

# Diseño de mecanismos de palancas asistido por computadora.

**J. L. Betancourt Herrera**

Instituto Superior de Diseño Industrial.  
Belascoain No. 710 entre Estrella Y Maloja. La Habana 10 300. Cuba  
Teléfono: 77-57-97. Fax: 23-07-97  
E-mail: [uictp@ondi.cu](mailto:uictp@ondi.cu)

(Recibido el 20 de abril del 2000, aceptado el 20 de noviembre del 2001).

## Resumen.

En la práctica del diseño industrial hay múltiples problemas que requieren de la creación de un mecanismo con características de movimiento peculiares. La elección de un método que permita la síntesis estructural, el planteamiento y solución de las ecuaciones correspondientes, requeridas para el análisis cinemático de los mecanismos de palancas, en una forma clara y simple, es un problema muy complejo de resolver en sentido general.

Tomando como referencia la teoría para la formación de los grupos de Assur, el autor desarrolló el método de los grupos estructurales y sobre esta base el software DSM (Diseño y Simulación de Mecanismos), que es la herramienta de cómputo propuesta para apoyar al diseñador en el proceso de Diseño Cualitativo de Mecanismos de Palancas Asistido por Computadora, que consiste en un proceso iterativo entre síntesis y análisis con el que se pueden obtener los resultados de la variación de la estructura de un mecanismo y de sus parámetros fundamentales, prácticamente en tiempo real.

En el presente trabajo se definen y ejemplifican los conceptos y elementos principales relacionados con el diseño cualitativo de mecanismos de palancas asistido por computadora.

**Palabras claves:** CAD, mecanismos de palancas, diseño industrial, análisis cinemático, síntesis estructural.

## 1. Introducción.

En la práctica del diseño industrial, hay un sin número de problemas que requieren de la creación de un mecanismo con características de movimiento peculiares. “En la mayor parte de los casos se tienen muchas más variables que ecuaciones disponibles para describir el funcionamiento del sistema; por lo que no se pueden simplemente resolver las ecuaciones para llegar a la solución, sino que se debe trabajar con el fin de crear una solución potencial para luego analizarla y determinar su viabilidad, así como iterar entre síntesis y análisis, hasta obtener la solución deseada” [11].

La elección de un método que permita la síntesis estructural, el planteamiento y la solución de las ecuaciones correspondientes, para el análisis cinemático de los mecanismos de palancas, en una forma clara y simple, es un problema muy complejo de resolver en sentido general. Esta dificultad puede ser resuelta, si se aclara la estructura del mecanismo.

Tomando como referencia la teoría para la formación de los Grupos de Assur, el autor desarrolló el Método de los Grupos Estructurales y sobre esta base el software DSM (Diseño y Simulación de Mecanismos) (fig.1) que es la herramienta de cómputo propuesta para apoyar al diseñador en el proceso de Diseño Cualitativo de Mecanismos de Palancas Asistido por Computadora.



Figura1. Pantalla principal del módulo DSM.

## 2. Método de los grupos estructurales para el diseño de mecanismos.

En este método los mecanismos se conciben como una secuencia de grupos estructurales, que al ensamblarse van formando la estructura del mecanismo a partir de los grupos motores y de los grupos conducidos. El orden de ensamblaje no constituye una secuencia arbitraria, es un orden particular para cada tipo de mecanismo diferente, que se denomina *Ley de Formación del Mecanismo* y que debe cumplir con las restricciones propias de la Teoría de Mecanismos.

Al añadir un grupo motor al mecanismo, este aumentará su grado de movilidad en una magnitud igual al grado de movilidad del grupo añadido y si el grupo que se adiciona es conducido, el grado de movilidad del mecanismo no variará. Los grupos estructurales propuestos son cadenas cinemáticas formadas por elementos cinemáticos binarios, en todos los casos vinculados por pares cinemáticos de quinta clase o la combinación de pares de cuarta y quinta clase. Si el grado de movilidad del grupo, al unir sus pares exteriores a un elemento fijo es mayor que cero, se denomina Grupo Estructural Motor y si es igual a cero entonces se denomina Grupo Estructural Conducido. Los grupos estructurales motores propuestos son todos de un grado de movilidad, lo cual implica que por cada grupo de este tipo que se adicione a la estructura de un mecanismo se incrementará en un grado la movilidad total del sistema y se requerirá de un motor o actuador más. El planteamiento de las ecuaciones requeridas para el análisis cinemático, se realiza de forma independiente para cada grupo estructural. Se parte que son conocidas las características cinemáticas de dos de los tres puntos de referencia con que cuenta cada grupo, por lo que es posible calcular de forma sencilla las características cinemáticas del tercer punto de referencia. Los cálculos los realiza el programa de cómputo DSM siguiendo la ley de formación del mecanismo. A partir de los parámetros del primer grupo, en la ley de formación, se calculan las características cinemáticas de éste para la posición inicial y se dibuja en pantalla. Los resultados obtenidos se emplean como datos de entrada para el cálculo del siguiente grupo y así sucesivamente hasta completar todos los grupos que integran la cadena cinemática del mecanismo.

