



4 al 14 de noviembre de 2010

LA HOJA ELECTRÓNICA PARA APRENDER EN INGENIERÍA

Eje temático 4: Contribución a la calidad de los materiales didácticos para la EaD

Por: Hernán Darío Cortés Silva
Universidad Central. Bogotá, Colombia.
hcortess@ucentral.edu.co

Resumen: Este artículo presenta la utilidad de la hoja de cálculo electrónica para desarrollar actividades de ingeniería en el campo académico y profesional. Se describen tres casos de utilización de la misma con los aspectos más destacados y las funciones específicas aplicadas. Su naturaleza digital la hace apta para ser usada como recurso de aprendizaje para ambientes virtuales.

Abstract: This paper presents the usefulness of the electronic spreadsheet for engineering activities in the academic and professional field. It presents three cases of use, with features and functions implemented. Its digital nature makes it suitable for use as a learning resource for virtual environments.

Palabras clave: Hoja electrónica, ingeniería, análisis, resolución de ecuaciones, modelado matemático, cálculos complejos, recurso de aprendizaje.



4 al 14 de noviembre de 2010

Key words: Spreadsheet, engineering, analysis, solving equations, mathematical modeling, complex calculations, learning resource.

Introducción

El ejercicio de la ingeniería como actividad de desarrollo intelectual y como desempeño profesional demanda permanentemente el modelado matemático que permita representar la realidad física, económica u organizacional de tal forma que se pueda comprender, intervenir en ella y predecirla.

Este ejercicio es particularmente exigente cuando se pretende desde la posición pedagógica del profesor lograr que el estudiante acepte el reto de enfrentarse a una situación problemática, no importa que esta sea real o hipotética, analizarla, comprenderla, representarla, encontrar soluciones posibles y cuestionarse sobre nuevas situaciones derivadas de la misma. Es toda una actividad intelectual que muchos profesores quisieran hacer con sus estudiantes, pero que es difícil de lograr por múltiples razones.

Una de ellas es que los modelados matemáticos pueden ser en sí mismos bastante complejos, como sucede por ejemplo con el cálculo de un sistema de engranajes que responda a una necesidad específica de potencia, velocidad, tamaño, condiciones ambientales y costos razonables. Partir de una situación que muchas veces está pobremente cuantificada y adentrarse en el terreno del diseño, el cual exige la toma de decisiones permanente y la aplicación de múltiples ecuaciones de cálculo, demanda una buena dosis de paciencia, atención y disponibilidad de tiempo. Un escenario como este lleva a que la tarea de enseñanza se torne difícil y genere rechazos por parte del estudiante.

Otra razón es que en situaciones de resolución de un problema sencillo, como puede ser un caso de equilibrio estático de fuerzas, surgen cuestionamientos o inquietudes de parte del estudiante o del mismo docente, que exigen un análisis complementario al caso planteado, lo cual incluye la alteración de las condiciones iniciales del problema, como resultado de preguntas del tipo ¿Qué pasaría si...? Por ejemplo, calcular la tensión en la cuerda en la situación ilustrada en la figura 1, conocida

