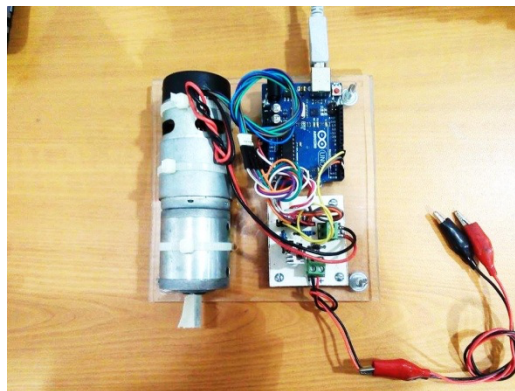
Finalmente, el alumno podrá elaborar su propia discusión de resultados y documentar los hallazgos. Más aún, podría proponer mejoras al sistema o aplicar lo aprendido en el desarrollo de una práctica o en un proyecto. Como se muestra en la figura 9 y 10.

Figura 9. Diseño de un sistema de control de velocidad de un motor de CC



Fuente. Diseño propio.

Figura 10. Prototipo físico de un sistema de control de velocidad de un “motor de DC controlado por armadura”



Fuente. Diseño propio.

Como se puede observar, se inició con un modelo matemático, el cual al inicio parecía no tener un sentido físico, sin embargo, a través de un proceso de simulación, se logró la comprensión del problema y se concluyó en la elaboración de proyectos de aplicación práctica. Situación que se desea lograr en el proceso de los estudiantes, conectar la teoría y la práctica.

## Conclusiones

Simular por computadora procesos físicos, es una alternativa que complementa los procesos de enseñanza-aprendizaje. Le permite al alumno observar comportamientos, comprobar, analizar, deducir e inducir, tomar decisiones, validar resultados y lo lleva a diseñar e innovar. Desarrollar simulación computacional, implica no solo manejar un software determinado, sino también, comprender el problema o modelo que se desea simular e interpretar correctamente los resultados para llevarlos posteriormente a un desarrollo experimental. La simulación es el eslabón entre la teoría y la práctica.

Además, realizar simulación por computadora ofrece las siguientes ventajas: Es una opción económica frente a procesos reales, se pueden analizar situaciones bajo condiciones extremas o inestables, acelera el proceso de innovación, permite tomar decisiones sobre el sistema, en función de los resultados obtenidos y se puede aplicar para generar nuevos modelos. En conclusión, el uso de simuladores computacionales en clase favorece el proceso de aprendizaje y sus diferentes fases: motivación, interés, atención, adquisición, comprensión e interiorización, asimilación, aplicación, transferencia y evaluación, quedando demostrado con ello que, a pesar de la contingencia, la formación académica de calidad persiste en los alumnos del TecNM.

## Referencias

- Albiter Jaimes, J., Mendoza Mendez, R., & Dorantes Coronado, E. (2019). El pensamiento computacional en la electrónica: la importancia del software de simulación en la comprensión del principio de funcionamiento de los componentes electrónicos. *3C TIC. Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 85-113.
- DGEST. (2012). TecNM. Obtenido de <http://www.dgest.gob.mx/director-general/modelo-educativo-para-el-siglo-xxi-formacion-y-desarrollo-de-competencias-profesionales-dp2>
- Duarte, J. E., & Fernández Morales, F. H. (2005). La simulación por computador en investigación y desarrollo. *Tecnura*, 106-114.
- González, E. O. (2012). Simulación por computadora: Una herramienta robusta. Celaya, Guanajuato, México.
- Guzmán, A., Vázquez, J. A., & Escamilla, O. (2020). Cambio de paradigma en la educación. *Cirujano General*, 132-137.
- Pareja Aparicio, M. (2013). Software libre y simulación de circuitos electrónicos. *Revista Digital de ACTA*, 1-13.
- Pozo, J., & Monereo, C. (1999). *El aprendizaje estratégico: enseñar a aprender desde el currículo*. Madrid: Santillana.
- TecNM. (s.f.). TecNM. Obtenido de [https://www.tecnm.mx/?vista=TecNM\\_Virtual&tecnm\\_virtual=Secciones](https://www.tecnm.mx/?vista=TecNM_Virtual&tecnm_virtual=Secciones)
- Valdivia, I. J. (2015). Simulación en Computadora. Perú.
- Wachutka, G. (1994). Problem Orientated Mo-deling of Microtransducers: State of the Art and Futu-re Challenges. *Sensors and Actuators*, 279-283.
- ZapotecatI López, J. L. (2018). *Introducción al pensamiento computacional: conceptos básicos para todos*. México: Academia Mexicana de Computación, A. C.