



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

APLICACIONES DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA, EN EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS, EN INGENIERÍA CIVIL

Claudia Patricia Retamoso Llamas

**Universidad Pontificia Bolivariana
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

El involucrar herramientas computacionales que mejoren la comprensión de los conceptos y de esta manera tener aplicaciones prácticas, permite utilizar las competencias como método de evaluación dentro de los procesos de aprendizaje en la ingeniería. En el Análisis Estructural en Ingeniería Civil, se inició el proceso de modernización contrastando las diferentes herramientas computacionales que aplican a la asignatura tales como calculadoras Texas Instrument®, Mathematica9® y el software SAP2000®. Las calculadoras se utilizan para agilizar el proceso matemático simbólico en las evaluaciones individuales, también permite comparar los ejercicios desarrollados en clase con Mathematica 9®. El software Mathematica 9®, es una herramienta muy actual y fácil de manejar por parte del docente y de los discentes, muestra la solución instantánea de procesos de expansión de polinomios, integrales, derivadas, etc., cuando se contrasta con otros software como Matlab® o Visual Studio.NET®, se observa que en estos se requiere desarrollar un algoritmo completo y no se muestra inmediatamente la solución de un problema particular y no permiten, como en Mathematica 9®, mostrar la solución de los procesos matemáticos simbólicos paso a paso. Lo anterior, muestra el principal valor de Mathematica 9®, ya que al contrario de los anteriores, permite optimizar el tiempo de la clase y terminar de desarrollar los ejercicios. Con el programa SAP2000®, se cuenta con un análisis de estructuras, apoyado por una herramienta profesional que es de uso cotidiano en la consultoría en diseño estructural y con la cual los discentes confrontan los resultados obtenidos manualmente, con lo obtenido en la herramienta profesional, donde se obtienen resultados muy similares. En este trabajo se pretende exaltar y mostrar el proceso de mejora en los tiempos de clase, con la utilización de estas herramientas en el aula de clase, buscando motivar a implementar estas aplicaciones en el desarrollo de las asignaturas, en donde se requiera desarrollar en el tablero una compleja solución matemática simbólica de los problemas ingenieriles.

Palabras Clave: análisis; estructuras; Mathematica 9®; SAP2000®; Calc.Texas Instrument®

Abstract

In engineering education it is very important incorporating computational tools that improve topic comprehension and foundation understanding in order to introduce the students into practical cases. This process may boost a better performance in both, assessment and professional practice. In the Civil Engineering Department at the Universidad Pontificia Bolivariana in Bucaramanga, the Structural Analysis field has started a process to update, integrate and compare tools such as the Texas Instrument® hand calculator, Mathematica® and SAP2000®. The hand calculators are being used to get quick symbolic math process during tests, allowing as well comparison to Mathematica® results during practice sessions. Mathematica® version 9 is an up to date tool, easy to use and powerful. It helps to produce instant solution to analytical problems involving polynomial expansion, integrals and partial derivatives among other math topics, providing extra time to be devoted on practice problems and real life situation analysis. The numeric with this tool is as powerful as the symbolic. When compared to Matlab® or VisualStudio NET®, Mathematica® resembles closely to mathematical processes way better than the others avoiding the coding process o good deal of times. SAP2000® is a specific topic oriented tool used in professional practice. In this work it served as a benchmark tool. Results using the three ways are comparable. With this document an example is presented to show and highlight how they may be integrated to optimize lecturing times, to draw class attention into the topics and get better results in assessments. Also, it attempts to show how these concepts may be adopted in different topics where a great amount of math is involved.

Keywords: *structural analysis; Wolfram Mathematica; SAP2000; Texas Calculator*

1. Introducción

En la educación en ingeniería es importante tener en cuenta la modernización y la introducción de programas de computador que agilicen los procesos de aprendizaje y que permitan un mejor entendimiento del problema planteado para los estudiantes.

En un trabajo reciente de (Schencke, et al., 2011) se pudo visualizar que además del saber disciplinario teórico de cada carrera, se debe contar con las herramientas de cómputo para apoyar esta docencia, logrando guiar estos conocimientos de manera más didáctica. Con la premisa anterior, es que se ha desarrollado el trabajo de aplicaciones de herramientas computacionales en la asignatura de análisis de estructuras.

