

# Una herramienta computacional didáctica para el análisis cinemático de mecanismos planos de cuatro barras

---

## A computer tool for the kinematic analysis of planar four-bar linkage

**DIEGO MACHADO-MERCADO**

*Ingeniero Mecánico  
Universidad del Atlántico  
dmachado@mail.uniatlantico.edu.co  
Barranquilla, Colombia*

**GUSTAVO HERRERA-MURGAS**

*Ingeniero Mecánico  
Universidad del Atlántico  
toto\_0120@hotmail.com  
Barranquilla, Colombia*

**JAVIER ROLDÁN-MCKINLEY**

*Profesor Ingeniería Mecánica, Grupo DIMER  
Universidad del Atlántico  
javierroldan@mail.uniatlantico.edu.co  
Barranquilla, Colombia*

**JAMES DÍAZ-GONZÁLEZ**

*Ingeniero de Diseño, BMT Designers and Planners  
Inc., Arlington, VA, USA  
jjadigo@gmail.com  
Virginia, Estados Unidos de América*

*Fecha de recibido: 26/03/2014*

*Fecha de aceptado: 05 /01/2015*

**Forma de citar:** MACHADO, Diego, HERRERA, Gustavo, ROLDÁN, Javier y DÍAZ, James .Una herramienta computacional didáctica para el análisis cinemático de mecanismos planos de cuatro barras. Rev.UIS.Ingenierías, 2015, vol.14,1,n2,p.p 59 - 69.

### RESUMEN

Se presentan los fundamentos teóricos para la creación de una interfaz gráfica útil en la enseñanza de la cinemática de los mecanismos planos de cuatro barras con cuatro juntas de revoluta. La interfaz se desarrolló en GUIDE de Matlab®, brindando una interactividad que permite modificación de parámetros por entrada numérica desde el teclado, por variación de longitudes de eslabones con el mouse, y determinación de valores de salida en cualquier punto de cualquier eslabón. Permite también la versión en inglés para ayudar al estudiante a mejorar su vocabulario profesional. Se tomó en cuenta la opinión de los estudiantes de la asignatura relacionada mediante toma de encuestas en las versiones preliminares. Los resultados fueron comparados contra otros autores y versiones limitadas de programas similares. Este proyecto fue desarrollado por estudiantes de pregrado de Ing. Mecánica con el objetivo de estimular su interés en el desarrollo de software educativo con potencial de negocio con la futura creación de una aplicación Android.

**PALABRAS CLAVE:** Mecanismo de cuatro barras, GUI, Educación de la Ingeniería

## ABSTRACT

The fundamentals for the creation of graphic user interface to assist in the teaching of the Kinematics of all-revolute-joint planar four-bar linkages are presented. Using the Matlab® GUIDE tool, the very interactive GUI allows user input to change the link lengths, for example, through both numerical input from the mouse and variations with the computer mouse. It also lets the user to know the output values of any point along any element in the mechanism. Trying to enrich the technical vocabulary of the users, the original Spanish version of the GUI can be easily changed to English. Surveys of preliminary versions of the GUI were taken into account towards the GUI final version. Results were compared against similar limited softwares and documented cases. This is an undergraduate research project that pretends to spark the students' interest in developing educational software as a business opportunity based on a future Android application.

**KEYWORDS:** Four-bar linkage, GUI, Engineering Education

## 1. INTRODUCCIÓN

El mecanismo plano de cuatro barras es utilizado en diferentes ramas de la Ingeniería como solución a problemas de generación de movimiento tales como sistemas articulados para la puerta de equipaje de vehículos comerciales (Baykus, E., et al. 2011) como base para un modelo en Ingeniería Biomédica (Farhat, N., et al. 2011), y otras aplicaciones utilizadas ampliamente en la industria (Roy, L., et al., 2008; Thakare y Panda, 2012). Para el estudio del mecanismo plano de cuatro barras también han sido desarrolladas varias aplicaciones de computadora para su análisis cinemático (Pucheta, Cardona, 2004; Vásquez, Ramírez, 2006; Ruíz, Valencia, 2008; Norton, 2009), algunos de los cuales también incluyen los aspectos cinemáticos de mecanismos de levas de disco (Hoorfar, M., et al. 2007; Norton, 2009). Un objetivo fundamental de la Cinemática, es diseñar los movimientos deseados de las partes mecánicas por medio de la síntesis de mecanismos, para luego calcular matemáticamente las posiciones, velocidades y aceleraciones de cada parte del elemento. El eslabonamiento plano de cuatro barras es el mecanismo articulado más simple posible para movimiento controlado con un solo grado de libertad, razón por la cual es usualmente considerado como candidato en la solución de problemas de generación de movimiento. Varios autores se enfocan en la síntesis de mecanismos para resolver tales problemas (Linares, Augusto, 2007; Peón, R., et al, 2009), incluso haciendo uso de software para satisfacer los requerimientos cinemáticos (Pucheta, Cardona, 2004). Una vez que la síntesis del mecanismo ha sido realizada, la naturaleza de su movimiento debe ser analizada. Es necesario conocer las fuerzas, estáticas y dinámicas, para calcular los esfuerzos. El ingeniero de diseño debe garantizar que el mecanismo o máquina propuesta no fallará en condiciones de operación. Por lo tanto, los esfuerzos

en los materiales deben mantenerse por debajo de los niveles permisibles (Portilla, É., et al. 2010). Para calcular los esfuerzos es necesario conocer las aceleraciones de sus elementos, las cuales varían con cada posición del mecanismo, por lo cual es menester un correcto análisis de posición del mecanismo.

Muchos softwares educativos o con fines didácticos en el área de Teoría de Mecanismos y Máquinas que abarcan el análisis de posición permiten graficar mecanismos de cuatro barras en diferentes posiciones (Barker, 1985; Vásquez, Ramírez, 2006; Ruíz, Valencia, 2008), pero requieren licencia de usuario lo cual le dificulta el acceso a la herramienta didáctica al estudiante, o en algunos casos la versión estudiantil es muy limitada en opciones. En este artículo se presenta un modelo computacional interactivo que permite el análisis cinemático para mecanismos planos de cuatro barras con cuatro juntas de revoluta (2D-RRRR). Utilizando Matlab®, se crea una interfaz gráfica amigable con un alto grado de interactividad, la cual es capaz de validar la longitud de los eslabones, calcular la posición, velocidad y aceleración de los mismos, graficar el mecanismo y simular un ciclo completo del mecanismo.