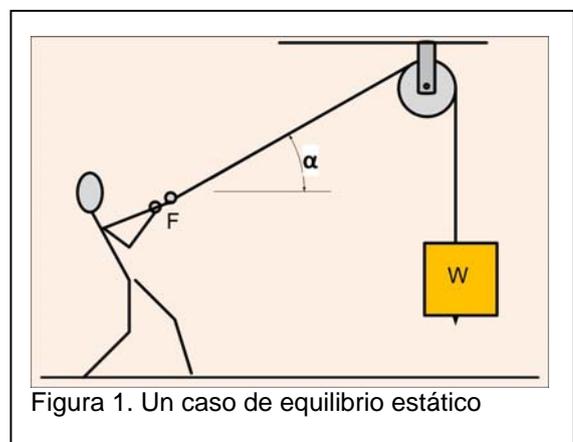


Figura 1. Un caso de equilibrio estático



4 al 14 de noviembre de 2010

la magnitud de la carga W , el ángulo de la cuerda y el coeficiente de fricción en el piso, es una operación matemática sencilla. Pero se puede tornar más compleja cuando alguien se pregunta ¿qué pasaría si alargo la cuerda? En este caso, el problema puede desbordar las posibilidades de análisis y resolución en clase, por limitación en los recursos y tiempo disponibles en el momento en que surge el cuestionamiento, o por el rechazo natural a tener que repetir el mismo procedimiento de cálculo una y otra vez.

Para superar dificultades como estas se puede recurrir a la hoja electrónica, aplicativo que cuenta con múltiples recursos operativos, organizativos, gráficos y programables que permiten dar respuestas a situaciones de modelado matemático diverso.

1. Una respuesta en la hoja electrónica

Los recursos con que cuenta la hoja electrónica son múltiples, muchos de ellos de gran utilidad para el ejercicio de la ingeniería. Entre ellos están, la disponibilidad de operaciones y funciones matemáticas diversas, como las trigonométricas, la exponencial, la potencial, o la logarítmica. Se cuenta también con funciones lógicas, funciones de manejo numérico como redondeos, conversión de ángulos, generación de números aleatorios, cálculo de combinaciones numéricas o cálculo de determinantes.

En el terreno de la estadística las funciones son igualmente amplias. Desde las más simples como la media, la mediana o la desviación estándar, hasta las más complejas como el ajuste de curvas, los análisis de correlación o las funciones de distribución.

La hoja permite graficar curvas a partir de datos que contenga, bien sea introducidos o calculados. Las curvas también pueden ser obtenidas como resultado de una regresión a partir de datos obtenidos experimentalmente.

Entre los recursos de organización con que cuenta la hoja electrónica se pueden mencionar la utilización de texto, imagen, controles, gráficos, y las habituales herramientas de edición de color, fuente tamaño, etc.

Finalmente, para el ingeniero resulta de gran utilidad la posibilidad de programar secuencias de operación repetitivas sin tener que realizarlas por su cuenta cada vez que las necesita sino tan sólo recurriendo al uso de la función macro, la cual le permite incorporar la secuencia deseada para que el computador las ejecute una vez se le da la orden.

En el campo de la enseñanza resulta particularmente útil la hoja electrónica por las razones que a continuación se enuncian.



4 al 14 de noviembre de 2010

2. Justificación para el uso de la hoja electrónica

¿Alguna vez ha tenido que contentarse como profesor de ingeniería con explicar una situación sencilla imaginándose lo que podría ser si existieran unas condiciones distintas a las que plantea el problema? El siguiente caso puede ilustrar tal situación.

2.1. Un caso sencillo que se complica

La figura 1 plantea el caso de un sujeto que levanta una carga utilizando una cuerda y una polea. Se quiere conocer cuál es la tensión en la cuerda y por consiguiente la fuerza que tiene que hacer el sujeto para levantar la carga. El caso se resuelve con un simple diagrama de cuerpo libre, a partir del cual se obtienen las ecuaciones de equilibrio que permiten resolver la cuestión planteada. El caso no pasa a mayores si no existiera una mente inquisitiva que planteara la pregunta: ¿El sujeto puede en esa forma levantar cualquier carga? La respuesta no es inmediata. Un análisis de los parámetros de la situación permite identificar que la respuesta dependería del peso propio del individuo, del ángulo que forma la cuerda y del tipo de piso sobre el que está parado el sujeto. Pero esta conclusión sólo es un paso intermedio en el cuestionamiento, porque a partir del mismo pueden surgir otras cuestiones como las siguientes: ¿si el sujeto se aleja de la polea tiene que hacer más fuerza o menos fuerza? ¿De qué manera las características del piso determinan la carga que se puede levantar?