En contraste (Mishra, et al., 2007) deja ver, que existe la necesidad de incluir estas materias en el currículo para ir acorde con la práctica real en el sector industrial. Otro factor para hacer estas aplicaciones experimentales con herramientas computacionales, es observar las habilidades de los discentes para trabajar en grupo. Mientras (Dash, 2010), recalca la importancia del uso de las herramientas computacionales, tales como Solucionadores de Ecuaciones en Ingeniería (EES por sus siglas en inglés), Matlab® (MathWork Inc, 2013) o Wolfram Mathematica 9® (Wolfram Research Inc, 2012), donde los estudiantes pueden resolver problemas complejos de la vida real de la ingeniería, de una manera fácil en un corto tiempo.

Por todo lo anterior, se considera que lo aquí expuesto está acorde con la modernización de las asignaturas, apoyándose en herramientas que mejoren los tiempos de rendimientos académicos en las horas de clase presenciales con los estudiantes y que apoyen el trabajo independiente de los mismos, respecto a la

solución de problemas particulares desarrollados en las diferentes herramientas, logrando comparar la teoría con la práctica profesional.

En la parte inicial del artículo, se realiza una aproximación teórica breve al método del segundo teorema de Castigliano, para entender la solución del problema de una viga, que tiene una carga externa y a la cual se le debe determinar una rotación y un desplazamiento en algún punto de su dimensión longitudinal. Después, con un ejercicio específico planteado, se obtienen los resultados en la herramienta Mathematica 9®, aplicando la teoría del método de Castigliano y en el programa SAP2000® (Computer & Structures Inc, 2011), donde se introduce la estructura, el software la analiza y se obtienen unos resultados semejantes, por no decir iguales, de la deflexión y la rotación.

Adicionalmente se realiza un análisis de los resultados de las evaluaciones, comparando aquellos grupos en los que no se aplicaron las herramientas y en los que sí, en donde principalmente, se puede observar que este tipo de metodología contribuye a mejorar los resultados, después de implementar el proceso de enseñanza apoyado en las herramientas, que se está implementando en el aula de clase.

Por último, se desarrolló una encuesta entre algunos estudiantes que tomaron el curso de análisis de estructuras, en el cual se aplicaron las herramientas, observando la percepción de ellos respecto a la introducción de la calculadora y los software Mathematica 9® y SAP2000®.

2. Método del segundo teorema de Castigliano

Por este método, presentado en (McCormac, 2010), se obtiene la deflexión de una viga en un punto cualquiera asignando una carga P imaginaria, que después de resueltas las ecuaciones, se reemplaza por un valor de cero (0). Cuando se realiza el cálculo de la rotación de un punto, se procede a aplicar un momento MP imaginario, el cual también se elimina al final del desarrollo del problema.

La ecuación (1) se utiliza para determinar el desplazamiento y la ecuación (2) para obtener la rotación. Este método se aplica en la solución del problema con el software Mathematica 9 y en el software SAP2000, no se identifica que metodología aplican, ya que es una herramienta que no permite ver sus algoritmos internos.

$$\Delta = \frac{1}{EI} \cdot \int_0^l M \cdot \frac{\partial M}{\partial P} \cdot dx \quad \text{Ecuación (1)} \qquad \theta = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \int_0^l M \cdot \frac{\partial M}{\partial MP} \quad \text{Ecuación (2)}$$

3. Obtención de desplazamiento y rotación de una viga en el software Wolfram Mathematica 9®

En la Figura 1, se observa la gráfica de la viga que se analizará en este artículo. En un mismo enunciado se pretende determinar el desplazamiento vertical del punto C (con la carga P imaginaria) y la rotación del punto B (con el momento MP imaginario). La sección transversal es de 400 mm x 600 mm y el módulo de elasticidad del material es 25 GPa.

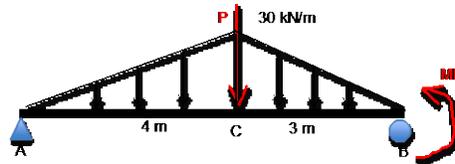


Figura 1. Viga de Ejemplo

Primero se determinan las reacciones de los apoyos A y B de la viga, haciendo sumatoria de momentos en B y fuerzas en dirección y, todos estos valores están en función de P y MP, los resultados en el software Mathematica 9®, se observan en la Figura 2.