## 2. GENERALIDADES DE LOS MECANISMOS DE CUATRO BARRAS

La Figura 1(a) muestra la representación simplificada del mecanismo de cuatro barras con cuatro juntas de revoluta y cuatro eslabones (eslabón 1 es la bancada), cuya movilidad es igual a uno de acuerdo con la Ley de Grüebler (Norton, 2009), es decir, solo se requiere mover un elemento de los elementos 2, 3 o 4 para conocer en todo momento el movimiento que describirá cada eslabón móvil. Una de las mayores ventajas y que ha favorecido el amplio uso de este mecanismo en tareas

cinemáticas planas es precisamente el requerir un único actuador, de ahí su importancia en el campo de Teoría de Mecanismos y Máquinas (Farhat, N., et al. 2011). La realización de una interfaz para este mecanismo requiere del estudio de la cinemática de posición, velocidad y aceleración del mecanismo, además del estudio de las condiciones de movilidad.

### 2.1 Generalidades Cinemáticas

La Figura 2(a) presenta el lazo vectorial asociado a la nomenclatura del mecanismo presentada en la Figura 1(b). De la Figura 2(a), la ecuación vectorial resultante está dada por la Ecuación (1), la cual genera las ecuaciones de las componentes dadas en las Ecuaciones (2) y (3),

$$\vec{L}_2 + \vec{L}_3 = \vec{L}_1 + \vec{L}_4 \quad (1)$$

$$L_2 c_2 + L_3 c_3 = L_1 c_1 + L_4 c_4 \quad (2)$$

$$L_2 s_2 + L_3 s_3 = L_1 s_1 + L_4 s_4 \quad (3)$$

donde  $c_i = \cos\theta_i$  y  $s_i = \sin\theta_i$ . Asumiendo que el ángulo conocido o la entrada es el ángulo  $\theta_2$ , la solución de las Ecuaciones (2) y (3) se propone introduciendo las identidades de la tangente del ángulo medio para obtener

$$\theta_3 = 2 \operatorname{atan} \left[ \frac{A \pm \sqrt{A^2 - (C^2 - B^2)}}{B+C} \right] \quad (4)$$

$$\theta_4 = 2 \operatorname{atan} \left[ \frac{A \pm \sqrt{A^2 - (D^2 - B^2)}}{B+D} \right] \quad (5)$$

donde  $A = L_1 s_1 - L_2 s_2$ ,  $B = L_1 c_1 - L_2 c_2$ ,

$$C = \frac{A^2 + B^2 + L_3^2 - L_4^2}{2L_3}, D = \frac{L_3^2 - L_4^2 - A^2 - B^2}{2L_4}$$

Dada la naturaleza cuadrática de la solución presentada en las Ecuaciones (4) y (5), ello implica dos posibles configuraciones físicas del mecanismo, ilustradas en la Figura 2(b). Para la cinemática de velocidad se condiciona constante la velocidad de la entrada,  $\dot{\theta}_2$ , lo cual implica que su aceleración  $\ddot{\theta}_2$  es igual a cero. Derivando una vez las Ecuaciones (2) y (3) para solucionar la cinemática de velocidad, y por segunda vez para resolver la cinemática de aceleración, se obtienen, respectivamente, las soluciones

$$\dot{\theta}_3 = \frac{\begin{vmatrix} -L_4 s_4 & -L_2 s_2 \dot{\theta}_2 \\ L_4 c_4 & L_2 c_2 \dot{\theta}_2 \end{vmatrix}}{L_3 L_4 s_{4-3}}, \quad (6)$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{\begin{vmatrix} -L_2 s_2 \dot{\theta}_2 & L_3 s_3 \\ L_2 c_2 \dot{\theta}_2 & -L_3 c_3 \end{vmatrix}}{L_3 L_4 s_{4-3}}, \quad (7)$$

$$\ddot{\theta}_4 = \frac{\begin{vmatrix} -L_4 s_4 & -L_2 c_2 \dot{\theta}_2^2 - L_3 c_3 \dot{\theta}_3^2 + L_4 c_4 \dot{\theta}_4^2 \\ -L_4 c_4 & -L_2 s_2 \dot{\theta}_2^2 + L_3 s_3 \dot{\theta}_3^2 - L_4 c_4 \dot{\theta}_4^2 \end{vmatrix}}{L_3 L_4 s_{3-4}}, \quad (8)$$

$$\ddot{\theta}_4 = \frac{\begin{vmatrix} -L_2 c_2 \dot{\theta}_2^2 - L_3 c_3 \dot{\theta}_3^2 + L_4 c_4 \dot{\theta}_4^2 & L_3 s_3 \\ -L_2 s_2 \dot{\theta}_2^2 + L_3 s_3 \dot{\theta}_3^2 - L_4 c_4 \dot{\theta}_4^2 & L_3 c_3 \end{vmatrix}}{L_3 L_4 s_{3-4}}, \quad (9)$$

donde  $s_{k-m} = \sin(\theta_k - \theta_m)$ .

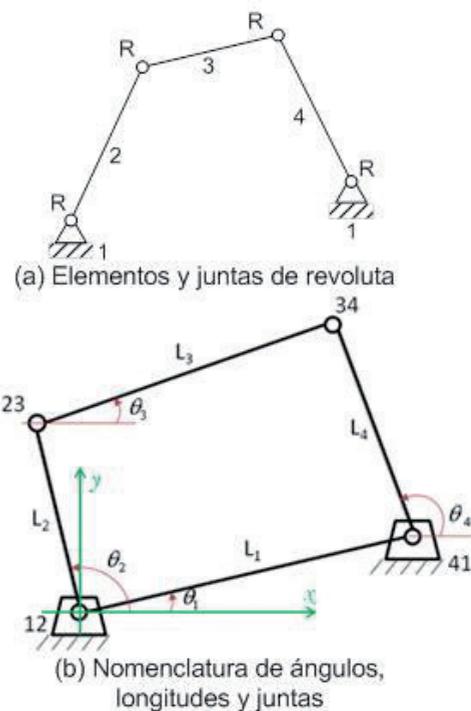


Figura 1. Mecanismo plano de cuatro barras con juntas de revoluta

### 2.2 Generalidades de Movilidad

Partiendo del concepto de inversión cinemática de un mecanismo, que es la configuración creada por el cambio de la conexión a tierra de un eslabón diferente en la cadena cinemática, la condición de Grashof (Peón, R., et al. 2009) es la relación que predice el comportamiento de rotación de las inversiones de un mecanismo de cuatro barras basado en las longitudes de los eslabones. Sea S: longitud del eslabón más corto,

