



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO ASISTIDO  
POR COMPUTADORA DE MECANISMOS DE  
CUATRO BARRAS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

**ILAN LINARES MENDOZA**

**ASESOR: M. I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **PARA LA UNIVERSIDAD**

Agradezco sinceramente el tiempo que se ha invertido en mi transformación a un profesional a: la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, los que fueron mis profesores, mis amigos, los compañeros, personal administrativo, personal de limpieza, personal de vigilancia, centro de idiomas, las cafeterías, al taller de guitarra, la Biblioteca de Campo-4, la Biblioteca Central y a todo el que de alguna manera forma parte de la UNAM y que no se mencionó aquí.

## **PARA MI MADRE**

Tu ya sabes que fuiste, eres y serás de las primeras... te agradezco todo.

## **PARA MIS PADRES, HERMANOS Y FAMILIARES**

Les dedico este trabajo a mis primos: Enrique, Jérica, Martín, David, Gloria, y Oscar, a mis tíos: Florencio y Rita; Ceferino y Anita, a mis padres Paula Mendoza Rodríguez y Amado Linares Quintana y hermanos: Alejandro, Eny Paola, Angélica Dalia y Guadalupe Daniela, que han sido mi familia de toda la vida hasta el día de ahora. Quiero decirles que los sueños algún día se hacen realidad.

## **INDICE**

### **CAPITULO 1.**

#### **MECANISMOS DE CUATRO BARRAS**

1.1 Mecanismo de cuatro barras	1
1.2 Barras	2
1.3 Movimiento del mecanismo	2
1.4 Algunas aplicaciones	3

### **CAPITULO 2.**

#### **ANÁLISIS DE POSICIÓN**

2.1 Notación vectorial para un mecanismo de cuatro barras	6
2.2 Procedimiento para obtener el ángulo de la barra cuatro	7
2.3 Procedimiento para obtener el ángulo de la barra tres	11
2.4 Análisis de posición del mecanismo modelo.	16

### **CAPITULO 3.**

#### **SÍNTESIS DE MECANISMOS DE CUATRO BARRAS**

3.1 Ley de Grasshoff	26
3.2 Posición límite y centro muerto de un mecanismo de cuatro barras	30
3.3 Relaciones para determinar los ángulos de la posición límite y la posición de centro muerto	32
3.4 Relaciones para determinar los ángulos de posición de centro muerto	34
3.5 Análisis de movimiento del mecanismo modelo	35

### **CAPITULO 4.**

#### **ANÁLISIS CINEMÁTICO**

4.1. Análisis de velocidad angular	38
4.2 Velocidad angular de la barra cuatro	40
4.3 Velocidad angular de la barra tres	41
4.4 Análisis de aceleración	42
4.5 Aceleración de un punto de la barra dos	43

4.6 Aceleración de un punto de la barra tres	44
4.7 Aceleración de un punto de la barra cuatro	45
4.8 Aceleración angular	45
4.9 Aceleración angular de la barra cuatro	47
4.10 Aceleración angular de la barra tres	48
4.11 Vectores de posición de los centros de masa	49
4.12 Análisis cinemático del mecanismo modelo	51

## **CAPITULO 5. ANÁLISIS DINAMICO**

5.1. Determinación de las cargas	59
5.2. Análisis en tres dimensiones	59
5.3 Análisis dinámico de un mecanismo de cuatro barras	61
5.4 Sistema de ecuaciones para la barra dos	62
5.5 Sistema de ecuaciones para la barra tres	64
5.6 Sistema de ecuaciones para la barra cuatro	66
5.7 Análisis dinámico del mecanismo modelo	71

## **CAPITULO 6. PROGRAMACIÓN EN JAVA**

6.1 Archivos para la compilación del programa Paula 1.0	83
6.2 Caso de uso 1	88
6.3 Caso de uso 2	91
6.4 Caso de uso 3	106
6.5 Caso de uso 4	114
6.6 Caso de uso 5	126
6.7 Caso de uso 6	139

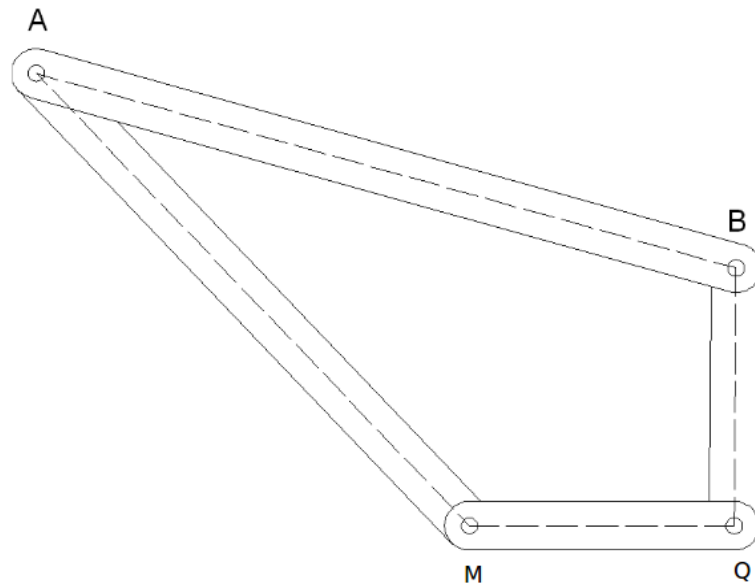
<b>CONCLUSIONES</b>	142
<b>APÉNDICE</b>	144
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	168

# CAPITULO 1

## MECANISMOS DE CUATRO BARRAS

### 1.1 Mecanismo de cuatro barras

Un mecanismo de cuatro barras contiene una barra fija, y otras tres barras móviles, figura 1.1. La barra fija se le considera el eslabón uno, este eslabón se coloca con un ángulo cualquiera, en la figura se muestra para un ángulo de 180 grados. El centro del barreno que está a la izquierda es el punto M, el centro del barreno de la derecha es el punto Q.

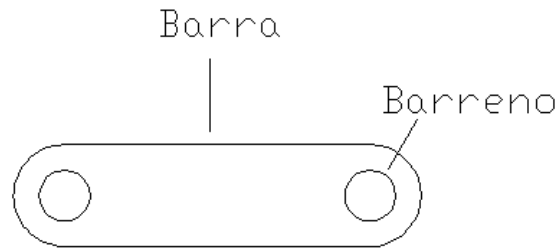


**Figura 1.1 Mecanismo cuatro barras.**

Una barra se constituye de dos juntas de pasador todas las juntas son pasadores. Las letras M, Q, A y B representan los puntos de centro de cada una de las juntas. El punto M representa la junta del eslabón uno y del eslabón dos, el Q representa la junta de las barras uno y cuatro, El punto A representa la junta del eslabón dos y el tres, finalmente el punto B representa la junta del eslabón tres con el eslabón cuatro.

## 1.2 Barras

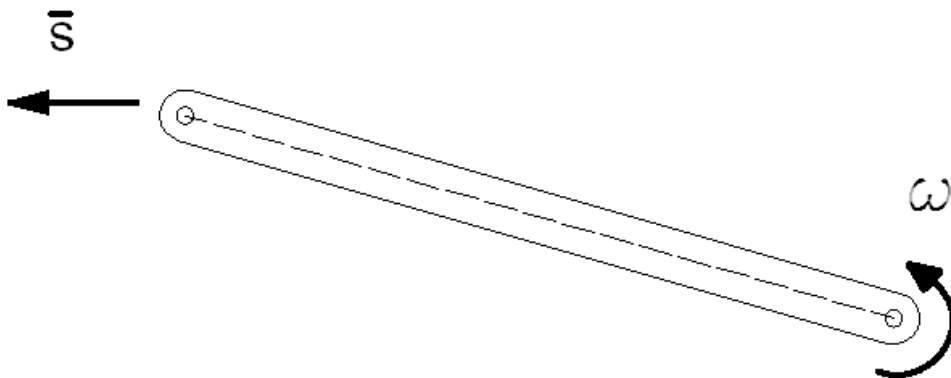
Una barra se constituye de dos juntas de pasador, figura 1.2. Las juntas pueden estar por lo menos en dos configuraciones, en cortante simple y en cortante doble. Se prefiere el cortante doble porque se necesita cortar en dos secciones el material



**Figura 1.2 Barra simple con dos juntas, esta puede ser una de las barras de un mecanismo de cuatro barras.**

## 1.3 Movimiento del mecanismo

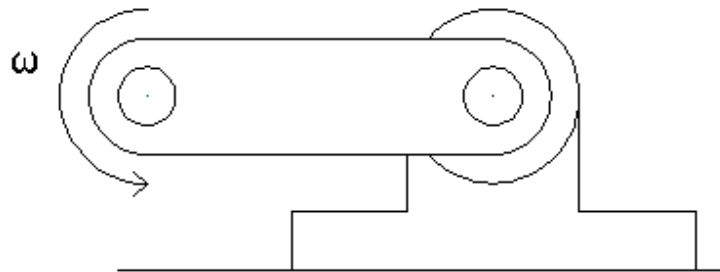
Acerca del movimiento que se desarrolla en el mecanismo, la barra dos tiene un movimiento rotatorio al igual que la barra cuatro. La barra tres realiza un movimiento plano general, el cual se compone de una rotación, representada por  $\omega$  y una translación, representada por  $\mathbf{s}$ , figura 1.3. El movimiento de las barras móviles puede ser analizado con la cinemática de cuerpos rígidos, el cual considera a cada barra como un cuerpo rígido e indeformable, donde todas las partículas de cada barra están firmemente unidas.



**Figura 1.3 Un movimiento plano general de la barra 3.**

En un movimiento rotatorio cada punto de la barra describe una trayectoria circular alrededor de un punto en este caso el centro de la junta conformada por el eslabón dos y el eslabón uno. En la barra tres y en la cuatro se generan movimientos que dependen del movimiento de entrada de la barra dos.

El movimiento del mecanismo sin cargas externas genera fuerzas de inercia debida a su movimiento. Si se aplican cargas externas entonces las fuerzas internas aumentan en magnitud y pueden cambiar el sentido que tengan estas cantidades de naturaleza vectorial, en la figura 1.4 se muestra una barra montada en una chumacera, la cual describe parcial o completamente un movimiento rotatorio.



**Figura 1.4 Movimiento rotatorio de la barra dos o en su defecto de la barra cuatro.**

#### **1.4 Algunas aplicaciones**

Los mecanismos de cuatro barras son partes de máquinas. Debido al movimiento de las barras es posible utilizarlos en una gran variedad de aplicaciones como en máquinas hidráulicas, máquinas de arado, bombas de fluido, frenos de motocicleta, maquinas de coser, dispositivos de alpinismo, mecanismo de puertas de automóvil, grúas, elevadores mecánicos, etc. figura 1.4.





(a) El mecanismo mueve la pala hidráulica.



(b) El mecanismo permite bajar la rueda de transporte



(c) El mecanismo se utiliza en un sistema de extracción de petróleo.



(d) El mecanismo tiene una barra que se utiliza como palanca para accionar un freno en una motocicleta.



(e) La barra 3 es un balancín para mover un volante que acciona a la cosedora.



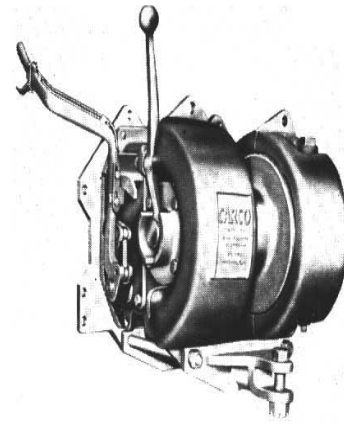
(f) El mecanismo es utilizado en un accesorio de alpinismo



(g) El mecanismo de muchas puertas de autotransportes es un mecanismo de cuatro barras.



(h) Otro mecanismo de potencia



(i) El mecanismo permite ciertos movimientos que se utilizan en diseño de máquinas.



(j) El mecanismo permite el posicionamiento de cada eslabón de la bomba de cemento.



(k) Un mecanismo aplicado con un cilindro hidráulico.



(l) El mecanismo de cuatro barras esta presente en muchas aplicaciones.

**Figura 1.4. Aplicaciones diversas.**

## CAPITULO 2. ANÁLISIS DE POSICIÓN

### 2.1 Notación vectorial para un mecanismo de cuatro barras

El continuo movimiento de la barra seguidora puede ser estudiado usando una aproximación grafica o una aproximación matemática. En la figura 2.1, suponga las barras MQ (barra uno), MA (barra dos), AB (barra tres) y BQ (barra cuatro), representadas por los vectores D, A, B y C respectivamente. Como el mecanismo de cuatro barras representa un polígono de vectores, las siguientes ecuaciones resultan verdaderas:

$$\vec{D} + \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} = 0 \quad (2.1)$$

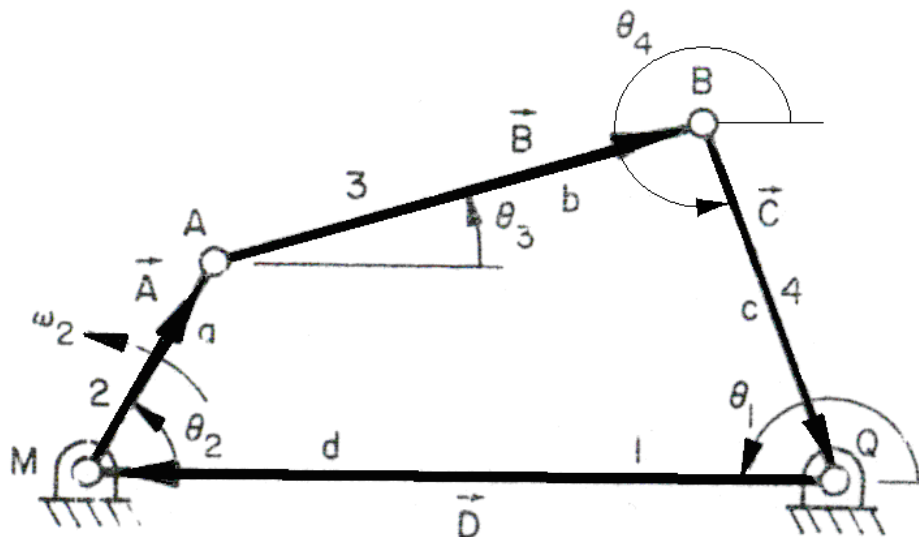
Si  $U_D$ ,  $U_A$ ,  $U_B$  y  $U_C$  representan sus vectores unitarios, y  $d$ ,  $a$ ,  $b$ , y  $c$  representan las magnitudes de los vectores D, A, B and C, entonces

$$\vec{D} = U_D d \quad (2.2)$$

$$\vec{A} = U_A a \quad (2.3)$$

$$\vec{B} = U_B b \quad (2.4)$$

$$\vec{C} = U_C c \quad (2.5)$$



**Figura 2.1 Representación vectorial de un mecanismo de cuatro barras.**

Estos vectores pueden representarse usando notaciones complejas. Sabiendo que  $j$  es un operador complejo ( $j^2 = -1$ ), tenemos

$$D = de^{j\theta_1} \quad (2.6)$$

$$A = ae^{j\theta_2} \quad (2.7)$$

$$B = be^{j\theta_3} \quad (2.8)$$

$$C = ce^{j\theta_4} \quad (2.9)$$

Donde los ángulos  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ , y  $\theta_4$  describen las posiciones relativas de los vectores D, A, B, C.

Sustituyendo las ecuaciones (2.6)-(2.9) en la ecuación (2.1) tenemos

$$de^{j\theta_1} + ae^{j\theta_2} + be^{j\theta_3} + ce^{j\theta_4} = 0 \quad (2.10)$$

Usando la identidad

$$e^{j\theta_i} = \cos\theta_i + j\sin\theta_i \quad (2.11)$$

La ecuación (2.10) se convierte en

$$d \cos\theta_1 + a \cos\theta_2 + b \cos\theta_3 + c \cos\theta_4 + j(d \sin\theta_1 + a \sin\theta_2 + b \sin\theta_3 + c \sin\theta_4) = 0 \quad (2.12)$$

La ecuación (2.12) contiene una parte real y una imaginaria. Separando ambas partes tenemos dos ecuaciones

$$d \cos\theta_1 + a \cos\theta_2 + b \cos\theta_3 + c \cos\theta_4 = 0 \quad (2.13)$$

$$d \sin\theta_1 + a \sin\theta_2 + b \sin\theta_3 + c \sin\theta_4 = 0 \quad (2.14)$$

## 2.2 Procedimiento para obtener el ángulo de la barra cuatro

Si una relación entre el ángulo  $\theta_2$  de la barra de entrada y la rotación de la barra de salida  $\theta_4$  es deseada, entonces el ángulo  $\theta_3$  se elimina de las ecuaciones (2.13) y (2.14). Transfiriendo los términos que contienen  $\theta_3$  hacia el lado derecho de las ecuaciones, y elevando al cuadrado ambos lados, tenemos

$$(-b \cos \theta_3)^2 = (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + c \cos \theta_4)^2 \quad (2.15)$$

$$(-b \sin \theta_3)^2 = (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + c \sin \theta_4)^2 \quad (2.16)$$

Sumando lado a lado las ecuaciones (2.15) y (2.16), y simplificando resulta

$$(-b \cos \theta_3)^2 + (-b \sin \theta_3)^2 = (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + c \cos \theta_4)^2 + (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + c \sin \theta_4)^2$$

*Efectuando productos*

$$(d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + c \cos \theta_4)^2 = (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + c \cos \theta_4)(d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + c \cos \theta_4)$$

$$\begin{aligned} & cd \cos \theta_1 \cos \theta_4 + ac \cos \theta_2 \cos \theta_4 + c^2 \cos^2 \theta_4 \\ (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 - c \cos \theta_4)^2 = & + ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + ac \cos \theta_2 \cos \theta_4 \\ & + d^2 \cos^2 \theta_1 + ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + cd \cos \theta_1 \cos \theta_4 \end{aligned}$$

$$(d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + c \sin \theta_4)^2 = (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + c \sin \theta_4)(d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + c \sin \theta_4)$$

$$\begin{aligned} & cd \sin \theta_1 \sin \theta_4 + ac \sin \theta_2 \sin \theta_4 + c^2 \sin^2 \theta_4 \\ (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 - c \sin \theta_4)^2 = & + ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + ac \sin \theta_2 \sin \theta_4 \\ & d^2 \sin^2 \theta_1 + ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + cd \sin \theta_1 \sin \theta_4 \end{aligned}$$

Y sustituyendo la identidad  $\sin^2 u + \cos^2 u = 1$  en el lado izquierdo de la igualdad resulta

$$(-b \cos \theta_3)^2 + (-b \sin \theta_3)^2 = b^2 \cos^2 \theta_3 + b^2 \sin^2 \theta_3 = b^2 (\cos^2 \theta_3 + \sin^2 \theta_3) = b^2 (1) = b^2$$

Así la ecuación es

$$\begin{aligned} b^2 = & cd \cos \theta_1 \cos \theta_4 + accos \theta_2 \cos \theta_4 + c^2 \cos^2 \theta_4 \\ & + ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + accos \theta_2 \cos \theta_4 \\ & + d^2 \cos^2 \theta_1 + ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + cd \cos \theta_1 \cos \theta_4 \\ & + cd \sin \theta_1 \sin \theta_4 + ac \sin \theta_2 \sin \theta_4 + c^2 \sin^2 \theta_4 \\ & + ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + ac \sin \theta_2 \sin \theta_4 \\ & d^2 \sin^2 \theta_1 + ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + cd \sin \theta_1 \sin \theta_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b^2 &= c^2 \cos^2 \theta_4 + cd \cos \theta_1 \cos \theta_4 + ac \cos \theta_2 \cos \theta_4 \\
&+ ac \cos \theta_2 \cos \theta_4 + cd \cos \theta_1 \cos \theta_4 + 2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\
&+ a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1 \\
&+ c^2 \sin^2 \theta_4 + cd \sin \theta_1 \sin \theta_4 + ac \sin \theta_2 \sin \theta_4 \\
&+ ac \sin \theta_2 \sin \theta_4 + cd \sin \theta_1 \sin \theta_4 + 2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 \\
&+ a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b^2 &= c^2 \cos^2 \theta_4 + (2cd \cos \theta_1 + 2ac \cos \theta_2) \cos \theta_4 \\
&+ (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) \\
&+ c^2 \sin^2 \theta_4 + (2cd \sin \theta_1 + 2ac \sin \theta_2) \sin \theta_4 \\
&+ (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1)
\end{aligned}$$

Sustituyendo las siguientes identidades trigonométricas

$$\cos \theta_4 = \frac{1 - \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)} \quad \sin \theta_4 = \frac{2 \tan \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}$$

resulta

$$b^2 = \left\{ \begin{aligned} &c^2 \left[ \frac{1 - \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)} \right]^2 + (2cd \cos \theta_1 + 2ac \cos \theta_2) \left[ \frac{1 - \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)} \right] \\ &\quad + (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) \\ &+ c^2 \left[ \frac{2 \tan \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)} \right]^2 + (2cd \sin \theta_1 + 2ac \sin \theta_2) \left[ \frac{2 \tan \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)} \right] \\ &\quad + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) \end{aligned} \right.$$

Si hacemos que

$$k_1 = (2cd \cos \theta_1 + 2ac \cos \theta_2)$$

$$k_2 = (2cd \sin \theta_1 + 2ac \sin \theta_2)$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - b^2$$

tenemos

$$c^2 \left[ \frac{1 - \tan^2\left(\frac{\theta_4}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_4}{2}\right)} \right]^2 + c^2 \left[ \frac{2 \tan\left(\frac{\theta_4}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_4}{2}\right)} \right]^2 + k_1 \left[ \frac{1 - \tan^2\left(\frac{\theta_4}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_4}{2}\right)} \right] + k_2 \left[ \frac{2 \tan\left(\frac{\theta_4}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_4}{2}\right)} \right] + k_3 = 0$$

Haciendo cambio de variable  $x = \tan \frac{\theta_4}{2}$

$$c^2 \left[ \frac{1-x^2}{1+x^2} \right]^2 + c^2 \left[ \frac{2x}{1+x^2} \right]^2 + k_1 \left[ \frac{1-x^2}{1+x^2} \right] + k_2 \left[ \frac{2x}{1+x^2} \right] + k_3 = 0$$

$$c^2 \left[ \frac{1-2x^2+x^4}{(1+x^2)^2} \right] + c^2 \left[ \frac{4x^2}{(1+x^2)^2} \right] + \frac{1}{1+x^2} [k_1 - k_1x^2 + 2k_2x] + k_3 = 0$$

$$\frac{c^2}{(1+x^2)^2} [4x^2 + 1 - 2x^2 + x^4] + \frac{1}{1+x^2} [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + k_3 = 0$$

$$\frac{c^2}{(1+x^2)^2} [x^4 + 2x^2 + 1] + \frac{1}{1+x^2} [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + k_3 = 0$$

$$(1+x^2)^2 \frac{c^2}{(1+x^2)^2} [x^4 + 2x^2 + 1] + (1+x^2)^2 \frac{1}{1+x^2} [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$c^2 [x^4 + 2x^2 + 1] + (1+x^2) [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$c^2 (x^2 + 1)^2 + (1+x^2) [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$\frac{1}{(x^2+1)} c^2 (x^2+1)^2 + \frac{1}{(x^2+1)} (1+x^2) [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + \frac{1}{(x^2+1)} (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$c^2 (x^2 + 1) + [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2) k_3 = 0$$

$$c^2 x^2 + c^2 + [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + k_3 + k_3 x^2 = 0$$

$$(c^2 + k_3 - k_1)x^2 + (2k_2)x + (c^2 + k_1 + k_3) = 0$$

Si

$$A = (c^2 + k_3 - k_1)$$

$$B = (2k_2)$$

$$C = (c^2 + k_1 + k_3) = 0$$

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

$$A \tan^2 \frac{\theta_4}{2} + B \tan \frac{\theta_4}{2} + C = 0 \quad (2.17)$$

donde

$$k_1 = (2cd \cos \theta_1 + 2ac \cos \theta_2)$$

$$k_2 = (2cd \sin \theta_1 + 2ac \sin \theta_2)$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - b^2$$

La ecuación (2.17) es cuadrática en  $\tan \theta_4/2$  Las dos raíces de la ecuación cuadrática son

$$\left[ \tan \frac{\theta_4}{2} \right]_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

Y por lo tanto

$$[\theta_4]_{1,2} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right) \quad (2.18)$$

### 2.3 Procedimiento para obtener el ángulo de la barra tres

Si se conocen las longitudes de las barras y la posición de la barra de entrada, entonces la ecuación (2.18) provee la posición de la barra de salida. Entonces con esta ecuación es posible desarrollar un análisis de desplazamiento del mecanismo de cuatro barras.

Si una relación entre el ángulo  $\theta_2$  de la barra de entrada y el ángulo de la barra de acoplamiento  $\theta_3$  es deseada, entonces el ángulo  $\theta_4$  se elimina de las ecuaciones (2.13) y (2.14). Transfiriendo los términos que contienen  $\theta_4$  hacia el lado derecho de las ecuaciones, y elevando al cuadrado ambos lados, tenemos



$$(-c \cos \theta_4)^2 = (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3)^2 \quad (2.19)$$

$$(-c \sin \theta_4)^2 = (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + b \sin \theta_3)^2 \quad (2.20)$$

Sumando lado a lado las ecuaciones (2.19) y (2.20), y simplificando resulta

$$(-c \cos \theta_4)^2 + (-c \sin \theta_4)^2 = (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3)^2 + (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + b \sin \theta_3)^2$$

*Efectuando productos*

$$(d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3)^2 = (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3)(d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3)$$

$$\begin{aligned} & bd \cos \theta_1 \cos \theta_3 + ab \cos \theta_2 \cos \theta_3 + b^2 \cos^2 \theta_3 \\ (d \cos \theta_1 + a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3)^2 = & + ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + ab \cos \theta_2 \cos \theta_3 \\ & + d^2 \cos^2 \theta_1 + ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + bd \cos \theta_1 \cos \theta_3 \end{aligned}$$

$$(d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + b \sin \theta_3)^2 = (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + b \sin \theta_3)(d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + b \sin \theta_3)$$

$$\begin{aligned} & bd \sin \theta_1 \sin \theta_3 + ab \sin \theta_2 \sin \theta_3 + b^2 \sin^2 \theta_3 \\ (d \sin \theta_1 + a \sin \theta_2 + b \sin \theta_3)^2 = & + ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + ab \sin \theta_2 \sin \theta_3 \\ & + d^2 \sin^2 \theta_1 + ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + bd \sin \theta_1 \sin \theta_3 \end{aligned}$$

Sustituyendo la identidad  $\sin^2 u + \cos^2 u = 1$  en el lado izquierdo resulta

$$(-c \cos \theta_4)^2 + (-c \sin \theta_4)^2 = (-c)^2 \cos^2 \theta_4 + (-c)^2 \sin^2 \theta_4 = c^2 (\cos^2 \theta_4 + \sin^2 \theta_4) = c^2 (1) = c^2$$

La igualdad entonces queda como

$$\begin{aligned} c^2 = & bdc \cos \theta_1 \cos \theta_3 + abc \cos \theta_2 \cos \theta_3 + b^2 \cos^2 \theta_3 \\ & + adc \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + abc \cos \theta_2 \cos \theta_3 \\ & + d^2 \cos^2 \theta_1 + adc \cos \theta_1 \cos \theta_2 + bdc \cos \theta_1 \cos \theta_3 \\ & + bds \sin \theta_1 \sin \theta_3 + abs \sin \theta_2 \sin \theta_3 + b^2 \sin^2 \theta_3 \\ & + ads \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + abs \sin \theta_2 \sin \theta_3 \\ & + d^2 \sin^2 \theta_1 + ads \sin \theta_1 \sin \theta_2 + bds \sin \theta_1 \sin \theta_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c^2 &= b^2 \cos^2 \theta_3 + b d \cos \theta_1 \cos \theta_3 + a b \cos \theta_2 \cos \theta_3 \\
&+ a b \cos \theta_2 \cos \theta_3 + b d \cos \theta_1 \cos \theta_3 + 2 a d \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\
&+ a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1 \\
&+ b^2 \sin^2 \theta_3 + b d \sin \theta_1 \sin \theta_3 + a b \sin \theta_2 \sin \theta_3 \\
&+ a b \sin \theta_2 \sin \theta_3 + b d \sin \theta_1 \sin \theta_3 + 2 a d \sin \theta_1 \sin \theta_2 \\
&+ a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c^2 &= b^2 \cos^2 \theta_3 + (b d \cos \theta_1 + a b \cos \theta_2 + a b \cos \theta_2 + b d \cos \theta_1) \cos \theta_3 \\
&+ (2 a d \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) \\
&+ b^2 \sin^2 \theta_3 + (b d \sin \theta_1 + a b \sin \theta_2 + a b \sin \theta_2 + b d \sin \theta_1) \sin \theta_3 \\
&+ (2 a d \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1)
\end{aligned}$$

Sustituyendo las siguientes identidades trigonométricas

$$\cos \theta_4 = \frac{1 - \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)} \quad \sin \theta_4 = \frac{2 \tan \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_4}{2} \right)}$$

resulta

$$c^2 = \left\{ \begin{aligned} &b^2 \left[ \frac{1 - \tan^2 \left( \frac{\theta_3}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_3}{2} \right)} \right]^2 + (2 b d \cos \theta_1 + 2 a b \cos \theta_2) \left[ \frac{1 - \tan^2 \left( \frac{\theta_3}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_3}{2} \right)} \right] \\ &\quad + (2 a d \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) \\ &+ b^2 \left[ \frac{2 \tan \left( \frac{\theta_3}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_3}{2} \right)} \right]^2 + (2 b d \sin \theta_1 + 2 a b \sin \theta_2) \left[ \frac{2 \tan \left( \frac{\theta_3}{2} \right)}{1 + \tan^2 \left( \frac{\theta_3}{2} \right)} \right] \\ &\quad + (2 a d \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) \end{aligned} \right.$$

Si utilizamos símbolos de constantes  $k_{iesimas}$  para simplificar la expresión anterior resulta que

$$k_1 = (2bd \cos \theta_1 + 2ab \cos \theta_2)$$

$$k_2 = (2bd \sin \theta_1 + 2ab \sin \theta_2)$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - c^2$$

así al sustituir las constantes tenemos

$$b^2 \left[ \frac{1 - \tan^2\left(\frac{\theta_3}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_3}{2}\right)} \right]^2 + b^2 \left[ \frac{2 \tan\left(\frac{\theta_3}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_3}{2}\right)} \right]^2 + k_1 \left[ \frac{1 - \tan^2\left(\frac{\theta_3}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_3}{2}\right)} \right] + k_2 \left[ \frac{2 \tan\left(\frac{\theta_3}{2}\right)}{1 + \tan^2\left(\frac{\theta_3}{2}\right)} \right] + k_3 = 0$$

Haciendo cambio de variable  $x = \tan \frac{\theta_3}{2}$

$$b^2 \left[ \frac{1-x^2}{1+x^2} \right]^2 + b^2 \left[ \frac{2x}{1+x^2} \right]^2 + k_1 \left[ \frac{1-x^2}{1+x^2} \right] + k_2 \left[ \frac{2x}{1+x^2} \right] + k_3 = 0$$

$$b^2 \left[ \frac{1-2x^2+x^4}{(1+x^2)^2} \right] + b^2 \left[ \frac{4x^2}{(1+x^2)^2} \right] + \frac{1}{1+x^2} [k_1 - k_1x^2 + 2k_2x] + k_3 = 0$$

$$\frac{b^2}{(1+x^2)^2} [4x^2 + 1 - 2x^2 + x^4] + \frac{1}{1+x^2} [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + k_3 = 0$$

$$\frac{b^2}{(1+x^2)^2} [x^4 + 2x^2 + 1] + \frac{1}{1+x^2} [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + k_3 = 0$$

$$(1+x^2)^2 \frac{b^2}{(1+x^2)^2} [x^4 + 2x^2 + 1] + (1+x^2)^2 \frac{1}{1+x^2} [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$b^2 [x^4 + 2x^2 + 1] + (1+x^2) [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$b^2 (x^2 + 1)^2 + (1+x^2) [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$\frac{1}{(x^2+1)} b^2 (x^2+1)^2 + \frac{1}{(x^2+1)} (1+x^2) [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + \frac{1}{(x^2+1)} (1+x^2)^2 k_3 = 0$$

$$b^2 (x^2+1) + [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + (1+x^2) k_3 = 0$$

$$b^2 x^2 + b^2 + [-k_1x^2 + 2k_2x + k_1] + k_3 + k_3 x^2 = 0$$

$$(b^2 + k_3 - k_1)x^2 + (2k_2)x + (b^2 + k_1 + k_3) = 0$$

Si

$$A = (b^2 + k_3 - k_1)$$

$$B = (2k_2)$$

$$C = (b^2 + k_1 + k_3) = 0$$

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

$$A \tan^2 \frac{\theta_3}{2} + B \tan \frac{\theta_3}{2} + C = 0 \quad (2.21)$$

donde

$$k_1 = (2bd \cos \theta_1 + 2ab \cos \theta_2)$$

$$k_2 = (2bd \sin \theta_1 + 2ab \sin \theta_2)$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - c^2$$

La ecuación (2.21) es cuadrática en  $\tan \theta_3/2$  Las dos raíces de la ecuación cuadrática son

$$\left[ \tan \frac{\theta_3}{2} \right]_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

Y por lo tanto

$$[\theta_3]_{1,2} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right) \quad (2.22)$$

Si se conocen las longitudes de las barras y la posición de la barra de entrada, entonces la ecuación (2.22) provee la posición de la barra de salida. Entonces con esta ecuación es posible desarrollar un análisis de desplazamiento del mecanismo de cuatro barras.

