



# ESTRATEGIA PARA LA ENSEÑANZA DE CINEMÁTICA EN INGENIERÍA BASADA EN LABORATORIOS REMOTOS INTERINSTITUCIONALES

**Julio C. Correa**

**Universidad Pontificia  
Bolivariana  
Medellín, Colombia**

**Alejandro Restrepo  
Martínez**

**Universidad Nacional  
de Colombia  
Medellín, Colombia**

**Carlos A. Trujillo**

**Universidad de  
Antioquia  
Medellín, Colombia**

## **Resumen**

La estrategia de los autores para desarrollar prácticas remotas, denominados en este trabajo laboratorios remotos, para los cursos afines al análisis dinámico de máquinas y mecanismos dictados en las instituciones aliadas, pretende aprovechar y compartir los recursos disponibles en cada una de ellas. En los actuales momentos, este tipo de estrategia se plantea como una opción para enfrentar los retos impuestos por la pandemia de Covid-19, pero es igualmente válida cuando se puedan retomar plenamente las actividades presenciales. La experiencia colaborativa presentada en este trabajo se enmarca en la cinemática, la cual es una de las etapas iniciales del análisis y diseño de sistemas mecánicos relevantes para ingeniería. Además de reforzar la colaboración interinstitucional, la estrategia apunta a atender la dificultad en los estudiantes para hacer mediciones e interpretar la influencia de variables cinemáticas.

**Palabras clave:** cinemática; laboratorios remotos; cooperación interinstitucional

## **Abstract**

*The strategy of the authors to develop remote practical activities, denoted in this work as remote laboratories, for courses related to dynamic analysis of machines and mechanisms taught at the allied institutions, seeks to take advantage and to share the resources available in each one of them.*

*Currently, this type of strategy is seen as an option to tackle the challenges imposed by the Covid-19 pandemic; although, it is equally valid when face-to-face activities can be resumed. The collaborative experience presented in this work is framed in the topic of kinematics, which is one of the initial stages for the analysis and design of mechanical systems relevant in engineering. Besides strengthening interinstitutional collaboration, the strategy aims to address difficulties in the students for measuring and interpreting the influence of kinematic variables.*

**Keywords:** *kinematics; remote laboratories; interinstitutional cooperation*

## 1. Introducción

En la cuarta revolución industrial, la manufactura de productos utilizará robots, maquinaria de producción y servicios interconectados, propiciando que la producción sea mucho más veloz y eficiente, todo esto apoyado en los inmensos avances digitales en internet, la capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos y la inteligencia artificial, entre otros. Son muchas las consideraciones que surgen con respecto a este nuevo escenario. Una de ellas es la necesidad de profesionales con una preparación que les permita afrontar realidades muy complejas. También hay preocupaciones con respecto al acceso y formación en estas tecnologías, por lo que la academia tiene un papel relevante en lo relacionado con la formación integral de los futuros ingenieros.

Por lo anterior, este trabajo presenta tres experiencias piloto, en las cuales se explora y se demuestra la factibilidad y funcionalidad del desarrollo e implementación de ambientes didácticos, equipados con tecnologías de la industria 4.0, que permitan aprovechar las capacidades de las instituciones participantes y crear sinergias para utilización conjunta en la formación de los ingenieros del presente y del futuro.

Las experiencias colaborativas presentadas se enmarcan en la cinemática, la cual es una de las etapas iniciales del análisis y diseño de sistemas mecánicos relevantes para ingeniería, lo cual ha permitido a los autores desarrollar prácticas remotas para los cursos afines al análisis dinámico de máquinas y mecanismos, dictados en las instituciones aliadas. Estas experiencias hacen uso de recursos y capacidades para la industria 4.0 disponibles en las instituciones, estos son: robot manipulador serial, instrumentación experimental y aplicaciones computacionales, de autoría propia, para uso libre.

Los robots manipuladores seriales están compuestos por barras consecutivas conectadas por articulaciones. Un extremo está fijo a tierra y el extremo libre, llamado el actuador final, puede moverse en el espacio (Crane & Duffy, 1998). Su principal uso se encuentra a nivel industrial, aunque también hay reportadas numerosas experiencias de laboratorios utilizando brazos robóticos, tanto industriales como prototipos, para la enseñanza de la robótica y también enfocados a cursos de control (Ruderman, Hoffmann & Bertram, 2012). Sin embargo, a nivel de cursos básicos de pregrado y en particular en aquellos donde se aborda la enseñanza de la cinemática, los trabajos son muy escasos.