La situación descrita ha pasado de ser un caso único con valores de entrada específicos a un caso en que todas las magnitudes involucradas pueden variar. Manejar esta nueva situación excede las posibilidades prácticas de un tablero y un marcador, aún en el caso del más diestro profesor en el manejo de este recurso. En cambio se abre la posibilidad de recurrir a la hoja electrónica para tener la opción de incorporar los parámetros en la misma, variarlos a voluntad y observar los resultados de manera instantánea, facilitando un análisis posterior sobre los mismos y permitiendo extraer conclusiones que no necesariamente están en los libros. En el caso anterior, las ecuaciones de equilibrio resultantes son:



4 al 14 de noviembre de 2010

$$T = \frac{\mu \cdot P}{\cos \alpha + \mu \cdot \operatorname{sen} \alpha} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$N = \frac{T \cdot \cos \alpha}{\mu} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

- α : Ángulo de la cuerda respecto a la horizontal
- P: Peso del sujeto que levanta la carga
- T: tensión en la cuerda. Es equivalente a la carga levantada (W), si la fricción en la polea se puede despreciar.
- μ : Coeficiente de fricción entre el sujeto y el piso
- N: Fuerza normal que ejerce el piso sobre el sujeto

En la hoja electrónica que se creó para manipular la información del problema, se dispusieron celdas para introducir los valores de peso del sujeto (P) y coeficiente de fricción (μ) mediante un cursor. El ángulo de la cuerda (α) se creó como una columna de valores desde 0° hasta 90° , con incrementos de 5° . Para los valores de salida se dispusieron columnas para calcular la fuerza normal (N) y el peso máximo que puede levantar el sujeto para las condiciones dadas (W). Se insertó además una gráfica de W en función de α para observar su comportamiento, los cuales tienen una mejor visualización con la variación de P y μ mediante los respectivos cursores.