Finalmente, las ecuaciones (2.18) y (2.22) van a permitirnos calcular  $\theta_4$  y  $\theta_3$  dadas las magnitudes  $a, b, c, d, \theta_1, \theta_2$ .

## 2.4 Análisis de posición del mecanismo modelo.

A continuación se demostrara el uso de las ecuaciones (2.18) y (2.22) en un mecanismo modelo.

Considere un mecanismo con las barras de la tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Longitud de las barras**

Barra	Longitud, cm
Uno	20
Dos	48
Tres	55
Cuatro	20

1. Demostrar los modelos para la posición ( $\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 90^\circ$ ).
2. Obtener una tabla de todos las posiciones posibles para un ángulo de la barra 1,  $\theta_1 = 225^\circ$ , considerar un diferencial de aumento del ángulo de la barra 2 de un grado sexagesimal y expresar los ángulos de las barras 3 y 4 en ángulos sexagesimales.

### Solución.

En la tabla 2.2 se agrega la notación adecuada para aplicar las ecuaciones de este capítulo.

**Tabla 2.2. Notación  $a, b, c, d$  asociadas con las barras.**

Barra	Longitud, cm	Notación
Uno	20	d
Dos	48	a
Tres	55	b
Cuatro	20	c

## Modelos

$$k_1 = (2cd \cos \theta_1 + 2ac \cos \theta_2)$$

$$k_2 = (2cd \sin \theta_1 + 2ac \sin \theta_2)$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - b^2$$

$$A = (c^2 + k_3 - k_1)$$

$$B = (2k_2)$$

$$C = (c^2 + k_1 + k_3) = 0$$

$$[\theta_4]_{1,2} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right)$$

$$k_1 = (2bd \cos \theta_1 + 2ab \cos \theta_2)$$

$$k_2 = (2bd \sin \theta_1 + 2ab \sin \theta_2)$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - c^2$$

$$A = (b^2 + k_3 - k_1)$$

$$B = (2k_2)$$

$$C = (b^2 + k_1 + k_3) = 0$$

$$[\theta_3]_{1,2} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right)$$

## Solución 1

**Angulo**  $\theta_4$  ( $\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 90^\circ$ )

$$k_1 = (2cd \cos \theta_1 + 2ac \cos \theta_2) = -565.68542494$$

$$k_2 = (2cd \sin \theta_1 + 2ac \sin \theta_2) = 1354.31457505$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - b^2$$

$$k_3 = -1678.64501987$$

$$A = (c^2 + k_3 - k_1) = -712.95959 \ 492$$

$$B = (2k_2) = 2708.62915 \ 010$$

$$C = (c^2 + k_1 + k_3) = -1844.3304 \ 4482$$

$$[\theta_4]_1 = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right) = 83.2664652067^\circ$$

$$[\theta_4]_{21} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right) = 142.073274313^\circ$$

**Angulo  $\theta_3$  ( $\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 90^\circ$ )**

$$k_1 = (2bd \cos \theta_1 + 2ab \cos \theta_2) = -1555.63491861$$

$$k_2 = (2bd \sin \theta_1 + 2ab \sin \theta_2) = 3724.36508138$$

$$k_3 = (2ad \cos \theta_1 \cos \theta_2 + a^2 \cos^2 \theta_2 + d^2 \cos^2 \theta_1) + (2ad \sin \theta_1 \sin \theta_2 + a^2 \sin^2 \theta_2 + d^2 \sin^2 \theta_1) - c^2$$

$$k_3 = 946.354980121$$

$$A = (b^2 + k_3 - k_1) = 5526.98989 \ 873$$

$$B = (2k_2) = 7448.73016 \ 277$$

$$C = (b^2 + k_1 + k_3) = 2415.72006 \ 151$$

$$[\theta_3]_1 = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right) = -57.0460239852^\circ$$

$$[\theta_3]_1 = 2 \tan^{-1} \left( \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right) = -77.6142364941^\circ$$

## Solución 2.

No.	teta2	t3_1_sexag	t3_2_sexag	t4_1_sexag	t4_2_sexag	
1	1	167.877223	149.209744	-47.944397	5.03136425	
2	2	168.015594	151.523406	-43.460255	2.99925532	
3	3	167.966459	154.050328	-38.451254	.468041614	
4	4	167.58805	156.932698	-32.533463	-2.9457886	
5	5	166.340628	160.710658	-24.236171	-8.7125429	
*						
*		No son ángulos posibles				
*						
85	85	-70.710658	-76.340628	98.7125429	114.236171	
86	86	-66.932698	-77.58805	92.9457886	122.533463	
87	87	-64.050328	-77.966459	89.5319584	128.451254	
88	88	-61.523406	-78.015594	87.0007447	133.460255	
89	89	-59.209744	-77.877223	84.9686358	137.944397	
90	90	-57.046024	-77.614236	83.2664652	142.073274	
91	91	-54.997342	-77.2611	81.802007	145.93955	
92	92	-53.041949	-76.839119	80.5185203	149.600411	
93	93	-51.165144	-76.362543	79.3782174	153.094095	
94	94	-49.356389	-75.841456	78.3544772	156.447678	
95	95	-47.60779	-75.283296	77.4277394	159.681176	
96	96	-45.913219	-74.693729	76.5831541	162.809898	
97	97	-44.267783	-74.077192	75.8091483	165.845876	
98	98	-42.667482	-73.437227	75.0965076	168.798783	
99	99	-41.108976	-72.776718	74.4377635	171.676543	
100	100	-39.589431	-72.098044	73.8267705	174.485754	
101	101	-38.106404	-71.403199	73.258406	177.231991	
102	102	-36.657766	-70.693866	72.7283516	179.920017	
103	103	-35.241633	-69.971486	72.2329314	-177.44605	
104	104	-33.856329	-69.237301	71.768989	-174.86262	
105	105	-32.500344	-68.492389	71.3337934	-172.32653	
106	106	-31.172309	-67.737695	70.9249657	-169.83497	
107	107	-29.870976	-66.974047	70.5404205	-167.38544	
108	108	-28.595196	-66.202184	70.1783201	-164.9757	
109	109	-27.343911	-65.422759	69.8370365	-162.60371	
110	110	-26.116137	-64.636359	69.5151216	-160.26762	
111	111	-24.910956	-63.84351	69.2112812	-157.96575	
112	112	-23.72751	-63.044688	68.9243549	-155.69655	
113	113	-22.564993	-62.240323	68.6532987	-153.45861	
114	114	-21.422646	-61.430806	68.39717	-151.25062	
115	115	-20.299751	-60.616495	68.1551156	-149.07136	



116	116	-19.195628	-59.797716	67.9263613	-146.91971
117	117	-18.109632	-58.97477	67.7102026	-144.7946
118	118	-17.041149	-58.147932	67.5059973	-142.69508
119	119	-15.989594	-57.317457	67.3131588	-140.62021
120	120	-14.954407	-56.483583	67.1311502	-138.56914
121	121	-13.935054	-55.646528	66.9594797	-136.54106
122	122	-12.931022	-54.806495	66.7976955	-134.53521
123	123	-11.94182	-53.963675	66.6453826	-132.55088
124	124	-10.966977	-53.118245	66.5021593	-130.58738
125	125	-10.006039	-52.270373	66.3676741	-128.64409
126	126	-9.0585688	-51.420214	66.241603	-126.72039
127	127	-8.1241465	-50.567915	66.1236474	-124.81571
128	128	-7.2023662	-49.713615	66.0135317	-122.92951
129	129	-6.2928365	-48.857446	65.911002	-121.06128
130	130	-5.3951792	-47.99953	65.8158237	-119.21053
131	131	-4.5090287	-47.139986	65.7277808	-117.3768
132	132	-3.6340312	-46.278925	65.6466737	-115.55963
133	133	-2.7698444	-45.416454	65.5723189	-113.75862
134	134	-1.9161364	-44.552675	65.5045474	-111.97336
135	135	-1.0725856	-43.687684	65.4432036	-110.20347
136	136	-2.3887999	-42.821575	65.3881451	-108.4486
137	137	.585283392	-41.954437	65.339241	-106.70839
138	138	1.40019876	-41.086356	65.2963721	-104.98253
139	139	2.20615207	-40.217414	65.2594294	-103.27069
140	140	3.00342141	-39.347691	65.2283143	-101.57258
141	141	3.79227738	-38.477265	65.2029374	-99.887925
142	142	4.57298345	-37.60621	65.1832185	-98.216445
143	143	5.34579628	-36.734599	65.1690858	-96.557888
144	144	6.11096604	-35.862502	65.1604759	-94.912012
145	145	6.86873674	-34.989988	65.157333	-93.278584
146	146	7.6193465	-34.117124	65.1596089	-91.657386
147	147	8.36302779	-33.243976	65.1672627	-90.048211
148	148	9.10000778	-32.370607	65.1802601	-88.45086
149	149	9.83050849	-31.497082	65.1985739	-86.865147
150	150	10.5547471	-30.623461	65.2221831	-85.290897
151	151	11.2729362	-29.749806	65.251073	-83.727943
152	152	11.9852839	-28.876177	65.2852351	-82.176129
153	153	12.6919941	-28.002634	65.3246668	-80.635306
154	154	13.3932668	-27.129234	65.3693711	-79.105338
155	155	14.0892981	-26.256036	65.419357	-77.586095
156	156	14.7802806	-25.383099	65.4746389	-76.077457
157	157	15.4664033	-24.510479	65.5352365	-74.579312
158	158	16.1478522	-23.638233	65.6011751	-73.091556
159	159	16.8248099	-22.766419	65.6724852	-71.614094
160	160	17.4974563	-21.895093	65.7492026	-70.14684
161	161	18.1659686	-21.024313	65.831368	-68.689712
162	162	18.830521	-20.154134	65.9190275	-67.242641

163	163	19.4912857	-19.284614	66.0122322	-65.805561
164	164	20.1484322	-18.41581	66.1110382	-64.378416
165	165	20.802128	-17.54778	66.2155065	-62.961158
166	166	21.4525384	-16.68058	66.3257034	-61.553745
167	167	22.0998269	-15.814268	66.4416997	-60.156141
168	168	22.744155	-14.948904	66.5635714	-58.76832
169	169	23.3856827	-14.084545	66.6913996	-57.390262
170	170	24.0245683	-13.22125	66.8252699	-56.021952
171	171	24.6609684	-12.35908	66.9652731	-54.663385
172	172	25.2950386	-11.498094	67.1115047	-53.31456
173	173	25.9269328	-10.638353	67.2640652	-51.975486
174	174	26.5568039	-9.779919	67.42306	-50.646175
175	175	27.1848038	-8.9228531	67.5885991	-49.326648
176	176	27.811083	-8.067218	67.7607974	-48.016933
177	177	28.4357912	-7.2130773	67.9397749	-46.717061
178	178	29.0590773	-6.3604947	68.1256559	-45.427073
179	179	29.6810891	-5.5095349	68.3185696	-44.147015
180	180	30.3019738	-4.6602633	68.5186501	-42.87694
181	181	30.9218779	-3.812746	68.7260358	-41.616904
182	182	31.5409468	-2.9670495	68.9408698	-40.366972
183	183	32.1593258	-2.1232414	69.1632997	-39.127215
184	184	32.777159	-1.2813896	69.3934775	-37.897708
185	185	33.3945901	-.4415628	69.6315596	-36.678532
186	186	34.0117624	.396169706	69.8777063	-35.469774
187	187	34.6288182	1.23173813	70.1320824	-34.271526
188	188	35.2458994	2.06507216	70.3948561	-33.083885
189	189	35.8631471	2.89610104	70.6661999	-31.906952
190	190	36.4807018	3.72475362	70.9462895	-30.740834
191	191	37.0987035	4.55095847	71.235304	-29.585642
192	192	37.717291	5.37464391	71.5334259	-28.441491
193	193	38.3366026	6.19573815	71.8408403	-27.3085
194	194	38.9567757	7.01416939	72.1577351	-26.18679
195	195	39.5779466	7.82986589	72.4843004	-25.076488
196	196	40.2002507	8.64275615	72.8207285	-23.977722
197	197	40.8238222	9.45276899	73.1672133	-22.890622
198	198	41.448794	10.2598338	73.5239499	-21.815322
199	199	42.0752976	11.0638804	73.8911345	-20.751956
200	200	42.703463	11.8648398	74.2689636	-19.700661
201	201	43.3334186	12.6626436	74.6576338	-18.661572
202	202	43.965291	13.4572248	75.0573415	-17.634826
203	203	44.5992046	14.2485178	75.4682819	-16.62056
204	204	45.235282	15.0364584	75.890649	-15.618909
205	205	45.8736431	15.8209843	76.3246348	-14.630007
206	206	46.5144054	16.6020351	76.7704287	-13.653988
207	207	47.157684	17.3795527	77.2282173	-12.690981
208	208	47.8035905	18.1534815	77.6981834	-11.741111
209	209	48.452234	18.9237683	78.1805057	-10.804503

210	210	49.1037197	19.6903632	78.6753581	-9.8812752
211	211	49.7581497	20.4532191	79.1829092	-8.9715404
212	212	50.4156222	21.2122925	79.7033217	-8.075407
213	213	51.0762314	21.9675433	80.2367516	-7.1929769
214	214	51.7400675	22.7189354	80.7833481	-6.3243452
215	215	52.4072162	23.4664366	81.3432527	-5.4695999
216	216	53.0777589	24.2100192	81.9165988	-4.6288208
217	217	53.751772	24.9496595	82.5035111	-3.8020796
218	218	54.4293274	25.685339	83.1041054	-2.989439
219	219	55.1104918	26.4170435	83.7184877	-2.1909525
220	220	55.7953266	27.1447642	84.3467546	-1.4066638
221	221	56.4838883	27.8684971	84.988992	-.63660661
222	222	57.1762277	28.5882438	85.6452756	.119195833
223	223	57.8723904	29.3040108	86.3156702	.860730942
224	224	58.5724162	30.0158104	87.0002296	1.587997
225	225	59.2763397	30.7236603	87.6989967	2.30100333
226	226	59.9841896	31.4275838	88.412003	2.99977039
227	227	60.6959892	32.1276096	89.1392691	3.6843298
228	228	61.4117562	32.8237723	89.8808042	4.35472437
229	229	62.1315029	33.5161117	90.6366066	5.01100796
230	230	62.8552358	34.2046734	91.4066638	5.65324539
231	231	63.5829565	34.8895082	92.1909525	6.28151225
232	232	64.314661	35.5706726	92.989439	6.89589465
233	233	65.0503405	36.248228	93.8020796	7.49648889
234	234	65.7899808	36.9222411	94.6288208	8.0834012
235	235	66.5335634	37.5927838	95.4695999	8.65674727
236	236	67.2810646	38.2599325	96.3243452	9.21665187
237	237	68.0324567	38.9237686	97.1929769	9.7632484
238	238	68.7877075	39.5843778	98.075407	10.2966783
239	239	69.5467809	40.2418503	98.9715404	10.8170908
240	240	70.3096368	40.8962803	99.8812752	11.3246419
241	241	71.0762317	41.547766	100.804503	11.8194943
242	242	71.8465185	42.1964095	101.741111	12.3018166
243	243	72.6204473	42.842316	102.690981	12.7717827
244	244	73.3979649	43.4855946	103.653988	13.2295713
245	245	74.1790157	44.1263569	104.630007	13.6753652
246	246	74.9635416	44.764718	105.618909	14.109351
247	247	75.7514822	45.4007954	106.62056	14.5317181
248	248	76.5427752	46.034709	107.634826	14.9426585
249	249	77.3373564	46.6665814	108.661572	15.3423662
250	250	78.1351602	47.296537	109.700661	15.7310364
251	251	78.9361196	47.9247024	110.751956	16.1088655
252	252	79.7401662	48.551206	111.815322	16.4760501
253	253	80.547231	49.1761778	112.890622	16.8327867
254	254	81.3572439	49.7997493	113.977722	17.1792715
255	255	82.1701341	50.4220534	115.076488	17.5156996
256	256	82.9858306	51.0432243	116.18679	17.8422649

257	257	83.8042618	51.6633974	117.3085	18.1591597
258	258	84.6253561	52.282709	118.441491	18.4665741
259	259	85.4490415	52.9012965	119.585642	18.764696
260	260	86.2752464	53.5192982	120.740834	19.0537105
261	261	87.103899	54.1368529	121.906952	19.3338001
262	262	87.9349278	54.7541006	123.083885	19.6051439
263	263	88.7682619	55.3711818	124.271526	19.8679176
264	264	89.6038303	55.9882376	125.469774	20.1222937
265	265	90.4415628	56.6054099	126.678532	20.3684404
266	266	91.2813896	57.222841	127.897708	20.6065225
267	267	92.1232414	57.8406742	129.127215	20.8367003
268	268	92.9670495	58.4590532	130.366972	21.0591302
269	269	93.812746	59.0781221	131.616904	21.2739642
270	270	94.6602633	59.6980262	132.87694	21.4813499
271	271	95.5095349	60.3189109	134.147015	21.6814304
272	272	96.3604947	60.9409227	135.427073	21.8743441
273	273	97.2130773	61.5642088	136.717061	22.0602251
274	274	98.067218	62.188917	138.016933	22.2392026
275	275	98.9228531	62.8151962	139.326648	22.4114009
276	276	99.779919	63.4431961	140.646175	22.57694
277	277	100.638353	64.0730672	141.975486	22.7359348
278	278	101.498094	64.7049614	143.31456	22.8884953
279	279	102.35908	65.3390316	144.663385	23.0347269
280	280	103.22125	65.9754317	146.021952	23.1747301
281	281	104.084545	66.6143173	147.390262	23.3086004
282	282	104.948904	67.255845	148.76832	23.4364286
283	283	105.814268	67.9001731	150.156141	23.5583003
284	284	106.68058	68.5474616	151.553745	23.6742966
285	285	107.54778	69.197872	152.961158	23.7844935
286	286	108.41581	69.8515678	154.378416	23.8889618
287	287	109.284614	70.5087143	155.805561	23.9877678
288	288	110.154134	71.169479	157.242641	24.0809725
289	289	111.024313	71.8340314	158.689712	24.168632
290	290	111.895093	72.5025437	160.14684	24.2507974
291	291	112.766419	73.1751901	161.614094	24.3275148
292	292	113.638233	73.8521478	163.091556	24.3988249
293	293	114.510479	74.5335967	164.579312	24.4647635
294	294	115.383099	75.2197194	166.077457	24.5253611
295	295	116.256036	75.9107019	167.586095	24.580643
296	296	117.129234	76.6067332	169.105338	24.6306289
297	297	118.002634	77.3080059	170.635306	24.6753332
298	298	118.876177	78.0147161	172.176129	24.7147649
299	299	119.749806	78.7270638	173.727943	24.748927
300	300	120.623461	79.4452529	175.290897	24.7778169
301	301	121.497082	80.1694915	176.865147	24.8014261
302	302	122.370607	80.8999922	178.45086	24.8197399
303	303	123.243976	81.6369722	-179.95179	24.8327373

304	304	124.117124	82.3806535	-178.34261	24.8403911
305	305	124.989988	83.1312633	-176.72142	24.842667
306	306	125.862502	83.889034	-175.08799	24.8395241
307	307	126.734599	84.6542037	-173.44211	24.8309142
308	308	127.60621	85.4270166	-171.78355	24.8167815
309	309	128.477265	86.2077226	-170.11207	24.7970626
310	310	129.347691	86.9965786	-168.42742	24.7716857
311	311	130.217414	87.7938479	-166.72931	24.7405706
312	312	131.086356	88.5998012	-165.01747	24.7036279
313	313	131.954437	89.4147166	-163.29161	24.660759
314	314	132.821575	90.23888	-161.5514	24.6118549
315	315	133.687684	91.0725856	-159.79653	24.5567964
316	316	134.552675	91.9161364	-158.02664	24.4954526
317	317	135.416454	92.7698444	-156.24138	24.4276811
318	318	136.278925	93.6340312	-154.44037	24.3533263
319	319	137.139986	94.5090287	-152.6232	24.2722192
320	320	137.99953	95.3951792	-150.78947	24.1841763
321	321	138.857446	96.2928365	-148.93872	24.088998
322	322	139.713615	97.2023662	-147.07049	23.9864683
323	323	140.567915	98.1241465	-145.18429	23.8763526
324	324	141.420214	99.0585688	-143.27961	23.758397
325	325	142.270373	100.006039	-141.35591	23.6323259
326	326	143.118245	100.966977	-139.41262	23.4978407
327	327	143.963675	101.94182	-137.44912	23.3546174
328	328	144.806495	102.931022	-135.46479	23.2023045
329	329	145.646528	103.935054	-133.45894	23.0405203
330	330	146.483583	104.954407	-131.43086	22.8688498
331	331	147.317457	105.989594	-129.37979	22.6868412
332	332	148.147932	107.041149	-127.30492	22.4940027
333	333	148.97477	108.109632	-125.2054	22.2897974
334	334	149.797716	109.195628	-123.08029	22.0736387
335	335	150.616495	110.299751	-120.92864	21.8448844
336	336	151.430806	111.422646	-118.74938	21.60283
337	337	152.240323	112.564993	-116.54139	21.3467013
338	338	153.044688	113.72751	-114.30345	21.0756451
339	339	153.84351	114.910956	-112.03425	20.7887188
340	340	154.636359	116.116137	-109.73238	20.4848784
341	341	155.422759	117.343911	-107.39629	20.1629635
342	342	156.202184	118.595196	-105.0243	19.8216799
343	343	156.974047	119.870976	-102.61456	19.4595795
344	344	157.737695	121.172309	-100.16503	19.0750343
345	345	158.492389	122.500344	-97.673473	18.6662066
346	346	159.237301	123.856329	-95.137381	18.231011
347	347	159.971486	125.241633	-92.553949	17.7670686
348	348	160.693866	126.657766	-89.920017	17.2716484
349	349	161.403199	128.106404	-87.231991	16.741594
350	350	162.098044	129.589431	-84.485754	16.1732295

351	351	162.776718	131.108976	-81.676543	15.5622365
352	352	163.437227	132.667482	-78.798783	14.9034924
353	353	164.077192	134.267783	-75.845876	14.1908517
354	354	164.693729	135.913219	-72.809898	13.4168459
355	355	165.283296	137.60779	-69.681176	12.5722606
356	356	165.841456	139.356389	-66.447678	11.6455228
357	357	166.362543	141.165144	-63.094095	10.6217826
358	358	166.839119	143.041949	-59.600411	9.48147969
359	359	167.2611	144.997342	-55.93955	8.19799296
360	360	167.614236	147.046024	-52.073274	6.73353479

## CAPITULO 3.

### SINTESIS DE MECANISMOS DE CUATRO BARRAS

#### 3.1 Ley de Grasshoff

Es costumbre clasificar todos los mecanismos de cuatro eslabones planos, formados a base de pares de revolución, es decir, todos los mecanismos de cuatro barras articuladas, en dos clases. Las cadenas de *clase I* incluyen todos los mecanismos en los que la barra más corta puede hacer una revolución completa respecto de una cualquiera de las otras tres. Cada mecanismo de cuatro barras articuladas en el que ninguna de ellas puede efectuar una revolución completa respecto de otra de las tres restantes es una cadena de *clase II*. La ley de Grasshoff permite clasificar los mecanismos de cuatro barras en gran detalle.

La ley de Grasshoff, dada por Harding, establece que la suma de las barras más corta y más larga de un mecanismo plano de cuatro barras articuladas, no puede superar la suma de las otras dos barras, cuando entre dos miembros se desea una rotación relativa completa.

La notación de Harding es fácil de recordar. Dividamos el mecanismo en dos partes, tales que los miembros sean opuestos, en otras palabras, un elemento de un par no puede ser adyacente al otro. Designemos como par mayor al que tiene los elementos de longitud total mayor, y llamemos  $a$  y  $b$  a cada uno de ellos, siendo  $a > b$ . El otro par es el par menor y sus miembros son  $c$  y  $d$  de forma que  $c > d$ . En estas condiciones, la notación se resume en las siguientes desigualdades:

$$a + b > c + d \quad (3.1)$$

$$a > b \quad (3.2)$$

$$c > d \quad (3.3)$$

en donde  $a$  se opone a  $b$  y  $c$  se opone a  $d$ .

Con esta notación la ley de Grasshoff se escribe en la forma

$$a - b < c - d \quad (3.4)$$

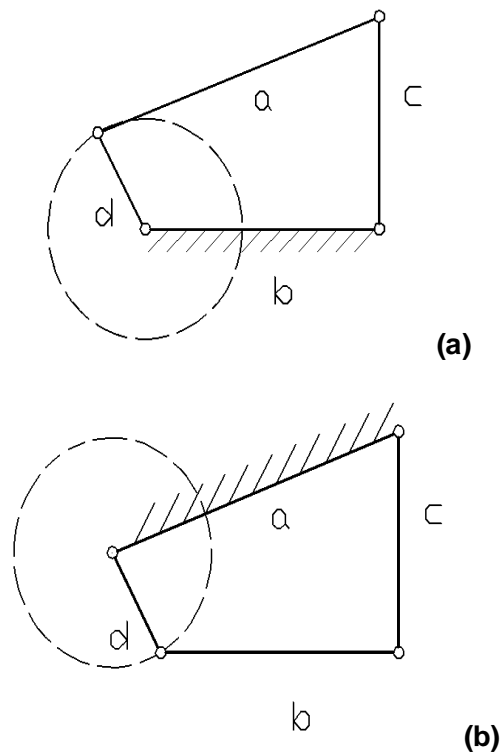
que define las cadenas de clase I. Análogamente, la desigualdad

$$a - b > c - d \quad (3.5)$$

define las cadenas de clase II.

Dado que la ley de Grasshoff no especifica cuál es la barra fija de la cadena. Se puede fijar cualquiera de las cuatro barras de que consta el mecanismo. Cuando se hace así se encuentran diferentes mecanismos al fijar barras distintas. Estos mecanismos se conocen como inversiones de la cadena.

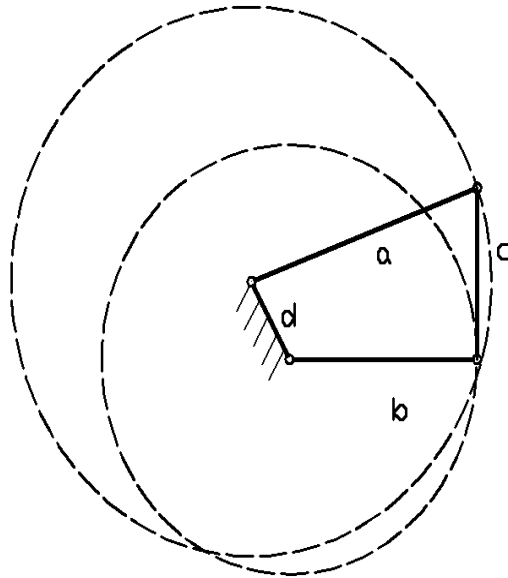
Una de las inversiones más útiles de las cadenas de primera clase es el *mecanismo de manivela oscilante* de la figura 3.1. Obsérvese que se obtiene dos inversiones según se fije la barra a o la b. La barra d es naturalmente la manivela y la barra c es la manivela oscilante.



**Figura 3.1 Los dos mecanismos de manivela y biela oscilante obtenidos de una cadena de primera clase.**



El mecanismo de *doble manivela* se obtiene fijando la barra más corta, Figura 3-2. En esta inversión la barra *b* es, normalmente la conductora. Puesto que ambas manivelas, *a* y *b*, giran completamente con respecto a *d* son ambas verdaderas manivelas. También la barra *c* hace una revolución completa durante la rotación de la manivela *b*.

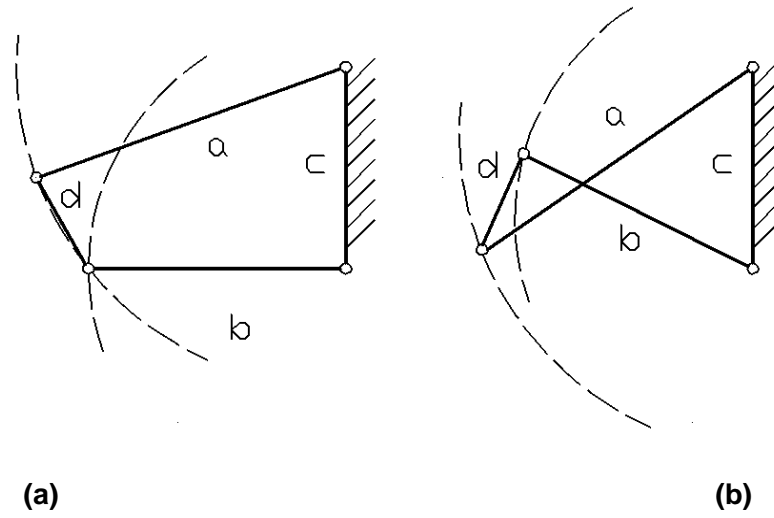


**Figura 3.2 Mecanismo de doble manivela obtenido de una cadena de primera clase fijando la barra más corta.**

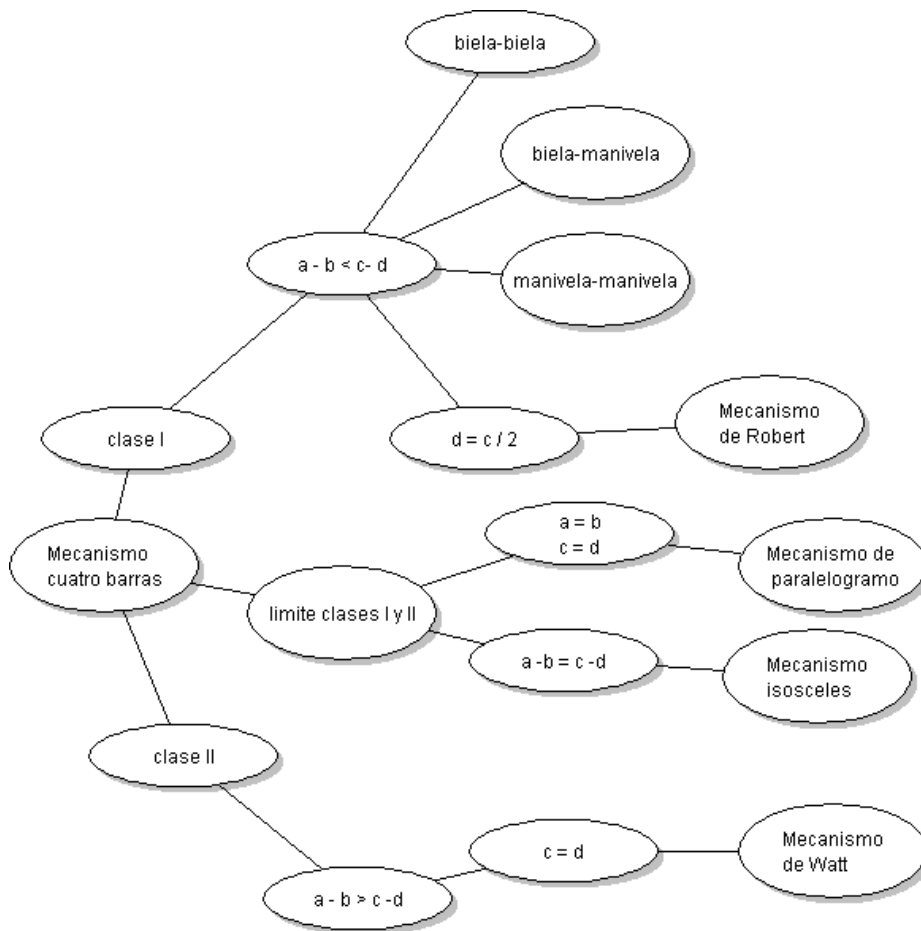
Fijando la barra *c*, la barra opuesta a la más corta, se obtiene un mecanismo de *doble manivela oscilante*, figura 3.3. Obsérvese en la figura 3.3.b como una de las manivelas oscilantes se puede cruzar. Esto indica que teóricamente la barra *d* puede hacer una rotación completa durante el funcionamiento del mecanismo.

Todas las inversiones de las cadenas de clase II son mecanismos de doble manivela oscilante.