El empleo de este método le evita al diseñador tener que desarrollar y resolver el sistema de ecuaciones para cada alternativa conceptualmente diferente, al ser realizada esta tarea por la computadora de forma automática. A esta forma de diseño el autor la ha denominado Diseño Cualitativo de Mecanismos de Palancas Asistido por Computadora; consiste en un proceso iterativo entre síntesis y análisis donde se pueden obtener los resultados de la variación de la estructura de un mecanismo y de sus parámetros

fundamentales, prácticamente en tiempo real, lo cual permite al diseñador llegar a la solución requerida en un tiempo relativamente corto en comparación con otros métodos de diseño y análisis de mecanismos, ya sean gráficos o numéricos.

El método propuesto, permite realizar el diseño de los mecanismos de palancas cuya estructura pueda ser conformada por la combinación de los grupos estructurales con que cuenta el Software DSM, con independencia de la ley de formación que se trate.

## 3. Grupos estructurales de DSM.

### • Grupo Manivela.

El grupo Manivela es una cadena cinemática formada por un elemento motor con un par de giro ( $P_0$ ). Este grupo coincide con el grupo de primera clase y primer orden de la clasificación de Assur (figura 2).

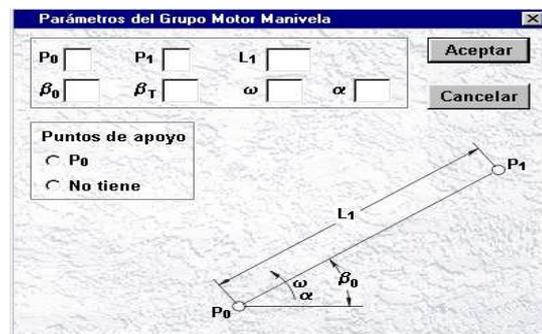


Figura 2. Grupo motor Manivela.

Donde:

- ( $P_0$ ) y ( $P_1$ ): Número de los puntos
- ( $L_1$ ): Longitud del elemento
- ( $\beta$ ): Posición angular.
- ( $\omega$ ): Velocidad angular.
- ( $\alpha$ ): Aceleración angular.

Las coordenadas del punto ( $P_1$ ) se calculan empleando la ecuación (1).

$$\begin{aligned} P_{1x} &= P_{0x} + L_1 \cos \beta \\ P_{1y} &= P_{0y} + L_1 \sin \beta \end{aligned} \quad (1)$$

### • Grupo Cilindro.

El grupo cilindro es una cadena cinemática compuesta por tres elementos, tres pares de giro y un par cilíndrico. Este grupo surge a partir de una de las variantes del grupo de segunda clase de la clasificación de Assur, al cual se le añadió un elemento y el par de giro ( $P_3$ ) para

convertirlo en un grupo motor, se asume teniendo en cuenta su amplio uso en la técnica moderna. (figura 3)

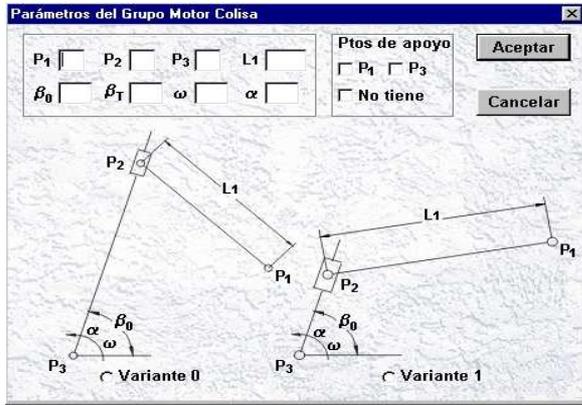


Figura 3. Grupo motor Cilindro.