4 al 14 de noviembre de 2010

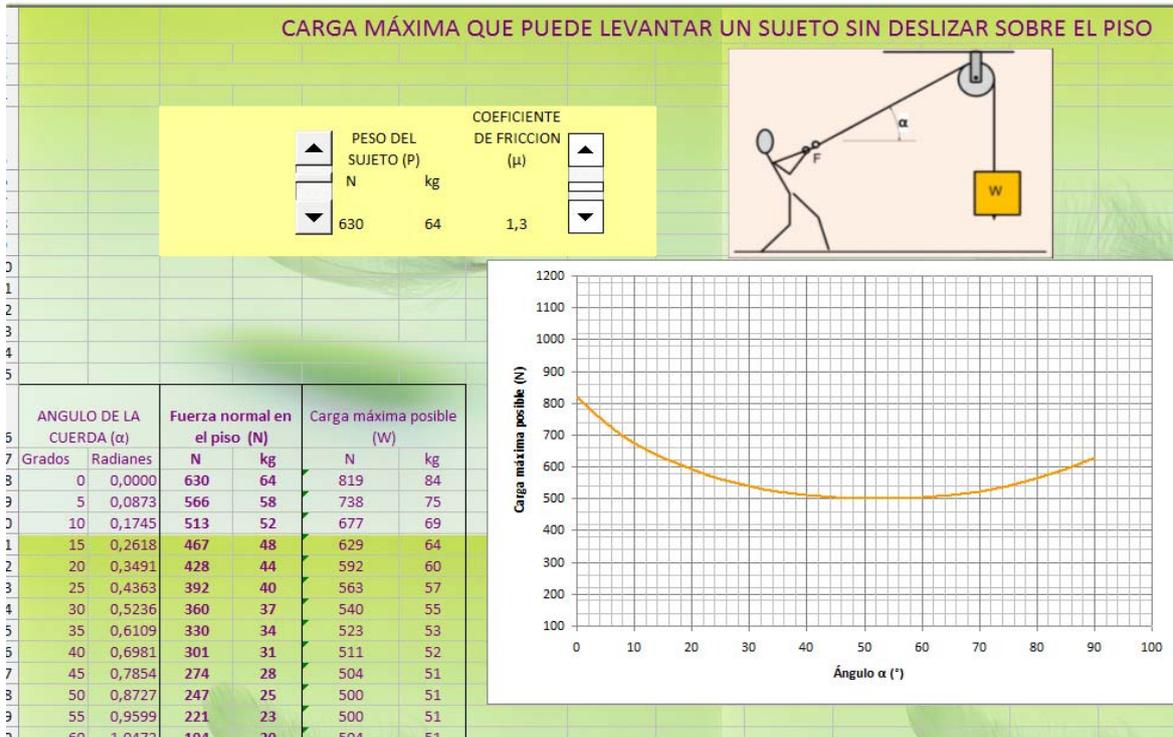


Figura 2. Aspecto de la hoja electrónica para analizar un caso de levantamiento de carga.

Se puede observar que existe un ángulo crítico para cada combinación de parámetros en el cual la carga que puede levantar el sujeto es mínima. El valor de este ángulo se puede hallar con ayuda de la misma hoja electrónica. Este comportamiento de la carga en función del ángulo difícilmente se habría podido advertir en una sesión de tablero y marcador. También se pueden obtener otras conclusiones observando las variaciones interdependientes de los diversos parámetros, ya que se pueden mantener constantes unos y variar otros a voluntad.

Las conclusiones obtenidas en el ejercicio anterior no demandarían un tiempo mayor a una sesión de clase de 2 horas para su obtención, lo cual muestra la potencia de este recurso. Incluso una hoja se puede construir durante la misma sesión cuando se ha desarrollado cierto nivel de pericia en el manejo de los comandos.

2.2. Una situación compleja de cálculo



4 al 14 de noviembre de 2010

El diseño de un par de engranajes que sirvan para transmitir una determinada potencia en ciertas condiciones de funcionamiento es un caso que involucra el concurso de un conjunto de ecuaciones, que aunque no son muy complejas en sí mismas, sí lo son en conjunto por su cantidad y por la variedad de parámetros que utiliza. Una muestra de ellas es la siguiente:

$\sigma_c = C_P \sqrt{\frac{W^t \cdot K_0 \cdot K_V' \cdot K_S \cdot K_m \cdot C_F}{d \cdot F \cdot I}}$	$N_P = \frac{2 \cdot k \cdot \cos \psi}{(1 + 2 \cdot m) \cdot \text{sen}^2 \phi_t} \left(m + \sqrt{m^2 + (1 + 2 \cdot m) \cdot \text{sen}^2 \phi_t} \right)$		
$K_V = \left[\frac{A + \sqrt{V}}{A} \right]^B$	$K_m = 1 + C_{mc} (C_{pf} C_{pm} + C_{ma} C_e)$	$\sigma_{perm} = \frac{S_t \cdot Y_N}{K_T \cdot K_R}$	$\sigma = W^t \cdot K_0 \cdot K_V' \cdot K_S \frac{P \cdot K_m \cdot K_B}{F \cdot J}$
Figura 3. Diversas fórmulas usadas en el cálculo de engranajes			

El significado de cada uno de los parámetros involucrados y la función que tiene cada ecuación se pueden consultar con Shigley y Mischke (2002). Lo que aquí se quiere ilustrar es que tal complejidad se puede atenuar, permitiendo que la comprensión del proceso de cálculo se mejore y adicionalmente abrir la posibilidad de análisis de los resultados, permitir opciones alternativas de diseño, tomar decisiones de cambio, minimizar el riesgo de error en el cálculo, e incluso alterar la secuencia de diseño, efectuando una inversión en el proceso del mismo. Todo esto es posible si se utilizan hojas electrónicas, como las que se crearon para el cálculo de engranajes, una de las cuales se muestra en la figura 4. En ella se definen celdas particulares para valores de entrada, permitiendo que se puedan variar a voluntad y se tienen celdas para valores de salida que incorporan las ecuaciones que intervienen en el cálculo, así como funciones lógicas; refinándola un poco más, se pueden incluir tablas de selección de valores.