Cabe mencionar que se obtienen mecanismos especiales cuando existen igualdades en las dimensiones de algunas barras, por mencionar uno de ellos tenemos al *mecanismo de Watt*, figura 3.4.



**Figura 3.3** Dos versiones posibles del mecanismo de doble manivela oscilante obtenidas de una cadena de primera clase.



**Figura 3.4** Una clasificación parcial de clases de mecanismos de cuatro barras.

### 3.2 Posición límite y centro muerto de un mecanismo de cuatro barras

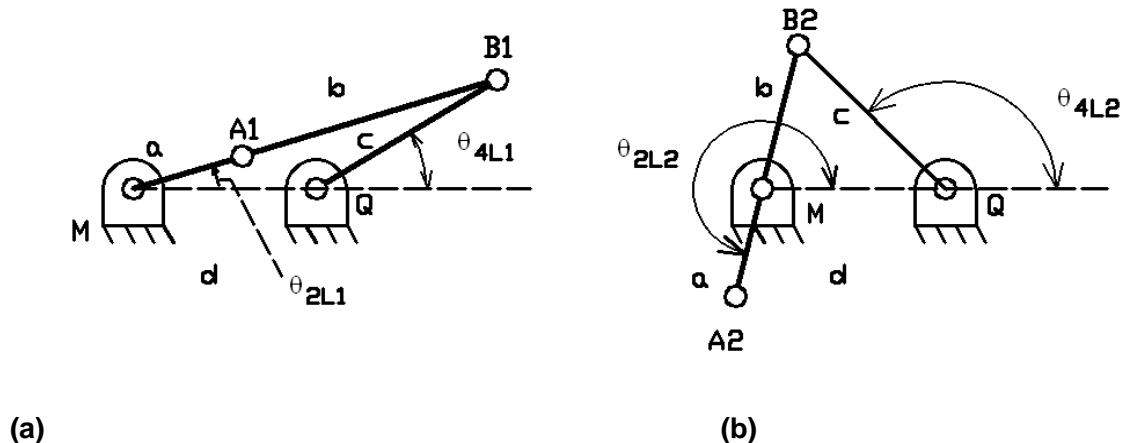
Cuando un mecanismo de cuatro barras es diseñado para posiciones coordinadas de la barra de entrada y de salida de la manivela, o para posiciones de la barra de entrada coordinadas con la barra acopladora, el diseñador requiere verificar la movilidad continua del varillaje a través de esas posiciones. Para esto existen dos situaciones que no se deben perder de vista: posiciones límite y posiciones de centro muerto.

Una posición límite para una barra de salida de un mecanismo de cuatro barras, es mostrada en la figura 3.5, es definida como una posición en la cual el ángulo interior entre la barra acopladora y la barra de entrada se convierte en  $360^\circ$  o  $180^\circ$ . Entonces cuando un mecanismo alcanza la posición límite los puntos de pivoteo M, A, y B forman una línea. Un mecanismo de cuatro barras tiene un máximo de dos posiciones límite.

Un mecanismo de biela manivela tiene dos posiciones límite, la figura 3.5.a describe la primera posición límite. El ángulo entre la barra de entrada MA1 y la barra acopladora A1B1 es  $180^\circ$ . La figura 3.5.b, muestra la segunda posición límite. El ángulo entre la barra de entrada MA2 y la barra acopladora A2B2 es  $360^\circ$ .

En caso de que  $\Theta_{4L1}$  y  $\Theta_{4L2}$  describen las dos posiciones límite de la barra de salida QB entonces  $\Phi$ , el ángulo de oscilación del mecanismo biela manivela, está dado por

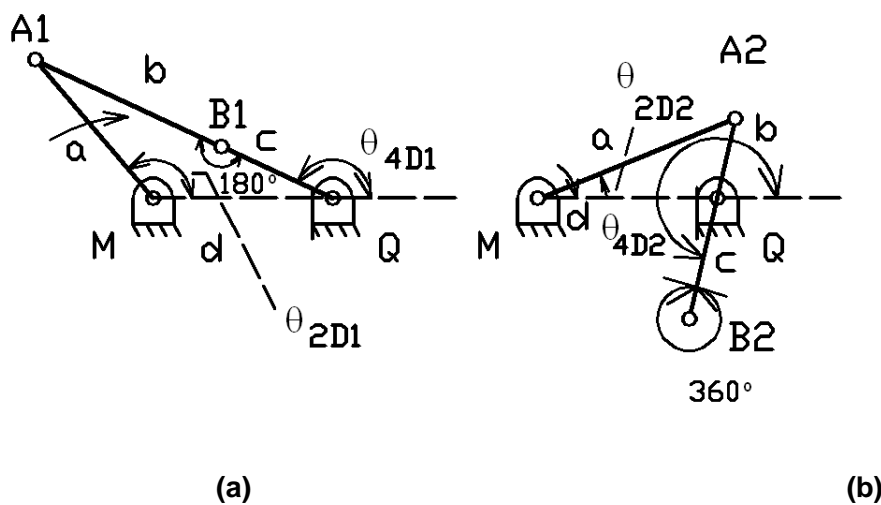
$$\Phi = \text{ángulo de oscilación de la barra de salida QB} = \Theta_{4L2} - \Theta_{4L1} \quad (3.6)$$



**Figura 3.5** Dos posiciones límite de la barra de salida QB de un mecanismo biela manivela.

La posición de centro muerto para una barra de salida es definida como una posición en la cual el ángulo interior de la barra acopladora con la barra de salida se convierte en  $360^\circ$  o  $180^\circ$ . Entonces, cuando el mecanismo está en la posición de centro muerto, los puntos de pivote A, B y Q forman parte de una línea recta. Un mecanismo de cuatro barras con una barra de entrada predefinida tiene como máximo dos posiciones de centro muerto.

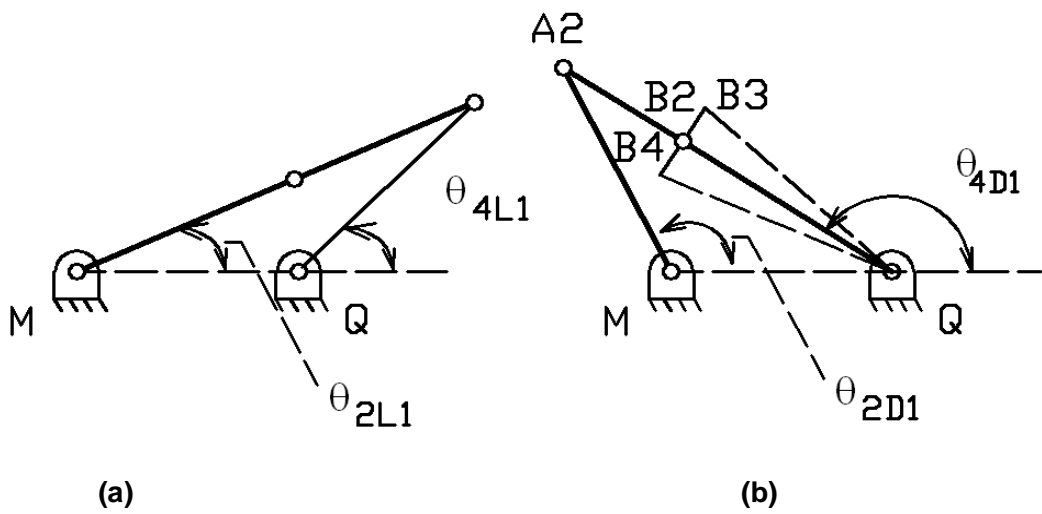
Una posición límite y una posición de centro muerto pueden existir en un mecanismo de doble manivela. La figura 3.6 muestra un mecanismo de doble manivela en sus dos posiciones de centro muerto. La figura 3.7 muestran un mecanismo de doble manivela en sus posiciones límite y de centro muerto.



**Figura 3.6 Dos posiciones de centro muerto de la barra QB de un mecanismo de cuatro barras.**

La existencia de un centro muerto en diseño que requiere una movilidad continua es indeseable. En caso de que la barra de entrada  $MA_2$  en la figura 3.7.b intenta rotar en el sentido de las manecillas del reloj, se observa que la barra de salida  $QB_2$  va a quedar bloqueada. El bloqueo sucede porque el mecanismo se convierte *instantáneamente en una estructura*. Como la movilidad de el mecanismo es impedida en la posición de centro muerto, entonces para restablecer la movilidad, la barra  $QB_2$  debe ser desplazada en la dirección deseada por una fuerza externa. La barra  $QB_2$  puede ser desplazada hacia la posición  $QB_3$  o la posición  $QB_4$  desde la posición de centro muerto  $QB_2$ .

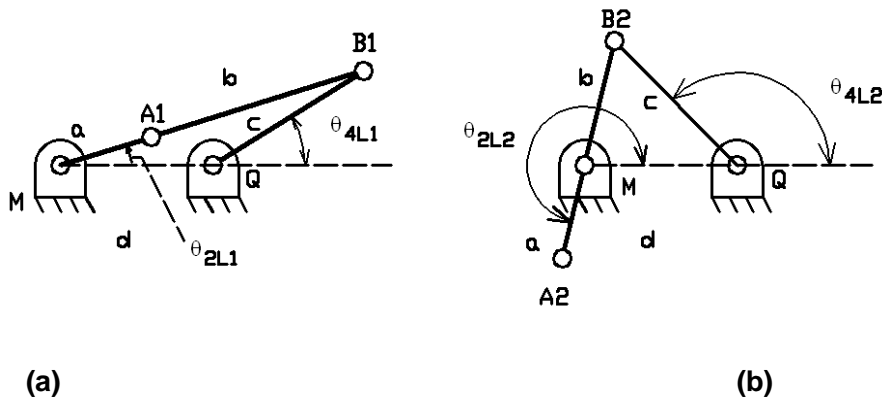
Un mecanismo manivela-manivela no tiene posiciones límite ni de centro muerto porque ambas manivelas giran  $360^\circ$ .



**Figura 3.7** Análisis de movimiento de un mecanismo de doble manivela. a) Posición límite de QB; b) Posición de centro muerto de QB.

### 3.3 Relaciones para determinar los ángulos de la posición límite y la posición de centro muerto.

Reconsidere la figura 3.5 que por comodidad se repite a continuación.



**Figura 3.5** Dos posiciones límite de la barra de salida QB de un mecanismo biela manivela.

De la figura 3.5.a la ley de cosenos para el triangulo  $MB1Q$  da

$$\Theta_{2LI} = \cos^{-1} \left[ \frac{(a+b)^2 + d^2 - c^2}{2(a+b)d} \right] \quad (3.7)$$

$$\Theta_{4LI} = \cos^{-1} \left[ \frac{(a+b)^2 - c^2 - d^2}{2cd} \right] \quad (3.8)$$

De la Figura 3.5.b la ley de los cosenos para el triangulo  $MB2Q$

$$\theta_{2L2} = \cos^{-1} \left[ \frac{(b-a)^2 + d^2 - c^2}{2(b-a)d} \right] + \theta_1 \quad (3.9).$$

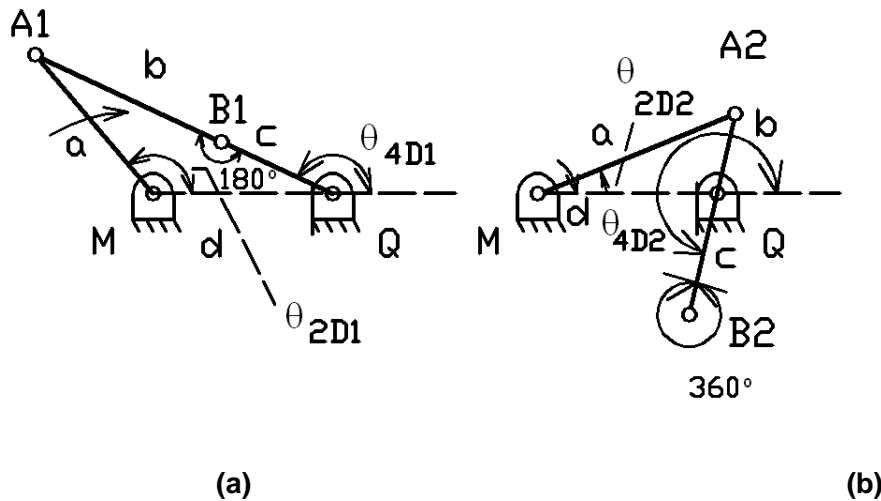
$$\Theta_{4L2} = \cos^{-1} \left[ \frac{(b-a)^2 - c^2 - d^2}{2cd} \right] \quad (3.10)$$

Las ecuaciones (3.7) a (3.10) nos permiten calcular los ángulos para la posición límite. El ángulo de oscilación de la barra de salida  $QB$  es dada por la ecuación (3.11).

$$\varphi = \cos^{-1} \left[ \frac{(b-a)^2 - c^2 - d^2}{2cd} \right] - \cos^{-1} \left[ \frac{(a+b)^2 - c^2 - d^2}{2cd} \right] \quad (3.11)$$

### 3.4 Relaciones para determinar los ángulos de posición de centro muerto.

Reconsidere la figura 3.5 que por conveniencia se repite a continuación.



**Figura 3.5** Dos posiciones de centro muerto de la barra QB de un mecanismo de cuatro barras.

Los ángulos que definen las posiciones de centro muerto pueden ser calculados de manera similar al apartado anterior. Entonces, de la figura 3.5.a. La ley de los cosenos para el triángulo M A1 Q da,

$$\theta_{2D1} = \cos^{-1} \left[ \frac{a^2 + d^2 - (b+c)^2}{2ad} \right] \quad (3.12)$$

$$\theta_{4D1} = \cos^{-1} \left[ \frac{a^2 - (b+c)^2 - d^2}{2(b+c)d} \right] \quad (3.13)$$

$$\theta_{2D2} = \cos^{-1} \left[ \frac{a^2 + d^2 - (b-c)^2}{2ad} \right] \quad (3.14)$$

$$\theta_{4D2} = \cos^{-1} \left[ \frac{a^2 - (b-c)^2 - d^2}{2ad} \right] + 180 \quad (3.15)$$

Las ecuaciones (3.12) a (3.15) permiten calcular los ángulos de posición de centro muerto.

### 3.5 Análisis de movimiento del mecanismo modelo.

Considere un mecanismo con las siguientes barras, tabla 3.1.

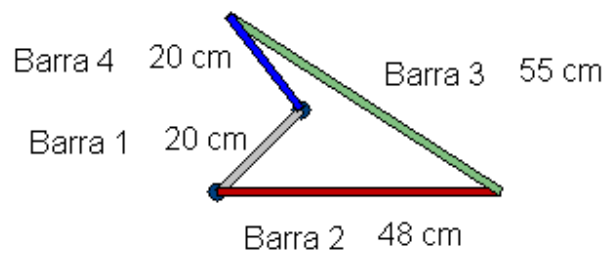
**Tabla 3.1 Barras de un mecanismo.**

Barra	Longitud, cm
Uno	20
Dos	48
Tres	55
Cuatro	20

1. Determine la clase a la que pertenece el mecanismo, y su tipo.
2. Calcule las posiciones límite y de centro muerto para la barra de entrada.

#### Solución 1.

Aspecto del mecanismo en una posición cualquiera es el de la figura 3.8.



**Figura 3.8 Una posición cualquiera del mecanismo de cuatro barras.**

Dividiendo el mecanismo en dos partes donde un elemento de un par no puede ser adyacente al otro. Designemos como par mayor al que tiene los elementos de longitud total mayor, y llamemos a y b a cada uno de ellos, siendo  $a > b$ .

El otro par es el par menor y sus miembros son c y d de forma que  $c > d$ .



Si,  $a - b < c - d$  entonces el mecanismo pertenece a la clase I.

Si,  $a - b > c - d$  entonces el mecanismo pertenece a la clase II.

#### **Barra a.**

La barra de mayor longitud es la 3, por lo tanto la barra *a* de acuerdo a la notación de Grasshoff es la barra 3, por lo tanto  $a = 55$  cm.

#### **Barra b.**

La barra *b* es la opuesta a la barra *a*. La barra opuesta a la 3 es la 1 entonces  $b = 20$  cm

#### **Barra c.**

La barra *c* puede ser la barra 2 o 4. Pero de acuerdo a la Ley de Grasshoff la que sea de mayor longitud de ambas es en definitiva la barra *c*, esta es la barra 2 entonces  $c = 48$  cm.

#### **Barra d.**

La barra *d* es la opuesta a *c*. Por lo tanto la barra *c* es la 4, así  $d = 20$  cm, figura 3.8.

así

$$a = 55 \text{ cm.}$$

$$b = 20 \text{ cm.}$$

$$c = 48 \text{ cm.}$$

$$d = 20 \text{ cm.}$$

$$a - b = 55 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 35 \text{ cm.}$$

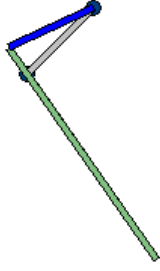
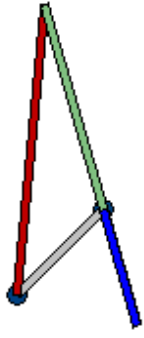
$$c - d = 48 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 28 \text{ cm.}$$

Ya que  $35 \text{ cm} > 28 \text{ cm}$  entonces  $a - b > c - d$  esta desigualdad define un mecanismo de clase II y todos los de esta clase son mecanismo de doble manivela oscilante.

**Solución 2.**

Se calcularon las posiciones límite y de centro muerto del mecanismo de manivela oscilante, el desarrollo de las ecuaciones se muestra en la tabla 3.2. El discriminante arroja un valor que debe estar dentro del dominio de la función coseno para que exista la posición. La columna Estado muestra si existe la posición.

**Tabla 3.2 Condensación de los cálculos de posiciones límite y de centro muerto.**

Ecuación	Discriminante	Estado	Valor	Posición
$\theta_{2L1} = \cos^{-1} \left[ \frac{(a+b)^2 + d^2 - c^2}{2(a+b)d} \right]$	$\left[ \frac{(a+b)^2 + d^2 - c^2}{2(a+b)d} \right] = 2.575$	NO		
$\theta_{2D1} = \cos^{-1} \left[ \frac{(b-a)^2 + d^2 - c^2}{2(b-a)d} \right] + \theta_1$	$\left[ \frac{(b-a)^2 + d^2 - c^2}{2(b-a)d} \right] = 0.175$	SI	79.9213418	
$\theta_{2D2} = \cos^{-1} \left[ \frac{a^2 + d^2 - (b+c)^2}{2ad} \right]$	$\left[ \frac{a^2 + d^2 - (b+c)^2}{2ad} \right] = -1.52135$	NO		
$\theta_{2D2} = \cos^{-1} \left[ \frac{a^2 + d^2 - (b-c)^2}{2ad} \right]$	$\left[ \frac{a^2 + d^2 - (b-c)^2}{2ad} \right] = .77031$	SI	39.61804062  + 45° = 84.6180° , porque se definió la fórmula para $\theta_1 = 180^\circ$	

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS CINEMÁTICO

#### 4.1. Análisis de velocidad angular

En la figura 4.1, se muestra un mecanismo de cuatro barras. La manivela  $MA$  es accionada con velocidad angular  $\omega_2$  en la dirección de las manecillas del reloj. A continuación se desarrollaran relaciones matemáticas para  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$ ,  $A_A$ , y  $A_B$  de la barra acopladora y de la barra de salida. Las posiciones relativas de las cuatro barras  $QM$ ,  $MA$ ,  $AB$ , y  $QB$  son descritas usando los vectores  $D$ ,  $A$ ,  $B$ , y  $C$ , donde

$$D = de^{j\theta_1} \quad (4.1)$$

$$A = ae^{j\theta_2} \quad (4.2)$$

$$B = be^{j\theta_3} \quad (4.3)$$

$$C = ce^{j\theta_4} \quad (4.4)$$

y  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ,  $\theta_4$  son los ángulos de cada barra, mostradas en a figura 4.1.

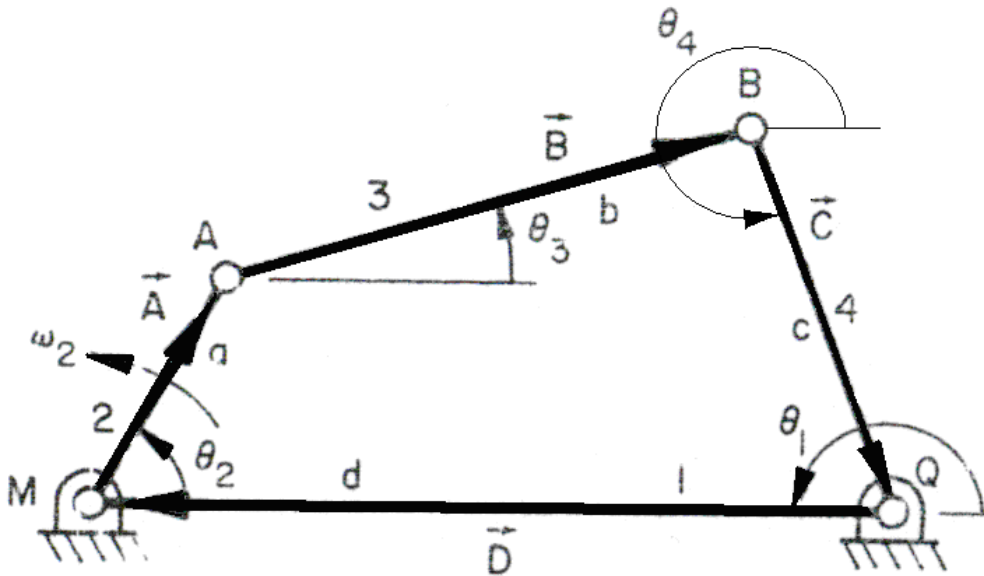


Figura 4.1 Representación vectorial de un mecanismo de cuatro barras.

Para el polígono de vectores  $QMAB$ , la ecuación vectorial puede ser escrita como:

$$\mathbf{D} + \mathbf{A} + \mathbf{B} = -\mathbf{C} \quad (4.5)$$

Esto es,

$$de^{j\theta_1} + ae^{j\theta_2} + be^{j\theta_3} = -ce^{j\theta_4} \quad (4.6)$$

Los ángulos  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  son medidos en la dirección contraria a las manecillas del reloj. Para obtener la velocidad de cada una de las barras, derivamos con respecto al tiempo a la ecuación (4-6). Ya que  $a, b, c, d$ , y  $\theta_1$  ( $\theta_1 = \text{constante}$ ) no varían con el tiempo, la derivada del tiempo de la ecuación (4-6) es

$$ja \frac{d\theta_2}{dt} e^{j\theta_2} + jb \frac{d\theta_3}{dt} e^{j\theta_3} = -jc \frac{d\theta_4}{dt} e^{j\theta_4} \quad (4.7)$$

Por definición

$$\omega_2 = \frac{d\theta_2}{dt} \quad \omega_3 = \frac{d\theta_3}{dt} \quad \omega_4 = \frac{d\theta_4}{dt}$$

Entonces, la ecuación (4.7) puede ser escrita como

$$ja\omega_2 e^{j\theta_2} + jb\omega_3 e^{j\theta_3} = -jc\omega_4 e^{j\theta_4} \quad (4.8)$$

Las relaciones que se obtuvieron definen la magnitud y dirección de las velocidades de cada barra. Por ejemplo, la magnitud de la velocidad de un punto  $A$  es  $V_A = a\omega_2$  y su dirección es dada por  $je^{j\theta_2}$ , es decir, la dirección de  $\mathbf{V}_A$  es perpendicular a  $MA$ . Entonces,

$$\mathbf{V}_A = (a\omega_2)(je^{j\theta_2})$$

Similarmente

$$\mathbf{V}_{B/A} = (b\omega_3)(je^{j\theta_3})$$

y

$$\mathbf{V}_B = -(c\omega_4)(je^{j\theta_4})$$

Por lo tanto, la ecuación (4.8) puede ser expresada vectorialmente como

$$\mathbf{V}_B = \mathbf{V}_A + \mathbf{V}_{B/A} \quad (4-9)$$

Separando la parte real de la imaginaria de la (4.8) da,

$$-c\omega_4 \sin \theta_4 = a\omega_2 \sin \theta_2 + b\omega_3 \sin \theta_3 \quad (4.10)$$

$$-c\omega_4 \cos \theta_4 = a\omega_2 \cos \theta_2 + b\omega_3 \cos \theta_3 \quad (4.11)$$

#### 4.2 Velocidad angular de la barra cuatro.

Resolviendo este sistema de ecuaciones simultaneas (4.10) y (4.11) por sustitución, resulta

$$-a\omega_2 \sin \theta_2 = b\omega_3 \sin \theta_3 + c\omega_4 \sin \theta_4$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = b\omega_3 \cos \theta_3 + c\omega_4 \cos \theta_4$$

$$\omega_3 = \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 - c\omega_4 \sin \theta_4}{b \sin \theta_3}$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = b \left( \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 - c\omega_4 \sin \theta_4}{b \sin \theta_3} \right) \cos \theta_3 + c\omega_4 \cos \theta_4$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = \left( \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 - c\omega_4 \sin \theta_4}{\sin \theta_3} \right) \cos \theta_3 + c\omega_4 \cos \theta_4$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = \left( \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_3 - c\omega_4 \sin \theta_4 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right) + c\omega_4 \cos \theta_4$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = \left( \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right) + c\omega_4 \cos \theta_4 - \frac{c\omega_4 \sin \theta_4 \cos \theta_3}{\sin \theta_3}$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = \left( \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right) + \omega_4 \left( c \cos \theta_4 - \frac{c \sin \theta_4 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right)$$

$$\omega_4 = \frac{\frac{a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} - a\omega_2 \cos \theta_2}{\left( c \cos \theta_4 - \frac{c \sin \theta_4 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right)} = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin \theta_2 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} - \cos \theta_2 \right)}{c \left( \cos \theta_4 - \frac{\sin \theta_4 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right)}$$

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin \theta_2 \cos \theta_3 - \sin \theta_3 \cos \theta_2}{\sin \theta_3} \right)}{c \left( \frac{\cos \theta_4 \sin \theta_3 - \sin \theta_4 \cos \theta_3}{\sin \theta_3} \right)} = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin \theta_2 \cos \theta_3 - \sin \theta_3 \cos \theta_2}{\cos \theta_4 \sin \theta_3 - \sin \theta_4 \cos \theta_3} \right)}$$

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin \theta_2 \cos \theta_3 - \cos \theta_2 \sin \theta_3}{\sin \theta_3 \cos \theta_4 - \cos \theta_3 \sin \theta_4} \right)}{c} = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin(\theta_2 - \theta_3)}{\sin(\theta_3 - \theta_4)} \right)}$$

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{c \sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

(4.12)

### 4.3 Velocidad angular de la barra tres

Resolviendo este sistema de ecuaciones simultaneas (4.10) y (4.11) por sustitución, resulta

$$-a\omega_2 \sin \theta_2 = b\omega_3 \sin \theta_3 + c\omega_4 \sin \theta_4$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = b\omega_3 \cos \theta_3 + c\omega_4 \cos \theta_4$$

$$\omega_4 = \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 - b\omega_3 \sin \theta_3}{c \sin \theta_4}$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = b\omega_3 \cos \theta_3 + c \left( \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 - b\omega_3 \sin \theta_3}{c \sin \theta_4} \right) \cos \theta_4$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = b\omega_3 \cos \theta_3 + \left( \frac{-a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_4 - b\omega_3 \sin \theta_3 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right)$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = b\omega_3 \cos \theta_3 - \frac{b\omega_3 \sin \theta_3 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} - \left( \frac{a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right)$$

$$-a\omega_2 \cos \theta_2 = \omega_3 \left( b \cos \theta_3 - \frac{b \sin \theta_3 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right) - \left( \frac{a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right)$$

$$\omega_3 = \frac{\left( \frac{a\omega_2 \sin \theta_2 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right) - a\omega_2 \cos \theta_2}{\left( b \cos \theta_3 - \frac{b \sin \theta_3 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right)} = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin \theta_2 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} - \cos \theta_2 \right)}{b \left( \cos \theta_3 - \frac{\sin \theta_3 \cos \theta_4}{\sin \theta_4} \right)}$$

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin\theta_2 \cos\theta_4 - \cos\theta_2 \sin\theta_4}{\sin\theta_4} \right)}{b \left( \frac{\cos\theta_3 \sin\theta_4 - \sin\theta_3 \cos\theta_4}{\sin\theta_4} \right)} = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin\theta_2 \cos\theta_4 - \cos\theta_2 \sin\theta_4}{\cos\theta_3 \sin\theta_4 - \sin\theta_3 \cos\theta_4} \right)}{b}$$

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin\theta_2 \cos\theta_4 - \cos\theta_2 \sin\theta_4}{\sin\theta_4 \cos\theta_3 - \cos\theta_4 \sin\theta_3} \right)}{b} = \frac{a\omega_2 \left( \frac{\sin(\theta_2 - \theta_4)}{\sin(\theta_4 - \theta_3)} \right)}{b}$$

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_4)}{b \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (4.13)$$

#### 4.4 Análisis de aceleración

Las relaciones matemáticas explícitas para calcular la aceleración de la barra acopladora y la barra de salida son obtenidas tomando la derivada de la ecuación (4.8) respecto al tiempo  $t$ , esto da

$$ja\omega_2 e^{j\theta_2} + jb\omega_3 e^{j\theta_3} = -jc\omega_4 e^{j\theta_4} \quad (4.8)$$

$$\frac{d}{dt} (ja\omega_2 e^{j\theta_2} + jb\omega_3 e^{j\theta_3}) = \frac{d}{dt} (-jc\omega_4 e^{j\theta_4})$$

$$aj \frac{d}{dt} (\omega_2 e^{j\theta_2}) + bj \frac{d}{dt} (\omega_3 e^{j\theta_3}) = -cj \frac{d}{dt} (\omega_4 e^{j\theta_4})$$

$$aj \left( \omega_2 \frac{d}{dt} (e^{j\theta_2}) + e^{j\theta_2} \frac{d}{dt} (\omega_2) \right) + bj \left( \omega_3 \frac{d}{dt} (e^{j\theta_3}) + e^{j\theta_3} \frac{d}{dt} (\omega_3) \right) = -cj \left( \omega_4 \frac{d}{dt} (e^{j\theta_4}) + e^{j\theta_4} \frac{d}{dt} (\omega_4) \right)$$

$$aj \left( \omega_2 j e^{j\theta_2} \frac{d}{dt} (\theta_2) + e^{j\theta_2} \alpha_2 \right) + bj \left( \omega_3 j e^{j\theta_3} \frac{d}{dt} (\theta_3) + e^{j\theta_3} \alpha_3 \right) = -cj \left( \omega_4 j e^{j\theta_4} \frac{d}{dt} (\theta_4) + e^{j\theta_4} \alpha_4 \right)$$

$$aj (\omega_2 j e^{j\theta_2} \dot{\theta}_2 + e^{j\theta_2} \alpha_2) + bj (\omega_3 j e^{j\theta_3} \dot{\theta}_3 + e^{j\theta_3} \alpha_3) = -cj (\omega_4 j e^{j\theta_4} \dot{\theta}_4 + e^{j\theta_4} \alpha_4)$$

$$aj^2 \omega_2^2 e^{j\theta_2} + aje^{j\theta_2} \alpha_2 + bj^2 \omega_3^2 e^{j\theta_3} + bje^{j\theta_3} \alpha_3 = -(cj^2 \omega_4^2 e^{j\theta_4} + cje^{j\theta_4} \alpha_4) \quad (4.14)$$

donde

$$\alpha_2 = \frac{d\omega_2}{dt}$$

$$\alpha_3 = \frac{d\omega_3}{dt}$$

$$\alpha_4 = \frac{d\omega_4}{dt}$$

La ecuación (4.14) verifica la relación vectorial

$$\mathbf{A}_B = \mathbf{A}_A + \mathbf{A}_{B/A}$$

#### 4.5 Aceleración de un punto de la barra dos

La aceleración del punto A tiene las componentes radial y tangencial que en efecto son los dos primeros términos de la ecuación (4.14) y recordando que  $\dot{f}^2 = -1$  y la ecuación (2.11), se tiene

$$\mathbf{A}_A = \mathbf{A}_A^r + \mathbf{A}_A^t = j^2 a \omega_2^2 e^{j\theta_2} + ja \alpha_2 e^{j\theta_2} = -a \omega_2^2 \cos \theta_2 - ja \omega_2^2 \sin \theta_2 + ja \alpha_2 \cos \theta_2 - a \alpha_2 \sin \theta_2 \quad (4.15)$$

Se desea determinar la aceleración con componentes  $i, j$  para esto separando la parte real de la imaginaria del lado que está a la derecha de la ecuación (4.15), esto es

$$-a \omega_2^2 \cos \theta_2 - ja \omega_2^2 \sin \theta_2 + ja \alpha_2 \cos \theta_2 - a \alpha_2 \sin \theta_2$$

Se identifica las componentes rectangulares de aceleración del punto A

$$\begin{aligned} A_A i &= -a \omega_2^2 \cos \theta_2 - a \alpha_2 \sin \theta_2 \\ A_A j &= -a \omega_2^2 \sin \theta_2 + a \alpha_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (4.16)$$

Resulta que para un punto  $I$  cualquiera con una distancia  $L$  dentro de la semirrecta M-A se cumple que



$$\begin{aligned} A_i i &= -L\omega_2^2 \cos \theta_2 - L\alpha_2 \sin \theta_2 \\ A_j j &= -L\omega_2^2 \sin \theta_2 + L\alpha_2 \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (4.17).$$

Si se desea una aceleración de un punto fuera de la semirrecta M-A se tiene que sumar algebraicamente el ángulo que separa al punto de la semirrecta M-A al ángulo  $\theta_2$  en las ecuaciones (4.17). El objetivo de la suma es obtener un ángulo absoluto de posicionamiento del punto en cuestión con respecto a nuestro eje coordenado, siendo así se pueden aplicar las ecuaciones para la aceleración lineal deducidas anteriormente.