En el fortalecimiento del aprendizaje de la cinemática, el desarrollo de experimentos reales favorece los procesos de aprendizaje de los estudiantes. En este contexto, el uso de sensores, como acelerómetros y giróscopos, presentes en los dispositivos móviles, ha abierto nuevas posibilidades de ejecutar experimentos tradicionales de física mecánica, por ejemplo, el estudio de un péndulo simple. En esta línea, se pueden referenciar los siguientes trabajos: Martínez (2015); Pili & Violanda (2018); Dauphin & Bouquet (2018); Luh, *et al.* (2019).

Además de la realización de los montajes propuestos, es necesario destacar la aplicación móvil Phyphox (<https://phyphox.org/>), la cual es una excelente herramienta para ejecutar diversos experimentos con los sensores presentes en los teléfonos móviles.

Finalmente, cuando los estudiantes son introducidos a estas tecnologías adquieren competencias para tomar y analizar datos cinemáticos de casos más complejos, un ejemplo de esto es el artículo de Mesa-Restrepo, *et al.* (2018), el cual desarrolla una propuesta de medición de los lanzamientos de un frisbee, incorporando un Arduino, un acelerómetro y el sistema de análisis de videos Kinovea (<https://www.kinovea.org/>), como herramientas de medición de aceleraciones y velocidades de varios tipos de lanzamiento ejecutados por un deportista.

Es deseable que el estudiante desarrolle habilidades para analizar el desempeño cinemático de un sistema mecánico, al momento de tomar decisiones de diseño. La formación apoyada en simulaciones computacionales favorece que los estudiantes adquieran experticia intuitiva sobre fenómenos mecánicos, superen preconcepciones erróneas, mejoren sus capacidades para dar explicaciones y hagan predicciones aceptables de fenómenos experimentales (Larkin, 2014; Zacharia & Anderson, 2003). Se ha reconocido que la instrucción de la dinámica en ingeniería se ve favorecida por la incorporación de contenido multimedia y el uso de TIC, no solamente para presentar los conceptos analíticos, si no para relacionarlos con situaciones tecnológicas realistas (Liang, 2002). Algunos autores han incorporado recursos, tanto propios como de terceros, en plataformas para experimentación en línea, donde los estudiantes pueden interactuar con simulaciones y observar el efecto de parámetros de diseño en el desempeño de sistemas mecánicos (Aziz, 2011; Llado & Sanchez, 2011). Aunque algunos de estos recursos son libres, la mayoría tiene restricciones comerciales o de uso. Es por esto que el desarrollo de aplicaciones computacionales de uso libre es una necesidad sentida para la instrucción en sistemas mecánicos.

## 2. Metodología

Las tres experiencias se desarrollan bajo una misma metodología general. Esta consiste en implementar un sistema mecánico, o una simulación, en cada institución. La experiencia de los estudiantes consiste en realizar el trabajo analítico o de modelado pertinente para, posteriormente, de manera remota, interactuar con el sistema mecánico o la simulación, haciendo las mediciones de variables pertinentes a través de un sistema de comunicación adecuado a las realidades y capacidades institucionales. Por último, se espera que los estudiantes contrasten los resultados de las mediciones con los modelos planteados y hagan la reflexión correspondiente. En la figura 1 se describe la metodología genérica de los laboratorios remotos.



Se realizaron experiencias piloto en cada institución, que permitieron una validación preliminar, para plantear una propuesta a ser ejecutada entre las tres universidades, a través de guías escritas que pueden ser utilizadas por los estudiantes de cualquiera de las instituciones. Estas fueron:

2.1. Generación y análisis de trayectorias en el plano utilizando un manipulador robótico. Los estudiantes envían electrónicamente una trayectoria en un formato adecuado para ser interpretado por el manipulador, este la ejecuta y genera un archivo con datos de la trayectoria para ser analizado por los estudiantes.