4 al 14 de noviembre de 2010

CÁLCULO DE ESFUERZO DE CONTACTO									
Esfuerzo de sollicitación al contacto: $\sigma =$		PIÑÓN	RUEDA						
		272595	273055	PSI					
Valores calculados					Valores de diseño				
Variable	Valor	Unidad	Referencia	Variable	Valor	Unidad	Referencia		
		PIÑÓN	RUEDA						
Factor geométrico para resistencia a la picadura	I	0,164		superficial para resistencia a la picadura	C_F	1	Sec. 14-9		
Altura de cabeza	a	0,077		Coefficiente elástico	C_P	2400 (PSI) ^{1/2}	Tab. 14-8		
Longitud de la línea de acción transversal	Z	0,346							
Paso de base normal	p_N	0,227							
Relación de repartición de carga	m_N	0,690							
$\sigma_c = C_P \sqrt{\frac{W^t \cdot K_0 \cdot K_V \cdot K_S \cdot K_m \cdot C_F}{d \cdot F \cdot I}}$									

Figura 4. Una de las cinco hojas para el cálculo de engranajes.

Las hojas de cálculo de engranajes creadas para trabajar con grupos de estudiantes de Diseño de Máquinas está estructurada en cinco partes interrelacionadas: una hoja para calcular el número de dientes que permitan evitar la interferencia de los mismos; otra hoja para calcular los esfuerzos de flexión, una tercera para calcular la resistencia por flexión; la cuarta para el cálculo de esfuerzos de contacto; y la quinta para calcular la resistencia al contacto. Todas utilizan parámetros comunes, de tal manera que es posible observar cuál es la situación crítica que determina las características de diseño, variando los parámetros que las determinan.

La construcción de esta hoja de cálculo por parte del estudiante le permite lograr beneficios cognitivos como los que se mencionan más adelante, en la última sección de este artículo.

2.3. Resolver un sistema de ecuaciones no lineales

Un tercer caso que permite ilustrar la potencia de la hoja electrónica surgió a partir de un ejercicio académico planteado por Bedford y Fowler (2008) para una clase de estática, el cual pide encontrar la constante del resorte para una báscula

4 al 14 de noviembre de 2010

montada según la figura 5, de tal forma que permita determinar con precisión pesos en el intervalo de 20 N a 40 N.

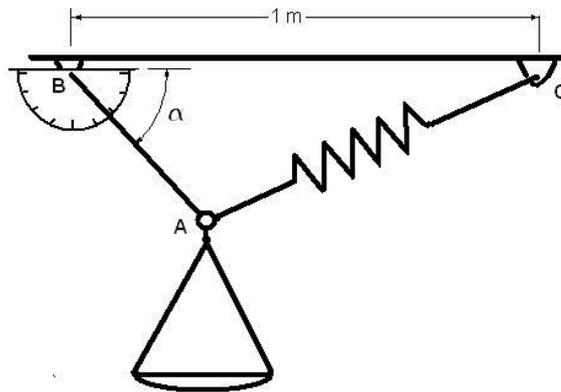


Figura 5. Ejercicio de diseño

El modelado matemático de la situación de equilibrio llevó a un sistema de ecuaciones no lineales, las cuales difícilmente se podrían resolver por medios analíticos. El conjunto de ecuaciones es el siguiente:

$$L = \sqrt{1.16 - 0.8 \cos \alpha} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{sen} \theta = \frac{0.4}{L} \text{sen} \alpha \quad \text{Ecuación 4}$$

$$F = \frac{P}{\text{sen} \theta + \cos \theta \cdot \tan \alpha} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$k = \frac{F}{L - 0.6} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde, α : Ángulo que se marca en el tablero de la balanza
 P: Peso a medir
 L: Longitud del resorte para un ángulo específico α