#### 4.6 Aceleración de un punto de la barra tres

La aceleración relativa del punto B respecto del punto A, de acuerdo a la ecuación (4.14) es

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{B/A} &= \mathbf{A}_{B/A}^r + \mathbf{A}_{B/A}^t = j^2 b \omega_3^2 e^{j\theta_3} + j b \alpha_3 e^{j\theta_3} \\ &= -b \omega_3^2 \cos \theta_3 - j b \omega_3^2 \sin \theta_3 + j b \alpha_3 \cos \theta_3 - b \alpha_3 \sin \theta_3 \end{aligned} \quad (4.18)$$

En componentes en  $i, j$  es

$$\begin{aligned} A_{B/A} i &= -b \omega_3^2 \cos \theta_3 - b \alpha_3 \sin \theta_3 \\ A_{B/A} j &= -b \omega_3^2 \sin \theta_3 + b \alpha_3 \cos \theta_3 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Para cualquier modulo  $L$  quedan expresiones para la aceleración relativa de B respecto A:

$$\begin{aligned} A_{B/A} i &= -L \omega_3^2 \cos \theta_3 - L \alpha_3 \sin \theta_3 \\ A_{B/A} j &= -L \omega_3^2 \sin \theta_3 + L \alpha_3 \cos \theta_3 \end{aligned} \quad (4.20)$$

Es necesario sumar algebraicamente un ángulo a  $\theta_3$  si el punto en cuestión está ubicado fuera de la semirrecta A-B.

Para el centro de masa G3, la aceleración absoluta es:

$$\begin{aligned} A_{G3} &= A_A + A_{A-G3} = A_A i + A_B j + A_{A-G3} i + A_{A-G3} j \\ &= -L\omega_2^2 \cos \theta_2 - L\alpha_2 \sin \theta_2 - L\omega_2^2 \sin \theta_2 + L\alpha_2 \cos \theta_2 \\ &\quad - L\omega_3^2 \cos \theta_3 - L\alpha_3 \sin \theta_3 - L\omega_3^2 \sin \theta_3 + L\alpha_3 \cos \theta_3 \end{aligned} \quad (4.21)$$

#### 4.7 Aceleración de un punto de la barra cuatro

La aceleración relativa del punto B, de acuerdo a la ecuación (4.14) es

$$\mathbf{A}_B = \mathbf{A}_B^r + \mathbf{A}_B^t = -\left(j^2 c \omega_4^2 e^{j\theta_4} + jc \alpha_4 e^{j\theta_4}\right) \quad (4.22)$$

$$= c \omega_4^2 \cos \theta_4 + jc \omega_4^2 \sin \theta_4 - jc \alpha_4 \cos \theta_4 + c \alpha_4 \sin \theta_4$$

En componentes rectangulares la aceleración de B es

$$A_B i = c \omega_4^2 \cos \theta_4 + c \alpha_4 \sin \theta_4$$

$$A_B j = c \omega_4^2 \sin \theta_4 - c \alpha_4 \cos \theta_4$$

Para cualquier modulo L queda

$$A_B i = L \omega_4^2 \cos \theta_4 + L \alpha_4 \sin \theta_4 \quad (4.23)$$

$$A_B j = L \omega_4^2 \sin \theta_4 - L \alpha_4 \cos \theta_4$$

La misma observación anterior, se tiene que sumar algebraicamente un ángulo a  $\theta_4$  si el punto en cuestión está fuera de la semirrecta A-B.

#### 4.8 Aceleración angular

La ecuación ( 4.14 ), que se reescribe a continuación, es

$$aj^2 \omega_2^2 e^{j\theta_2} + aje^{j\theta_2} \alpha_2 + bj^2 \omega_3^2 e^{j\theta_3} + bje^{j\theta_3} \alpha_3 = -\left(cj^2 \omega_4^2 e^{j\theta_4} + cje^{j\theta_4} \alpha_4\right)$$

Sustituyendo  $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$  ,  $j^2 = -1$  resulta

$$a(-1)\omega_2^2(\cos \theta_2 + j \sin \theta_2) + aj(\cos \theta_2 + j \sin \theta_2)\alpha_2$$

$$+ b(-1)\omega_3^2(\cos \theta_3 + j \sin \theta_3) + bj(\cos \theta_3 + j \sin \theta_3)\alpha_3$$

$$= -\left(c(-1)\omega_4^2(\cos \theta_4 + j \sin \theta_4) + cj(\cos \theta_4 + j \sin \theta_4)\alpha_4\right)$$

$$\begin{aligned}
& -a\omega_2^2(\cos\theta_2 + j\sin\theta_2) + aj(\cos\theta_2 + j\sin\theta_2)\alpha_2 \\
& -b\omega_3^2(\cos\theta_3 + j\sin\theta_3) + bj(\cos\theta_3 + j\sin\theta_3)\alpha_3 \\
& = -\left(-c\omega_4^2(\cos\theta_4 + j\sin\theta_4) + cj(\cos\theta_4 + j\sin\theta_4)\alpha_4\right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -a\omega_2^2 \cos\theta_2 - ja\omega_2^2 \sin\theta_2 + ja\alpha_2 \cos\theta_2 + j^2 a\alpha_2 \sin\theta_2 \\
& -b\omega_3^2 \cos\theta_3 - jb\omega_3^2 \sin\theta_3 + jb\alpha_3 \cos\theta_3 + j^2 b\alpha_3 \sin\theta_3 \\
& = c\omega_4^2 \cos\theta_4 + jc\omega_4^2 \sin\theta_4 - jc\alpha_4 \cos\theta_4 - j^2 c\alpha_4 \sin\theta_4
\end{aligned}$$

Otra vez, sustituyendo  $j^2 = -1$

$$\begin{aligned}
& -a\omega_2^2 \cos\theta_2 - ja\omega_2^2 \sin\theta_2 + ja\alpha_2 \cos\theta_2 - a\alpha_2 \sin\theta_2 \\
& -b\omega_3^2 \cos\theta_3 - jb\omega_3^2 \sin\theta_3 + jb\alpha_3 \cos\theta_3 - b\alpha_3 \sin\theta_3 \\
& = c\omega_4^2 \cos\theta_4 + jc\omega_4^2 \sin\theta_4 - jc\alpha_4 \cos\theta_4 + c\alpha_4 \sin\theta_4
\end{aligned}$$

y separando la parte real de la imaginaria resulta

$$\begin{aligned}
& \left(-a\omega_2^2 \cos\theta_2 - a\alpha_2 \sin\theta_2 - b\omega_3^2 \cos\theta_3 - b\alpha_3 \sin\theta_3\right) \\
& + \left(-ja\omega_2^2 \sin\theta_2 + ja\alpha_2 \cos\theta_2 - jb\omega_3^2 \sin\theta_3 + jb\alpha_3 \cos\theta_3\right) \\
& = \left(c\omega_4^2 \cos\theta_4 + c\alpha_4 \sin\theta_4\right) + \left(jc\omega_4^2 \sin\theta_4 - jc\alpha_4 \cos\theta_4\right)
\end{aligned}$$

A continuación al identificar miembro a miembro las componentes de aceleración en direcciones  $i, j$ , después de cierto reacomodo algebraico resulta un sistema lineal para las aceleraciones angulares de la barra tres y cuatro, es decir

$$\begin{aligned}
c\omega_4^2 \cos\theta_4 + c\alpha_4 \sin\theta_4 &= -a\omega_2^2 \cos\theta_2 - a\alpha_2 \sin\theta_2 - b\omega_3^2 \cos\theta_3 - b\alpha_3 \sin\theta_3 \\
c\omega_4^2 \sin\theta_4 - c\alpha_4 \cos\theta_4 &= -a\omega_2^2 \sin\theta_2 + a\alpha_2 \cos\theta_2 - b\omega_3^2 \sin\theta_3 + b\alpha_3 \cos\theta_3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b\alpha_3 \sin\theta_3 + c\alpha_4 \sin\theta_4 &= -a\omega_2^2 \cos\theta_2 - a\alpha_2 \sin\theta_2 - b\omega_3^2 \cos\theta_3 - c\omega_4^2 \cos\theta_4 \\
-b\alpha_3 \cos\theta_3 - c\alpha_4 \cos\theta_4 &= -a\omega_2^2 \sin\theta_2 + a\alpha_2 \cos\theta_2 - b\omega_3^2 \sin\theta_3 - c\omega_4^2 \sin\theta_4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b\sin\theta_3\alpha_3 + c\sin\theta_4\alpha_4 &= -a\omega_2^2 \cos\theta_2 - a\alpha_2 \sin\theta_2 - b\omega_3^2 \cos\theta_3 - c\omega_4^2 \cos\theta_4 \\
-b\cos\theta_3\alpha_3 - c\cos\theta_4\alpha_4 &= -a\omega_2^2 \sin\theta_2 + a\alpha_2 \cos\theta_2 - b\omega_3^2 \sin\theta_3 - c\omega_4^2 \sin\theta_4
\end{aligned}$$

(4.24)

En el sistema de ecuaciones (4.24), haciendo que

$$A = b \sin \theta_3$$

$$B = c \sin \theta_4$$

$$C = -a\omega_2^2 \cos \theta_2 - a\alpha_2 \sin \theta_2 - b\omega_3^2 \cos \theta_3 - c\omega_4^2 \cos \theta_4$$

$$D = -b \cos \theta_3$$

$$E = -c \cos \theta_4$$

$$F = -a\omega_2^2 \sin \theta_2 + a\alpha_2 \cos \theta_2 - b\omega_3^2 \sin \theta_3 - c\omega_4^2 \sin \theta_4$$

El sistema se reduce a la siguiente forma, que es más fácil de manipular

$$A\alpha_3 + B\alpha_4 = C$$

$$D\alpha_3 + E\alpha_4 = F \quad (4.25)$$

#### 4.9 Aceleración angular de la barra cuatro

Resolviendo el sistema de ecuaciones (4.25) por sustitución, resulta

$$\alpha_3 = \frac{C - B\alpha_4}{A}$$

$$D \frac{C - B\alpha_4}{A} + E\alpha_4 = F$$

$$\frac{DC}{A} - \frac{DB\alpha_4}{A} + E\alpha_4 = F \quad \alpha_4 \left( E - \frac{DB}{A} \right) = F - \frac{DC}{A}$$

$$\alpha_4 = \frac{F - \frac{DC}{A}}{E - \frac{DB}{A}} \quad \alpha_4 = \frac{\frac{FA - DC}{A}}{\frac{EA - DB}{A}} = \frac{FA - DC}{EA - DB}$$

$$\alpha_4 = \frac{AF - CD}{AE - BD}$$

(4.26)

#### 4.10 Aceleración angular de la barra tres

Resolviendo el sistema de ecuaciones (4.25) por sustitución, resulta

$$A\alpha_3 + B\alpha_4 = C$$

$$D\alpha_3 + E\alpha_4 = F$$

$$\alpha_4 = \frac{C - A\alpha_3}{B}$$

$$D\alpha_3 + E\frac{C - A\alpha_3}{B} = F$$

$$D\alpha_3 + \frac{EC}{B} - \frac{EA\alpha_3}{B} = F$$

$$\alpha_3\left(D - \frac{EA}{B}\right) = F - \frac{EC}{B}$$

$$\alpha_3 = \frac{F - \frac{EC}{B}}{D - \frac{EA}{B}} = \frac{\frac{FB - EC}{B}}{\frac{DB - EA}{B}} = \frac{FB - EC}{DB - EA}$$

$$\alpha_3 = \frac{BF - CE}{BD - AE} = -\frac{BF - CE}{AE - BD}$$

$$\alpha_3 = \frac{CE - BF}{AE - BD} \quad (4.27)$$

Donde

$$A = b \sin \theta_3$$

$$B = c \sin \theta_4$$

$$C = -a\omega_2^2 \cos \theta_2 - a\alpha_2 \sin \theta_2 - b\omega_3^2 \cos \theta_3 - c\omega_4^2 \cos \theta_4$$

$$D = -b \cos \theta_3$$

$$E = -c \cos \theta_4$$

$$F = -a\omega_2^2 \sin \theta_2 + a\alpha_2 \cos \theta_2 - b\omega_3^2 \sin \theta_3 - c\omega_4^2 \sin \theta_4 \quad (4.28)$$

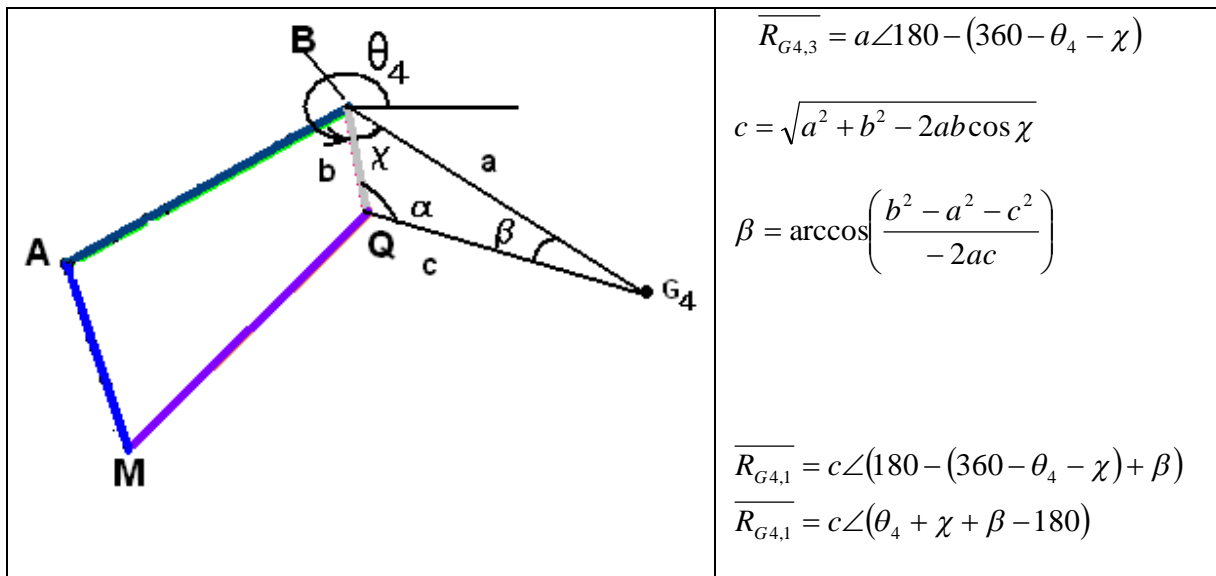
Las ecuaciones (4.27) y (4.26) permiten calcular respectivamente las aceleraciones angulares  $\alpha_3$  y  $\alpha_4$ .

#### 4.11 Vectores de posición de los centros de masa

Observe la figura 4.2, con la ley de senos y cosenos resulta

	$\overline{R_{G2,1}} = b \angle (\theta_2 + \chi + 180)$ $c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \chi}$ $\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 - b^2 - c^2}{-2bc}\right)$ $\overline{R_{G2,3}} = c \angle \theta_2 + \chi + 180 + \alpha$
--	---

	$\overline{R_{G3,2}} = a \angle (180 + \theta_3 + \chi)$ $c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \chi}$ $\beta = \arccos\left(\frac{b^2 - a^2 - c^2}{-2ac}\right)$ $\overline{R_{G3,4}} = c \angle (180 + \theta_3 + \chi + \beta)$
--	---



**Figura 4.2 Notación geométrica para calcular los centros de masa.**

#### 4.12 Análisis cinemático del mecanismo modelo.

Considere un mecanismo con las siguientes barras

Barra	Longitud, cm
Uno	20
Dos	48
Tres	55
Cuatro	20

1. Encontrar velocidades y aceleraciones para la posición abierta ( $\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ$ ) para

$$\omega_2 = 0.2244 \frac{rad}{s}, \alpha_2 = 0. \frac{rad}{s^2}.$$

#### Modelos

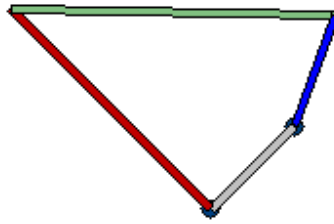
Barra	Longitud, cm	Notación
Uno	20	d
Dos	48	a
Tres	55	b
Cuatro	20	c

Posición abierta para ( $\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ$ )

Así ( $\theta_3 = 358.927414 \text{ } 37^\circ, \theta_4 = 249.796526 \text{ } 26^\circ$ )

El mecanismo tiene la posición mostrada en la figura 4.3.





**Figura 4.3**

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{c \sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_4)}{b \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

$$A = b \sin \theta_3$$

$$B = c \sin \theta_4$$

$$C = -a\omega_2^2 \cos \theta_2 - a\alpha_2 \sin \theta_2 - b\omega_3^2 \cos \theta_3 - c\omega_4^2 \cos \theta_4$$

$$D = -b \cos \theta_3$$

$$E = -c \cos \theta_4$$

$$F = -a\omega_2^2 \sin \theta_2 + a\alpha_2 \cos \theta_2 - b\omega_3^2 \sin \theta_3 - c\omega_4^2 \sin \theta_4$$

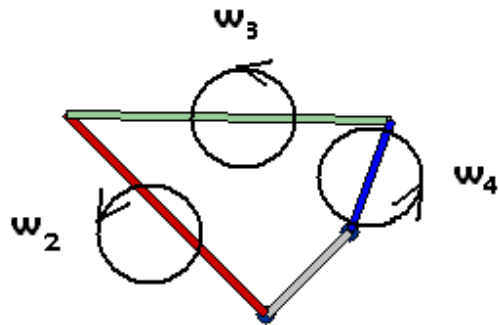
$$\alpha_3 = \frac{CE - BF}{AE - BD}$$

$$\alpha_4 = \frac{AF - CD}{AE - BD}$$

**Solución**

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_4)}{b \sin(\theta_4 - \theta_3)} = \frac{48 * (0.2244)}{55} \frac{\sin(249.79652626 - 135)}{\sin(358.92741437 - 249.79652626)} = 0.18817667269 \frac{rad}{s}$$

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{c \sin(\theta_3 - \theta_4)} = \frac{48 * (0.2244)}{20} \frac{\sin(135 - 249.79652626)}{\sin(249.79652626 - 358.92741437)} = 0.3954646987 \frac{rad}{s}$$



**Figura 4.4. Sentido de giro de las velocidades angulares.**

**Calculo de aceleraciones  $\alpha_3$  y  $\alpha_4$ :**

$$(\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ)$$

$$(\theta_3 = 358.927414 \text{ } 37^\circ, \theta_4 = 249.796526 \text{ } 26^\circ)$$

Notación	Longitud, cm
$d$	20
$a$	48
$b$	55
$c$	20

$$A = b \sin \theta_3 = -1.0295481 \text{ } 4852$$

$$B = c \sin \theta_4 = -18.769441724$$

$$C = -a\omega_2^2 \cos \theta_2 - a\alpha_2 \sin \theta_2 - b\omega_3^2 \cos \theta_3 - c\omega_4^2 \cos \theta_4 = 0.8421012863$$

$$D = -b \cos \theta_3 = -54.990363070$$

$$E = -c \cos \theta_4 = 6.907101949$$

$$F = -a\omega_2^2 \sin \theta_2 + a\alpha_2 \cos \theta_2 - b\omega_3^2 \sin \theta_3 - c\omega_4^2 \sin \theta_4 = 1.2627358656$$

$$\alpha_3 = \frac{CE - BF}{AE - BD} = -0.02840253815$$

$$\alpha_4 = \frac{AF - CD}{AE - BD} = -0.04330760166$$

**Aceleración en componentes  $i,j$  de centros de masa de cada barra.**

$$\omega_2 = 0.2244 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \alpha_2 = 0. \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$(\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ)$$

$$(\theta_3 = 358.927414 \text{ } 37^\circ, \theta_4 = 249.796526 \text{ } 26^\circ)$$

Notación	Longitud, cm
a	48

**Centro masa barra 2:**

$L = 76.5 \text{ cm}$  (centro de masa fuera de la barra y sobre la recta que corta puntos M y A).

$$A_{1i} = -L\omega_2^2 \cos \theta_2 - L\alpha_2 \sin \theta_2 = 2.7239061641$$

$$A_{1j} = -L\omega_2^2 \sin \theta_2 + L\alpha_2 \cos \theta_2 = -2.7239061641$$

$$A_i = A_{G_2} = 3.852185039 \angle 315.0 \text{ cm/s}^2$$

**Centro masa barra 3:**

$$(\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ)$$

$$(\theta_3 = 358.927414 \text{ } 37^\circ, \theta_4 = 249.796526 \text{ } 26^\circ)$$

Notación	Longitud, cm
<i>a</i>	48
<i>b</i>	55

$$\omega_3 = 0.18817667 \cdot 269 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$L = 48$  ( la barra a).

$$A_A i = -L\omega_2^2 \cos \theta_2 - L\alpha_2 \sin \theta_2 = 1.709117593204$$

$$A_A j = -L\omega_2^2 \sin \theta_2 + L\alpha_2 \cos \theta_2 = -1.709117593204$$

$L = 27.5$  ( la mitad de b en este caso).

$$A_{G3/A} i = -L\omega_3^2 \cos \theta_3 - L\alpha_3 \sin \theta_3 = -0.958996139706$$

$$A_{G3/A} j = -L\omega_3^2 \sin \theta_3 + L\alpha_3 \cos \theta_3 = -0.762704555927$$

$$A_{G3} = A_A + A_{A_{G3}} = A_A i + A_A j + A_{A_{G3}} i + A_{A_{G3}} j$$

$$= -L\omega_2^2 \cos \theta_2 - L\alpha_2 \sin \theta_2 - L\omega_2^2 \sin \theta_2 + L\alpha_2 \cos \theta_2$$

$$- L\omega_3^2 \cos \theta_3 - L\alpha_3 \sin \theta_3 - L\omega_3^2 \sin \theta_3 + L\alpha_3 \cos \theta_3 = 0.75012145349 i - 2.471822149131 j$$

$$A_{G3} = 2.5831350974 \angle 286.8814 \text{ cm/s}^2$$

**Centro masa barra 4:**

$$(\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ)$$

$$(\theta_3 = 358.92741437^\circ, \theta_4 = 249.79652626^\circ)$$

Notación	Longitud, cm
<i>c</i>	20

$L = 10$  ( La mitad de c)

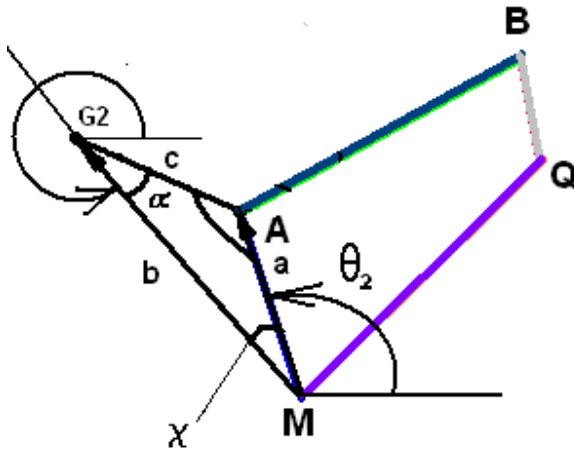
$$A_{G4} i = L\omega_4^2 \cos \theta_4 + L\alpha_4 \sin \theta_4 = -0.1336791236$$

$$A_{G4} j = L\omega_4^2 \sin \theta_4 - L\alpha_4 \cos \theta_4 = -1.6172633525$$

$$A_{G4} = 1.6227787463 \angle 85.2748095 \text{ cm/s}^2$$

## Vectores de posición de los centros de masa

Centro de masa de barra 2



$$\overline{R_{G2,1}} = b \angle (\theta_2 + \chi + 180)$$

$$\overline{R_{G2,1}} = 76.5 \angle (135 + 0 + 180)$$

$$\overline{R_{G2,1}} = 76.5 \angle 315$$

$$\overline{R_{G2,1}} = 54.09366876i - 54.09366876j$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \chi}$$

$$c = \sqrt{48^2 + 76.5^2 - 2(48)(76.5) \cos 0}$$

$$c = 28.5$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 - b^2 - c^2}{-2bc}\right)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{48^2 - 76.5^2 - 28.5^2}{-2(76.5)(28.5)}\right)$$

$$\alpha = 0$$

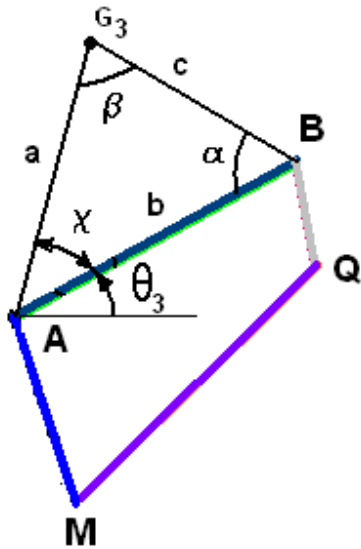
$$\overline{R_{G2,3}} = c \angle \theta_2 + \chi + 180 + \alpha$$

$$\overline{R_{G2,3}} = 28.5 \angle 135 + 0 + 180 + 0$$

$$\overline{R_{G2,3}} = 28.5 \angle 315$$

$$\overline{R_{G2,3}} = 20.15254326i - 20.15254326j$$

Centro de masa de barra 3



$$\overline{R_{G3,2}} = a \angle (180 + \theta_3 + \chi)$$

$$\overline{R_{G3,2}} = 27.5 \angle (180 + 358.9274143 + 0)$$

$$\overline{R_{G3,2}} = 27.5 \angle 538.927414$$

$$\overline{R_{G3,2}} = 27.5 \angle 178.927414$$

$$\overline{R_{G3,2}} = -27.49518153 + 0.5147742555j$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \chi}$$

$$c = \sqrt{27.5^2 + 55^2 - 2(27.5)(55) \cos 0}$$

$$c = 27.5$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{b^2 - a^2 - c^2}{-2ac}\right)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{55^2 - 27.5^2 - 27.5^2}{-2(27.5)(27.5)}\right) = 180$$

$$\overline{R_{G3,4}} = c \angle (180 + \theta_3 + \chi + \beta)$$

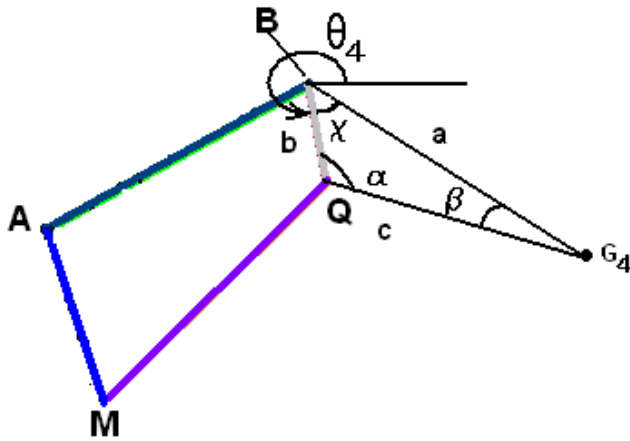
$$\overline{R_{G3,4}} = 27.5 \angle (180 + 358.927414 + 0 + 180)$$

$$\overline{R_{G3,4}} = 27.5 \angle 718.927414$$

$$\overline{R_{G3,4}} = 27.5 \angle 358.927414$$

$$\overline{R_{G3,4}} = 27.49518153i - 0.5147742555j$$

Centro de masa de barra 4



$$\overline{R_{G4,3}} = a \angle 180 - (360 - \theta_4 - \chi)$$

$$\overline{R_{G4,3}} = 10 \angle 180 - (360 - 249.79652626 - 0)$$

$$\overline{R_{G4,3}} = 10 \angle 69.79652626$$

$$\overline{R_{G4,3}} = 3.453550975i + 9.384720862j$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \chi}$$

$$c = \sqrt{10^2 + 20^2 - 2(10)(20) \cos 0}$$

$$c = 10$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{b^2 - a^2 - c^2}{-2ac}\right)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{20^2 - 10^2 - 10^2}{-2(10)(10)}\right) = 180$$

$$\overline{R_{G4,1}} = c \angle (\theta_4 + \chi + \beta - 180)$$

$$\overline{R_{G4,1}} = 10 \angle (249.79652626 + 0 + 180 - 180)$$

$$\overline{R_{G4,1}} = 10 \angle 249.79652626$$

$$\overline{R_{G4,1}} = -3.453550975i - 9.384720862j$$

## CAPITULO 5.

### ANÁLISIS DINAMICO

A fin de mostrar las fuerzas y momentos que actúan en el mecanismo de cuatro barras, es necesario dibujar el diagrama de cuerpo libre de cada barra. Este diagrama muestra como actúan las fuerzas y momentos de cada eslabón. Pueden existir fuerzas y momentos aplicados desde fuera del mecanismo, así como en la interconexión donde cada una de las barras se une o entran en contacto con piezas adyacentes en el conjunto.

Además de las fuerzas y los pares de fuerzas conocidas y desconocidas que aparecen en el diagrama de cuerpo libre, se definen las dimensiones de las barras, y se usa el ángulo de cada barra, de acuerdo con un sistema de coordenadas localizado en el centro de gravedad de cada elemento. Para un análisis de cargas dinámicas, o *análisis dinámico* es necesario conocer los resultados de un análisis cinemático previo.

#### 5.1. Determinación de las cargas

Este procedimiento para determinar las fuerza y momentos desconocidos presentes en cada barra, supone que estas magnitudes son de signo positivo, sin importar lo que pudiera indicar la propia intuición o la inspección del diagrama de cuerpo libre en lo que se refiere sus probables direcciones. Sin embargo, para definir sus direcciones a todas las componentes de las fuerzas se les asignan sus signos correspondientes.

#### 5.2. Análisis en tres dimensiones.

El análisis de cargas dinámicas se puede abordar con el método newtoniano, que desde luego se basa en las leyes de Newton. Estas son:

**Primera ley de Newton.** Un cuerpo se mantiene en reposo o en movimiento a una velocidad constante y en línea recta a menos que un fuerza externa actúe sobre el.

**Segunda ley de Newton.** La razón de cambio en el tiempo del momento de un cuerpo es igual a la magnitud de la fuerza aplicada y actúa en la dirección de tal fuerza. Esta ley se escribe e dos maneras, una para fuerzas lineales y otra para momentos de torsión.

$$\Sigma \bar{F} = m\bar{a} \qquad \Sigma \bar{M}_G = \dot{H}_G$$



donde  $F = \text{fuerza}$ ,  $m = \text{masa}$ ,  $a = \text{aceleración}$ ,  $M_G = \text{momento}$  en razón con el centro de gravedad y  $\dot{H}_G = \text{razón de cambio de los momentos}$ , es decir, el momento angular en razón del centro de gravedad. Los lados izquierdos de estas ecuaciones respectivamente suman todas las fuerzas y momentos que actúan sobre cada barra, ya sea proveniente de fuerzas conocidas aplicadas o de interconexiones con cuerpos adyacentes del sistema.

En un caso tridimensional de cuerpos rígidos interconectados esta ecuación vectorial para fuerzas lineales se escribe como tres ecuaciones escalares, que comprenden componentes ortogonales tomadas sobre los ejes locales  $x, y, z$ , con su origen en el centro de gravedad del cuerpo:

$$\Sigma \bar{F}_x = m\bar{a}_x \quad \Sigma \bar{F}_y = m\bar{a}_y \quad \Sigma \bar{F}_z = m\bar{a}_z$$

Si se escogen los ejes  $x, y, z$ , de manera que coincidan con los principales ejes de inercia del cuerpo, el momento angular se define de la forma

$$\dot{H}_G = I_x \omega_x \hat{i} + I_y \omega_y \hat{j} + I_z \omega_z \hat{k}$$

donde  $I_x, I_y, I_z$ , son los principales momentos de inercia centroidales de masa ( segundos momentos de masa) en razón de los ejes principales. Las tres ecuaciones escalares que se conocen como las ecuaciones de Euler:

$$\Sigma \bar{M}_x = I_x \alpha_x - (I_y - I_z) \omega_y \omega_z$$

$$\Sigma \bar{M}_y = I_y \alpha_y - (I_z - I_x) \omega_z \omega_x$$

$$\Sigma \bar{M}_z = I_z \alpha_z - (I_x - I_y) \omega_x \omega_y$$

establecen una relación con los momentos, los momentos de inercia, las aceleraciones y velocidades angulares en las tres direcciones ortogonales, en donde  $M_x, M_y, M_z$  son los momentos en relación con estos ejes y  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ , son las aceleraciones angulares en relación con los ejes. Esto supone que los términos de inercia se conservan constantes a lo largo del tiempo, es decir, la distribución de las masas en relación con los ejes es constante.