Para lograrlo, se desarrolló un software que facilita la interpretación de los datos recibidos, la transmisión de estos al robot, así como la recepción de los resultados para su posterior análisis. De esta forma se logran generar trayectorias en espacios de trabajo seguros tanto para las personas como para los equipos, se facilita a los estudiantes concentrarse en los aspectos cinemáticos de las trayectorias generadas sin necesidad de tratar con los aspectos conceptuales propios de cursos avanzados de robótica, ni con la programación del robot.

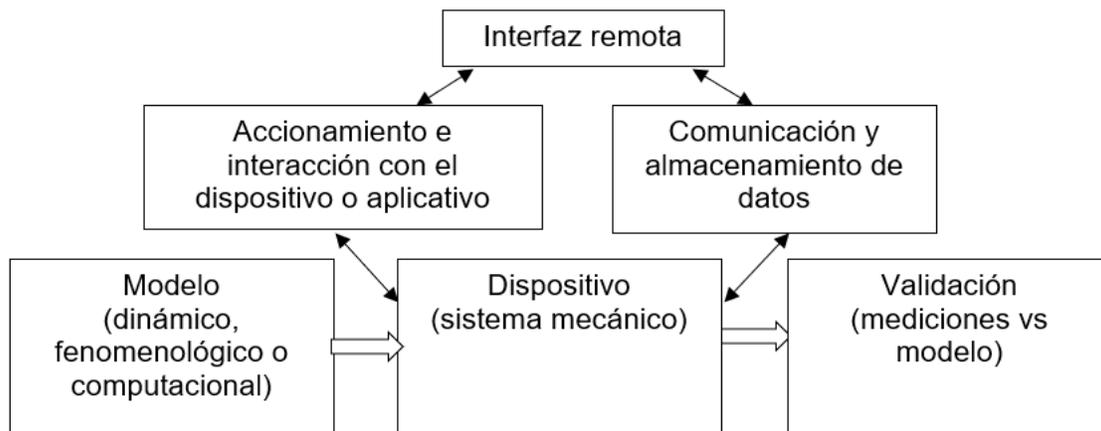


Figura 1. Metodología genérica de los laboratorios remotos

En estas prácticas se obtienen cientos de datos de posición y tiempo que se pueden analizar para encontrar las velocidades y aceleraciones de un punto sobre el actuador final. La figura 2 muestra una de las trayectorias generadas. La práctica puede llevarse a cabo presencialmente o en forma remota con transmisión en directo utilizando una plataforma convencional. Este hecho, sumado a que la información se intercambia a través de archivos, abre la posibilidad para que también estudiantes de otras instituciones puedan acceder fácilmente a un recurso valioso y que resulta altamente motivador en la formación de un ingeniero.

2.2. Medición de aceleraciones de un péndulo simple. El experimento de la medición de la cinemática del péndulo se desarrolla así: los estudiantes definen y construyen un péndulo simple, al cual le fija un celular que tiene acelerómetros y ejecuta la aplicación *Phyphox*, con la que se realizan las mediciones de aceleración. La aplicación, usando una conexión remota IP, transmite en tiempo real las gráficas asociadas al experimento. Al finalizar las mediciones, se guardan los resultados y se genera un archivo de datos, el cual es enviado vía email. Finalmente, usando una hoja de cálculo o un paquete de programación, los datos de aceleración son transformados en



velocidades y desplazamientos describiendo con todos estos datos el comportamiento cinemático del montaje analizado. La figura 3 muestra un esquema del montaje propuesto.

2.3. Aplicación computacional interactiva en línea. Se desarrolló un aplicativo computacional en GeoGebra ([www.geogebra.org](http://www.geogebra.org)), el cual es un paquete matemático dinámico que permite programar aplicaciones interactivas y distribuirlas libremente para propósitos educativos. El aplicativo está basado en el análisis cinemático del mecanismo manivela biela corredera. La aplicación contiene deslizadores para modificar parámetros geométricos y la velocidad angular de accionamiento del sistema. Su efecto en el desempeño cinemático del mecanismo se puede observar en las gráficas de las diferentes variables de interés. Para facilitar la visualización y realizar análisis, estas gráficas se pueden activar con cuadros seleccionadores. La figura 4 presenta la interfaz del aplicativo desarrollado. Se realizó una evaluación conceptual, en forma de cuestionario, para ser resuelto interactuando con el aplicativo. Las preguntas en el cuestionario suponen que el alumno manipule los parámetros constructivos y de accionamiento y explore el efecto en las variables cinemáticas graficadas y, así, se interrogue sobre las implicaciones de los parámetros de diseño en el comportamiento del sistema.