L: longitud del eslabón más largo, P y Q: longitud los eslabones restantes, si se cumple la condición  $S+L \leq P+Q$ , entonces el eslabonamiento se clasifica como tipo Grashof y al menos un eslabón será capaz de realizar una revolución completa con respecto al plano de bancada, marco fijo o tierra. Si la desigualdad no es cierta, entonces el eslabonamiento es No Grashof, lo cual implica que ningún eslabón será capaz de realizar una revolución completa con respecto a cualquier otro eslabón. Las inversiones se definirán con respecto al eslabón más corto, y los casos de movimiento se presentan a continuación.

**2.2.1 Mecanismo de cuatro barras Clase I,  $S + L < P + Q$ .** Si se considera como bancada cualquier eslabón adyacente al más corto, Figura 3(a), se obtiene un mecanismo manivela-balancín, donde el eslabón más corto girará por completo y el otro eslabón oscilará pivotado a la bancada. Si se fija el eslabón más corto, se obtendrá un doble-manivela, Figura 3(b), en la que ambos eslabones pivotados a la bancada realizan revoluciones completas, así como lo hace el acoplador. Si se fija el eslabón opuesto al más corto, se obtendrá un doble-balancín de Grashof, Figura 3(c), en el que ambos eslabones pivotados a la bancada oscilan y sólo el acoplador realiza una revolución completa.

**2.2.2 Mecanismo de cuatro barras Clase II,  $S + L > P + Q$  o triple balancín.** En los mecanismos planos de cuatro barras Clase II, todas las inversiones serán balancines triples, y ningún eslabón puede girar por completo sin importar que eslabón sea escogido como el eslabón fijo o bancada, Figura 3(d).

**2.2.3 Mecanismo de cuatro barras Clase III,  $S + L = P + Q$ .** Los mecanismos planos de cuatro barras Clase III son conocidos como caso especial de Grashof y también como cadena cinemática de clase III, todas las inversiones serán doble-manivelas o manivela-balancín, pero tendrán puntos de cambio dos veces por revolución de la manivela de entrada cuando todos los eslabones se vuelven colineales. En estos puntos de cambio el comportamiento de salida se volverá indeterminado. La Figura 4 presenta un esquema de la clasificación completa de mecanismos de cuatro barras basada en un sistema desarrollado por Barker (1985).

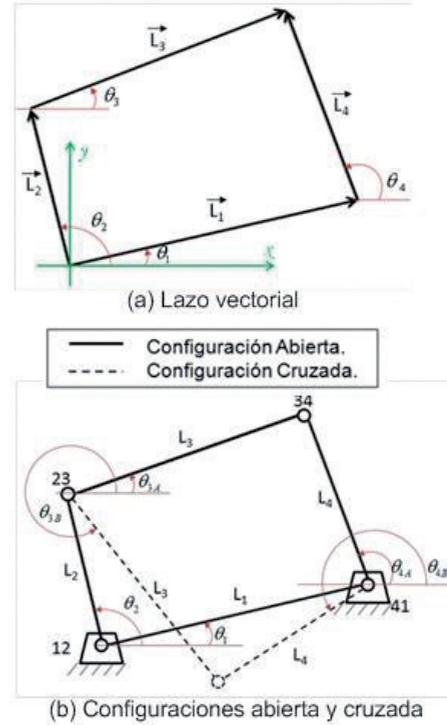


Figura 2. Lazo vectorial y configuraciones de la solución

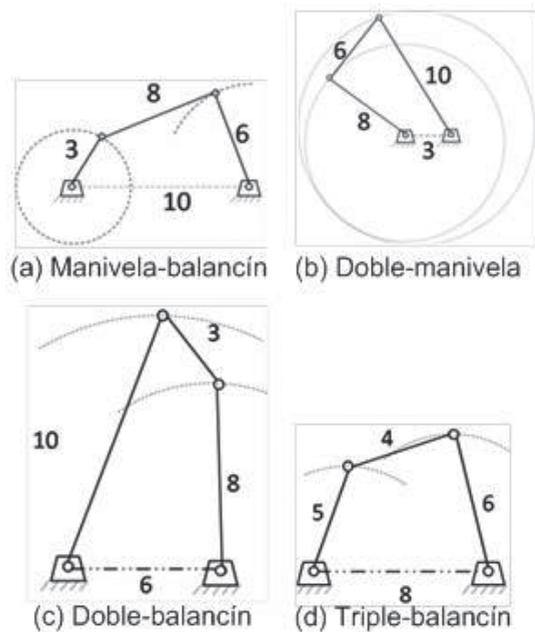


Figura 3. Tipos de mecanismos Grashof (unidades en cm)