**Tercera ley de Newton.** Cuando dos partículas interactúan, en su punto de contacto habrá un par de fuerzas de reacciones iguales y opuestas. Este par de fuerzas tendrá la misma magnitud y actuará a lo largo de la misma línea de dirección, pero tendrá sentido opuesto.

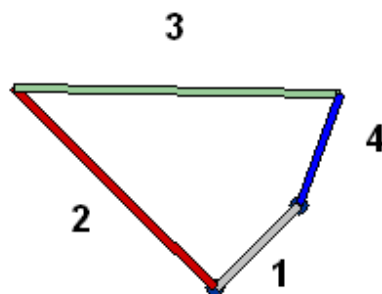
Es necesaria la tercera ley de Newton para completar el sistema de ecuaciones resultante del mecanismo de cuatro barras. Además se escribirían tantas ecuaciones de fuerzas de reacción con la tercera ley de Newton como sean necesarias, y el conjunto de ecuaciones resultante se resolverá simultáneamente si es posible, a fin de encontrar todas las fuerzas y momentos. En un sistema tridimensional el número de ecuaciones de la segunda ley será de hasta seis veces el número de piezas individuales (en adición a las ecuaciones de reacción), lo que significa que incluso, que un mecanismo de cuatro barras dará como resultado un juego grande de ecuaciones simultaneas, para resolver este sistema de ecuaciones será necesario un análisis por computadora para facilitar la tarea

### 5.3 Análisis dinámico de un mecanismo de cuatro barras.

Es posible estudiar el mecanismo de cuatro barras en dos dimensiones, ya que todos los elementos o barras, se mueven en planos paralelos. La presencia de aceleraciones significativas sobre elementos en movimiento dentro de un sistema requiere que se efectúe un análisis dinámico.

A continuación se procederá a determinar las fuerzas y momentos desconocidos en un mecanismo de cuatro barras bajo condiciones de carga.

**Datos.** Se conocen los resultados de un análisis cinemático previo, además de las fuerzas y momentos externos que actúan sobre el mecanismo, plantear la solución general para un caso indefinido de fuerzas y momentos externos actuando en las barras dos, tres y cuatro, figura 5.1.



**Figura. 5.1** Se muestran las barras del mecanismo. Cada Barra es un miembro de dos fuerzas que se puede analizar con las leyes mecánicas de Newton.

#### 5.4 Sistema de ecuaciones para la barra dos

$$\Sigma F_x = F_{12x} + F_{32x} + \sum_1^n F_{i2x} = m_2 A_{G2x}$$

$$\text{Si } k_{2,x} = m_2 A_{G2x} - \sum_1^n F_{i2x}$$

$$\Sigma F_x = F_{12x} + F_{32x} = k_{2,x} \quad (5.1)$$

Variables:  $F_{12x}, F_{32x} \dots$

Numero de variables: 2

Numero de ecuaciones necesarias: 2

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.1).

Numero de ecuaciones faltantes:  $2 - 1 = 1$

$$\Sigma F_y = F_{12y} + F_{32y} + \sum_1^n F_{i2y} = m_2 A_{G2y}$$

$$\text{Si } k_{2,y} = m_2 A_{G2y} - \sum_1^n F_{i2y}$$

$$\Sigma F_y = F_{12y} + F_{32y} = k_{2,y} \quad (5.2).$$

Variables:  $F_{12y}, F_{32y} \dots$

Numero de variables: 2

Numero de ecuaciones necesarias: 2

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.2).

Numero de ecuaciones faltantes:  $2 - 1 = 1$

$$\Sigma M_z = T_2 + R_{12} \times F_{12} + R_{32} \times F_{32} + \sum_1^n (R_{i2} \times F_{i2}) + \sum_1^n M_{2,i} = I_{G2} \alpha_2$$

$$\Sigma M_z = T_2 + (R_{12x} F_{12y} - R_{12y} F_{12x}) + (R_{32x} F_{32y} - R_{32y} F_{32x}) + \sum_1^n (R_{i2x} F_{i2y} - R_{i2y} F_{i2x}) + \sum_1^n M_{2,i} = I_{G2} \alpha_2$$

Ordenando

$$\Sigma M_z = T_2 - R_{12y} F_{12x} + R_{12x} F_{12y} - R_{32y} F_{32x} + R_{32x} F_{32y} + \sum_1^n (R_{i2x} F_{i2y} - R_{i2y} F_{i2x}) + \sum_1^n M_{2,i} = I_{G2} \alpha_2$$

Introduciendo contantes

$$k_{2,1} = -R_{12y}$$

$$k_{2,2} = R_{12x}$$

$$k_{2,3} = -R_{32y}$$

$$k_{2,4} = R_{32x}$$

$$k_{2,5} = I_{G2} \alpha_2 - \sum_1^n (R_{i2x} F_{i2y} - R_{i2y} F_{i2x}) - \sum_1^n M_{2,i}$$

resulta

$$\Sigma M_z = T_2 + k_{2,1} F_{12x} + k_{2,2} F_{12y} + k_{2,3} F_{32x} + k_{2,4} F_{32y} = k_{2,5}$$

(5.3).

Variables:  $T_2$ .

Numero de variables: 1

Numero de ecuaciones necesarias: 1

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.3).

Numero de ecuaciones faltantes:  $1 - 1 = 0$

Balance subtotal 1

Subtotal ecuaciones necesarias:  $2 + 2 + 1 = 5$

Subtotal ecuaciones disponibles:  $1 + 1 + 1 = 3$

Subtotal ecuaciones faltantes:  $1 + 1 + 0 = 2$

### 5.5 Sistema de ecuaciones para la barra tres

$$\Sigma F_x = F_{23x} + F_{43x} + \sum_1^n F_{i3x} = m_3 A_{G3x}$$

$$\text{Si } k_{3,x} = m_3 A_{G3x} - \sum_1^n F_{i3x}$$

$$\Sigma F_x = F_{23x} + F_{43x} = k_{3,x} \quad (5.4)$$

Variables:  $F_{23x}, F_{43x}$ .

Numero de variables: 2

Numero de ecuaciones necesarias: 2

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.4).

Numero de ecuaciones faltantes:  $2 - 1 = 1$

$$\Sigma F_y = F_{23y} + F_{43y} + \sum_1^n F_{i3y} = m_3 A_{G3y}$$

$$\text{Si } k_{3,y} = m_3 A_{G3y} - \sum_1^n F_{i3y}$$

$$\Sigma F_y = F_{23y} + F_{43y} = k_{3,y} \quad (5.5)$$

Variables:  $F_{23y}, F_{43y}$ .

Numero de variables: 2

Numero de ecuaciones necesarias: 2

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.5).

Numero de ecuaciones faltantes:  $2 - 1 = 1$

$$\Sigma M_z = R_{23} \times F_{23} + R_{43} \times F_{43} + \sum_1^n (R_{i3} \times F_{i3}) + \sum_1^n M_{3,i} = I_{G3} \alpha_3$$

$$\Sigma M_z = (R_{23x} F_{23y} - R_{23y} F_{23x}) + (R_{43x} F_{43y} - R_{43y} F_{43x}) + \sum_1^n (R_{i3x} F_{i3y} - R_{i3y} F_{i3x}) + \sum_1^n M_{3,i} = I_{G3} \alpha_3$$

$$\Sigma M_z = -R_{23y} F_{23x} + R_{23x} F_{23y} - R_{43y} F_{43x} + R_{43x} F_{43y} + \sum_1^n (R_{i3x} F_{i3y} - R_{i3y} F_{i3x}) + \sum_1^n M_{3,i} = I_{G3} \alpha_3$$

Constantes:

$$k_{3,1} = -R_{23y}$$

$$k_{3,2} = R_{23x}$$

$$k_{3,3} = -R_{43y}$$

$$k_{3,4} = R_{43x}$$

$$k_{3,5} = I_{G3} \alpha_3 - \sum_1^n (R_{i3x} F_{i3y} - R_{i3y} F_{i3x}) - \sum_1^n M_{3,i}$$

resulta

$$\Sigma M_z = k_{3,1} F_{23x} + k_{3,2} F_{23y} + k_{3,3} F_{43x} + k_{3,4} F_{43y} = k_{3,5} \quad (5.6).$$

Variables: ninguna

Numero de variables: 0

Numero de ecuaciones necesarias: 0

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.6).

Numero de ecuaciones faltantes:  $0 - 1 = -1$

Balance subtotal 2

Subtotal ecuaciones necesarias:  $2 + 2 + 0 = 4$

Subtotal ecuaciones disponibles:  $1 + 1 + 1 = 3$

Subtotal ecuaciones faltantes:  $1 + 1 + (-1) = 1$

### 5.6 Sistema de ecuaciones para la barra cuatro

$$\Sigma F_x = F_{14x} + F_{34x} + \sum_1^n F_{i4x} = m_4 A_{G4x}$$

$$\text{Si } k_{4,x} = m_4 A_{G4x} - \sum_1^n F_{i4x}$$

$$\Sigma F_x = F_{14x} + F_{34x} = k_{4,x} \quad (5.7)$$

Variables:  $F_{14x}, F_{34x}$ .

Numero de variables: 2

Numero de ecuaciones necesarias: 2

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.7).

Numero de ecuaciones faltantes:  $2 - 1 = 1$

$$\Sigma F_y = F_{14y} + F_{34y} + \sum_1^n F_{i4y} = m_4 A_{G4y}$$

$$\text{Si } k_{4,y} = m_4 A_{G4y} - \sum_1^n F_{i4y}$$

$$\Sigma F_y = F_{14y} + F_{34y} = k_{4,y} \quad (5.8)$$

Variables:  $F_{14y}, F_{34y}$ .

Numero de variables: 2

Numero de ecuaciones necesarias: 2

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.8).

Numero de ecuaciones faltantes:  $2 - 1 = 1$

$$\Sigma M_z = R_{14} \times F_{14} + R_{34} \times F_{34} + \sum_1^n (R_{i4} \times F_{i4}) = I_{G4} \alpha_4$$

$$\Sigma M_z = (R_{14x} F_{14y} - R_{14y} F_{14x}) + (R_{34x} F_{34y} - R_{34y} F_{34x}) + \sum_1^n (R_{i4x} F_{i4y} - R_{i4y} F_{i4x}) + \sum_1^n M_{4,i} = I_{G4} \alpha_4$$

$$\Sigma M_z = -R_{14y} F_{14x} + R_{14x} F_{14y} - R_{34y} F_{34x} + R_{34x} F_{34y} + \sum_1^n (R_{i4x} F_{i4y} - R_{i4y} F_{i4x}) + \sum_1^n M_{4,i} = I_{G4} \alpha_4$$

Constantes:

$$k_{4,1} = -R_{14y}$$

$$k_{4,2} = R_{14x}$$

$$k_{4,3} = -R_{34y}$$

$$k_{4,4} = R_{34x}$$

$$k_{4,5} = I_{G4} \alpha_4 - \sum_1^n (R_{i4x} F_{i4y} - R_{i4y} F_{i4x}) - \sum_1^n M_{4,i}$$

resulta

$$\Sigma M_z = k_{4,1} F_{14x} + k_{4,2} F_{14y} + k_{4,3} F_{34x} + k_{4,4} F_{34y} = k_{4,5}$$

(5.9)

Variables: ninguna.

Numero de variables: 0

Numero de ecuaciones necesarias: 0

Numero de ecuaciones disponibles: 1

La ecuación (5.9).

Numero de ecuaciones faltantes:  $0 - 1 = -1$



Balance subtotal 3

Subtotal ecuaciones necesarias:  $2 + 2 + 0 = 4$

Subtotal ecuaciones disponibles:  $1 + 1 + 1 = 3$

Subtotal ecuaciones faltantes:  $1 + 1 + (-1) = 1$

Ecuaciones de la tercera ley de Newton

$$F_{32x} = -F_{23x} \quad (5.10)$$

$$F_{32y} = -F_{23y} \quad (5.11)$$

$$F_{34x} = -F_{43x} \quad (5.12)$$

$$F_{34y} = -F_{43y} \quad (5.13)$$

Variables: ninguna

Numero de variables: 0

Numero de ecuaciones necesarias: 0

Numero de ecuaciones disponibles: 4

La ecuación (5.10)

La ecuación (5.11)

La ecuación (5.12)

La ecuación (5.13)

Numero de ecuaciones faltantes:  $0 - 4 = -4$

Balance subtotal 4

Subtotal ecuaciones necesarias: 0

Subtotal ecuaciones disponibles: 4

Subtotal ecuaciones faltantes: -4

Balance total

Balance subtotal 1

Subtotal ecuaciones necesarias:  $2 + 2 + 1 = 5$

Subtotal ecuaciones disponibles:  $1 + 1 + 1 = 3$

Subtotal ecuaciones faltantes:  $1 + 1 + 0 = 2$

Balance subtotal 2

Subtotal ecuaciones necesarias:  $2 + 2 + 0 = 4$

Subtotal ecuaciones disponibles:  $1 + 1 + 1 = 3$

Subtotal ecuaciones faltantes:  $1 + 1 + (-1) = 1$

Balance subtotal 3

Subtotal ecuaciones necesarias:  $2 + 2 = 4$

Subtotal ecuaciones disponibles:  $1 + 1 + 1 = 3$

Subtotal ecuaciones faltantes:  $1 + 1 + (-1) = 1$

Balance subtotal 4

Subtotal ecuaciones necesarias: 0

Subtotal ecuaciones disponibles: 4

Subtotal ecuaciones faltantes: -4

Ecuaciones necesarias =  $5 + 4 + 4 + 0 = 13$

Ecuaciones disponibles =  $3 + 3 + 3 + 4 = 13$

Ecuaciones faltantes =  $2 + 1 + 1 + (-4) = 0$ .

Como las ecuaciones necesarias es igual al número de ecuaciones disponibles, entonces el sistema de ecuaciones de 13 variables puede resolverse.

Variables:  $F_{12x}, F_{32x}$ .

$F_{12y}, F_{32y}$ .

$T_2$ .

$F_{23x}, F_{43x}$ .

$F_{23y}, F_{43y}$ .

$F_{14x}, F_{34x}$ .

$F_{14y}, F_{34y}$ .

En caso que el momento de entrada impulsor no se aplique a la barra 2 si no a la 3 o la 4, se tiene que aplicar  $T_3$  o  $T_4$  a la sumatoria de momentos en la barra en cuestión.

Se ocupara la reducción de Gauss-Jordan la matriz a resolver es la siguiente con la importante observación de que se debe colocar 1 en la columna 13 en alguna de las filas 3,6 o 9. Este 1 representa la variable de momento impulsor, figura 5.2.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{2,x} \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{2,y} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & k_{2,3} & k_{2,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{2,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{3,x} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{3,y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{3,1} & k_{3,2} & k_{3,3} & k_{3,4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{3,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & k_{4,x} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & k_{4,y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{4,1} & k_{4,2} & k_{4,3} & k_{4,4} & 0 & k_{4,5} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

**Figura 5.2 Matriz que contiene el sistema de ecuaciones de un análisis dinámico de un mecanismo de cuatro barras.**

### 5.7 Análisis dinámico del mecanismo modelo.

Considere un mecanismo con las siguientes barras

Barra	Longitud, cm
Uno	20
Dos	48
Tres	55
Cuatro	20

1. Encontrar el valor de las 13 variables para los análisis geométrico y cinemático anteriores si se tienen las siguientes fuerzas y/o momentos aplicados, el momento de impulso se aplica en la barra 4.

#### Barra 2

Fuerza 1. Fuerza externa aplicada.

$5 \text{ cm} < 265^\circ$  Este es el vector de posición respecto al centro de masa.

$10 \text{ N} < 0^\circ$

$M_2 = -15 \text{ N-cm}$  Por fricción.

#### Barra 3

$M_3 = -15 \text{ N-cm}$  Por fricción.

#### Barra 4

En esta barra se aplica el momento impulsor.

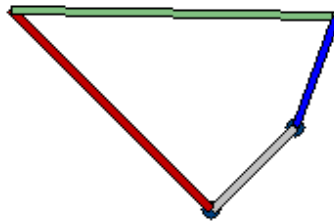
$M_4 = -15 \text{ N-m}$  Por fricción.

**Solución.**

Barra	Longitud, cm	Notación
Uno	20	d
Dos	48	a
Tres	55	b
Cuatro	20	c

**Modelos**

Posición abierta para  $(\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ)$ , figura 5.3.



**Figura 5.3 Posición para el análisis dinámico**

Así  $(\theta_3 = 358.92741437^\circ, \theta_4 = 249.79652626^\circ)$

**Solución**

**Aceleración en componentes i,j de centros de masa de cada barra.**

$$\omega_2 = 0.2244 \frac{rad}{s}, \alpha_2 = 0. \frac{rad}{s^2}$$

$$(\theta_1 = 225^\circ, \theta_2 = 135^\circ)$$

$$(\theta_3 = 358.92741437^\circ, \theta_4 = 249.79652626^\circ)$$

### Centro masa barra 2:

$L = 76.5 \text{ cm}$  ( centro de masa fuera de la barra y sobre la recta que corta puntos M y A).

$$A_i = -L\omega_2^2 \cos\theta_2 - L\alpha_2 \sin\theta_2 = 2.7239061641$$

$$A_j = -L\omega_2^2 \sin\theta_2 + L\alpha_2 \cos\theta_2 = -2.7239061641$$

$$A_i = A_{G2} = 3.852185039 \angle 315.0 \text{ cm/s}^2$$

Si  $L = 27.5$  ( la mitad de b en este caso).

$$A_{G3} = A_A + A_{A-G3} = A_A i + A_B j + A_{A-G3} i + A_{A-G3} j$$

$$= -L\omega_2^2 \cos\theta_2 - L\alpha_2 \sin\theta_2 - L\omega_2^2 \sin\theta_2 + L\alpha_2 \cos\theta_2$$

$$- L\omega_3^2 \cos\theta_3 - L\alpha_3 \sin\theta_3 - L\omega_3^2 \sin\theta_3 + L\alpha_3 \cos\theta_3 = 0.75012145349 i - 2.471822149131 j$$

$$A_{G3} = 2.5831350974 \angle 286.8814 \text{ cm/s}^2$$

$L = 10$  ( La mitad de c)

$$A_{G4} i = L\omega_4^2 \cos\theta_4 + L\alpha_4 \sin\theta_4 = -0.1336791236$$

$$A_{G4} j = L\omega_4^2 \sin\theta_4 - L\alpha_4 \cos\theta_4 = -1.6172633525$$

$$A_{G4} = 1.6227787463 \angle 85.2748095 \text{ cm/s}^2$$

### Modelos para análisis dinámico.

#### Pieza 2.

$$k_{2,x} = m_2 A_{G2x} - \sum_1^n F_{i2x}$$

$$\Sigma F_x = F_{12x} + F_{32x} = k_{2,x} \quad (5.1)$$

$$k_{2,y} = m_2 A_{G2y} - \sum_1^n F_{i2y}$$

$$\Sigma F_y = F_{12y} + F_{32y} = k_{2,y} \quad (5.2).$$

$$k_{2,1} = -R_{12y}$$

$$k_{2,2} = R_{12x}$$

$$k_{2,3} = -R_{32y}$$

$$k_{2,4} = R_{32x}$$

$$k_{2,5} = I_{G2}\alpha_2 - \sum_1^n (R_{i2x}F_{i2y} - R_{i2y}F_{i2x}) - \sum_1^n M_{2,i}$$

$$\Sigma M_z = k_{2,1}F_{12x} + k_{2,2}F_{12y} + k_{2,3}F_{32x} + k_{2,4}F_{32y} = k_{2,5} \quad \text{No es aplicado en esta barra el momento impulsor.}$$

$$(5.3).$$

### Pieza 3.

$$k_{3,x} = m_3 A_{G3x} - \sum_1^n F_{i3x}$$

$$\Sigma F_x = F_{23x} + F_{43x} = k_{3,x} \quad (5.4)$$

$$k_{3,y} = m_3 A_{G3y} - \sum_1^n F_{i3y}$$

$$\Sigma F_y = F_{23y} + F_{43y} = k_{3,y} \quad (5.5)$$

$$k_{3,1} = -R_{23y}$$

$$k_{3,2} = R_{23x}$$

$$k_{3,3} = -R_{43y}$$

$$k_{3,4} = R_{43x}$$

$$k_{3,5} = I_{G3}\alpha_3 - \sum_1^n (R_{i3x}F_{i3y} - R_{i3y}F_{i3x}) - \sum_1^n M_{3,i}$$

$$\Sigma M_z = k_{3,1}F_{23x} + k_{3,2}F_{23y} + k_{3,3}F_{43x} + k_{3,4}F_{43y} = k_{3,5} \quad (5.6).$$

No es aplicado en esta barra el momento impulsor.

#### Pieza 4.

$$k_{4,x} = m_4 A_{G4x} - \sum_1^n F_{i4x}$$
$$\Sigma F_x = F_{14x} + F_{34x} = k_{4,x} \quad (5.7)$$

$$k_{4,y} = m_4 A_{G4y} - \sum_1^n F_{i4y}$$
$$\Sigma F_y = F_{14y} + F_{34y} = k_{4,y} \quad (5.8)$$

$$k_{4,1} = -R_{14y}$$

$$k_{4,2} = R_{14x}$$

$$k_{4,3} = -R_{34y}$$

$$k_{4,4} = R_{34x}$$

$$k_{4,5} = I_{G4} \alpha_4 - \sum_1^n (R_{i4x} F_{i4y} - R_{i4y} F_{i4x}) - \sum_1^n M_{4,i}$$

$$\Sigma M_z = T_4 + k_{4,1} F_{14x} + k_{4,2} F_{14y} + k_{4,3} F_{34x} + k_{4,4} F_{34y} = k_{4,5} \quad (5.9)$$

Sí es aplicado en esta barra el momento impulsor.

#### De la tercera ley de Newton:

$$F_{32x} = -F_{23x} \quad (5.10)$$

$$F_{32y} = -F_{23y} \quad (5.11)$$

$$F_{34x} = -F_{43x} \quad (5.12)$$

$$F_{34y} = -F_{43y} \quad (5.13)$$



## Solución

### Pieza 2.

$L = 76.5 \text{ cm}$  (centro de masa fuera de la barra y sobre la recta que corta puntos M y A).

$$A_i = 2.7239061641$$

$$A_j = -2.7239061641$$

$$A_i = A_{G2} = 3.852185039 \angle 315.0 \text{ cm/s}^2$$

Fuerza 1. Fuerza externa aplicada.

$5 \text{ cm} < 265^\circ$  Este es el vector de posición respecto al centro de masa.

$$-0.4357787137 \mathbf{i} - 4.98097349 \mathbf{j} \text{ (cm)}$$

$$10 \text{ N} < 0^\circ$$

$$10 \mathbf{i} + 0 \mathbf{j} \text{ (N)}$$

El momento de esta fuerza aplicada respecto al centro de masa G2 es

$$(-0.4357787137 \mathbf{i} - 4.98097349 \mathbf{j}) \times (10 \mathbf{i} + 0 \mathbf{j})$$

$$= (-0.4357787137 \times 0) - (-4.98097349 \times 10) = 49.8097349 \mathbf{k} \text{ (N-cm)}$$

$$M_2 = -15 \text{ N-cm} \text{ Por fricción.}$$

$$m_2 = 57 \text{ kg}$$

$$I_{G2} = 111192.75 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$\alpha_2 = 0 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$k_{2,x} = m_2 A_{G2x} - \sum_1^n F_{i2x}$$

$$k_{2,x} = 57 * 2.723906 - (10) = 155.262642 - 10 = 145.262642$$

$$\Sigma F_x = F_{12x} + F_{32x} = k_{2,x} \quad (5.1)$$

$$\Sigma F_x = F_{12x} + F_{32x} = 145.262642$$

$$k_{2,y} = m_2 A_{G2y} - \sum_1^n F_{i2y}$$

$$k_{2,y} = 57 * -2.723906 - 0 = -155.262642$$

$$\Sigma F_y = F_{12y} + F_{32y} = k_{2,y}$$

$$\Sigma F_y = F_{12y} + F_{32y} = -155.262642 \quad (5.2)$$

$$\overline{R_{G2,1}} = 76.5 \angle 315 \quad (\text{cm})$$

$$\overline{R_{G2,1}} = \overline{R_{12}} = 54.09366876i - 54.09366876j$$

$$\overline{R_{G2,3}} = 28.5 \angle 315 \quad (\text{cm})$$

$$\overline{R_{G2,3}} = \overline{R_{32}} = 20.15254326i - 20.15254326j$$

$$k_{2,1} = -R_{12y} = 54.09366876$$

$$k_{2,2} = R_{12x} = 54.09366876$$

$$k_{2,3} = -R_{32y} = 20.15254326$$

$$k_{2,4} = R_{32x} = 20.15254326$$

$$k_{2,5} = I_{G2} \alpha_2 - \sum_1^n (R_{i2x} F_{i2y} - R_{i2y} F_{i2x}) - \sum_1^n M_{2,i}$$

$$k_{2,5} = 111192.75 * 0 - (49.8097349) - (-15) = -34.8097349$$

$$\Sigma M_z = k_{2,1} F_{12x} + k_{2,2} F_{12y} + k_{2,3} F_{32x} + k_{2,4} F_{32y} = k_{2,5}$$

$$54.09366876 F_{12x} + 54.09366876 F_{12y} + 20.15254326 F_{32x} + 20.15254326 F_{32y} = -34.8097349$$

$$(5.3).$$

### Pieza 3

$$m_3 = 0.544 \text{ kg.}$$

$$A_{G3} = A_A + A_{A_{G3}} = 0.75012145349 \text{ i} - 2.471822149131 \text{ j}$$

$$I_{G3} = 0.2924725333$$

$$k_{3,x} = m_3 A_{G3x} - \sum_1^n F_{i3x}$$

$$k_{3,x} = 0.544(0.75012145349) - 0 = 0.40806607$$

$$\Sigma F_x = F_{23x} + F_{43x} = k_{3,x} \quad (5.4)$$

$$\Sigma F_x = F_{23x} + F_{43x} = 0.40806607$$

$$k_{3,y} = m_3 A_{G3y} - \sum_1^n F_{i3y}$$

$$k_{3,y} = 0.544(-2.471822149131) - 0 = -1.344671249$$

$$\Sigma F_y = F_{23y} + F_{43y} = k_{3,y} \quad (5.5)$$

$$\Sigma F_y = F_{23y} + F_{43y} = -1.344671249$$

$$\overline{R_{G3,2}} = 27.5 \angle 178.927414$$

$$\overline{R_{G3,2}} = \overline{R_{23}} = -27.49518153 + 0.5147742555j$$

$$\overline{R_{G3,4}} = 27.5 \angle 358.927414$$

$$\overline{R_{G3,4}} = \overline{R_{43}} = 27.49518153i - 0.5147742555j$$

$$I_{G3} = 0.2924725333$$

$$\alpha_3 = -0.02840253815 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$M_3 = -15$$

$$k_{3,1} = -R_{23y} = -0.5147742555$$

$$k_{3,2} = R_{23x} = -27.49518153$$

$$k_{3,3} = -R_{43y} = 0.5147742555$$

$$k_{3,4} = R_{43x} = 27.49518153$$

$$k_{3,5} = I_{G3}\alpha_3 - \sum_1^n (R_{i3x}F_{i3y} - R_{i3y}F_{i3x}) - \sum_1^n M_{3,i}$$

$$k_{3,5} = 0.2924725333(-0.02840253815) - (0) - (-15) = 15.00830696$$

$$\Sigma M_z = k_{3,1}F_{23x} + k_{3,2}F_{23y} + k_{3,3}F_{43x} + k_{3,4}F_{43y} = k_{3,5}$$

$$-0.5147740779F_{23x} - 27.4951854 F_{23y} + 0.5147740779)F_{43x} + 27.49518154 F_{43y} = 15.00830696$$

(5.6)

#### Pieza 4

$$m_4 = 0.2 \text{ kg}$$

$$I_{G4} = 0.1075266667$$

$$A_{G4i} = -0.1336791236$$

$$A_{G4j} = -1.6172633525$$

$$k_{4,x} = m_4 A_{G4x} - \sum_1^n F_{i4x}$$

$$k_{4,x} = 0.2(-0.1336791236) - 0 = -0.02673582472$$

$$\Sigma F_x = F_{14x} + F_{34x} = k_{4,x} \quad (5.7)$$

$$\Sigma F_x = F_{14x} + F_{34x} = -0.02673582472$$

$$k_{4,y} = m_4 A_{G4y} - \sum_1^n F_{i4y}$$

$$k_{4,y} = 0.2(-1.6172633525) - 0 = -0.3234526705$$

$$\Sigma F_y = F_{14y} + F_{34y} = k_{4,y}$$

$$\Sigma F_y = F_{14y} + F_{34y} = -0.3234526705 \quad (5.8)$$

$$\overline{R_{G4,1}} = 10 \angle 249.79652626$$

$$\overline{R_{G4,1}} = \overline{R_{14}} = -3.453550975i - 9.384720862j$$

$$\overline{R_{G4,3}} = 10 \angle 69.79652626$$

$$\overline{R_{G4,3}} = \overline{R_{34}} = 3.453550975i + 9.384720862j$$

$$I_{G4} = 0.1075266667$$

$$\alpha_4 = -0.04330760166$$

$$M_4 = -15$$

$$k_{4,1} = -R_{14y} = 9.384720863$$

$$k_{4,2} = R_{14x} = -3.453550975$$

$$k_{4,3} = -R_{34y} = -9.384720862$$

$$k_{4,4} = R_{34x} = 3.453550975$$

$$k_{4,5} = I_{G4} \alpha_4 - \sum_1^n (R_{i4x} F_{i4y} - R_{i4y} F_{i4x}) - \sum_1^n M_{4,i}$$

$$k_{4,5} = 0.1075266667(-0.04330760166) - (-15) = 14.99534328$$

$$\Sigma M_z = T_4 + k_{4,1} F_{14x} + k_{4,2} F_{14y} + k_{4,3} F_{34x} + k_{4,4} F_{34y} = k_{4,5}$$

$$T_4 + 9.384720862 F_{14x} - 3.453550975 F_{14y}$$

$$- 9.384720862 F_{34x} + 3.453550975 F_{34y} = 14.99534328$$

Sí es aplicado en esta barra el momento impulsor.

(5.9)

De la tercera ley de Newton:

$$F_{23x} + F_{32x} = 0 \quad (5.10)$$

$$F_{23y} + F_{32y} = 0 \quad (5.11)$$

$$F_{34x} + F_{43x} = 0 \quad (5.12)$$

$$F_{34y} + F_{43y} = 0 \quad (5.13)$$

El sistema es

$$\Sigma F_x = F_{12x} + F_{32x} = 145.262642 \quad (5.1)$$

$$\Sigma F_y = F_{12y} + F_{32y} = -155.262642 \quad (5.2).$$

$$54.09366876F_{12x} + 54.09366876F_{12y} + 20.15254326F_{32x} + 20.15254326F_{32y} = -34.8097349$$

$$(5.3).$$

$$\Sigma F_x = F_{23x} + F_{43x} = 0.40806607 \quad (5.4)$$

$$\Sigma F_y = F_{23y} + F_{43y} = -1.344671249 \quad (5.5)$$

$$-0.5147740779F_{23x} - 27.4951854 F_{23y} + 0.5147740779)F_{43x} + 27.49518154 F_{43y} = 15.00830696$$

$$(5.6).$$

$$\Sigma F_x = F_{14x} + F_{34x} = -0.02673582472 \quad (5.7)$$

$$\Sigma F_y = F_{14y} + F_{34y} = -0.3234526705 \quad (5.8)$$

$$T_4 + 9.384720862 F_{14x} - 3.453550975 F_{14y} - 9.384720862 F_{34x} + 3.453550975 F_{34y} = 14.99534328 \quad (5.9)$$

$$F_{23x} + F_{32x} = 0 \quad (5.10)$$

$$F_{23y} + F_{32y} = 0 \quad (5.11)$$

$$F_{34x} + F_{43x} = 0 \quad (5.12)$$

$$F_{34y} + F_{43y} = 0 \quad (5.13)$$

Son 13 ecuaciones y 13 variables, por ser ecuaciones lineales se procederá a resolverlas por reducción a la diagonal principal. La matriz es

$$F_{12x}, F_{12y}, F_{32x}, F_{32y}, F_{23x}, F_{23y}, F_{43x}, F_{43y}, F_{14x}, F_{14y}, F_{34x}, F_{34y}, T_4, \text{constantes}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 145.26 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -155.26 \\ 54.09 & 54.09 & 20.15 & 20.15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -34.80 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.40 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.34 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.51 & -27.49 & 0.51 & 27.49 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15.00 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -0.02 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -0.32 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9.38 & -3.45 & -9.38 & 3.45 & 1 & 14.99 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

La solución por reducción de Gauss-Jordan resulta en los siguientes valores:

$$F_{43x} = -15.747450980232276$$

$$F_{12x} = 161.41816840858934$$

$$F_{43y} = -0.10106254809495736$$

$$F_{12y} = -156.5062600586869$$

$$F_{14x} = -15.753131487864277$$

$$F_{32x} = -16.155517050935163$$

$$F_{14y} = -0.4245152186008738$$

$$F_{32y} = 1.2436087010327004$$

$$F_{34x} = 15.747450980232276$$

$$F_{23x} = 16.15551705093516$$

$$F_{34y} = 0.10106254809495852$$

$$F_{23y} = -1.2436087010326997$$

$$T_4 = 308.80440716278196$$

Como  $T_4 = 308.80440716278196$  N-cm, se requiere ese torque aplicado en la barra cuatro para mantener el movimiento del mecanismo bajo las condiciones cinemáticas dadas. Las fuerzas en las barras se utilizan para un análisis de resistencia de materiales necesario para terminar el diseño del mecanismo.