Donde:

(P<sub>1</sub>), (P<sub>2</sub>) y (P<sub>3</sub>): Número de los puntos.

(L<sub>3</sub>): Longitud del elemento 3.

(L<sub>c</sub>): Longitud del cilindro.

(V<sub>E</sub>): Velocidad del émbolo.

(A<sub>E</sub>): Aceleración del émbolo.

Para que el grupo motor cilindro pueda ensamblarse debe cumplirse que:

$$\begin{aligned} D < L_c + L_3 \\ D > |L_c - L_3| \end{aligned} \quad (2)$$

La posición angular del elemento 1 depende de la variante de ensamblaje que se emplee.

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \psi + \varphi && \text{Para variante 0} \\ \beta_1 &= \psi - \varphi && \text{Para variante 1} \end{aligned}$$

Las coordenadas del punto (P<sub>2</sub>) en cada posición de cálculo se determinan con las ecuaciones (3).

$$\begin{aligned} P_{2x} &= P_{1x} + L_c \cos \beta_1 \\ P_{2y} &= P_{1y} + L_c \sin \beta_1 \end{aligned} \quad (3)$$

La posición angular del elemento 3, se determina con la ecuación (4)

$$\beta_3 = \text{Arc.tan} \frac{(P_{3y} - P_{2y})}{(P_{3x} - P_{2x})} \quad (4)$$

• **Grupo Colisa.**

El grupo colisa es una cadena cinemática compuesta por tres elementos, tres pares de giro y un par prismático. Este grupo surge a partir de una de las variantes del grupo de segunda clase de la clasificación de Assur, al cual se le añadió un elemento y el par de giro P1 para convertirlo en un grupo motor. (fig.4).

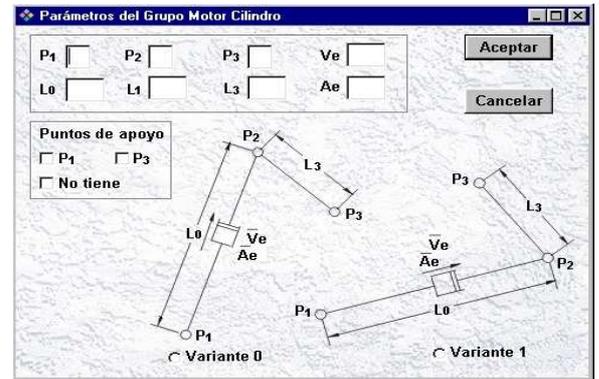


Figura 4. Grupo motor Colisa.

Donde:

(P<sub>1</sub>), (P<sub>2</sub>) y (P<sub>3</sub>): Número de los puntos

(L<sub>1</sub>): Longitud del elemento.

(β<sub>3</sub>): Posición angular inicial.

(ω): Velocidad angular.

(α): Aceleración angular.

Las coordenadas del punto (P<sub>2</sub>) dependen de la variante de ensamblaje que se emplee y se determinan con las ecuaciones (5)..

$$\begin{aligned} P_{2x} &= P_{3x} + D_2 \cos \beta_3 \\ P_{2y} &= P_{3y} + D_2 \sin \beta_3 \end{aligned} \quad (5)$$

En la ecuación (6) se toma el signo (+) para la Variante 0, que representa la longitud mayor de (D<sub>2</sub>) y el signo (-) para la variante 1 que representa la longitud menor de (D<sub>2</sub>).

$$D_2 = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4F}}{2} \quad (6)$$

Donde:

$$\begin{aligned} E &= 2 D_1 \cos \varphi_3 \\ F &= D_2^2 - L_1^2 \end{aligned}$$

Para que la solución sea real tiene que cumplirse que  $(E^2 - 4F) > 0$ . En caso contrario el grupo no podrá ensamblarse.

**Grupo Diada.**

El grupo Diada, ( figura 5) es una cadena cinemática compuesta por dos elementos y por tres pares de giro. Este grupo coincide con una de las variantes del grupo de segunda clase de la clasificación de Assur.

Donde:

$(P_1)$ ,  $(P_2)$  y  $(P_3)$ : Número de los ptos. de referencia.  
 $(L_1)$  y  $(L_2)$ : Longitud de los elementos .