4 al 14 de noviembre de 2010

θ : Ángulo entre el eje del resorte y la horizontal
F: Fuerza ejercida en el resorte
k: Constante del resorte

El análisis del problema permitió inferir que el valor óptimo de la constante del resorte (k) se obtendría cuando el ángulo α variara en su mayor amplitud entre la posición de carga para 20 N y la de 40 N. Pero, la acción de despejar α en función del peso P y de la constante k era prácticamente imposible, por lo tanto, se optó por realizar el cálculo en forma inversa, es decir, obtener k en función de α y de P . En la hoja de cálculo respectiva se dispusieron columnas de entrada para α y P , columnas para cálculos intermedios como $\Delta\alpha$, L y θ , y una columna de salida para k . En ella $\Delta\alpha$ indicaría la variación de α entre las posiciones extremas para 20 y 40 N. El valor de k se escogería cuando $\Delta\alpha$ fuera máximo.

Diseño de la constante de un resorte para báscula									
α (Rad)	α (°)		L (m)	θ			P (N)	F (N)	k (N/m)
	α	$\Delta\alpha$		cos θ	(rad)	(rad)			
0,7600	43,54		0,762	0,9323	0,370	20,00	16,03	99,14	
0,9594	54,97	11,42	0,837	0,9203	0,402	40,00	23,47	99,00	
0,8000	45,84		0,776	0,9292	0,379	20,00	15,08	85,53	
1,0056	57,61	11,78	0,855	0,9187	0,406	40,00	21,70	85,00	
0,8400	48,13		0,791	0,9264	0,386	20,00	14,18	74,18	
1,0468	59,98	11,85	0,872	0,9177	0,409	40,00	20,15	74,18	
0,8800	50,42		0,806	0,9240	0,392	20,00	13,33	64,60	
0,9081	52,03		0,817	0,9226	0,396	22,00	14,03	64,60	
0,9341	53,52		0,827	0,9213	0,399	24,00	14,68	64,60	
0,9582	54,90		0,837	0,9203	0,402	26,00	15,29	64,60	
0,9806	56,19		0,845	0,9195	0,404	28,00	15,86	64,60	
1,0015	57,38		0,854	0,9188	0,406	30,00	16,39	64,60	
1,0211	58,51		0,861	0,9183	0,407	32,00	16,89	64,60	
1,0395	59,56		0,869	0,9178	0,408	34,00	17,36	64,60	
1,0567	60,54		0,876	0,9175	0,409	36,00	17,80	64,60	
1,0729	61,47		0,882	0,9172	0,410	38,00	18,22	64,60	
1,0882	62,35	11,93	0,888	0,9170	0,410	40,00	18,61	64,60	
0,9000	51,57		0,814	0,9230	0,395	20,00	12,92	60,35	
1,1083	63,50	11,93	0,896	0,9167	0,411	40,00	17,87	60,35	
0,9200	52,71		0,822	0,9220	0,398	20,00	12,52	56,43	

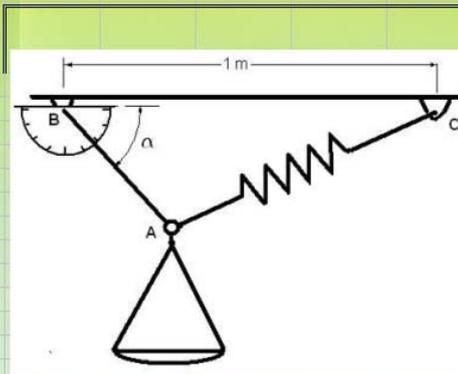


Figura 6. Aspecto de la hoja electrónica para definir la constante de un resorte.