## **CAPITULO 6.**

### **PROGRAMACIÓN EN JAVA**

La unidad de ejecución en Java son las clases, para implementar el análisis del mecanismo de cuatro barras asistido por computadora se utilizo las clases ordenadas en casos de uso. La figura 6.1 muestra los casos de uso ordenados en carpetas. Cada uno de ellos contiene clases. Los casos de uso son herramientas de modelado unificado aplicados a la programación de diferentes análisis, físicos, lógicos y matemáticos del mecanismo de cuatro barras.

El mecanismo esta regido por leyes físicas, por citar algunas tenemos: la suma vectorial, las leyes de Grasshoff, las leyes de Newton; ya que se cuentan con estas, es posible ejecutar algoritmos de programación para resolver estas leyes por medio de sistemas de ecuaciones y toma de decisiones logicas. En este capitulo se explica la secuencia que realiza el programa para llevar acabo estos algoritmos que efectúan los distintos análisis.

Las clases se escriben con un NombreDeLaClase.java, que es un archivo tipo .java que tiene el nombre de la clase empezando cada letra en letra capital. Al compilar cada archivo .java se genera un archivo .class que es la clase de ejecución, de la forma NombreDeLaClase.class, observe la extensión al final. Esta clase ya puede ser ejecutada por la maquina virtual de Java. En la figura 6.1 aparece una carpeta llamada *com*, en esta se encuentran los archivos .class. Por lo que los archivos .java son los programas que se escriben y no son en si los ejecutables. El programa solo funciona con las clases, y no hace uso de los archivo tipo .java.

Siendo Java un lenguaje de alto nivel orientado a objetos y con una basta colección de clases, es posible programar utilizando las GUI (Interfaces Graficas de Usuario), esta presentación es sencillo de utilizar para el usuario final, pero es un reto para el programador relacionar las GUI con los distintos objetos que es necesario ejecutar y coordinar para que se realicen los análisis asistidos por computadora.

#### **6.1 Archivos para la compilación del programa Paula 1.0**

Se muestra la estructura de directorios de los archivos .java, como se puede observar en la figura

6.1. Este programa está estructurado en casos de uso.



```
C:\AQUI_COMPILA>cd new_15_Feb_2010
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010>dir
Directorio de C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010
```

```
15/02/2010 12:25 <DIR>      .
15/02/2010 12:25 <DIR>      ..
15/02/2010 11:24 <DIR>      caso_uso_I
15/02/2010 11:24 <DIR>      caso_uso_II
15/02/2010 11:24 <DIR>      caso_uso_III
15/02/2010 09:44 <DIR>      caso_uso_IV
15/02/2010 07:00 <DIR>      caso_uso_V
15/02/2010 12:36 <DIR>      caso_uso_VI
15/02/2010 07:00 <DIR>      com
15/02/2010 07:15 <DIR>      imagenes
15/02/2010 07:30          479 ManejadorPrincipal.class
15/02/2010 07:29          490 ManejadorPrincipal.java
14/10/2009 07:27          490 ManejadorPrincipal.java~
15/02/2010 12:24 <DIR>      mano de chango
15/02/2010 12:25 <DIR>      mano2
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010>cd caso_uso_I
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_I>dir
```

```
Directorio de C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_I
```

```
15/02/2010 11:24 <DIR>      .
15/02/2010 11:24 <DIR>      ..
27/01/2010 03:08          1.716 InterfaceBaseDeDatos.java
15/02/2010 07:36          8.693 InterfaceUsuario.java
15/02/2010 07:29          8.548 InterfaceUsuario.java~
15/02/2010 07:35          3.766 ManejadorIniciarProceso.java
15/02/2010 07:27          3.738 ManejadorIniciarProceso.java~
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_I>cd..
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010>cd caso_uso_II
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_II>dir
```

Directorio de C:\AQUI\_COMPILA\new\_15\_Feb\_2010\caso\_uso\_II

```
15/02/2010 11:24 <DIR>      .
15/02/2010 11:24 <DIR>      ..
27/01/2010 13:33      19.690 AnálisisGeometrico.java
15/02/2010 09:44      10.112 AnálisisGeometricoDos.java
15/02/2010 09:12      10.112 AnálisisGeometricoDos.java~
07/08/2009 14:33      4.156 AuxText.java
07/08/2009 14:34      2.682 AuxTextField.java
07/08/2009 14:29      7.930 AuxTextHi.java
07/08/2009 14:28      8.275 AuxTextLo.java
30/01/2010 11:21      1.229 EstadoTabla.java
15/02/2010 09:44      14.829 InterfaceAnálisisGeometrico.java
15/02/2010 09:44      14.829 InterfaceAnálisisGeometrico.java~
07/08/2009 14:24      1.705 JFrameAI.java
22/09/2009 23:21      1.043 ManejadorAnálisisGeometrico.java
07/08/2009 14:32      813 TextUtils.java
```

C:\AQUI\_COMPILA\new\_15\_Feb\_2010\caso\_uso\_II>cd..

C:\AQUI\_COMPILA\new\_15\_Feb\_2010>cd caso\_uso\_III

C:\AQUI\_COMPILA\new\_15\_Feb\_2010\caso\_uso\_III>dir

Directorio de C:\AQUI\_COMPILA\new\_15\_Feb\_2010\caso\_uso\_III

```
15/02/2010 11:24 <DIR>      .
15/02/2010 11:24 <DIR>      ..
28/01/2010 08:05      2.887 ArmadorDeCadenas.java
22/09/2009 23:21      2.752 EscribeDatosEnArchivo.java
15/02/2010 10:02      26.189 InterfaceDeArchivo.java
15/02/2010 10:02      26.189 InterfaceDeArchivo.java~
30/01/2010 11:21      2.747 LeeDatosEnArchivo.java
11/02/2010 08:04      907 TablaPresentacion.java
11/02/2010 08:04      907 TablaPresentacion.java~
```

C:\AQUI\_COMPILA\new\_15\_Feb\_2010\caso\_uso\_III>cd ..

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010>cd caso_uso_IV
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_IV>dir
```

```
Directorio de C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_IV
```

```
15/02/2010 09:44 <DIR>      .
15/02/2010 09:44 <DIR>      ..
15/02/2010 09:44      17.281 AnálisisCinematico.java
15/02/2010 09:27      17.281 AnálisisCinematico.java~
15/02/2010 09:43      8.185 InterfaceAnálisisCinematico.java
15/02/2010 09:13      8.185 InterfaceAnálisisCinematico.java~
29/09/2009 20:42      1.365 ManejadorAnálisisCinematico.java
      5 archivos      52.297 bytes
      2 dirs 16.162.574.336 bytes libres
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_IV>cd ..
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010>cd caso_uso_V
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_V>dir
```

```
Directorio de C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_V
```

```
15/02/2010 07:00 <DIR>      .
15/02/2010 07:00 <DIR>      ..
09/02/2010 09:10      25.186 AnálisisDinamico.java
09/02/2010 08:28      1.241 EstadoTorque.java
11/02/2010 18:38      18.622 InterfaceAnálisisDinamico.java
11/02/2010 18:38      18.622 InterfaceAnálisisDinamico.java~
13/10/2009 14:15      1.123 ManejadorAnálisisDinamico.java
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_V>cd..
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010>cd caso_uso_VI
```

```
C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_VI>dir
```

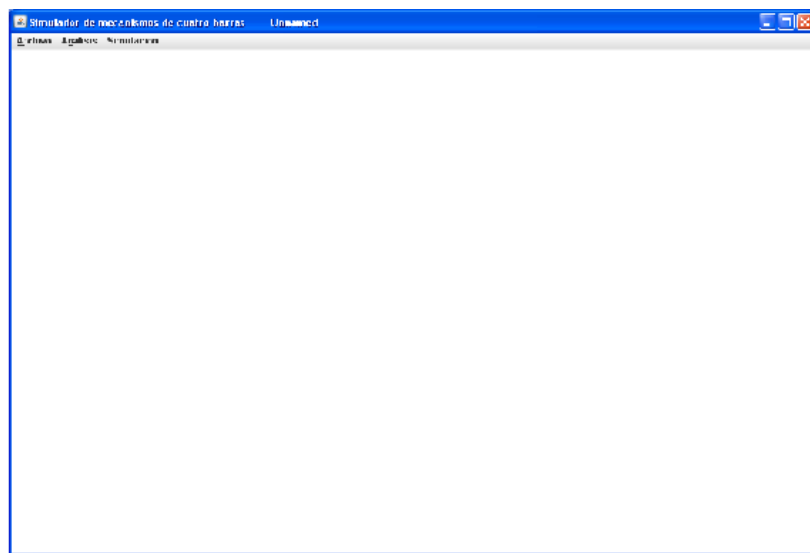
```
Directorio de C:\AQUI_COMPILA\new_15_Feb_2010\caso_uso_VI
```

```
15/02/2010 12:36 <DIR> .
15/02/2010 12:36 <DIR> ..
15/02/2010 12:16      2.466 ManejadorSimulacion.java
15/02/2010 12:16      2.466 ManejadorSimulacion.java~
15/02/2010 12:21    101.092 mecanismo_6.java
15/02/2010 12:16    101.099 mecanismo_6.java~
```

**Figura 6.1 Archivos de Java.**

La programación por casos de uso requiere el uso de manejadores e interfaces que sirven para lograr ejecutar cada caso de uso. Un manejador solo toma decisiones de ejecución de las interfaces, estas a su vez también pueden tomar decisiones, solo que el manejador les proporciona información necesaria para la interfaz. El caso de uso es una actividad concreta de cálculo y de toma de decisiones sobre la información que procesa el caso de uso. Al término del caso de uso, la interfaz puede recibir información que se generó en la ejecución del caso de uso. La interfaz devuelve el control al manejador que la ejecutó.

En la figura 6.1 se observa que existe un ManejadorPrincipal.class, este programa permite crear un objeto iniciarProceso de la clase InterfaceUsuario.class de la caso de uso 1. Esto permite delegar el control a una interfaz de usuario principal como se observa en la figura 6.2.



**Figura 6.2 La ventana principal**

## La línea

```
InterfaceUsuario iniciarProceso = new InterfaceUsuario();
```

crea el objeto mencionado, las siguientes tres líneas permiten el cierre, el tamaño y la visualización del objeto:

```
    iniciarProceso.setDefaultCloseOperation( JFrame.EXIT_ON_CLOSE );  
    iniciarProceso.setSize( 1000, 700 ); // set frame size  
    iniciarProceso.setVisible( true ); // display frame  
}  
} // fin de la clase ManejadorPrincipal
```

## 6.2 Caso de uso 1

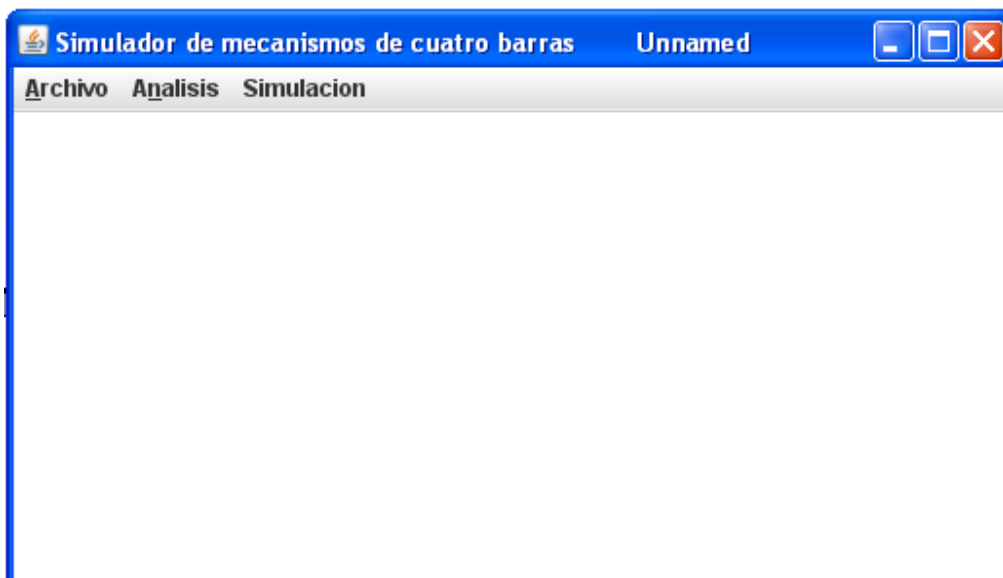
Las clases que contiene son

InterfaceBaseDeDatos.java

InterfaceUsuario.java

ManejadorIniciarProceso.java

La clase InterfaceUsuario.class permite la visualización de una barra de menús. Las opciones de menú son Archivo, Análisis y Simulación, Fig 6.3. La cadena "Unnamed" indica que no se ha guardado el proyecto.



**Figura 6.3. Se muestran los menús en la barra de menús.**

El constructor InterfaceUsuario tiene el mismo identificador o nombre de la clase, permite ponerle título a la barra de título de la ventana

```
super( "Simulador de mecanismos de cuatro barras" + " Unnamed" );
```

El menú Archivo se obtiene con un JMenu, esta clase es propiedad de Sun Microsystems, al igual que otras clases que se reutilizan para lograr la visualización de las interfaces gráficas de usuario. Solo se genera un objeto menuArchivo con la etiqueta "Archivo" que se envía a su constructor en:

```
JMenu menuArchivo = new JMenu( "Archivo" );
```

Así aparece la etiqueta "Archivo" como una opción del menú.

La línea

```
menuArchivo.setMnemonic( 'A' ); // set mnemonic to A
```

activa el menú por medio de la letra A.

Para generar un submenú se utiliza JMenuItem, esta clase requiere que se coloque en su constructor la etiqueta del submenú, por eso se colocó "Nuevo proyecto", figura 6.4

```
JMenuItem nuevoProyectoItem = new JMenuItem( "Nuevo proyecto" );  
nuevoProyectoItem.setMnemonic( 'A' ); // set mnemonic to D
```

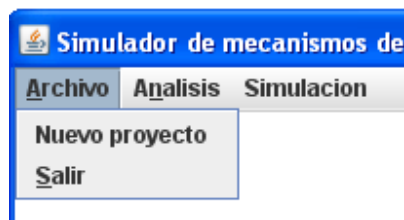


Figura 6.4 Opción de submenú "Nuevo proyecto"

la línea

```
menuArchivo.add( nuevoProyectoItem ); // add about item to file menu
```

permite que el submenú se agregue a la opción de menú.

Cuando el usuario selecciona Nuevo proyecto se escucha este evento para ejecutar el objeto controlDelegado de la clase ManejadorIniciarProceso.

```
nuevoProyectoItem.addActionListener(  
  
    new ActionListener () // anonymous inner class  
    {  
        // display message dialog when user selects Info ...  
  
        public void actionPerformed( ActionEvent event )  
        {  
            ManejadorIniciarProceso controlDelegado = new ManejadorIniciarProceso();  
  
            datosDeArchivoFinales = controlDelegado.manejadorProceso(); // se recibe un arreglo string  
        }  
    }  
);
```

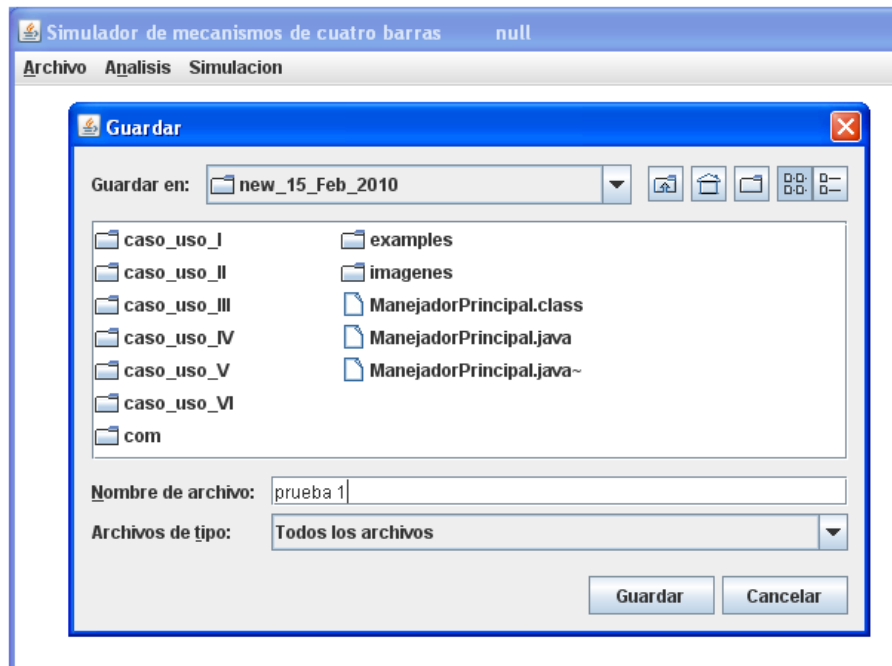
La clase ManejadorIniciarProceso.class obtiene un nombre de proyecto por medio de la clase InterfaceBaseDeDatos,

```
InterfaceBaseDeDatos aplicacion = new InterfaceBaseDeDatos();  
    aplicacion.guardarArchivo();
```

y finalmente guarda el nombre de proyecto así como la ruta absoluta del archivo con un objeto filewriter:

```
FileWriter filewriter = new FileWriter( rutaConNombre + "\\ " + nombreArchivo + ".txt", true);
```

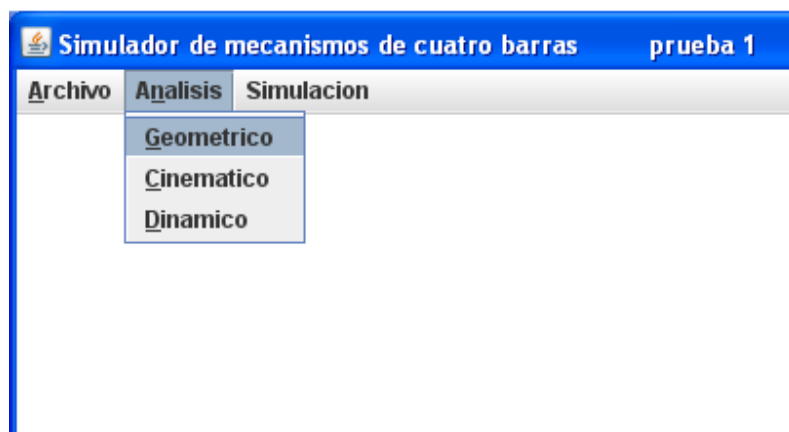
La clase InterfaceBaseDeDatos.class utiliza JFileChooser para mostrar el cuadro de diálogo de Guardar, figura 6.5. Así se obtiene un nombre de proyecto.



**Figura 6.5** La clase *JFileChooser* utilizada para poder acceder al directorio del sistema operativo mediante una GUI y guardar un nuevo proyecto.

### 6.3 Caso de uso 2

Al seleccionar Análisis -> Geometrico, Fig. 6.6, se envia un evento al escucha de la InterfaceUsuario.class del caso de uso 1, este permite la ejecucion del codigo de la figura 6.7.



**Figura 6.6** Seleccionando un submenu.



```

        public void actionPerformed((ActionEvent event)
        {
            System.out.println(" Control delegado a ManejadorAnálisisGeometrico");
            ManejadorAnálisisGeometrico proceso = new ManejadorAnálisisGeometrico( elEscritorio,
datosDeArchivoFinales );
// se envía el escritorio y los nombres del archivo al manejador
        proceso.manejadorProceso();
        } // end method actionPerformed

```

**Figura 6.7 Método actionPerformed**

La línea

```
System.out.println(" Control delegado a ManejadorAnálisisGeometrico");
```

envía una cadena al símbolo a la terminal o símbolo del sistema.

En la siguiente línea se crea un objeto proceso de la clase ManejadorAnálisisGeometrico, enviándole en su constructor el objeto tipo JDesktopPane llamado escritorio y un arreglo de cadenas tipo String llamado datosDeArchivoFinales.

En la clase ManejadorAnálisisGeometrico.class el constructor recibe los objetos tipo JDesktopPane y String[] ( los corchetes cuadrados indican que es un arreglo), los inicializa en su constructor y los envía a InterfaceAnálisisGeometrico con un objeto llamado aplicacion en su método manejadorProceso(), figura 6.8.

```

public ManejadorAnálisisGeometrico( JDesktopPane jDP, String cadenas_ruta_nombre[] )
{
    elEscritorio = jDP;
    cadenasDeRutaYNombre = cadenas_ruta_nombre;
}
public void manejadorProceso()
{
    System.out.println("Se ordena desplegarTabla");
    InterfaceAnálisisGeometrico aplicacion = new InterfaceAnálisisGeometrico( elEscritorio,
cadenasDeRutaYNombre );

```

```

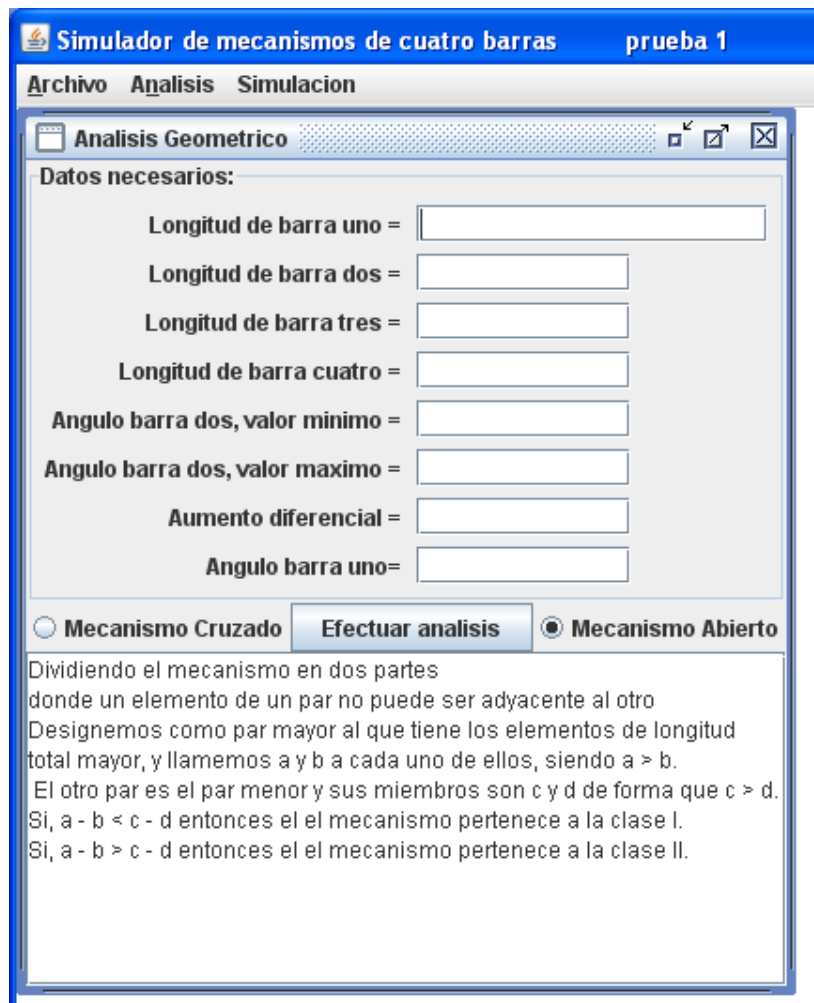
    aplicacion.despliegaTabla(); //aquí se entregan las cadenas al manejador
//    cadenasDeSalidaDelManejador = aplicacion.obtenerCadenas(); //aquí se entregan las cadenas al
manejador
    System.out.println( "se entregan las cadenas al manejador");

} // fin del método

```

**Figura 6.8 En la clase ManejadorAnálisisGeometrico.class se genera un nuevo objeto de la clase InterfaceAnálisisGeometrico.**

Cuando el objeto aplicacion de la InterfazAnálisisGeometrico se ejecuta, se reciben los objetos JDesktopPane y el arreglo String[] con la ruta para guardar la información que genere la InterfazAnálisisGeometrico, las clases AnálisisGeometrico y AnálisisGeometricoDos, la InterfazAnálisisGeometrico se muestra en la figura 6.9.



**Figura 6.9 La interfaz para análisis geométricos.**

La linea

```
JInternalFrame marco = new JInternalFrame( "Análisis Geometrico", true, true, true, true );
```

crea un objeto marco tipo JInternalFrame, la cadena "Análisis Geometrico" se muestra en la barra de titulo.

En la lineas

```
private JPanel panelGeometrico;  
private ArrayList<JTextField> camposTexto;  
ArrayList<JLabel> rotulos = new ArrayList<JLabel>();
```

se declara en la primera y en la segunda, se declara y se crea en la tercera, objetos de tipo JPanel, campo de texto y de etiqueta respectivamente, con la linea

```
rotulos.add(new JLabel("Longitud de barra uno = "));
```

se utiliza el objeto camposTexto en un ArrayList para adherir campos de texto editables donde el usuario puede ingresar datos de entrada, la linea que hace posible esto es

```
camposTexto.add(new JTextField(10));
```

se adhieren etiquetas a un ArrayList, asi como los campos de texto para enviarlas al objeto panelGeometrico en la línea

```
panelGeometrico = AuxTextField.labelAndFieldTable(  
    "Datos necesarios:", rotulos, camposTexto );
```

Se observa que la clase AuxTextField utiliza el método labelAndFieldTable. En efecto, para llamar a un método de una clase se utiliza el nombre de la clase y se coloca un punto seguido del nombre del método que se desea llamar, el método de la clase es llamado y ejecutado de inmediato, cuando el método termina de ejecutarse devuelve el control a la clase que lo llamo y esta a su vez regresa el control a la clase o inclusive otro método que lo haya llamado.

Para crear un boton

```
JButton jb = new JButton("Efectuar análisis");
```

La clase JButton recibe la etiqueta "Efectuar análisis" y la coloca en un boton

En las siguientes dos lineas se le provee al botón de un addActionListener que es el oyente que estará atento al evento que genere el usuario al dar un clic en el boton. La segunda linea adhiere el boton al marco y lo coloca en el centro.

```
jb.addActionListener(this);  
marco.getContentPane().add(jb, BorderLayout.CENTER);
```

Al presionar el botón se ejecuta el método actionPerformed(ActionEvent ae) que es encargado de obtener los valores de la interfaz grafica, colocarlos en arreglos para enviarlos a las clases AnálisisGeometrico y AnálisisGeometricoDos, figura 6.10.

```
public void actionPerformed(ActionEvent ae) {  
  
    double a=0, b=0, c=0, d=0, min = 0, max =0, dif= 0, teta1 ;  
  
    try  
    {  
  
        d = Double.parseDouble(camposTexto.get(0).getText());  
        a = Double.parseDouble(camposTexto.get(1).getText());  
        b = Double.parseDouble(camposTexto.get(2).getText());  
        c = Double.parseDouble(camposTexto.get(3).getText());  
        min = Double.parseDouble(camposTexto.get(4).getText());  
        cadenaDeDatosCinematicos += armador.toString( "tetaDosMin  ", min );  
        max = Double.parseDouble(camposTexto.get(5).getText());  
        cadenaDeDatosCinematicos += armador.toString( "tetaDosMax  ", max );  
        dif = Double.parseDouble(camposTexto.get(6).getText());  
        cadenaDeDatosCinematicos += armador.toString( "diferencial  ", dif );  
        teta1 = Double.parseDouble(camposTexto.get(7).getText());
```

```

        double datosAnGeomUno[]= { d, a, b, c };
        double datosAnGeomDos[]= { d, a, b, c, min, max, dif, teta1 };

        System.out.println("\nSe crea un objeto AnálisisGeometrico ...");

        AnálisisGeometrico ap = new AnálisisGeometrico(
            datosAnGeomUno );
            //ap.obtienePosicionesEspeciales();
        ap.obtieneABCD();
        System.out.println("\nTermino el AnálisisGeometrico");

        System.out.println("\nSe inicia un objeto AnálisisGeometricoDos \n");
        AnálisisGeometricoDos análisisDos = new AnálisisGeometricoDos( datosAnGeomDos,
        tipoMecanismo );
        análisisDos.ejecutaCiclo();

        JFrame marcoConTabla = new JFrame( "Angulos de las barras.
        "+etiquetaTipoMecanismo , true, true, true, true );

        //Create and set up the content pane.

        Tabla tabla = new Tabla( análisisDos.obtenerArregloObj() ); // obtiene el arreglo y lo envia al
        objeto tabla de la clase Tabla

        tabla.setOpaque(true); //content panes must be opaque
        marcoConTabla.setContentPane(tabla);

        //Display the window.
        marcoConTabla.pack();
        escritorio_2.add( marcoConTabla ); // add marco a escritorio_2
        marcoConTabla.setVisible(true);

// ***
        }
        catch(Exception e)
        {
            Toolkit.getDefaultToolkit().beep();
        }
        System.out.println( e );

```

```

        return;
    }

} // fin del método actionPerformed...

```

### **Figura 6.10 Método actionPerformed**

La clase `AnálisisGeometrico` efectúa un análisis geométrico en base a las longitudes de cada barra del mecanismo, determina la clase a la que pertenece, y el tipo de movimiento que puede desarrollar. Esta clase utiliza un arreglo para manejar todas las longitudes de las barras, encuentra mediante el método `obtienePosicionesEspeciales()`, figura 6.11, los ángulos de centro muerto y de posición límite.

```

    a = datosCopia[1];
    b = datosCopia[2];
    c = datosCopia[3];
    d = datosCopia[0];

    salida_1 += armador.toString( "\nMétodo obtienePosicionesEspeciales()" + "\n" + "longitud barra
uno= ", d);
    salida_1 += armador.toString( "longitud barra dos= ", a);
    salida_1 += armador.toString( "longitud barra tres= ", b);
    salida_1 += armador.toString( "longitud barra cuatro= ", c);

    double teta_2_L1 = Math.acos( ( (a+b)*(a+b) + d*d - c*c ) / (2*(a+b)*d) );
    teta_2_L1 = convertirASexagesimal( teta_2_L1 );

    double teta_4_L1 = Math.acos( ( (a+b)*(a+b) - c*c - d*d ) / (2*c*d) );
    teta_4_L1 = convertirASexagesimal( teta_4_L1 );

    double teta_2_L2 = Math.acos( ( (b-a)*(b-a) - d*d - c*c ) / (2*(b-a)*d) + 180 );
    teta_2_L2 = convertirASexagesimal( teta_2_L2 );

    double teta_4_L2 = Math.acos( ( (b-a)*(b-a) - c*c - d*d ) / (2*c*d) );
    teta_4_L2 = convertirASexagesimal( teta_4_L2 );

```

```

double psi = teta_4_L2 - teta_4_L1;

double teta_2_D1 = Math.acos( ( a*a + d*d - (b+c)*(b+c) ) / (2*a*d) );
teta_2_D1 = convertirASexagesimal( teta_2_D1 );

double teta_4_D1 = Math.acos( ( a*a - (b+c)*(b+c) - d*d ) / (2*(b+c)*d) );
teta_4_D1 = convertirASexagesimal( teta_4_D1 );

double teta_2_D2 = Math.acos( ( a*a + d*d - (b-c)*(b-c) ) / (2*a*d) );

```

**Figura 6.11. Porción del método obtienePosicionesEspeciales()**

Posteriormente encuentra la barra de mayor longitud con el método ordenar( ), con este dato y el método obtieneABCD(), determina las barras de Grasshoff a,b,c,d utilizando sentencias de control if dentro de sentencias de repetición controlada for. Así determina la clase a la que pertenece el mecanismo y el tipo de movimiento que tiene, figura 6.12.