En la Figura 2, se aplica la solución de ecuaciones y la expansión de polinomios en el mismo software, proceso que desarrollado completamente en el tablero, es muy largo; mientras que con el software Mathematica 9®, en cuestión de milésimas de segundo, se puede tener el resultado, proyectado con el video beam, para el estudiante, además que permite al discente observar, paso a paso, la solución.

```

Mathematica File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help (1.09) mié 11:33 Claudia P. o Llamas Q
9th Mathematica LICENSE EDITION Ejercicio Ejemplo Demonstrations MathWorld Wolfram Community Help

Sumatoria de Momentos en el punto B.
Expand[
Solve[0 == MP + P * 3 + (30 * 3 / 2) * (2 * 3 / 3) + (30 * 4 / 2) * (3 + 4 / 3) - RA * 7,
RA]]
{{RA -> 50 + MP / 7 + 3 P / 7}}

Sumatoria de Fuerzas en dirección y.
Expand[Solve[0 == -P - 30 * 4 / 2 - 30 * 3 / 2 + (50 + MP / 7 + 3 P / 7) + RB, RB]]
{{RB -> 55 - MP / 7 + 4 P / 7}}
    
```

Figura 2. Reacciones de la viga

En el proceso de solución del problema, se realizan los cortes en donde se definen los momentos internos utilizados en las ecuaciones (1) y (2) de este documento, como se muestra en la Figura 3.

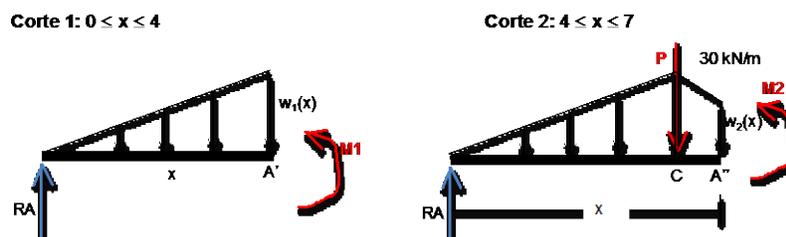


Figura 3. Cortes en la viga en estudio

En la Figura 4, se observa la solución de estos procedimientos en el programa, lo cual permite en línea mostrar a los estudiantes los resultados de una primera parte del problema. Los discentes cuentan con el programa en sus computadores personales portátiles, permitiendo utilizar la herramienta al tiempo con el docente. Es importante anotar, que no se deja de lado la utilización del tablero, en el cual se refuerzan los conceptos, requeridos para la solución del ejercicio.

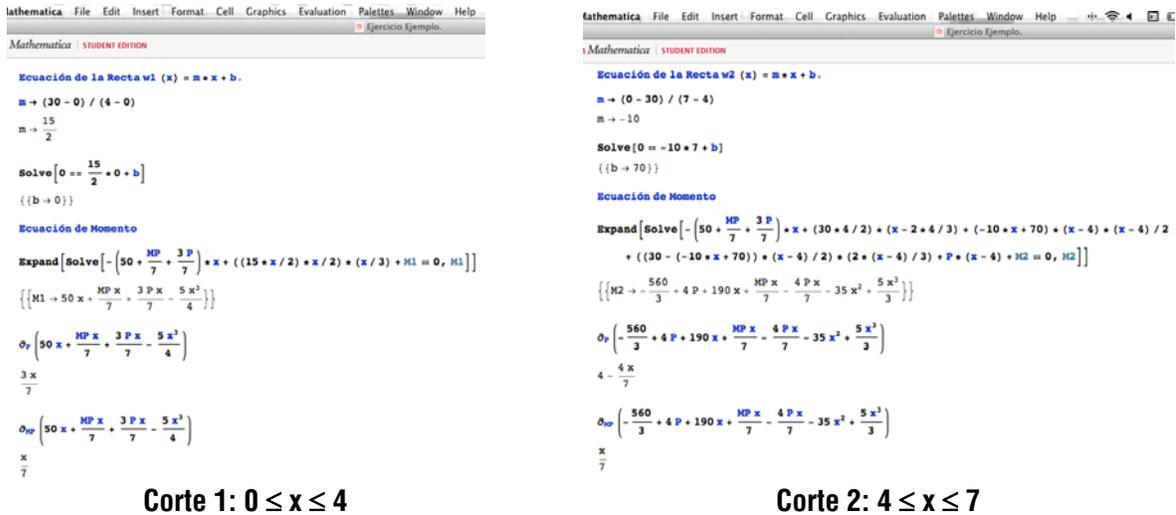


Figura 4. Ecuaciones de Momento y derivadas parciales respecto a P y M de cada corte