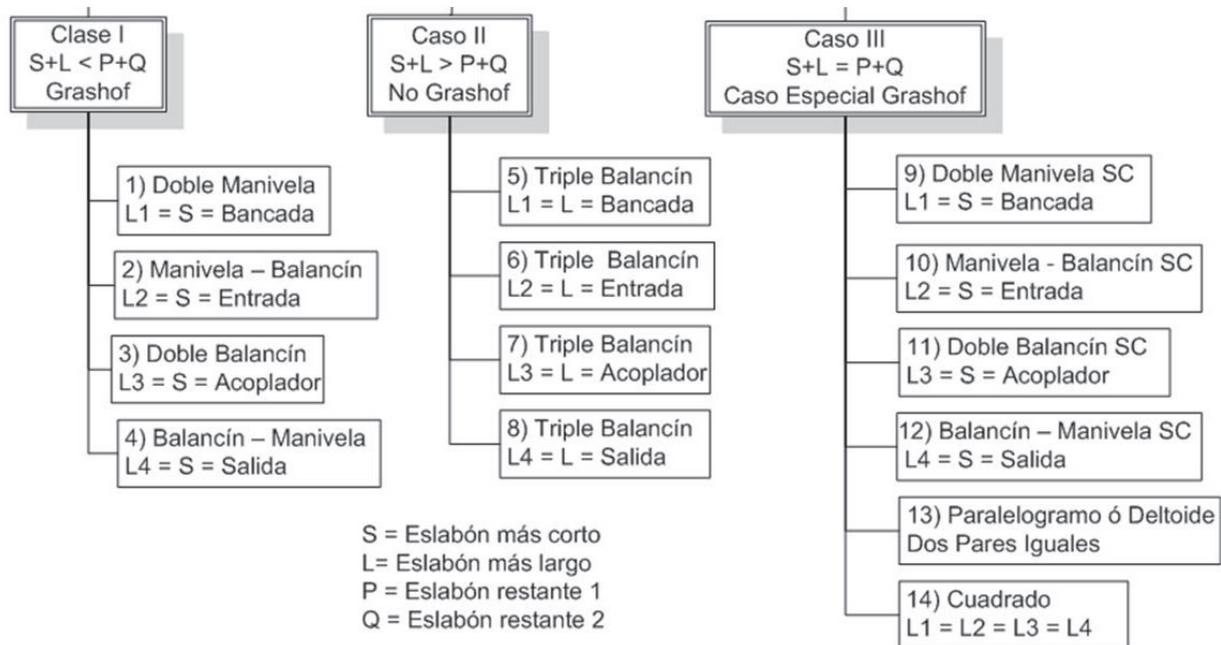


Figura 4. Esquema de clasificación de mecanismos planos de cuatro barras

El criterio de Grashof asegura que para que los cuatro eslabones se ensamblen, el más largo debe ser más corto que la suma de los otros tres, es decir  $L < S + P + Q$ , lo cual es la base para la validación de las longitudes entradas al programa. Si  $L = S + P + Q$ , entonces los eslabones pueden ser ensamblados pero no se moverán, así que esta condición proporciona un criterio para separar las regiones de no movilidad de las regiones que permiten movimiento.

### 3. INTERFAZ GRÁFICA DESARROLLADA

La metodología empleada para el desarrollo de la interfaz grafica fue la de “marco de trabajo”, la cual es usada para estructurar, planear y controlar el proceso de desarrollo en sistemas de información. El enfoque que se le dio al desarrollo de la interfaz fue un modelo en cascada, el cual es un proceso secuencial en el que los pasos de desarrollo son vistos hacia abajo, a través de las fases de análisis de las necesidades, el diseño, su implementación, pruebas (validación) e integración. El GUI se desarrolló usando la herramienta GUIDE (*Graphical User Interface Development Enviroment*) de Matlab® (The MathWorks, 2012). La interfaz se dividió en cuatro secciones principales o paneles: Presentación, Parámetros de Entrada, Funciones y Parámetros de Salida, presentadas a continuación.

#### 3.1 Interactividad de la Interfaz

El panel de “Parámetros de entrada” mostrado en la Figura 5(a) presenta una imagen ilustrativa de un mecanismo plano de cuatro barras RRRR, en la cual se muestra la nomenclatura usada para identificar eslabones, ángulos, y demás parámetros que ayudan al usuario a familiarizarse con la interfaz.

Este panel también contiene las cajas de edición para introducir los parámetros de entrada (Longitudes de eslabones, ángulos, etc.). En este punto de uso de la interfaz, la entrada de datos se hace mediante teclado. La ley de Grashof se utiliza para evaluar que las dimensiones dadas satisfagan un mecanismo y para clasificar el mecanismo al presionar el botón “Calcular”, Figura 5(b).

#### 3.2 Características de la Interfaz

Idioma. La interfaz cuenta con un menú contextual que permite modificar su idioma a español o inglés, Figura 5(a). Se incluyó la opción del inglés para contribuir con uno de los objetivos del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Atlántico, como es fortalecer la enseñanza de este idioma extranjero. La Figura 7 presenta el aspecto de la interfaz en el idioma inglés.

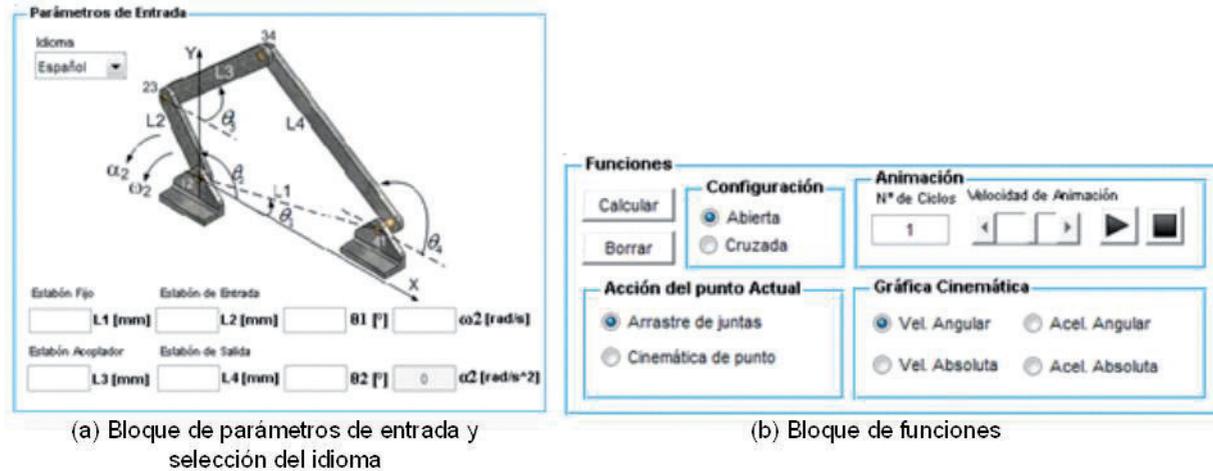


Figura 5. Bloques de parámetros de entrada y de funciones

Arrastre de juntas. Figura 5(b), cuando esta casilla se encuentra activa, el usuario podrá modificar la longitud y posición de los eslabones con ayuda del mouse, haciendo click sostenido en las juntas de revoluta del mecanismo calculado, como se ilustra en la Figura 6. Esta función habilitada para la interfaz constituye una de las principales características de amigabilidad para el usuario. Facilita la edición del mecanismo alternando entre los diferentes tipos (Grashof, No Grashof, tipos I, II y II) y modificando los parámetros de entrada y salida en tiempo real.