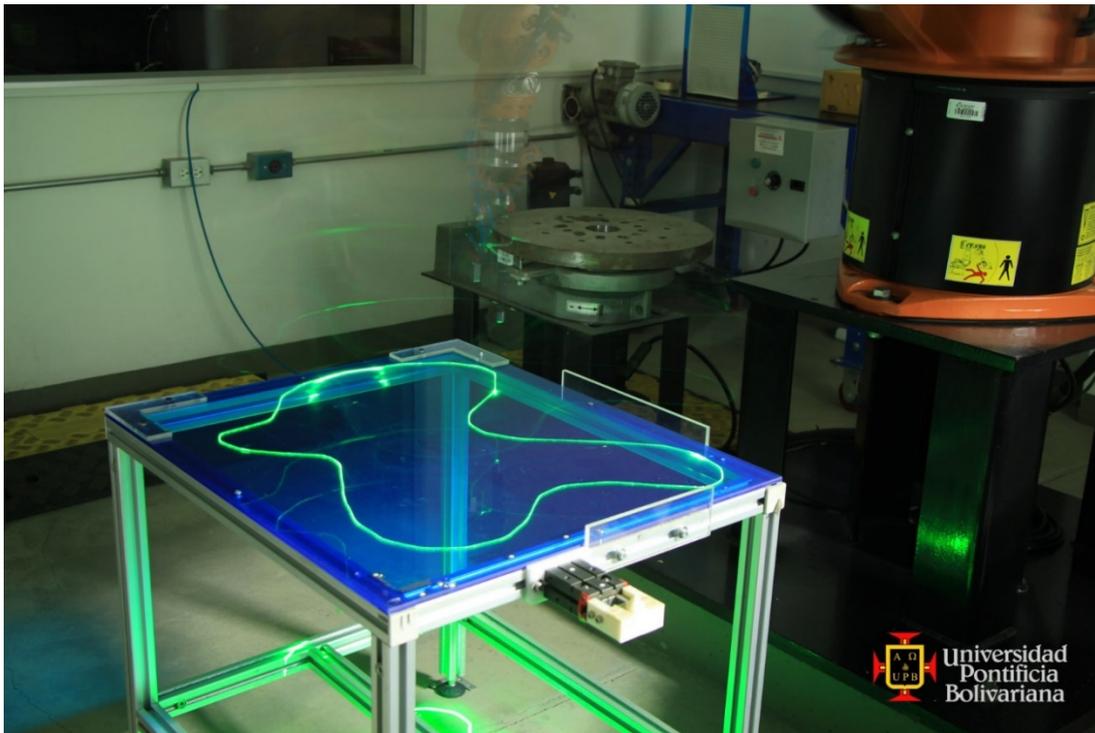


Figura 2. Curva plana generada por el robot.





Figura 3. Esquema de experimento péndulo simple donde se miden los datos con el acelerómetro del celular. Se usa una aplicación móvil, *Phyphox*, la cual transmite los datos usando comunicación wifi y una dirección IP que permiten la visualización remota del experimento.