Al final, se obtiene la deflexión y la rotación como se muestra en la Figura 5, en este proceso matemático se utilizan las integrales que se solucionan con la ayuda del software Mathematica 9®, lo cual permite, en el mismo tiempo de clase mostrar esta solución particular y compararla con otras herramientas, como lo es el SAP2000®, ya que el tiempo que se dedicaba a resolver la integral en el tablero, ahora se emplea para poder comparar los resultados de las diferentes herramientas computacionales y el cálculo manual, utilizando la calculadora programable.

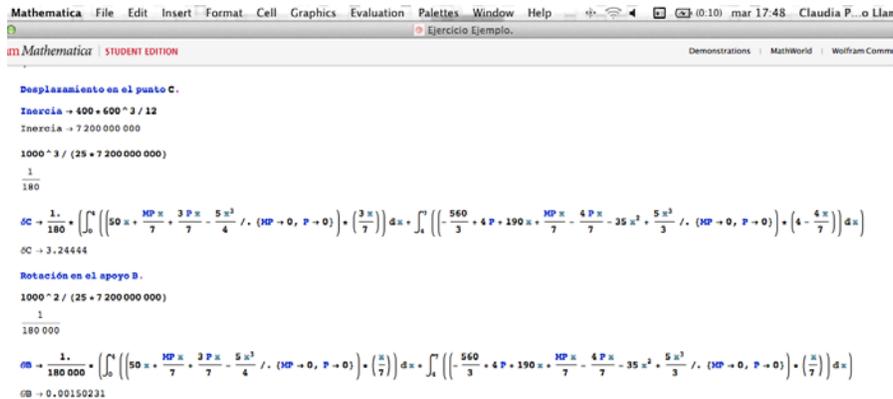


Figura 5. Determinación del desplazamiento del punto C y la Rotación del punto B

4. Obtención de desplazamiento y rotación de una viga en el programa SAP2000.

El software SAP2000® es un producto de análisis de estructuras en el plano o tridimensionalmente, donde después de introducir los datos básicos, se obtienen los resultados específicos en la herramienta. En la Figura 6, se observan las reacciones de la viga, que son iguales a las obtenidas en el problema resuelto en Mathematica 9® (Figura 2). Esta aplicación se utiliza, para que los discentes comparen los resultados de los métodos clásicos enseñados con los obtenidos en los programas comerciales.



Figura 6. Diagrama de viga en el SAP2000 y Reacciones en A y B de la viga

Con este proceso llevado a cabo en un lapso corto de tiempo, los estudiantes pueden ver la aplicación de herramientas profesionales, que en su vida laboral, permitirán resolver problemas de ingeniería aplicados a su práctica, esta metodología se implementa desde el quinto (5º) semestre, lo cual permite orientar al estudiante a lo que realmente se enfrentará, cuando ya sea todo un ingeniero.

En la Figura 6, se observa el diagrama de los datos iniciales que se introducen en el SAP2000®, como son el material, la carga externa aplicada, las dimensiones de longitud y sección transversal. Después el programa se ejecuta y la solución del problema es la que se muestra en la Figura 7.

Como se visualiza en la Figura 6, el software SAP2000® no permite ver sus comandos internos.