En el panel de funciones, subpanel de Animación en la Figura 5(b) se introduce también el número de ciclos que se desee animar el mecanismo calculado.

La velocidad de la animación también se modifica a través de un deslizador para incrementar o disminuir la rapidez de la animación, la cual puede ser iniciada, pausada o reanudada con los botones Play y Pause.

Cinemática de punto. Figura 5(b), al habilitar esta casilla, se le permite al usuario seleccionar con el puntero del mouse un punto de cualquier eslabón del mecanismo, y graficar los valores de velocidad y aceleración (angular y absoluta) de dicho punto dependiendo de la casilla que se encuentre habilitada en el panel de gráfica cinemática.

Mensajes de error. La interfaz cuenta con funciones de validación de los parámetros de entrada, las cuales

permiten al usuario verificar que los datos ingresados sean correctos, de lo contrario se generarán mensajes explicando el error y sugiriendo la solución. La validación no permite que el usuario introduzca distancias negativas o caracteres diferentes a los numéricos.

Parámetros de salida. Es la sección *Output Parameters* en la Figura 7, y presenta las salidas tanto de texto como gráficas generadas.

Relación color–eslabón. Para facilitar la identificación de los eslabones del mecanismo calculado, la interfaz relaciona los colores de los eslabones del mecanismo dibujado con los colores de las cajas de edición, ver Figura 7.

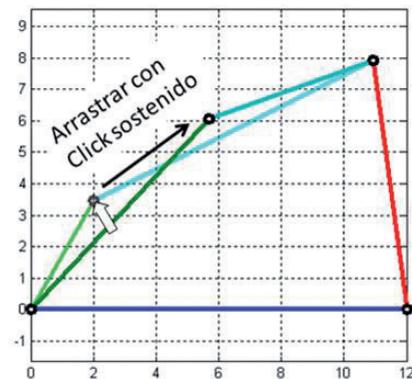


Figura 6. Cambio de longitudes y geometría con arrastre de juntas

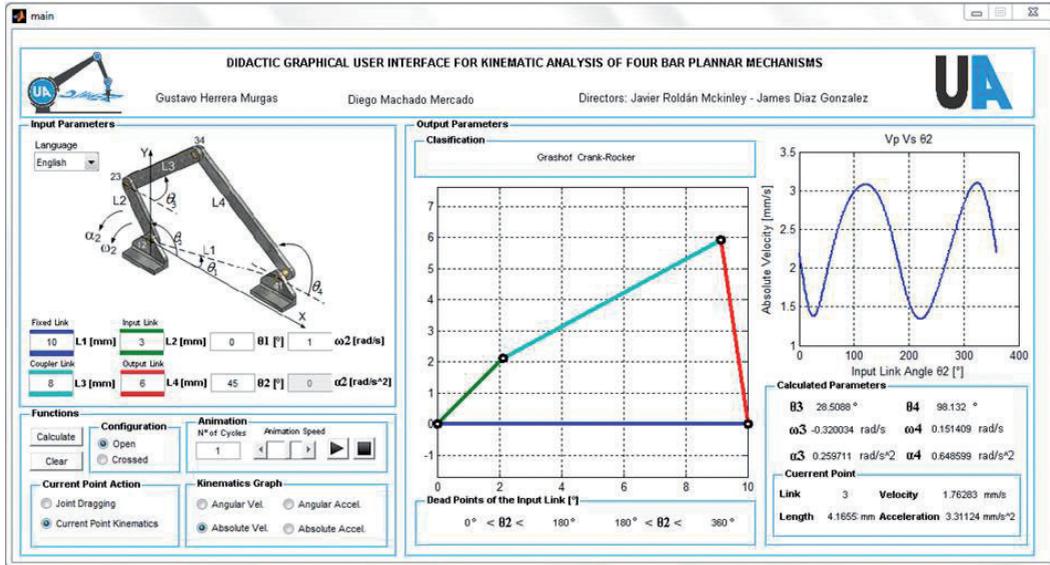


Figura 7. Aspecto de la interfaz desarrollada en el idioma Inglés

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Opinión de los Usuarios

Se realizó una presentación del GUI a los estudiantes del laboratorio de la asignatura “Teoría de Mecanismos y Máquinas” (2012-1, 20 estudiantes y 2012-2, 15 estudiantes) de la Universidad del Atlántico, seguida de la encuesta mostrada en la Figura 8. Las preguntas se agruparon en tres aspectos: Funcionalidad, Manipulación y Diseño de la GUI, Figura 8(a). Los

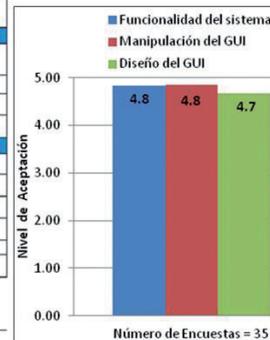
resultados muestran un alto nivel de aceptación, situando la GUI como una herramienta útil, Figura 8(b). También se tomaron en cuenta algunas observaciones realizadas por los estudiantes para la mejora de la interfaz, sugerencias tales como:

“Se podrían reubicar los gráficos de acuerdo al tamaño de la pantalla”; “Cuando los parámetros de entrada no son válidos, que muestre un mensaje explicando el error”; “Aumentar el tamaño de la animación”; “Que la interfaz indique el tipo de triple balancín (1, 2, 3, 4)”.

El propósito fundamental de esta encuesta es recolectar información acerca de la opinión que usted tiene sobre la herramienta didáctica (GUI) para el análisis de posición de mecanismos planos de 4 barras RRRR. Debe saber que no hay respuestas correctas o incorrectas, sea honesto en sus respuestas. La información recolectada en esta encuesta será confidencial y se utilizará con fines netamente académicos. Por favor, lea cada una de las afirmaciones que se le presentan a continuación y emita su opinión marcando con un X la opción correspondiente (marque solo una opción). Usted deberá asignar un valor en una escala del 1 al 5, representando el valor “1” el mínimo nivel de importancia y el valor “5” el máximo nivel de aceptación.