```

if ( (a-b) < (c-d) )
{
    System.out.println( "\n\nCadena Clase I" );
    salida += "\n" + armador.toString( "\n I_CITM_01_0000_01_0000 Cadena Clase I" );

    if( datosCopia[0] == a || datosCopia[0] == c ) //datosCopia[0] es la barra fija
    {
        System.out.println( "\n\nMecanismo de biela manivela" );
        salida += armador.toString( "\n I_0ITM_01_0000_01_0000 Mecanismo de biela manivela." );

        //          metttt posiciones limit
        obtienePosicionesEspeciales();
    }
    if( datosCopia[0] == arreglo[3] ) //datosCopia[0] es la barra fija, arreglo[3] es el menor
    {
        System.out.println( "\n\nMecanismo de doble manivela" );
        salida += armador.toString( "\n I_0ITM_01_0000_01_0000 Mecanismo de doble
manivela.\nAmbas manivelas pueden girar 360 grados." );
    }
}

```

```

        if( datosCopia[0] == arreglo[2] )//datosCopia[0] es la barra fija, arreglo[2] es el segundo menor
        {
            System.out.println( "\n\nMecanismo de doble manivela oscilante" );
            salida += armador.toString( " \n I_0ITM_01_0000_01_0000 Mecanismo de doble manivela
oscilante. \n Ambas manivelas giran parcialmente." );
            // posiciones limite y de centro muerto
            obtienePosicionesEspeciales();
        }
    }
    if ( (a-b) > (c-d) )
    {
        System.out.println( "\n\nCadena Clase II" );
        System.out.println( "\n\nMecanismo de doble manivela oscilante" );
        salida += "\n" + armador.toString( " \n I_CITM_01_0000_01_0000 Cadena Clase II. \n
I_0ITM_01_0000_01_0000 Mecanismo de doble manivela oscilante.\nAmbas manivelas giran
parcialmente." );
        // posiciones limite y de centro muerto
        obtienePosicionesEspeciales();
    }
}

```

**Figura 6.12 Método obtieneABCD() de la clase AnálisisGeometrico.**

La clase AnálisisGeometriDos recibe la longitud de las barras en su constructor, el ángulo de la barra 2 mínimo y máximo, un aumento diferencial del ángulo dos y el tipo de mecanismo que tiene que calcular

```

public AnálisisGeometricoDos( double datosRecibidos[], int tm )
{
    tipoMecanismo = tm;

    System.out.println( "\n\n Se inicia el AnálisisGeometricoDos \n\n");

    armador = new ArmadorDeCadenas(); // se crea un objeto

    cadenaSalida = armador.toString( "Resutados de Análisis geometrico de posicion ");

    d = datosRecibidos[0];
}

```



```

a = datosRecibidos[1];
b = datosRecibidos[2];
c = datosRecibidos[3];

```

**Figura 6.13. Inicialización de variables para el calculo de posiciones del mecanismo.**

Como se observa en la fig 6.13 se utiliza un objeto armador tipo ArmadorDeCadenas para armar una cadena con los resultados del análisis. Entonces se aplica un discriminador del radical que se utiliza en la solución de la ecuación de segundo grado para calcular solo la raíz cuadrada de un número positivo, todo esto dentro de un ciclo for para poder calcular cada posición dentro del conjunto de los valores mínimo y máximo del ángulo de la barra 2, figura 6.14. Las ecuaciones que se utilizan son las del capítulo 3.

```

while ( tetaDos <= tetaDosMax )
{
    e2 = conversionARadian ( tetaDos );
    System.out.printf("\n\tetaDos = %f", tetaDos);
    cadenaSalida += armador.toString( "\n\tetaDos = ", tetaDos );
    System.out.printf("\nEsta es e2 %f", e2);
    cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es e2 ", e2 );
    System.out.printf("\nEsta es e1 %f", e1);
    cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es e1 ", e1 );

    k1=2*c*d*Math.cos(e1)+2*a*c*Math.cos(e2);
    k2=2*c*d*Math.sin(e1)+2*a*c*Math.sin(e2);

    k3=2*a*d*Math.cos(e1)*Math.cos(e2)+a*a*(Math.cos(e2))*(Math.cos(e2))+d*d*(Math.cos(e1))*(Math.cos
(e1)) +

    2*a*d*Math.sin(e1)*Math.sin(e2)+a*a*(Math.sin(e2))*(Math.sin(e2))+d*d*(Math.sin(e1))*(Math.sin(e1)) -
b*b;

    k11=2*b*d*Math.cos(e1)+2*a*b*Math.cos(e2);
    k22=2*b*d*Math.sin(e1)+2*a*b*Math.sin(e2);

```

```
k33=2*a*d*Math.cos(e1)*Math.cos(e2)+a*a*(Math.cos(e2))*(Math.cos(e2))+d*d*(Math.cos(e1))*(Math.co  
s(e1)) +
```

```
2*a*d*Math.sin(e1)*Math.sin(e2)+a*a*(Math.sin(e2))*(Math.sin(e2))+d*d*(Math.sin(e1))*(Math.sin(e1)) -  
c*c;
```

```
A1=c*c+k3-k1;
```

```
B1=2*k2;
```

```
C1=c*c+k1+k3;
```

```
v1= B1*B1 - 4*A1*C1;
```

```
A2=b*b+k33-k11;
```

```
B2=2*k22;
```

```
C2=b*b+k11+k33;
```

```
v2= B2*B2 - 4*A2*C2;
```

```
if ( v1 >= 0 && v2 >= 0 )
```

```
{
```

```
    System.out.printf("\n\nTipo de mecanismo %d", tipoMecanismo );
```

```
    cadenaSalida += armador.toString( "\n\nTipo de mecanismo \n\nI_ITAM_000B_03_0001_03_0001",  
tipoMecanismo );
```

```
    anguloTres = calculaAnguloSexagesimalTres( A2, B2, C2, tipoMecanismo);
```

```
    System.out.printf("\nanguloTres= %f", anguloTres);
```

```
    cadenaSalida += armador.toString( "\nanguloTres= A_T1AB_000B_02_0003_02_0003", anguloTres  
);
```

```
    arreglo[contador][2] = anguloTres;
```

```
    System.out.printf("\n\nTipo de mecanismo \n\n I_ITAM_000B_04_0002_04_0002 ",  
tipoMecanismo);
```

```

cadenaSalida += armador.toString( "\n\nTipo de mecanismo I_ITAM_000B_04_0002_04_0002",
tipoMecanismo );

anguloCuatro = calculaAnguloSexagesimalCuatro( A1, B1, C1, tipoMecanismo);

System.out.printf("\nanguloCuatro= %f", anguloCuatro);
cadenaSalida += armador.toString( "\nanguloCuatro= A_T2AB_000B_02_0004_02_0004",
anguloCuatro );

arreglo[contador][3] = anguloCuatro;

arreglo[contador][0] = teta1;
arreglo[contador][1] = tetaDos;
contador++;

}

tetaDos = tetaDos + diferencial;

System.out.printf("\n tetaDos \n");

cadenaSalida += armador.toString( "\n tetaDos \n" );

} // fin de while

```

**Fig. 6.14 Fragmento de la clase AnálisisGeometricoDos.**

La clase EstadoTabla , figura 6.15 del paquete com.mecanismo.caso\_uso\_2 devuelve un entero que puede ser 1 para un análisis de mecanismo abierto o un 2 para un análisis de mecanismo cruzado. La elección se realiza en la interfaz de análisis geometrico, figura 6.9 en los botones de radio. Es decir, se obtiene el tipo de análisis que se efectuó en el análisis geométrico ya que las ecuaciones cuadráticas que se resolvieron arrojan como solución dos valores posibles, en nuestro problema de análisis estos dos valores están ligados a dos posiciones del mecanismo una abierta y una cruzada. Entonces el definir un numero para el tipo de análisis permite decidir que ecuacion cuadratica ejecutar en el AnálisisGeometricoDos.

```

// Ilan Linares Mendoza, 30/01/10
package com.mecanismo.caso_uso_2;

import com.mecanismo.caso_uso_3.*;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;

public class EstadoTabla
{
    String [] rutaYNombre;
        public EstadoTabla( String[] laRutaYNombre)
        {
            rutaYNombre = laRutaYNombre;
        }

public void establecerEstado_EnInt(int estado, String[] rutaYNombre)
{

    System.out.println( "\nInterfaceDeArchivo servicio a class EstadoTabla start ");
    InterfaceDeArchivo servicio = new InterfaceDeArchivo ( );
    String cadenasDeSalida = "Estado "+estado;
    servicio.establecerDatosEnArchivo( cadenasDeSalida, rutaYNombre, "EstadoDeTabla_" );
    System.out.println( "\nInterfaceDeArchivo servicio finishes");
}

public int obtenerEstado_EnInt()
{
    System.out.println( "\nInterfaceDeArchivo servicio EstadoTabla start ");
    InterfaceDeArchivo servicio = new InterfaceDeArchivo ( );
    String cadena = "Estado ";
    int estadoObtenido = servicio.estableceYRetornaEstadoDeTabla(rutaYNombre, "Estado" );
    return estadoObtenido;
}
} // fin de la clase

```

**Figura 6.15 La clase permite obtener el tipo de análisis a efectuar después del análisis geométrico.**

Al crear un objeto llamado servicio de la clase InterfaceDeArchivo , entonces se puede solicitar a los métodos obtenerDatosDeArchivo\_TablaPresentacion\_AnGeom( rutaYNombre) y obtenerValores\_TablaPresentacion() que obtengan y entreguen respectivamente a un objeto de la clase interna TablaPresentacion para que se muestre una tabla con los conjuntos de valores para los angulos de las barras 1,2,3 y 4; figura 6.16. La tabla tiene la apariencia de la figura 6.17.

```
servicio.obtenerDatosDeArchivo_TablaPresentacion_AnGeom( rutaYNombre);
    TablaPresentacion    tabla_2    =    new    TablaPresentacion(
servicio.obtenerValores_TablaPresentacion(),
servicio.obtenerNombreColumnasTablaPresentacion_AnGeom() ); // obtiene Object y arreglo String y lo
envia al objeto tabla de la clase Tabla
```

**Figura 6.16. En pocas líneas se logra invocar a la clase interna TablaPresentacion para que muestre una tabla de valores.**

Angulo 1	Angulo 2	Angulo 3	Angulo 4
225.0	120.0	345.04559301909177	221.43085972255295
225.0	125.0	349.99396121602905	231.35591419606482
225.0	130.0	354.6048208183606	240.78946709326655
225.0	135.0	358.9274143775695	249.79652626141802
225.0	140.0	3.003421406978873	258.4274157245491
225.0	145.0	6.868736744556799	266.72141587785035
225.0	150.0	10.55474710671106	274.70910261880556
225.0	155.0	14.089298071989925	282.4139045788486
225.0	160.0	17.497456346030994	289.85316045214984
225.0	165.0	20.80212795907608	297.0388418386698
225.0	170.0	24.02456826726543	303.9780481463764
225.0	175.0	27.184803770312648	310.673351662138
225.0	180.0	30.30197384566008	317.1230604286055
225.0	185.0	33.39459014904866	323.3214677819095
225.0	190.0	36.480701840620426	329.2591659796739
225.0	195.0	39.57794661007534	334.92351210619205
225.0	200.0	42.70346302249318	340.29933922906645
225.0	205.0	45.87364305550524	345.36999252221204
225.0	210.0	49.103719718267904	350.1187248108373
225.0	215.0	52.40721621508252	354.5304001290313
225.0	220.0	55.79532661895411	358.59333620253847
225.0	225.0	59.27633969982002	2.3010033314858784
225.0	230.0	62.85523580550249	5.6532453890868775
225.0	235.0	66.53356335528466	8.656747269233437

**Figura 6.17. En esta tabla se puede elegir un conjunto de valores para los análisis cinemático y dinámico posteriores.**

En la clase interna TablaPresentacion se crea un objeto table de JTable, una sentencia de control que al tener en su argumento DEBUG = true, permite que se agregue un escucha a un clic sobre una fila de la tabla, figura 6.18

```
if (DEBUG) {
    table.addMouseListener(new MouseAdapter() {
        public void mouseClicked(MouseEvent e) {
            printDebugData(table);
        }
    });
};
```

**Figura 6.18 Un escucha útil para seleccionar un conjunto de datos de la tabla.**

Cuando se da clic sobre un renglón de la tabla se selecciona un conjunto de datos por medio del método `printDebugData(table)`, figura 6.19, del método `mouseClicked(MouseEvent e)`. El método `printDebugData(JTable table)` permite extraer los datos de la seleccion por medio del objeto model tipo `TableModel` y con el método `getValueAt(table.getSelectedRow(), column)` se obtiene el valor en particular que se envia a la clase `ArmadorDeCadenas` para asociarlo a un identificador de angulo y el valor de ese angulo en una cadena, es asi como posteriormente se invoca a la `InterfaceDeArchivo` y se guardan los 4 valores de los angulos elegidos de la tabla.

```
private void printDebugData(JTable table) {
    int numRows = table.getRowCount();
    int numCols = table.getColumnCount();
    javax.swing.table.TableModel model = table.getModel();

    System.out.println("Value of data: ");
    for (int i=0; i < numRows; i++) {
        System.out.print("  row " + i + " :");
        for (int j=0; j < numCols; j++) {
            System.out.print(" " + model.getValueAt(i, j));
        }
        System.out.println();
    }
    System.out.println("-----");
};
```

```

int renglon = table.getSelectedRow();
System.out.printf("Se eligio renglon %d. Valores:\n %f %f %f %f",
    renglon,    model.getValueAt(renglon,    0),    model.getValueAt(renglon,    1),
model.getValueAt(renglon, 2), model.getValueAt(renglon, 3));

String cadena_tabla = "Valores elegidos de tabla\n\n";
ArmadorDeCadenas arm = new ArmadorDeCadenas();
cadena_tabla += arm.toString(    "\nangulo1=    A_T1AB_000B_02_0001_02_0001    ",
model.getValueAt(renglon, 0) );
cadena_tabla += arm.toString(    "\nangulo2=    A_T1AB_000B_02_0002_02_0002    ",
model.getValueAt(renglon, 1) );
cadena_tabla += arm.toString(    "\nangulo3=    A_T1AB_000B_02_0003_02_0003    ",
model.getValueAt(renglon, 2) );
cadena_tabla += arm.toString(    "\nangulo4=    A_T1AB_000B_02_0004_02_0004    ",
model.getValueAt(renglon, 3) );

System.out.println( "\nInterfaceDeArchivo servicio para el AnálisisGeometricoDos_tabla start ");

servicio.establecerDatosEnArchivo( cadena_tabla, rutaYNombre, "An_Geom2_Tabla_" );

System.out.println( "\nInterfaceDeArchivo para AnálisisGeometricoDos servicio finishes" );

```

**Figura 6.19 Método *printDebugData(JTable table)*.**

### 6.4 Caso de uso 3

En este caso se tienen clases para escribir archivos de texto con `EscribeDatosEnArchivo.class`, leer datos de un archivo existente con `LeeDatosDeArchivo.class`, armar una cadena con `ArmadorDeCadenas`, una interface para utilizar otras clases de manera mas sencilla con `InterfaceDeArchivo` y mostrar una tabla de datos con `TablaPresentacion.java`. Todas estas clases tienen cierto nivel de abstracción, haciendose útiles para los casos de uso 2, 4, 5, 6.

La clase `EscribeDatosEnArchivo` recibe la ruta donde guardara un archivo, mediante su método `escribeParesOrdenados`, recibe una cadena, un valor numérico y una variable llamada

limpiador tipo boolean. Con estos objetos en su argumento el método utiliza la clase `FileWriter` para escribir un archivo con extensión `.txt`, figura 6.20

```
// EscribeDatosEnArchivo.java Permite guardas variables con sus valores
// Autor Ilan Linares Mendoza
package com.mecanismo.caso_uso_3;
import java.io.*;

public class EscribeDatosEnArchivo
{
    String laRuta;
    public EscribeDatosEnArchivo( String ruta )
    {
        laRuta = ruta;
    }

    public void escribeParesOrdenados( String magnitud, double valor, boolean limpiador )
    {
        System.out.println( "La ruta del archivo es: " + laRuta );
        try
        {
            System.out.println( (new StringBuilder()).append("\n").append( magnitud ).append("\t").append(
valor ).toString() );
            FileWriter filewriter = new FileWriter( laRuta, limpiador );
            filewriter.write( (new StringBuilder()).append("\n").append( magnitud ).append("\t").append( valor
).toString() );
            filewriter.close();
        }
        catch(IOException ioexception)
        {
            System.err.printf("Ocurrio un error grave, no se pudo escribir un dato, aplicacion terminada", new
Object[0]);
            System.exit(-1);
        }
    }
} // fin del método
```

**Figura 6.20 Detalle de la clase `EscribeDatosEnArchivo`.**



La clase LeeDatosEnArchivo lee el archivo especificado en su constructor mediante una cadena llamada rutaDelArchivo. En la línea

```
input = new Scanner(new File( rutaDelArchivo )); // en String el argumento
```

se utiliza input como un objeto tipo Scanner capaz de recorrer o escanear todo el archivo con el método input.hasNext() de la clase Scanner, solo es necesario utilizar input.next() para obtener una cadena que este en el archivo o asignarle una variable como en la línea

```
entradaEnString = input.next();
```

. En el método public void obtieneLectura( String clave ) una sentencia de control if se determina si entradaEnString es igual a la cadena clave, al encontrarse la igualdad de cadenas se obtiene el valor de la variable con la asignación elValor = Double.parseDouble( input.next() ); que simplemente obtiene la siguiente cadena y realiza la conversión de tipo String a tipo double, así es como el programa puede inicializar valores guardados en archivos de texto, figura 6.21.

```
if ( entradaEnString.equals( clave ) )
{
    laVariable = entradaEnString; // se asigna solo una vez
    System.out.printf( "\n\nLa variables es %s ", laVariable );
    elValor = Double.parseDouble( input.next() );
    System.out.printf( "\nSu valor es %f ", elValor );
}
```

**Figura 6.21 En el if se logra obtener un valor para una variable asociada a una clave tipo String.**

La clase ArmadorDeCadenas suma objetos de distinto tipo y devuelve la suma de ellos en una sola cadena. Al crear un objeto de esta clase es posible acceder a su método sobrecargado llamado toString. Cuando se recibe una llamada a este método la JVM verifica el tipo de objetos en el argumento del método, y busca cual método puede recibir ese tipo de objetos en

su argumento, así no es necesario declarar métodos con distinto nombre, los argumentos del método permiten una distinción entre cada método sobrecargado, figura 6.22.

```
public String toString( String cadena_1, double n1, String cadena_2, double n2 )
{
    StringBuilder temporal = new StringBuilder();

    temporal.append( cadena_1 + "\t" + n1 + "\t" + cadena_2 + "\t" + n2 );

    temporal.append( "\n" ); // agrega carácter de nueva línea
    return temporal.toString();
} // fin del método toString

public String toString( String cadena_1, int n1, String cadena_2, int n2, double n3 )
{
    StringBuilder temporal = new StringBuilder();

    temporal.append( cadena_1 + n1 + cadena_2 + n2 + "\t" + n3 );

    temporal.append( "\n" ); // agrega carácter de nueva línea
    return temporal.toString();
} // fin del método toString

public String toString( String cadena, Object numero )
{
    StringBuilder temporal = new StringBuilder();

    temporal.append( cadena + "\t" + numero );

    temporal.append( "\n" ); // agrega carácter de nueva línea
    return temporal.toString();
} // fin del método toString
```

**Figura 6.22 Tres métodos sobrecargados de la clase ArmadorDeCadenas.**

Con esta clase se puede armar una sola cadena en cada análisis cinemático para posteriormente utilizar un objeto de la clase InterfaceDeArchivo, para guardar el resultado de cada análisis del mecanismo.

La clase InterfaceDeArchivo mediante su método

```
public void establecerDatosEnArchivo( String cadenasAEscribir, String ruta[], String tipoDeAnálisis )
```

guarda una cadena llamada cadenasAEscribir que contiene la información de un análisis identificado como una cadena llamada tipoDeAnálisis, al recibir un arreglo con la ruta donde se debe guardar el archivo, mediante

```
String archivoAEscribir = ruta[2] + "\\\" + tipoDeAnálisis + ruta[1] + ".txt";
```

```
    EscribeDatosEnArchivo ap = new EscribeDatosEnArchivo( archivoAEscribir );  
    ap.escribeParesOrdenados( cadenasAEscribir, false);
```

se elabora una cadena llamada archivoAEscribir que se envía a un objeto llamado ap de la clase EscribeDatosEnArchivo, finalmente se utiliza el método escribeParesOrdenados que recibe a cadenasAEscribir y una variable tipo boolean en false que indica que se debe crear un nuevo archivo o sobrescribir un archivo existente.

El método obtenerDatosDeArchivo\_AnálisisCinemático( String[] laRuta ), figura 6.23, asigna a elementos de un arreglo tipo double con la colaboración del método obtieneUnaVariableYSuValor.

Primero se declara una variable1 tipo string y se inicializa con la clave de búsqueda, y se envía junto con un contador y un objeto lector de la clase LeeDatosDeArchivo al método obtieneUnaVariableYSuValor ( String clave, int indice, LeeDatosEnArchivo lector ). Este método es el responsable de llenar el arreglo.

```
public void obtenerDatosDeArchivo_AnálisisCinemático( String[] laRuta ) // devuelve una arreglo de  
datos al manejador que solicita  
{
```

```

contadorPositivo = 0;

LeeDatosEnArchivo lector1 = new LeeDatosEnArchivo( laRuta[0] + "\\\" + laRuta[1] + "\\\" +
\"An_Geom_Pos_\" + laRuta[1] + \".txt\" );
LeeDatosEnArchivo lector2 = new LeeDatosEnArchivo( laRuta[0] + "\\\" + laRuta[1] + "\\\" +
\"An_Geom2_Tabla_\" + laRuta[1] + \".txt\" );

String L_0LB1_02_0001_02_0001 = \"L_0LB1_02_0001_02_0001\"; // clave de barra uno
obtieneUnaVariableYSuValor( L_0LB1_02_0001_02_0001, contadorPositivo, lector1 );
contadorPositivo++;

String L_0LB2_02_0002_02_0002 = \"L_0LB2_02_0002_02_0002\"; // clave de barra 2
obtieneUnaVariableYSuValor( L_0LB2_02_0002_02_0002, contadorPositivo, lector1 );
contadorPositivo++;

String L_0LB3_02_0003_02_0003 = \"L_0LB3_02_0003_02_0003\"; // clave de barra 3
obtieneUnaVariableYSuValor( L_0LB3_02_0003_02_0003, contadorPositivo, lector1 );
contadorPositivo++;

String L_0LB4_02_0004_02_0004 = \"L_0LB4_02_0004_02_0004\"; // clave de barra 4
obtieneUnaVariableYSuValor( L_0LB4_02_0004_02_0004, contadorPositivo, lector1 );
contadorPositivo++;

String A_T1AB_000B_02_0001_02_0001 = \"A_T1AB_000B_02_0001_02_0001\"; // clave de ang 1
obtieneUnaVariableYSuValor( A_T1AB_000B_02_0001_02_0001, contadorPositivo, lector2 );
contadorPositivo++;

String A_T1AB_000B_02_0002_02_0002 = \"A_T1AB_000B_02_0002_02_0002\"; // clave de ang 2
obtieneUnaVariableYSuValor( A_T1AB_000B_02_0002_02_0002, contadorPositivo, lector2 );
contadorPositivo++;

String A_T1AB_000B_02_0003_02_0003 = \"A_T1AB_000B_02_0003_02_0003\"; // clave de ang 3
obtieneUnaVariableYSuValor( A_T1AB_000B_02_0003_02_0003, contadorPositivo, lector2 );
contadorPositivo++;

String A_T1AB_000B_02_0004_02_0004 = \"A_T1AB_000B_02_0004_02_0004\"; // clave de ang 4

```

```

obtieneUnaVariableYSuValor( A_T1AB_000B_02_0004_02_0004, contadorPositivo, lector2 );
contadorPositivo++;

}

```

**Figura 6.23 Este método llena un arreglo con datos de entrada para un análisis cinemático.**

Para recuperar el arreglo de valores solo es necesario invocar al método obtenerValores, figura 6.24.

```

public double[] obtenerValores()
{
    return salidaNumerosReales;
}

```

**Figura 6.24 El método regresa un arreglo tipo double a quien lo llamó.**

Existe un método sobrecargado de obtieneUnaVariableYSuValor con el argumento ( String clave, int indice, LeeDatosEnArchivo lector, String nombre ), este se utiliza para obtener un arreglo tipo Object para la tabla de presentación de resultados, para obtener el arreglo tipo object de utiliza el método obtenerValores\_TablaPresentacion, figura 6.25.

```

public Object[][] obtenerValores_TablaPresentacion()
{
    return paraTablaPresentacion;
}

```

**Figura 6.25 Este método regresa un arreglo bidimensional tipo Object.**

La clase TablaPresentacion, figura 6.26 declarada en el paquete com.mecanismo.caso\_uso\_3 permite visualizar una tabla de presentación de datos de cada uno de los análisis efectuados, en particular las variables con los valores encontrados. Se debe proporcionar una arreglo Object bidimensional, y un arreglo String con los nombres de las columnas de la tabla, con

```

final JTable table = new JTable(data, columnNames);

```

se utiliza un objeto Table de Jtable para elaborar la tabla a partir de los arreglos del argumento de este objeto. Y con la linea

```
JScrollPane scrollPane = new JScrollPane(table);
```

Es posible utilizar barras de desplazamiento vertical para recorrer la tabla si esta contiene demasiadas filas como para observarlas en el monitor.

```
package com.mecanismo.caso_uso_3;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JPanel;
import javax.swing.JScrollPane;
import javax.swing.JTable;
import java.awt.Dimension;
import java.awt.GridLayout;
import java.awt.event.MouseAdapter;
import java.awt.event.MouseEvent;

public class TablaPresentacion extends JPanel
{
    public TablaPresentacion(Object[][] data, String[] columnNames )
    {
        super(new GridLayout(1,0));
        final JTable table = new JTable(data, columnNames);
        table.setPreferredScrollableViewportSize(new Dimension(800, 100));
        table.setFillsViewportHeight(true);
        //Create the scroll pane and add the table to it.
        JScrollPane scrollPane = new JScrollPane(table);
        //Add the scroll pane to this panel.
        add(scrollPane);
    }
} // finaliza clase
```

**Figura 6.26 La clase TablaPresentacion**

## 6.5 Caso de uso 4

Este caso es similar al caso de uso 2 que ya se describió anteriormente, las clases son: `ManejadorAnálisisCinemático.class`, `InterfaceAnálisisCinemático.class` y `AnálisisCinemático.class`. El manejador llama a la interface y esta a su vez llama y provee de los datos de entrada necesarios a el análisis cinemático, figura 6.27

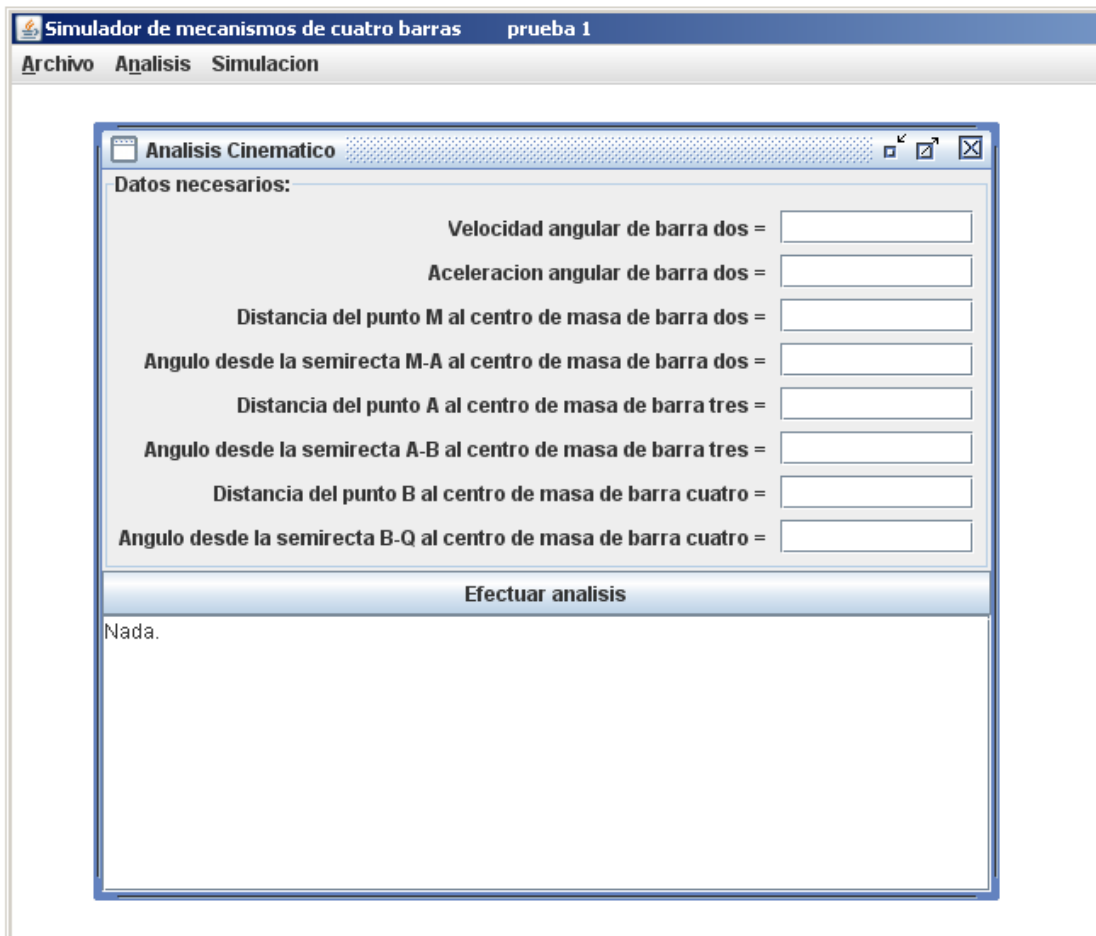


Figura 6.27 La interfaz de análisis cinemático.

La clase `AnálisisCinemático` calcula: las velocidades angulares de cada barra, las aceleraciones angulares de cada barra, la aceleración del centro de gravedad de cada barra en componentes en  $x$  e  $y$ . Utiliza métodos para convertir valores de notación rectangular a polar, conversión de ángulos sexagesimales a radianes, todo estos métodos son necesarios para adecuar los datos a la formulas del capítulo 4, figura 6.28.