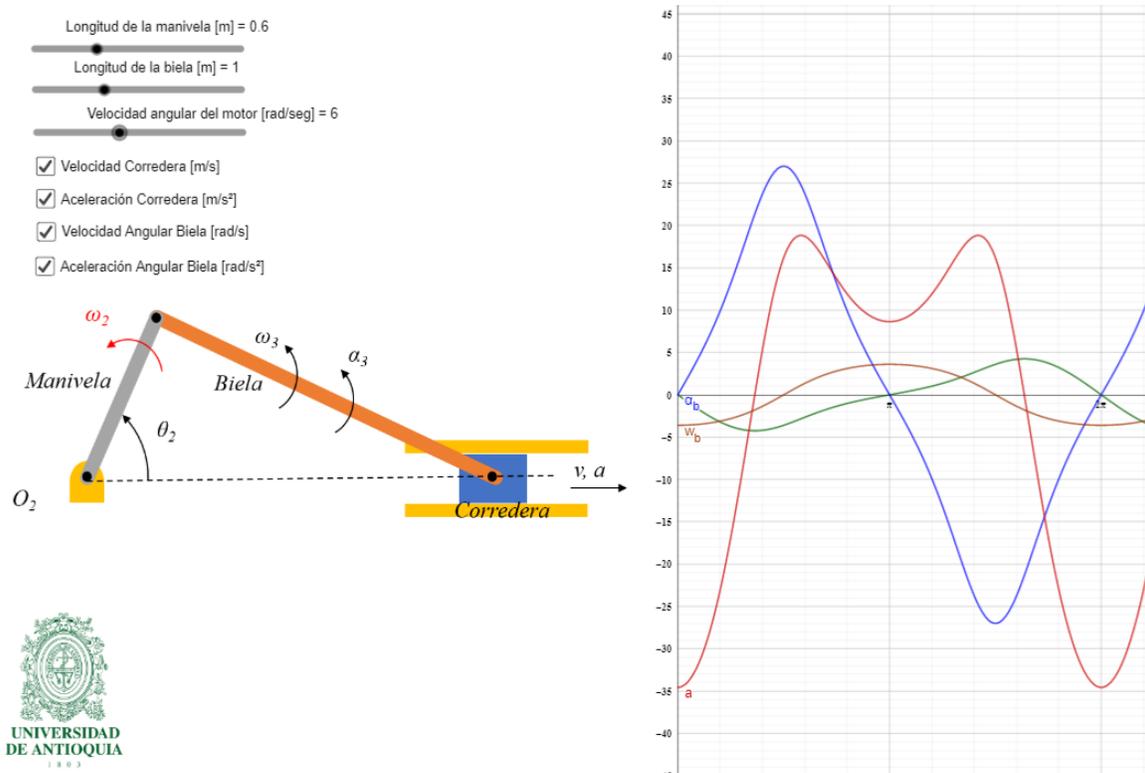


Figura 4. Interfaz del aplicativo manivela biela corredera



Para evaluar la viabilidad de la cooperación interinstitucional se desarrolló una rúbrica que pondera, a través de preguntas, tres tópicos generales: capacidades en infraestructura, pertinencia académica y adquisición y manejo de datos. Este instrumento pondera la percepción de los profesores frente a cada una de las prácticas, permitiendo establecer estrategias de selección y desarrollo.

### **3. Resultados**

Las experiencias de laboratorios remotos han permitido mostrar que:

1. Los estudiantes pueden ver en tiempo real el trazado de la trayectoria diseñada para el manipulador robótico. Con los datos obtenidos los estudiantes pueden analizar e interpretar las variables cinemáticas de interés.
2. Los estudiantes aprenden a medir con acelerómetros, variables cinemáticas, utilizando una tecnología de fácil acceso. Adicionalmente, ganan experiencia en la transmisión de datos utilizando las conexiones IP. Aplican los elementos del cálculo para representar y calcular variables cinemáticas.
3. El aplicativo computacional fortalece la habilidad para predecir la influencia de parámetros dimensionales en el desempeño cinemático de sistemas mecánicos. Se refuerza el trabajo individual, al posibilitar la manipulación de la interfaz en la plataforma en línea, y también el trabajo colaborativo, al poder comparar los resultados obtenidos por otros pares. Con los cuestionarios se obtuvo que más de la mitad del grupo puede identificar el efecto de los parámetros constructivos y de accionamiento en el desempeño del sistema empleado en el aplicativo. Se evidenció que un 40% tiene dificultades con la interpretación física de las derivadas de variables cinemáticas. La encuesta de percepción arrojó que las interfaces de los aplicativos son fáciles e intuitivas de usar; la gran mayoría los considera recursos útiles para el proceso de aprendizaje.

La utilización de la rúbrica nos permitió contar con una herramienta para ponderar la evaluación de las tres iniciativas propuestas; y aunque la valoración refleja cierto nivel de subjetividad, se llegó al consenso de que iniciativas que reciban un puntaje mayor al 70% pueden ser consideradas como viables, para ser implementadas en un proyecto interinstitucional. De otro lado, la rúbrica relevó que, aunque se utilicen equipos costosos, como por ejemplo el brazo robótico, estos recursos se pueden compartir y usar de manera remota. Finalmente, se evidenció que las tres prácticas propuestas aportan a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la cinemática, además de que establecen una clara manera de adquirir y manejar los datos, lo que posibilita su aplicación en estrategias mediadas por la virtualidad.