	1	2	3	4	5
<b>Funcionalidad del sistema</b>					
La GUI impulsa su participación en el proceso de aprendizaje.					
La GUI presenta la información de una forma amena que le motiva e interesa.					
La interfaz arroja resultados adecuados, conformes a sus conocimientos.					
La interfaz permite la validación de los datos de entrada antes de que ésta arroje una respuesta.					
<b>Manipulación de la GUI</b>					
Usted adquiere las destrezas necesarias para manipular correctamente la GUI en el transcurso de una sesión de clase de 15 minutos.					
Requiere poco nivel de esfuerzo al usar la GUI.					
La GUI es fácil de usar.					
Los botones de comando/acción de la GUI son fáciles de ubicar.					
<b>Diseño de la GUI</b>					
El tamaño de la letra permite leer con facilidad.					
El color de la letra permite leer con facilidad.					
La combinación de colores es agradable.					
Los gráficos están apropiadamente posicionados en la pantalla.					
Los gráficos y efectos visuales ayudan a entender los contenidos.					
El tamaño de los gráficos es apropiado.					
Utilice las líneas siguientes para sus consideraciones particulares.					
<b>Observaciones (opcional):</b>					

(a) Encuesta



(b) Resultados

Figura 8. Encuesta realizada a estudiantes del laboratorio del curso Teoría de Mecanismos y Máquinas

## 4.2 Validación de Resultados

Para verificar los resultados de la cinemática posición, se alimentó la interfaz con los datos de varios problemas de libros de texto, especialmente del autor Norton (2009), muy reconocido en la Academia. La Tabla 1 presenta los resultados de Norton (2009) y de la interfaz para un problema específico. Hay concordancia en los resultados obtenidos. Similarmente, se validaron los resultados de velocidad y aceleración contra problemas resueltos de la misma referencia, presentados en las Tablas 2 y 3, mostrando prácticamente el mismo resultado en cada caso.

**Tabla 1.** Validación análisis de posición

Tabla P4-1	Datos para los problemas 4-6, 4-7 y 4-13 [8]					
Fila	$L_1$ [cm]	$L_2$ [cm]	$L_3$ [cm]	$L_4$ [cm]	$\theta_1$	$\theta_2$
a	6	2	7	9	0°	30°
Soluciones a los problemas 4-6, 4-7 y 4-13 [8]						
$\theta_3$ abierto	$\theta_4$ abierto	$\theta_3$ cruzado	$\theta_4$ cruzado			
88,8°	117,3°	-115,2°	-143,6°			
Soluciones del problema usando la interfaz						
$\theta_3$ abierto	$\theta_4$ abierto	$\theta_3$ cruzado	$\theta_4$ cruzado			
88,8372°	117,28°	244,78°	216,34°			

**Tabla 2.** Validación análisis de velocidad

Tabla S4-1	Datos para los problemas 6-4 y 6-5 $\omega_2 = 10 \text{ rad/s}$ [8]					
Fila	$L_1$ [cm]	$L_2$ [cm]	$L_3$ [cm]	$L_4$ [cm]	$\theta_1$	$\theta_2$
a	6	2	7	9	0°	30°
Soluciones a los problemas 6-4 y 6-5 [rad/s] [8]						
$\omega_3$ abierto	$\omega_4$ abierto	$\omega_3$ cruzado	$\omega_4$ cruzado			
-6	-4	-0.66	-2.66			
Soluciones usando la interfaz [rad/s]						
$\omega_3$ abierto	$\omega_4$ abierto	$\omega_3$ cruzado	$\omega_4$ cruzado			
-5.990	-3.992	-0.662	-2.662			

**Tabla 3.** Validación análisis de aceleración

Tabla P7-1	Datos para los problemas 6-4 y 6-5 $\omega_2 = 10 \text{ rad/s}$ ; $\alpha_2 = 0 \text{ rad/s}^2$ [8]					
Fila	$L_1$ [cm]	$L_2$ [cm]	$L_3$ [cm]	$L_4$ [cm]	$\theta_1$	$\theta_2$
a	6	2	7	9	0°	30°
Soluciones a los problemas 7-3 y 7-4 [rad/s <sup>2</sup> ] [8]						
$\alpha_3$ abierto	$\alpha_4$ abierto	$\alpha_3$ cruzado	$\alpha_4$ cruzado			
26.1	53.3	77.9	50.7			
Soluciones usando la interfaz [rad/s <sup>2</sup> ]						
$\alpha_3$ abierto	$\alpha_4$ abierto	$\alpha_3$ cruzado	$\alpha_4$ cruzado			
26.082	53.331	77.919	50.669			

## 4.3 Validación de Resultados, FOURBAR – Student Edition

Se presenta un mecanismo de estudio para comparar el GUI con el software FOURBAR Student Edition, CD es gratuito con la compra del libro de texto Norton (2009). Los datos de entrada se resumen en la Tabla 4. La solución hallada utilizando FOURBAR se presenta en la Figura 9 y la solución generada utilizando la interfaz en la Figura 10, obteniendo en ambos casos la misma solución gráfica, sin embargo la aplicación FOURBAR no muestra como datos de salida los ángulos  $\theta_3$  y  $\theta_4$ . En cuanto a la interactividad, la GUI propuesta permitió el cambio de longitudes y ángulos bien sea a través de teclado en el bloque de parámetros de entrada, o arrastrando cada junta presionando el ratón del computador, cambiando así de manera inmediata las longitudes de los elementos y/o ángulos de configuración. Además, la interfaz desarrollada permite una rotación completa de la manivela en la simulación, mientras que FOURBAR solo permite visualizar media revolución de la manivela.

**Tabla 4.** Datos de mecanismo (Esl: Eslabón)

Datos del mecanismo de estudio [8]							
Esl. 1	Esl. 2	Esl. 3	Esl. 4	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$
12	4	10	8	0	45°	31°	94°