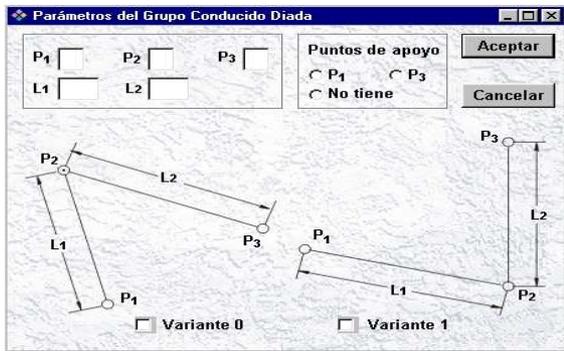


Figura 5. Grupo conducido Diada.

La posición angular del elemento 1 depende de la variante de ensamblaje que se emplee.

$$\beta_1 = \psi + \varphi \quad \text{Para variante 0}$$

$$\beta_1 = \psi - \varphi \quad \text{Para variante 1}$$

Las coordenadas del punto  $(P_2)$  en cada posición de cálculo se determinan con las ecuaciones (7).

$$P_{2x} = P_{1x} + L_1 \cos \beta_1$$

$$P_{2y} = P_{1y} + L_1 \sin \beta_1 \tag{7}$$

Conocida la posición del punto  $(P_2)$  se puede conocer el ángulo  $(\beta_2)$  que forma el elemento  $(E_2)$  con la horizontal, ecuaciones (8).

$$\beta_2 = \arctan \frac{(P_{3y} - P_{2y})}{(P_{3x} - P_{2x})} \tag{8}$$

**Grupo Corredera.**

El grupo Corredera, (figura 6) es una cadena cinemática compuesta por dos elementos, dos pares de

giro y un par prismático. Este grupo coincide con una de las variantes del grupo de segunda clase de la clasificación de Assur, a la que se le ha adicionado el punto notable  $(P_3)$ , para aumentar su grado de generalidad.

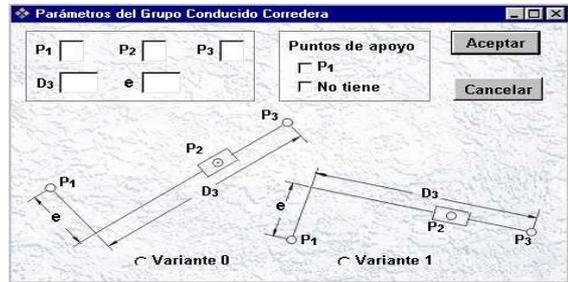


Figura 6. Grupo conducido Corredera.

Donde:

$(P_1)$ ,  $(P_2)$  y  $(P_3)$ : Número de los puntos.  
 $(D_3)$  Longitud del elemento.

Para que el grupo conducido Corredera pueda ensamblarse debe cumplirse que:

$$D_1^2 < e^2$$

La posición angular del elemento 1 depende de la variante de ensamblaje

$$\beta_1 = \psi + \varphi \quad \text{Para variante 0}$$

$$\beta_1 = \psi - \varphi \quad \text{Para variante 1}$$

Las coordenadas del punto  $(P_2)$  en cada posición de cálculo se determinan con las ecuaciones (9), para la Variante 0 y con las ecuaciones (10), para la variante 1.

$$P_{3x} = P_{1x} + D_3 \cos \beta_1 + e \sin \beta_1$$

$$P_{3y} = P_{1y} + D_3 \sin \beta_1 - e \cos \beta_1 \tag{9}$$

$$P_{3x} = P_{1x} + D_3 \cos \beta_1 - e \sin \beta_1$$

$$P_{3y} = P_{1y} + D_3 \sin \beta_1 + e \cos \beta_1 \tag{10}$$

**Grupo Suplemento.**

El grupo suplemento, (figura 7) es un par que se le puede adicionar a cualesquiera de los elementos cinemáticos de los grupos estructurales anteriores, de esta forma el elemento contaría con un par cinemático más (Punto P3) que le permitiría conectarse a otro grupo estructural o simplemente contar con un punto notable en la posición que se requiera, por lo que no constituye un elemento más, ya que pasa a formar una unión rígida con el elemento a que se adiciona. Es decir, permite

aumentar el grado de complejidad de los grupos anteriores y su versatilidad.