### **4. Conclusiones**

Los laboratorios remotos, descritos en este trabajo, han permitido mostrar la factibilidad de compartir recursos entre las tres instituciones aliadas. Los resultados preliminares demuestran que



esta estrategia es una alternativa para el fortalecimiento de la colaboración interinstitucional, así como para apoyar los procesos de enseñanza y los retos actuales para el aprendizaje de los alumnos. Estas estrategias pueden ser replicadas a nivel regional y nacional.

Los montajes permiten a los estudiantes efectuar mediciones de posición, velocidad y aceleración de partículas y cuerpos rígidos y de esta forma fortalecer su aprendizaje de la cinemática. La utilización de aplicaciones computacionales de uso libre son un recurso pertinente para apoyar la enseñanza en sistemas mecánicos.

Además de reforzar la colaboración interinstitucional, la estrategia propuesta en este trabajo apunta a atender la dificultad en los estudiantes para hacer mediciones e interpretar la influencia de variables cinemáticas. En trabajos futuros se plantea llevar a cabo mediciones sobre el aporte e impacto de estos laboratorios remotos al proceso de aprendizaje de los estudiantes de las tres instituciones.

En los actuales momentos, este tipo de estrategia es una opción para enfrentar los retos impuestos por la pandemia de Covid-19, pero seguirá siendo igualmente válida cuando se puedan retomar plenamente las actividades presenciales.

## 5. Referencias

- Aziz, E. S. (2011). Teaching and learning enhancement in undergraduate machine dynamics. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(2), pp. 244-255.
- Crane, C. & Duffy, J. (1998). *Kinematic Analysis of Robot Manipulators*. Cambridge University Press, London, p. 12.
- Dauphin, C. & Bouquet, F. (2018). Physical pendulum experiment re-investigated with an accelerometer sensor. *Papers in Physics*, 10, 100008. <https://doi.org/10.4279/pip.100008>
- Larkin, J. H. (2014). The role of problem representation in physics. In *Mental models*. Psychology Press, pp. 83-106.
- Liang, W. (2002). Using Multimedia in Teaching Dynamics. In *Proc. ASEE Conf. for Ind. And Ed. Collab., USA*.
- Llado, J., & Sanchez, B. (2011). A computer-based tool to foster engineering students' interest in dynamics. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(3), pp. 475-486.
- Martínez, J. E. (2015). Obtención del valor de la aceleración de la gravedad en el laboratorio de física. Experiencia comparativa del sensor de un teléfono celular inteligente y el péndulo simple. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), pp. 341-346.
- Mesa-Restrepo, D. A., Jiménez-Ramírez, D., & Restrepo-Martínez, A. (2018). Análisis cinemático del lanzamiento de un frisbee mediante acelerómetros y análisis de imágenes digitales. *Revista Politécnica*, 14(27), pp. 9-19. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n27a1>
- Pili, U. & Violanda, R. (2018). A simple pendulum-based measurement of g with a smartphone light sensor. *Physics Education*, 53(4), p. 043001.
- Ruderman, M., Hoffmann, F. & Bertram, T. (2012). A Matlab-based framework for the remote control of a 6-DOF robotic arm for education and research in control theory. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(11), pp. 366-371.
- Sukariasih, L., Sahara, L., Hariroh, L. & Fayanto, S. (2019). Studies the use of smartphone sensor for physics learning. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(10), pp. 862-870



- Zacharia, Z., & Anderson, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics*, 71(6), pp. 618-629.

### Sobre los autores

- **Julio C. Correa:** Ingeniero Mecánico, Máster en ciencias, Doctor en Filosofía de la Universidad de la Florida. Profesor Titular. julio.correa@upb.edu.co
- **Alejandro Restrepo Martínez:** Ingeniero Mecánico, Máster en Ingeniería de Sistemas, Doctor en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor Asociado. arestre5@unal.edu.co
- **Carlos A. Trujillo:** Ingeniero Mecánico, MSc en Ingeniería Mecánica, Doctor en Ingeniería de The State University of New York at Stony Brook. Profesor Titular. carlos.trujillo@udea.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