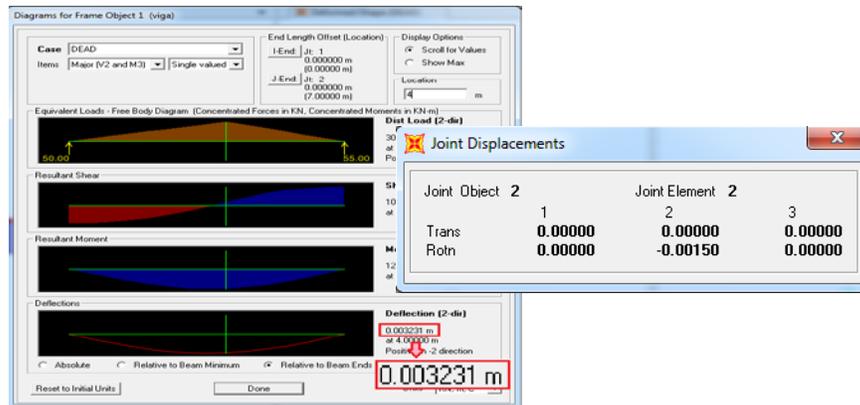


Figura 7. Desplazamiento del punto C y rotación del punto B

En la Tabla 1, se observan los resultados obtenidos en ambas aplicaciones, teorema de Castigliano en Mathematica 9® (teórico) y el programa comercial SAP2000® (experimental), así como el porcentaje de error entre uno y otro.

Tabla 1. Resultados de desplazamiento en el punto C (δ_c) y rotación en el punto B (θ_B)

Software	Wolfram Mathematica 9®	SAP2000®	Error (%)
Resultados	3.244	3.231	0.401
	0.001502	0.01500	0.133

Los porcentajes de error obtenidos en la Tabla 1, muestran la semejanza de los resultados entre las dos herramientas.

5. Análisis de la aplicación de las herramientas computacionales en la asignatura de Análisis de Estructuras en Ingeniería Civil

Se realizó un análisis, sobre los resultados en las notas de las evaluaciones al cambiar la metodología de enseñanza en la asignatura. En la Tabla 2, se muestra como la nota promedio de las evaluaciones realizadas con la metodología de las herramientas computacionales mejoró en un 8%, respecto a la nota obtenida, en promedio ponderado, sin la utilización de las herramientas computacionales (quices clásicos).

Tabla 2. Análisis de las Calificaciones del Curso Análisis de Estructuras sin utilizar Herramientas Computacionales y utilizando Herramientas Computacionales

SIN HERRAMIENTAS					
Año	Semestre	No Estudiantes	Nota Promedio	Promedio Ponderado	Total Estudiantes
2008	1	36	3.3	3.8	291
	2	21	3.6		
2009	1	31	3.5		
2010	1	45	4.1		
	2	48	3.8		
2011	1	54	4.3		
	2	56	3.8		
CON HERRAMIENTAS					
2012	1	77	4.5	4.1	215
	2	45	3.9		
2013	1	93	3.9		

En ese mismo sentido, se desarrolló una encuesta a 69 (sesenta y nueve) de los 215 (doscientos quince) estudiantes que han utilizado las Herramientas Computacionales, esta muestra no probabilística según (Dugarte, 2010), fue seleccionada de esta manera, ya que no dependía de la probabilidad, si no de las características de la investigación, fue utilizada para observar la percepción de los estudiantes, sobre el uso de las herramientas computacionales en la asignatura Análisis de Estructuras. Los estudiantes que contestaron la encuesta son un 32.1%, sobre el total de 215 estudiantes. A continuación se muestra un resumen de las preguntas realizadas.

Información General. Género y Rango de edades de la muestra.

Uso de la Calculadora Texas Instrument®. Fue la primera vez que la uso, el uso de la calculadora mejora el tiempo de solución de las evaluaciones. Mejoró su proceso de aprendizaje con el uso de esta herramienta.

Wolfram Mathematica 9®. Cuando instaló el software en su Computador Personal. Este software mejoró los tiempos de solución de los problemas. Desarrollaba los ejercicios propuestos por la docente en este software. Es interesante encontrar que los resultados obtenidos en Mathematica 9® y SAP2000®, eran muy similares.

SAP2000®. Le gusto usar el SAP2000®. Es importante validar los resultados teóricos del análisis estructural, con herramientas comerciales profesionales.

De manera general se observó que el 64% de los encuestados eran hombres y el 36% mujeres. El 83% está en un rango de edades entre 18 y 22 años y el 17% son mayores de 22 años.

Respecto al uso de la calculadora como se observa en la Figura 8, el 93% estableció que fue la primera vez en utilizar la calculadora, el 7% restante la había utilizado en cursos anteriores. El 100% estuvo de acuerdo

en que el uso de la calculadora mejora el tiempo de solución de los exámenes en la asignatura y el 94% opina que su proceso de aprendizaje mejoró por el uso de la calculadora.