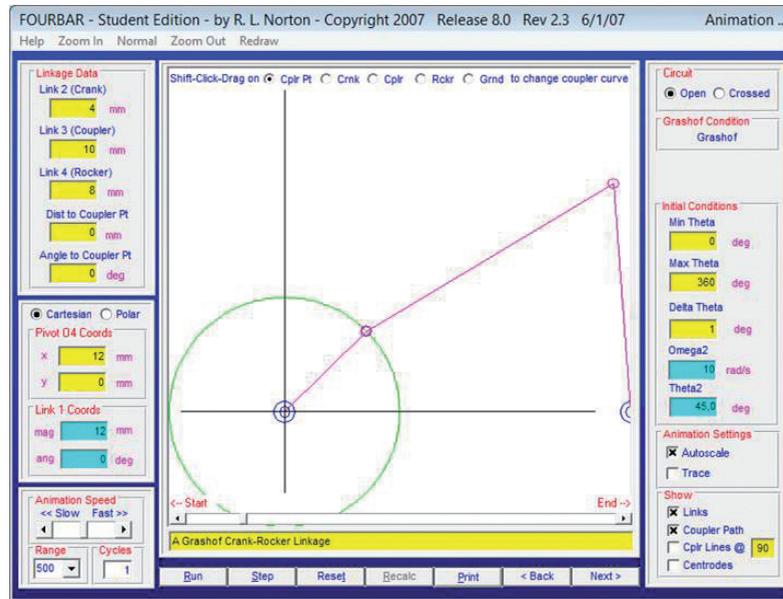


Figura 9. Solución al ejemplo de la sección 4.3 utilizando FOURBAR Student Edition (Norton, 2009)

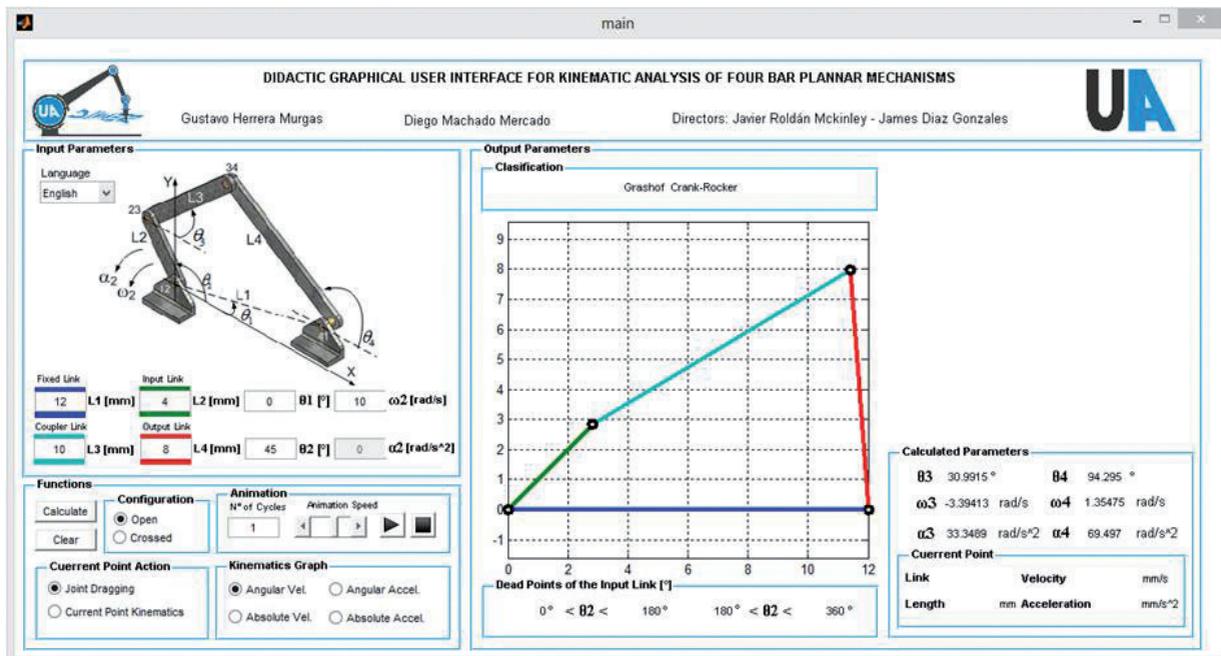


Figura 10. Solución al ejemplo de la sección 4.3 utilizando la herramienta desarrollada

#### 4.4 Caso de Aplicación de Helicóptero Tragamonedas

Se resuelve un caso de aplicación adaptado del libro de texto de autor Myszka (2012). “El motor de la diversión del traga monedas de la Figura 11 gira a 90 rpm, constante (antihorario). ¿Qué aceleración angular experimentaría un niño en el instante en que la

manivela tiene un valor de 30°? Alimentando la interfaz con los datos del problema se obtiene inicialmente la clasificación del mecanismo: Grashof biela-manivela, Figura 12. La interfaz también arroja la velocidad y aceleración angular máximas a la cual está sometido el caballo: 2.79259 rad/s y 48.3 rad/s<sup>2</sup>, respectivamente, para el seguidor (L = 762 mm) y para un ángulo de la manivela de aproximadamente 75°, Figura 12.

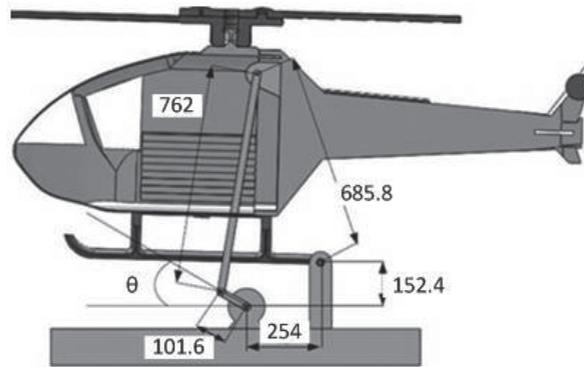


Figura 11. Helicóptero tragamonedas, medidas en milímetros. (Adaptado de Myszka, 2012)