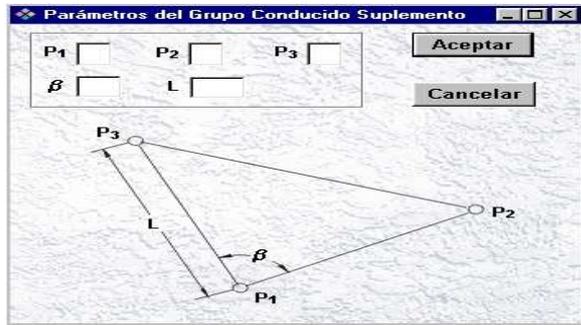


Figura 7. Grupo conducido Suplemento.

Donde:

$(P_1)$ ,  $(P_2)$  y  $(P_3)$ : Número de los puntos.

$(\beta)$ : Ángulo de posición.

$(L)$ : Longitud del segmento  $(\overline{P_1P_3})$ .

Las coordenadas del punto  $(P_3)$  en cada posición de cálculo se determinan con las ecuaciones 11.

$$\begin{aligned} P_{3x} &= P_{1x} + L \cos \psi \\ P_{3y} &= P_{1y} + L \sin \psi \end{aligned} \quad (11)$$

#### 4. Conclusiones.

En las valoraciones realizadas se ha podido constatar que la aplicación del Diseño Cualitativo de Mecanismos de Palancas Asistido por Computadora en la enseñanza y en la práctica profesional del Diseño Industrial posibilita:

- El aumento, en los estudiantes y profesionales del diseño, de la motivación intrínseca para el diseño de mecanismos y del nivel de independencia para abordar problemas de diseño de esta naturaleza.
- El aumento de la productividad del diseñador industrial y del rigor técnico de las soluciones obtenidas por este método.

#### Bibliografía.

1. Artobolevski, I.I. Mecanismos de la Técnica Moderna. Moscú: Editorial Mir 1976, Tomo I y II.
2. Baránov, G. Curso de teoría de mecanismos y Máquinas, Moscú: Mir, 1979.
3. Betancourt, J. L. Sistema Didáctico Interactivo para la Asignatura Mecanismos. Memorias del VI Encuentro Internacional de Diseño, La Habana, Cuba 2000.
4. Betancourt, J. L. Ingeniería Cualitativa para Diseñadores Industriales Memorias del VI Encuentro Internacional de Diseño, La Habana, Cuba 2000.
5. Betancourt, J. L. Hipermedios para la Enseñanza. Memorias del Primer simposio de Pedagogía Avanzada, Santa Clara, Cuba 1997.
6. Betancourt, J.L. Enseñanza del Diseño Industrial de Maquinaria. Propuesta para su perfeccionamiento. Memorias del II Encuentro de Diseño, Habana 1992.
7. Betancourt, J. L. Enseñanza del Diseño Industrial Selección de Ponencias de Especialistas Cubanos ALADI '91, Habana 1991.
8. Chaljub, José A. Investigación y elaboración de recursos para la Enseñanza Asistida por Computadora. Cuba: Tesis doctoral Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 1995.
9. García, L. F. Metodología para evaluar la calidad de la etapa de análisis de un proyecto informático Orientado a Objeto, Tesis de Maestría, CREPIAI, La Habana, 1997.
10. Martínez, J. Guía de Proyecto de Curso de Teoría de Mecanismos. Departamento de Ediciones ISPJAE, La Habana, 1985.
11. Norton R. L.. Desig of Machinery. McGraw-Hill, Inc. U.S.A, 1995.

## Computer Aided Design of lever mechanisms.

### Abstract

There are series of problems in industrial design practice that require a mechanism with specific characteristic movement. Selecting a method for achieving a clear and simple structural synthesis and cinematic analysis of lever mechanisms is generally understood as a hard-solving problem. Based on Assur's Group Forming Theory, the author developed the Structural Groups Method and the DSM software (Design and Simulation of Mechanisms). This software is a tool intended to help designers in the process of Computer Assisted Qualitative Design of Lever Mechanisms. It consists on an iterative process between analysis and synthesis with which one can obtain, on a nearly real-time basis, the results of the variation of the structure of a mechanism and its main parameters. This paper defines and provides examples of the main concepts and elements related to Computer Assisted Qualitative Design of Lever Mechanisms.

**Key words:** CAD, industrial design, cinematic analysis, structural synthesis, lever mechanism.