El valor de k se puede entonces obtener en distintas posiciones de α , para los valores de P de 20 y 40 N. Esto se logra calculando k para α dado y $P=20$ N. Luego se calcula un nuevo valor de α para el valor de k anterior y $P=40$ N. Para hacer esto se recurre a una función de la hoja electrónica denominada Buscar Objetivo, la cual permite calcular un valor de entrada para un valor de salida dado,



4 al 14 de noviembre de 2010

como lo explica Barreras Alconchel (2006). Entonces, la hoja muestra el valor de $\Delta\alpha$, como la diferencia entre los dos valores de α anteriormente calculados.

El valor de la hoja electrónica en este caso, es su utilidad para resolver numéricamente un sistema de ecuaciones que analíticamente resulta imposible y permite tomar decisiones de diseño.

2.4. Beneficios adicionales

Algunas de las actividades anteriores es posible realizarlas con ayuda de software especializado, sin embargo, otros casos son tan particulares que difícilmente se puede encontrar un aplicativo que dé respuesta a las preguntas que los estudiantes y profesores se hacen en clase. Pero incluso en el caso de que el software exista, como sucede para el cálculo de elementos mecánicos, resulta muy constructivo desde el punto de vista del conocimiento que sea el estudiante el que asuma la tarea de crear una hoja electrónica que le permita calcular los valores que desea o necesita. Los beneficios adicionales que obtiene el estudiante son los siguientes:

- Le permite dar un mejor sentido a los datos, ya que él sabe cómo se relacionan unas variables con otras.
- Le ayuda a acercarse al conocimiento de los parámetros que intervienen en el diseño particular que tiene entre manos.
- El estudiante advierte las limitaciones que existen en el proceso de diseño, porque conoce los criterios de aplicación de las ecuaciones que incorporó.
- El estudiante desarrolla la competencia para modelar situaciones problemáticas que se le presenten, a través de un recurso informático suficientemente sencillo de manejar y lo proyecta para usarlo en diversas situaciones profesionales o académicas.
- El uso de la hoja electrónica para resolver situaciones matemáticas que analíticamente son difíciles de manejar le abre nuevas puertas al conocimiento, pudiendo llegar a conclusiones que de otra manera no serían fáciles de lograr.



4 al 14 de noviembre de 2010

- Libera al estudiante de las tareas de cálculo repetitivas, extensas, dispendiosas y lo dispone a asumir una posición más reflexiva, analítica, observadora y cuestionadora, características propias de una mente investigadora.
- El documento construido, dado su carácter digital puede ser compartido a través de medios apropiados, como plataformas educativas tipo Moodle, repositorios y recursos TIC.

3. Conclusión

La hoja electrónica es una herramienta de cálculo poderosa y de gran utilidad en el ejercicio de la ingeniería, particularmente para el diseño y el cálculo. Sus beneficios son evidentes tanto en el campo académico como en el profesional, ya que reduce la realización de tareas de cálculo dispendiosas, proporciona utilidades de cálculo específicas, y libera al ingeniero de las tareas operativas, abriendo la oportunidad de dedicar el tiempo a labores intelectuales de más alto nivel.

Referencias bibliográficas

- Barreras Alconchel, Miguel (2006). Matemáticas con Microsoft Excel. México: Alfaomega, p. 6
- Bedford, Anthony y Fowler, Wallace (2008). Mecánica para ingeniería: estática. México: Pearson, p. 119
- Shigley, Joseph E. y Mischke, Charles R. (2002). Diseño en ingeniería mecánica. México: McGraw-Hill, cap. 13 y 14.



4 al 14 de noviembre de 2010

Perfil académico y profesional del autor

Hernán Darío Cortés Silva

Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia,

Especialista en Pedagogía de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Con estudios de diplomado en educación virtual, manejo de la plataforma Moodle y Creación de objetos virtuales de aprendizaje.

Fue Coordinador Académico del programa de especialización a distancia en Pedagogía para el desarrollo del aprendizaje autónomo, 1999-2005

Es miembro activo del grupo de investigación Virtus (<http://grupovirtus.org/>) sobre ambientes virtuales de aprendizaje.

Actualmente es profesor de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central, en Bogotá y profesor de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, en Bogotá.