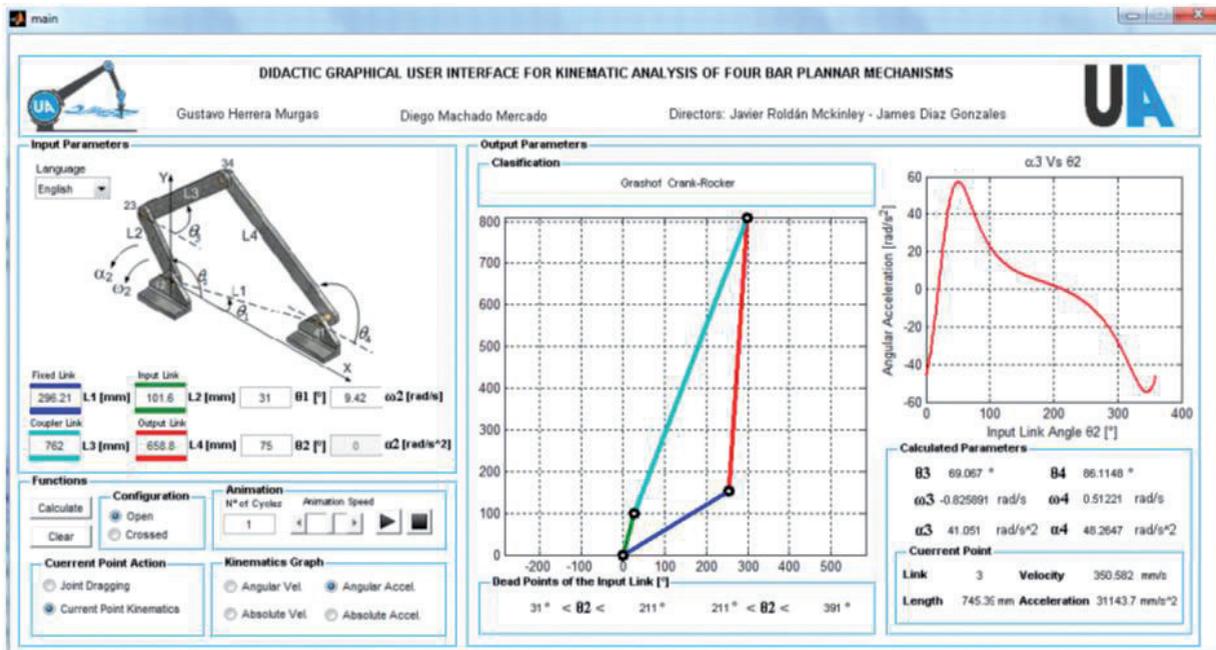


Figura 12. Solución del helicóptero tragamonedas utilizando la interfaz desarrollada

## 5. CONCLUSIÓN

Se reportó el desarrollo y aplicación de una interfaz gráfica de usuario como una herramienta para la enseñanza y el aprendizaje de la cinemática y la movilidad de los mecanismos planos de cuatro barras. La idea nació ante el alto costo de las licencias de software especializados y la limitación de las versiones estudiantiles disponibles. El diseño de la interfaz tuvo en cuenta los comentarios y sugerencias de los estudiantes de la asignatura de interés. Los resultados obtenidos utilizando la interfaz desarrollada fueron validados contra resultados de otros autores y con los resultados de otros softwares similares.

Desde el punto de vista de la interactividad, la interfaz propuesta permite la modificación de las longitudes y orientación de los elementos del mecanismo, tanto numéricamente a través del teclado, como gráficamente haciendo uso del mouse del computador, sobre la interfaz desarrollada. Esta es una gran ventaja en comparación con softwares disponibles. Estas cualidades, permiten que la interfaz sea una herramienta fundamental para ser implementada dentro del laboratorio de la asignatura “Teoría de Mecanismos y Máquinas” del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Atlántico. El estudiante podrá simular los diferentes cambios debido a las alteraciones realizadas a la longitud y orientación de las juntas de un mecanismo de cuatro barras.

El desarrollo de la interfaz gráfica se convierte en un enlace entre los conceptos teóricos y prácticos del análisis de mecanismos, mostrando de manera virtual su comportamiento y permitiendo la observación de los fenómenos de una forma versátil. Como futuro trabajo derivado es este proyecto se viene trabajando en el desarrollo de una aplicación de Android que utilice el mismo principio y que pueda ser adquirida a bajo costo por estudiantes de ingeniería y ser utilizada como una guía de estudio.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo recibido de parte de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Atlántico para la realización de este proyecto.

## 7. REFERENCIAS

BARKER, C. A complete classification of planar four-bar linkages. *Mechanism and Machine Theory*, 1985, vol. 20, núm. 6, pp. 535-554.

BAYKUS, E. et al. Design and kinematics analysis of a parallel mechanism to be utilized as a luggage door by an analogy to a four-bar mechanism. *Engineering*, 2011, vol. 3, núm. 4, pp. 421-441.

FARHAT, N. et al. A procedure for estimating the relevant forces in the human knee using a four-bar mechanism. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Eng.*, 2011, vol. 13, núm. 5, pp. 577-587.

HOORFAR, M. et al. Software demonstration of disc cam mechanism for mechanical engineering education. *Int. Journal of Mech. Eng. Education*, 2007, vol. 35, núm. 2, pp. 166-180.

LINARES, P; AUGUSTO, H. *Diseño óptimo de mecanismos de cuatro barras para generación de movimiento con restricciones de montaje y ángulo de transmisión*. Director: Andrés Tovar [Tesis de Maestría]. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2007.

MYSZKA, D. Máquinas y Mecanismos. 4ta ed. México: Pearson, 2012.

NORTON, R. Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. 4ta ed. México: McGraw-Hill, 2009.

PEÓN, R. et al. Síntesis dimensional óptima de un mecanismo planar RRRR usando algoritmos genéticos. *Ingeniería Revista Académica*, 2009, vol. 13, núm. 3, pp. 5-16.

PORTILLA, É. et al. Análisis cinemático y diseño de un mecanismo de cuatro barras para falange proximal de dedo antropomórfico. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2010, vol. 20, núm. 1, pp. 45-59.

PUCHETA, M; CARDONA, A. Software para síntesis de mecanismos planos. *Mecánica Computacional*, 2004, vol. 23, núm. 31, pp. 3369-3389.

ROY, L. et al. Analysis and synthesis of four-bar mechanism. *Int. Journal of Theoretical and Applied Mech.*, 2008, vol. 3, núm. 2, pp. 171-186.

RUIZ, V; VALENCIA, N. Razonamiento cinemático en mecanismos eslabonados a través de ambientes computacionales. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 2008, vol. 23, pp. 16-30.

THAKARE, P; HANDA, C. A generalized approach for kinematic analysis of four-bar chain mechanism using programming. *Golden Research J.*, 2012, vol. 1, núm. 7, pp. 1-4.

The MathWorks: Matlab GUI [web en línea]. <<http://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>>. [Consulta: 10-11-2012]

VÁSQUEZ, R; RAMÍREZ, J. Software de simulación para un banco de mecanismos planos de cuatro barras. *XVI Muestra de Trabajos de Ingeniería, Ingeniar Internacional, Editorial Universidad Pontificia Bolivariana*, Medellín, sept. 6-8 de 2006, vol. 6, pp. 25-136.