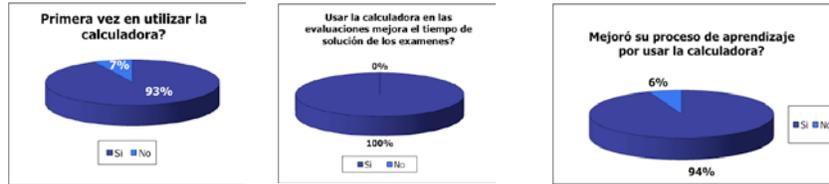


Figura 8. Resultados sobre el uso de la calculadora programable en el curso

Como se observa en la Figura 9, el 32% instaló el software Mathematica® en sus computadores personales, antes de cursar la asignatura. El 38% los instaló entre la 1ª y la 4ª Semana de cursar análisis, el 15% lo instaló después de la 4ª semana y el 5% nunca instaló el software en su computador. El 88% piensa que se mejora el tiempo de la solución de los problemas con la utilización del software y el 75% resolvió los ejercicios propuestos para actividades en la casa en el software Mathematica®.



Figura 9. Preguntas sobre el software Wolfram Mathematica®

El 100% de los estudiantes encuestados les gustó que se introdujera la herramienta SAP2000® en la asignatura. En la Figura 10, se observa que el 97% de la muestra, le pareció interesante encontrar que los resultados entre Mathematica® y SAP2000®, dieran similares y a un 90% le parece importante validar los resultados con el SAP2000®.

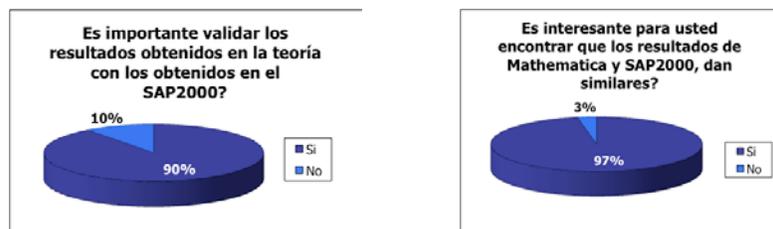


Figura 10. Resultados de la encuesta sobre SAP2000®

6. Conclusión

En el análisis realizado sobre la aplicación de las herramientas computacionales en el curso de Análisis de Estructuras, se observó que todas las teorías en la actualidad, deben ser constatadas con este tipo de herramientas, para que los discentes vean la realidad productiva de su desempeño profesional. Adicionalmente, el uso de la calculadora programable y el Wolfram Mathematica®, permite mejorar los tiempos de evaluación y de trabajo en clase, como se pudo observar en las respuestas de las encuestas.

7. Agradecimientos

La autora expresa su agradecimiento al Dr. Diego Martín Oviedo Salcedo, por su apoyo con el trabajo en el software Wolfram Mathematica®.

8. Referencias

- Computers & Structures Inc (2011), Software SAP2000 Ultimate 15.1.0.
- Dash, S. K. (2010). Use of equation-solving software in engineering education and an automated examination process. *International Journal Of Mechanical Engineering Education*, Vol 38 Issue 4, pp 327-338.
- Dugarte, E. (2010). Estadística descriptiva y muestreo. Diplomado en Estadística para la Investigación. Módulo II. Universidad Pontificia Bolivariana.
- McCormac, J. (2010). Análisis de Estructuras Métodos Clásico y Matricial. Alfaomega, México, pp. 284 – 286.
- Mishra, A., Cagiltay, N., & Kilic, O. (2007). Software engineering education: some important dimensions. *European Journal Of Engineering Education*, 32(3), pp 349-361.
- Schencke, C., & Hidalgo, A. (2011). Comparación de dos Softwares en Histología Humana, como Utilización Complementaria a la Enseñanza Tradicional. (Spanish). *International Journal Of Morphology*, 29(4), pp 1388-1393.
- Wolfram Research Inc (2012), Software Wolfram Mathematica 9, student edition.
- Encuesta Fácil (2005 – 2013). Consultado el 21 de Junio de 2013 <http://www.encuestafacil.com/RespWeb/Qn.aspx?EID=1545036>

Sobre el autor

Claudia Patricia Retamoso Llamas. Ingeniera Civil UIS. Magister en Ingeniería Civil UNIANDES. Profesora Asociada Facultad de Ingeniería Civil. claudia.retamoso@upb.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)