```

// CalculoCinematico.java
// Ilan Linares Mendoza, 18/03/09

package com.mecanismo.caso_uso_2;

import com.mecanismo.caso_uso_3.ArmadorDeCadenas;

import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;

public class AnálisisCinematico
{
    double R1, R2, R3, R4;
        double anguloUno, anguloDos, anguloTres, anguloCuatro;
        double velAngularDos;
        double alfaDos;
        double vecPosM_G2, angVecPosM_G2; // faltan sus ecuaciones
        double vecPosA_G3, angVecPosA_G3;
        double vecPos_G4, angVecPos_G4;

        // hasta aqui variables independientes
        double velAngularTres, velAngularCuatro;
        double alfaTres, alfaCuatro;

        double Ai, Aj; // A junta 2
        double A_g2i, A_g2j;
            double A_ag3i, A_ag3j, A_g3i, A_g3j;
            double A_ag4i, A_ag4j;

            String cadenaSalida;
            ArmadorDeCadenas armador;

    public AnálisisCinematico ( double datosRecibidos[], double omegaDos, double alfaDos,
        double mod_vecPos_2, double ang_vecPos_2, double mod_vecPos_3, double ang_vecPos_3,
        double mod_vecPos_4, double ang_vecPos_4 )
    {

```



```

System.out.println( " Se inicia el AnálisisCinemático \n");

armador = new ArmadorDeCadenas(); // se crea un objeto

cadenaSalida = armador.toString( "Resutados de Análisis cinemático de posicion ");

R1 = datosRecibidos[0];
R2 = datosRecibidos[1];
R3 = datosRecibidos[2];
R4 = datosRecibidos[3];

System.out.println( " \n\nSe crea un objeto ArmadorDeCadenas para ir haciendo una cadena de
salida. \n");

System.out.printf( "\nEsta es R1= %f", R1);

cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es R1= L_0LR1_000B_03_0001_03_0001"+"\\t", R1);
System.out.printf( "\nEsta es R2= %f", R2);
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es R2= L_0LR2_000B_03_0002_03_0002"+"\\t", R2 );
System.out.printf( "\nEsta es R3= %f", R3);
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es R3= L_0LR3_000B_03_0003_03_0003"+"\\t", R3 );
System.out.printf( "\nEsta es R4= %f", R4);
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es R4= L_0LR4_000B_03_0004_03_0004"+"\\t", R4 );

anguloUno = datosRecibidos[4];
anguloDos = datosRecibidos[5];
anguloTres = datosRecibidos[6];
anguloCuatro = datosRecibidos[7];

System.out.printf( "\nEsta es anguloDos= %f", anguloDos);
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es A_0AB2_000B_03_0002_03_0002 anguloDos ",
anguloDos );
System.out.printf( "\nEsta es anguloTres= %f", anguloTres);
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es A_0AB3_000B_03_0003_03_0003 anguloTres ",
anguloTres );
System.out.printf( "\nEsta es anguloCuatro= %f", anguloCuatro);
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es A_0AB4_000B_03_0004_03_0004 anguloCuatro ",
anguloCuatro );

```

```

velAngularDos = omegaDos;
alfaDos = alfaDos;

System.out.printf( "\nEsta es velAngularDos   %f", velAngularDos );
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es velAngularDos V_VAB2_000B_03_0002_03_0002   ",
velAngularDos );
System.out.printf( "\nEsta es alfaDos = %f", alfaDos );
cadenaSalida += armador.toString( "\nEsta es, alfaDos   ", alfaDos );

vecPosM_G2 = mod_vecPos_2;
angVecPosM_G2 = ang_vecPos_2; // faltan sus ecuaciones

vecPosA_G3 = mod_vecPos_3;
angVecPosA_G3 = ang_vecPos_3;
vecPos_G4 = mod_vecPos_4;
angVecPos_G4 = ang_vecPos_4;

// calculo de vectores de posicion

calculaVectoresDePosicion( 1, R2 , vecPosM_G2, anguloDos, angVecPosM_G2);
calculaVectoresDePosicion( 2, R2 , vecPosM_G2, anguloDos, angVecPosM_G2);
calculaVectoresDePosicion( 3, vecPosA_G3, R3 , anguloTres, angVecPosA_G3);
calculaVectoresDePosicion( 4, vecPosA_G3, R3 , anguloTres, angVecPosA_G3);
calculaVectoresDePosicion( 5, vecPos_G4, R4 , anguloCuatro, angVecPos_G4);
calculaVectoresDePosicion( 6, vecPos_G4, R4 , anguloCuatro, angVecPos_G4);

    anguloDos= conversionARadian( anguloDos );
    anguloTres= conversionARadian( anguloTres );
    anguloCuatro= conversionARadian( anguloCuatro );

calculaVelocidadAngular( 3 );
calculaVelocidadAngular( 4 );
calculaAceleraciones();
calculaAceleracionesLineales();

} // fin del constructor

```

```

public void calculaVelocidadAngular( int selector )
{
    System.out.printf( "\n\teta2 = %.6f\n", anguloDos );
    System.out.printf( "\teta3 = %.6f\n", anguloTres );
    System.out.printf( "\teta43 = %.6f\n", anguloCuatro );

    System.out.printf( "Despues de conv-rad\n\teta2 = %.6f\n", anguloDos );
    System.out.printf( "\teta3 = %.6f\n", anguloTres );
    System.out.printf( "\teta43 = %.6f\n", anguloCuatro );

    switch ( selector )
    {
        case 3:
            velAngularTres = R2/R3*velAngularDos*Math.sin( anguloDos - anguloCuatro ) /
                Math.sin( anguloCuatro - anguloTres );
            System.out.printf( "\nw3 = %.8f\n", velAngularTres );
            cadenaSalida += armador.toString( "\nw3 = V_VAB3_000B_03_0003_03_0003 ",
velAngularTres );
            break;
        case 4:
            velAngularCuatro = R2/R4*velAngularDos*Math.sin( anguloDos-anguloTres ) /
                Math.sin( anguloTres - anguloCuatro );
            System.out.printf( "\nw4 = %.8f", velAngularCuatro );
            cadenaSalida += armador.toString( "\nw4 = V_VAB4_000B_03_0004_03_0004",
velAngularCuatro );
    } // fin del switch
} // fin del método calculaVelocidadAngular

public void calculaAceleraciones( )
{
    double A,B,C,D,E, F;

    A = R3*Math.sin( anguloTres);
    B = R4*Math.sin( anguloCuatro );
    C = -R2 * velAngularDos*velAngularDos*Math.cos( anguloDos)
        -R2*alfaDos*Math.sin( anguloDos )
        -R3*velAngularTres*velAngularTres*Math.cos( anguloTres )
        -R4*velAngularCuatro*velAngularCuatro*Math.cos( anguloCuatro );

```

```

D = -R3*Math.cos( anguloTres );
E = -R4 * Math.cos( anguloCuatro );
F = -R2 * velAngularDos*velAngularDos*Math.sin( anguloDos)
    +R2*alfaDos*Math.cos( anguloDos )
    -R3 * velAngularTres*velAngularTres*Math.sin( anguloTres )
    -R4*velAngularCuatro*velAngularCuatro*Math.sin( anguloCuatro );

System.out.printf( "\n");
System.out.printf( "\nA = %.8f\n", A );
cadenaSalida += armador.toString( "\nA = ", A );
System.out.printf( "B = %.8f\n", B );
    cadenaSalida += armador.toString( "B = ", B );
System.out.printf( "C = %.8f\n", C );
    cadenaSalida += armador.toString( "C = ", C );
System.out.printf( "D = %.8f\n", D );
    cadenaSalida += armador.toString( "D = ", D );
System.out.printf( "E = %.8f\n", E );
    cadenaSalida += armador.toString( "E = ", E );
System.out.printf( "F = %.8f\n", F );
    cadenaSalida += armador.toString( "F = ", F );

alfaTres = ( C*E - B*F ) / ( A*E - B*D );
alfaCuatro = ( A*F - C*D ) / ( A*E - B*D );

System.out.printf( "\nAceleracion angular barra tres = %.8f", alfaTres );
    cadenaSalida += armador.toString( "\nAceleracion angular barra tres alfaTres ", alfaTres );
System.out.printf( "\nAceleracion angular barra cuatro = %.8f", alfaCuatro );
    cadenaSalida += armador.toString( "\nAceleracion angular barra cuatro alfaCuatro ",
alfaCuatro );

} // fin del metod calculaAceleraciones

// =...)
public void calculaVectoresDePosicion( int caso, double n1, double n2, double teta, double angulo)
{
    double Rpq_mod, Rpq_ang;

```

```

switch(caso)
{
    case 1:
        Rpq_mod = n2; // n2=b
        Rpq_ang = teta + angulo + 180;

        cadenaSalida += armador.toString( "\n R12_modulo ", Rpq_mod, " R12_angulo ", Rpq_ang );
        cadenaSalida += armador.toString("\n R12_i ", calculaComponenteEn_i(Rpq_mod,Rpq_ang), "
R12_j ", calculaComponenteEn_j(Rpq_mod,Rpq_ang ));
        break;
    case 2:

        Rpq_mod = Math.sqrt( n1*n1 + n2*n2 -2*n1*n2*Math.cos(conversionARadian(angulo)) ); // n1=a,
n2=b
        Rpq_ang = teta + angulo + 180+ conversionASexagesimal(Math.acos((n1*n1-n2*n2-
Rpq_mod*Rpq_mod)/(-2*n2*Rpq_mod)));

        cadenaSalida += armador.toString( "\n R32_modulo ", Rpq_mod, " R32_angulo ", Rpq_ang );
        cadenaSalida += armador.toString("\n R32_i ", calculaComponenteEn_i(Rpq_mod,Rpq_ang), "
R32_j ", calculaComponenteEn_j(Rpq_mod,Rpq_ang ));

        break;
    case 3:
        Rpq_mod = n1; // n1=a
        Rpq_ang = 180 + teta + angulo;

        cadenaSalida += armador.toString( "\n R23_modulo ", Rpq_mod, " R23_angulo ", Rpq_ang );
        cadenaSalida += armador.toString("\n R23_i ", calculaComponenteEn_i(Rpq_mod,Rpq_ang), "
R23_j ", calculaComponenteEn_j(Rpq_mod,Rpq_ang ));
        break;
    case 4:

        Rpq_mod = Math.sqrt( n1*n1 + n2*n2 -2*n1*n2*Math.cos(conversionARadian(angulo)) ); // n1=a,
n2=b
        Rpq_ang = 180 + teta + angulo + conversionASexagesimal(Math.acos((n2*n2-n1*n1-
Rpq_mod*Rpq_mod)/(-2*n1*Rpq_mod)));

        cadenaSalida += armador.toString( "\n R43_modulo ", Rpq_mod, " R43_angulo ", Rpq_ang );

```

```

        cadenaSalida += armador.toString("\n R43_i  ", calculaComponenteEn_i(Rpq_mod,Rpq_ang), "
R43_j  ", calculaComponenteEn_j(Rpq_mod,Rpq_ang ));

break;
case 5:
    Rpq_mod = n1; // n1=a
    Rpq_ang = -180 + teta + angulo;

    cadenaSalida += armador.toString( "\n R34_modulo  ", Rpq_mod, " R34_angulo  ", Rpq_ang );
    cadenaSalida += armador.toString("\n R34_i  ", calculaComponenteEn_i(Rpq_mod,Rpq_ang), "
R34_j  ", calculaComponenteEn_j(Rpq_mod,Rpq_ang ));

    break;
case 6:

    Rpq_mod = Math.sqrt( n1*n1 + n2*n2 -2*n1*n2*Math.cos(conversionARadian(angulo)) ) ; // n1=a,
n2=b
    Rpq_ang = -180 + teta + angulo + conversionASexagesimal(Math.acos((n2*n2-n1*n1-
Rpq_mod*Rpq_mod)/(-2*n1*Rpq_mod)));

    cadenaSalida += armador.toString( "\n R14_modulo  ", Rpq_mod, " R14_angulo  ", Rpq_ang );
    cadenaSalida += armador.toString("\n R14_i  ", calculaComponenteEn_i(Rpq_mod,Rpq_ang), "
R14_j  ", calculaComponenteEn_j(Rpq_mod,Rpq_ang ));

    default:
        System.out.println( "No se realizo nada");
        break;

} // fin de switch

} // fin del metod calculaVectores de posicion
// =...)
public void calculaAceleracionesLineales()
{

    Ai = -R2 *velAngularDos*velAngularDos*Math.cos( anguloDos) - R2*alfaDos*Math.sin( anguloDos );
    Aj = R2*alfaDos*Math.cos( anguloDos) - R2*velAngularDos*velAngularDos*Math.sin( anguloDos );

```

```

angVecPosM_G2=conversionARadian(angVecPosM_G2);

double A_CMB2i = -vecPosM_G2 *velAngularDos*velAngularDos*Math.cos(
anguloDos+angVecPosM_G2) - vecPosM_G2*alfaDos*Math.sin( anguloDos+angVecPosM_G2 );
double A_CMB2j = vecPosM_G2*alfaDos*Math.cos( anguloDos+angVecPosM_G2) -
vecPosM_G2*velAngularDos*velAngularDos*Math.sin( anguloDos+angVecPosM_G2 );

System.out.printf( "Aceleracion del punto A: \nAi = %.8f\nAj = %.8f\n", Ai, Aj );
cadenaSalida += armador.toString( "\nAi = A_ALB2_00BI_03_0002_03_0002"+"t", Ai, "\n Aj =
A_ALB2_00BJ_03_0002_03_0002"+"t", Aj );

System.out.printf( "Aceleracion del centro de masa de Barra 2: \nA_CMB2i = %.8f\nA_CMB2j =
%.8f\n", A_CMB2i, A_CMB2j );
cadenaSalida += armador.toString( "\nA_CMB2i "+"t", A_CMB2i, "\n A_CMB2j "+"t", A_CMB2j );

double Mod_A_CMB2= conversionAPolar_Modulo(A_CMB2i, A_CMB2j);
double Ang_A_CMB2= conversionAPolar_Angulo(A_CMB2i, A_CMB2j);

cadenaSalida += armador.toString( "\nLa aceleracion absoluta del punto G2 es:\nMod_VAG2 =
",Mod_A_CMB2, "\n Ang_VAG2 = ", Ang_A_CMB2 );

System.out.println( "\nCalcule aceleracion lineal de un punto en la barra 3: \n");

angVecPosA_G3 = conversionARadian( angVecPosA_G3);

A_ag3i = - ( vecPosA_G3 * velAngularTres * velAngularTres *
Math.cos( anguloTres + angVecPosA_G3 ) - vecPosA_G3 * alfaTres * Math.sin( anguloTres +
angVecPosA_G3 ) );

A_ag3j = vecPosA_G3 * alfaTres * Math.cos( anguloTres + angVecPosA_G3 )- vecPosA_G3 *
velAngularTres * velAngularTres * Math.sin( anguloTres + angVecPosA_G3 );

System.out.printf( "\nAceleracion relativa de G3:\nA_ag3i = %.8f A_ag3j = %.8f\n", A_ag3i, A_ag3j
);

```

```

cadenaSalida += armador.toString( "\nAceleracion relativa de G3:\nA_ag3i =
A_ALB3_RG3I_03_0003_03_0003 "+"t", A_ag3i, "\n A_ag3j = A_ALB3_RG3J_03_0003_03_0003"+"t",
A_ag3j );

```

```

cadenaSalida += armador.toString("A_g3i = Ai + A_ag3i; "+"nA_g3j = Aj + A_ag3j;");
A_g3i = Ai + A_ag3i;
A_g3j = Aj + A_ag3j;

```

```

System.out.println( "\nLa aceleracion absoluta del punto G3 es: ");
System.out.printf( "\nA_g3i = %.8f A_g3j = %.8f\n", A_g3i, A_g3j );
cadenaSalida += armador.toString( "\nLa aceleracion absoluta del punto G3 es:\nA_abs_g3i ", A_g3i,
"\n A_abs_g3j ", A_g3j );

```

```

double Mod_VAG3= conversionAPolar_Modulo(A_g3i,A_g3j);
double Ang_VAG3= conversionAPolar_Angulo(A_g3i,A_g3j);

```

```

cadenaSalida += armador.toString( "\nLa aceleracion absoluta del punto G3 es:\nMod_VAG3 =
",Mod_VAG3, "\n Ang_VAG3 = ", Ang_VAG3 );

```

```

// Aceleracion punto barra cuatro

```

```

System.out.println( "Calcule aceleracion lineal de un punto en la barra 4: ");

```

```

double B_i = ( R4 * velAngularCuatro * velAngularCuatro *
Math.cos( anguloCuatro ) + R4 * alfaCuatro * Math.sin( anguloCuatro ) );
double B_j = -R4 * alfaCuatro * Math.cos( anguloCuatro ) +
R4 * velAngularCuatro * velAngularCuatro * Math.sin( anguloCuatro );

```

```

System.out.println( "\nLa aceleracion absoluta del punto B es: " );
System.out.printf( "Bi = %.8f Bj = %.8f\n", B_i, B_j );
cadenaSalida += armador.toString( "\nLa aceleracion absoluta del punto B es:\nB_i = ", B_i,"B_j", B_j
);

```

```

double Mod_B = conversionAPolar_Modulo(B_i,B_j);
double Ang_B = conversionAPolar_Angulo(B_i,B_j);

```



```

cadenaSalida += armador.toString( "\nLa aceleracion absoluta del punto G4 es:\nMod_B = ",Mod_B,
"\n Ang_B = ", Ang_B );

angVecPos_G4 = conversionARadian( angVecPos_G4 );

A_ag4i = ( vecPos_G4 * velAngularCuatro * velAngularCuatro *
Math.cos( anguloCuatro + angVecPos_G4 ) + vecPos_G4 * alfaCuatro * Math.sin( anguloCuatro +
angVecPos_G4 ) );
A_ag4j = -vecPos_G4 * alfaCuatro * Math.cos( anguloCuatro + angVecPos_G4 ) +
vecPos_G4 * velAngularCuatro * velAngularCuatro * Math.sin( anguloCuatro +
angVecPos_G4 );

System.out.println( "\nLa aceleracion absoluta del punto G4 es: " );
System.out.printf( "A_ag4i = %.8f A_ag4j = %.8f\n", A_ag4i, A_ag4j );
cadenaSalida += armador.toString( "\nLa aceleracion absoluta del punto G4 es:\nA_ag4i ", A_ag4i,
"\n A_ag4j ", A_ag4j );

double Mod_VAG4= conversionAPolar_Modulo(A_ag4i,A_ag4j);
double Ang_VAG4= conversionAPolar_Angulo(A_ag4i,A_ag4j);

cadenaSalida += armador.toString( "\nLa aceleracion absoluta del punto G4 es:\nMod_VAG4 =
",Mod_VAG4, "\n Ang_VAG4 = ", Ang_VAG4 );

} // fin del método

public double calculaComponenteEn_i(double modulo, double angulo)
{
double i=modulo*Math.cos( conversionARadian( angulo ) );
return i;
}
public double calculaComponenteEn_j(double modulo, double angulo)
{
double j=modulo*Math.sin( conversionARadian( angulo ) );
return j;
}

public double conversionARadian( double angulo )
{

```

```

        return angulo / 180 *Math.PI;
    } // fin método

    public double conversionASexagesimal( double anguloRadian)
    {
        return anguloRadian / Math.PI * 180;
    }

    public double calculaAnguloSexagesimal( double x1, double x2, double x3, int selector)
    {
        double angulo =0;
        switch ( selector )
        {
            case 1:
                angulo = 2*Math.atan( ( -x2 + Math.sqrt( x2*x2 - 4 * x1*x3 ) ) / (2*x1) );
                break;
            case 2:
                angulo = 2*Math.atan( ( -x2 - Math.sqrt( x2*x2 - 4 * x1*x3 ) ) / (2*x1) );
                break;
            default:
                break;
        } // fin del switch

        return conversionASexagesimal( angulo );
    } // fin del método calculaAnguloSexagesimal

    public String obtenerCadena()
    {
        return cadenaSalida;
    }

    public double conversionAPolar_Modulo( double x, double y)
    {
        return Math.sqrt( x*x + y*y);
    }

    public double conversionAPolar_Angulo( double x, double y)
    {
        if ( Math.atan( y/x) < 0 )

```

```

return Math.atan( y/x) / Math.PI * 180 + 360;
else
return Math.atan( y/x) / Math.PI * 180;
}
} // fin de la clase

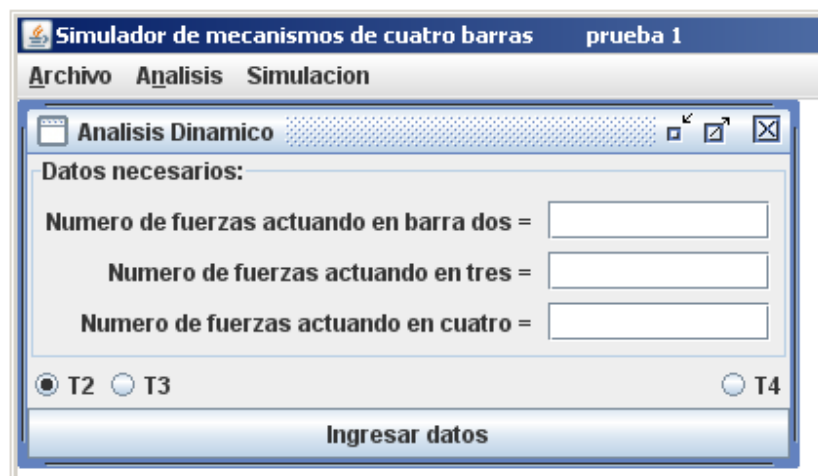
```

**Figura 6.28. Clase AnálisisCinemático**

## 6.6 Caso de uso 5

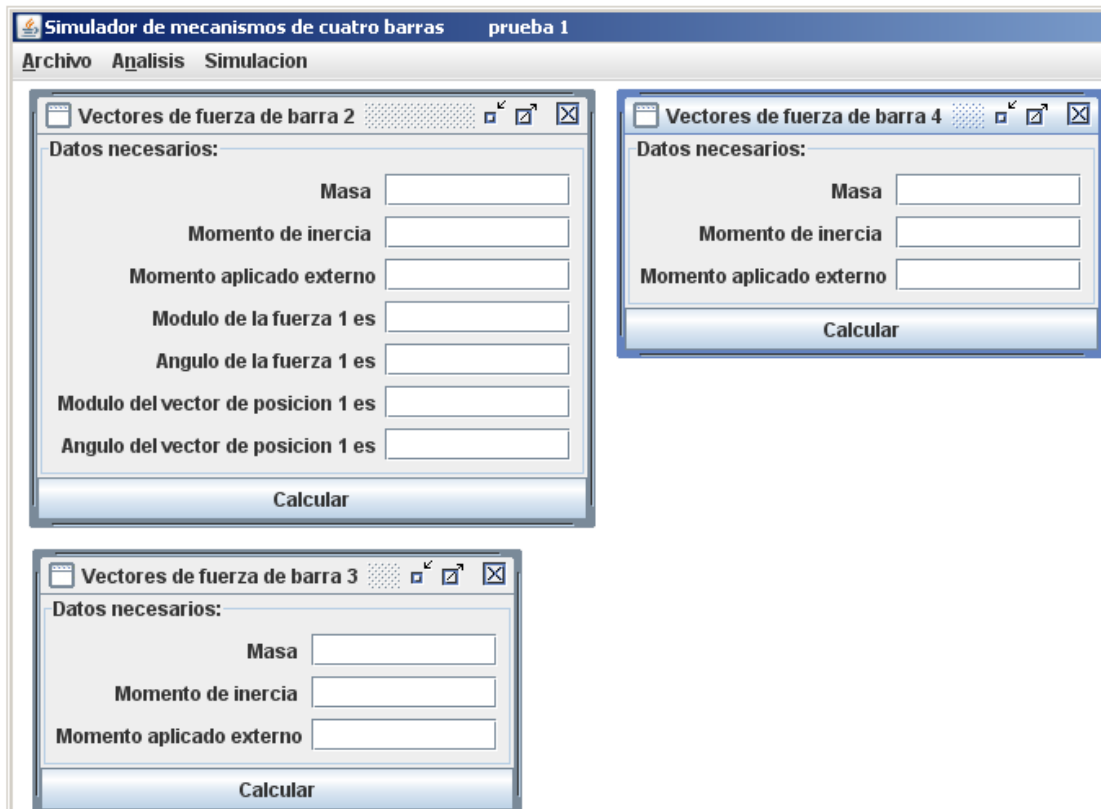
Las clases son ManejadorAnálisisDinamico, InterfaceAnálisisDinamico, EstadoTorque, y AnálisisDinamico.

El manejador ManejadorAnálisisDinamico inicializa a la interface InterfaceAnálisisDinamico, figura 6.29.



**Figura 6.29 Una de las ventanas de la InterfaceAnálisisDinamico**

Entonces se pueden insertar el número de fuerzas actuando externamente en cada barra, figura 6.30, así como elegir la barra donde se aplica el momento impulsor externo por medio de los botones de radio.



**Figura 6.30 Ventanas restantes del análisis dinámico. En estas se pueden insertar los datos dinámicos de entrada.**

La clase InterfaceAnálisisDinámico recibe la ruta donde debe escribir sus archivos de información de salida por medio de su constructor. Al igual que la InterfaceAnálisisGeométrico esta interface provee de campos de texto editables, figura 6.31, para obtener el número de fuerzas que actúan en cada barra, así como la barra donde actuará el momento impulsor. Cuando se pulsa el botón que tiene la etiqueta "Ingresar datos" se obtienen tres ventanas donde se inserta la masa del eslabón, el momento de inercia del mismo, y el vector de posición y de fuerza de la fuerza  $i$ ésima actuando en la barra en cuestión.

La clase interna privada TablaDeVectoresDeFuerzaBarralesima permite mostrar cada ventana para cada barra. En su constructor recibe el número de barra y el número de fuerzas que actúan en la barra.

// clase interna privada para mostrar otra ventana

```

private class TablaDeVectoresDeFuerzaBarralesima extends JFrame implements ActionListener
{

    public TablaDeVectoresDeFuerzaBarralesima( )
    {

        } // fin del constructor ManejadorBotonOpcion

// %%% %%%

    private JPanel panel;

    private ArrayList<JTextField> campos;

    int objetos;
    int barra;

    ArrayList<JLabel> rotulo;
    ArrayList<JTextField> campoTexto;

    public void despliegaTabla( int numero, int numBarra )
    {
        objetos = numero;
        barra = numBarra;

        System.out.println( " \n Se entro en el método InterfaceAnálisisDinamico.despliegaTabla\n" );

        JInternalFrame marco_2 = new JInternalFrame( "Vectores de fuerza de barra "+barra, true, true,
true, true );

        // Inicia coeficientes
        ArmadorDeCadenas armador = new ArmadorDeCadenas();

        rotulo = new ArrayList<JLabel>();
        campoTexto = new ArrayList<JTextField>();

        rotulo.add(new JLabel( "Masa " ) );

```

```

rotulo.add(new JLabel( "Momento de inercia " ) );
rotulo.add(new JLabel( "Momento aplicado externo" ) );
campoTexto.add(new JTextField(10));
campoTexto.add(new JTextField(10));
campoTexto.add(new JTextField(10));

for ( int i=1; i <= objetos; i++ )
{
rotulo.add(new JLabel( armador.toString( " Modulo de la fuerza " , i, " es" ) ) );
rotulo.add(new JLabel( armador.toString( " Angulo de la fuerza " , i, " es" ) ) );
rotulo.add(new JLabel( armador.toString( " Modulo del vector de posicion " , i, " es" ) ) );
rotulo.add(new JLabel( armador.toString( " Angulo del vector de posicion " , i, " es" ) ) );
campoTexto.add(new JTextField(10));
campoTexto.add(new JTextField(10));
campoTexto.add(new JTextField(10));
campoTexto.add(new JTextField(10));
}

        panel = AuxTextField.labelAndFieldTable(
        "Datos necesarios:", rotulo, campoTexto );

// fin de Coeficientes

        marco_2.getContentPane().add(panel,BorderLayout.NORTH);

        // %%%
        JButton jb_2 = new JButton("Calcular");
        jb_2.addActionListener(this);
        marco_2.getContentPane().add(jb_2, BorderLayout.CENTER);

        // %%%

        marco_2.pack();
        elEscritorio_2.add( marco_2 ); // add marco a elEscritorio_2
        marco_2.setVisible(true);

//obtenerDatosDeArchivo_InterfaceAnálisisDinamico( String[] laRuta )

```

```

} // fin del método

public void actionPerformed(ActionEvent ae) {

    System.out.printf ( "\n Se llego al try de TablaDeVectoresDeFuerzaBarra %d , objetos =
%d\n ", barra, objetos );
    try
    {
        // $%&    Escribir los datos en archivo
        ArmadorDeCadenas armador = new ArmadorDeCadenas();
        String cadena = "Análisis Dinamico, fuerzas de barra " + barra;

                cadena += armador.toString ( "nM_0MMB_00B"+barra,
Double.parseDouble(campoTexto.get(0).getText()) );
                double m_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(0).getText()); //
masa iesima

                cadena += armador.toString ( "nMI_0MIB_00B"+barra ,
Double.parseDouble(campoTexto.get(1).getText()) );
                double I_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(1).getText()); //
momento de inercia iesimo

                cadena += armador.toString ( "nM_0MAB_00B"+barra ,
Double.parseDouble(campoTexto.get(2).getText()) );
                double M_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(2).getText()); //
momento externo iesimo

                double sumatoriaProductosCruz=0;// Variable de sumatoria de producto
cruz

                double sumatoriaFuerzas_x = 0;
                double sumatoriaFuerzas_y = 0;
                int enteroParaCondicion=0;
                int contador =3;
                int j=0;

    System.out.printf ( "\n Se llego al while de TablaDeVectoresDeFuerzaBarra %d , objetos = %d\n ", barra,
objetos );

                while ( contador <= (4*objetos) )

```

```

        {

                j = (contador+1)/4;
                System.out.printf ( "\nDentro de while, contador %d , j %d \n ",
contador, j);

                cadena += armador.toString ( "\nM_0MFB_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador).getText()) );
                double Fmod_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador).getText());

                cadena += armador.toString ( "\nA_0AFB_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+1).getText()) );
                double Fang_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+1).getText());
                cadena += armador.toString ( "\nL_0MVP_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+2).getText()) );
                double
Rmod_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+2).getText());
                cadena += armador.toString ( "\nA_0AVP_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+3).getText()) );
                double
Rang_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+3).getText());

                contador +=4;

                System.out.printf ( "\nDentro de while, contador %d , j %d \n ", contador, j+3);

                sumatoriaProductosCruz += calculaProductoCruz( Fmod_i,
Fang_i,Rmod_i,Rang_i);
                System.out.printf ( "\n sumatoriaProductosCruz %f\n ", sumatoriaProductosCruz );
                sumatoriaFuerzas_x += calculaComponenteEn_i( Fmod_i, Fang_i);
                sumatoriaFuerzas_y += calculaComponenteEn_j( Fmod_i, Fang_i);

                } // fin de while
// %%%%%%%%%%%%%%%
                InterfaceDeArchivo generarDatos = new InterfaceDeArchivo(); // aqui se
ordena obtener variables dependientes
                double valoresParaEntregar[] = new double[21];
                generarDatos.obtenerDatosDeArchivo_InterfaceAnálisisDinamico( rutaYNombre );

```



valoresParaEntregar = generarDatos.obtenerValores(); // estos se ocupan a continuacion

```
// %%%%%%%%%%
```

```
double alfa_i=0;
    double Aix=0;
    double Aiy=0;
    if ( barra == 2 ){
        Aix= valoresParaEntregar[0];
        Aiy= valoresParaEntregar[1];
        alfa_i= valoresParaEntregar[2];
    }
    if ( barra == 3 )
        {
        Aix= valoresParaEntregar[3];
        Aiy= valoresParaEntregar[4];
        alfa_i= valoresParaEntregar[5];
        }
    if ( barra == 4 )
        {
        Aix= valoresParaEntregar[5];
        Aiy= valoresParaEntregar[7];
        alfa_i= valoresParaEntregar[8];
        }
}
```

```
System.out.printf( "\n\nalfa%d %f ", barra, alfa_i);
```

```
System.out.printf( "\n\nA%d %f ", barra, Aix);
```

```
System.out.printf( "\n\nA%d %f ", barra, Aiy);
```

```
double kix = m_i * Aix - sumatoriaFuerzas_x;
```

```
System.out.printf( "\n\nk%d %f ", barra, kix);
```

```
cadena += amador.toString ( "\n"+barra+"x" , kix );
```

```
double kiy = m_i * Aiy - sumatoriaFuerzas_y;
```

```
System.out.printf( "\n\nk%d %f ", barra, kiy);
```

```
cadena += amador.toString ( "\n"+barra+"y" , kiy );
```

```
double ki5 = l_i*alfa_i - sumatoriaProductosCruz - M_i;
```

```

        cadena += armador.toString ( "\nk"+barra+"5" , ki5 );

        System.out.printf ( "\n Se llego al fin del while en TablaDeVectoresDeFuerzaBarra
%d\n " , barra );

        InterfaceDeArchivo delegando = new InterfaceDeArchivo();
        delegando.establecerDatosEnArchivo(          cadena,          rutaYNombre,
"An_Din_Fuerzas_Barra_" + barra );
        // $%&

if(barra == 4) // ya se entro por tercera vez
{

// Aqui se obtiene el int del torque desde EstadoTorque

        EstadoTorque state = new EstadoTorque(rutaYNombre);
if ( state.obtenerEstado_EnInt() == 2 )
        barraDeTorque = 2;

if ( state.obtenerEstado_EnInt() == 3 )
        barraDeTorque =3;
if ( state.obtenerEstado_EnInt() == 4 )
        barraDeTorque =4;

        // Ahora se envia el arreglo con las k_ij a l AnalisisDinamico
        // %%%%%%%%%%%
        generarDatos.obtenerDatosDeArchivo_AnalisisDinamico( rutaYNombre ); // ahora se extrae para
AnalisisDinamico
        valoresParaEntregar = generarDatos.obtenerValores();
        AnalisisDinamico anDin = new AnalisisDinamico( valoresParaEntregar, barraDeTorque);

        cadenasDeSalida = anDin.obtenerCadena();
        // %%%%%%%%%%%

System.out.println( "InterfaceDeArchivo servicio start ");

```

```

InterfaceDeArchivo servicio = new InterfaceDeArchivo ( );

servicio.establecerDatosEnArchivo( cadenasDeSalida, rutaYNombre, "An_Din_Valores_ " );

System.out.println( "InterfaceDeArchivo servicio finishes");

// Mostrar la TablaPresentacion
//Create and set up the window.
JInternalFrame marcoConTabla_2 = new JInternalFrame( "Resultados de Análisis Dinamico ", true, true,
true, true );

//Create and set up the content pane.

servicio.obtenerDatosDeArchivo_TablaPresentacion_AnDin( rutaYNombre);

TablaPresentacion tabla_2 = new TablaPresentacion(
servicio.obtenerValores_TablaPresentacion_Din(),
servicio.obtenerNombreColumnasTablaPresentacion_AnDin() );

tabla_2.setOpaque(true); //content panes must be opaque
marcoConTabla_2.setContentPane(tabla_2);

//Display the window.
marcoConTabla_2.pack();
elEscritorio_2.add( marcoConTabla_2 ); // add marco a elEscritorio_2
marcoConTabla_2.setVisible(true);

// ***
// fin Mostrar la TablaPresentacion

}

// fin de try

catch(Exception e)
{
Toolkit.getDefaultToolkit().beep();
return;
}

```

```

    }

} // fin del método actionPermor...

public double conversionARadian( double angulo )
{
    return angulo / 180 *Math.PI;
} // fin método

    public double calculaComponenteEn_i(double modulo, double angulo)
    {
        double i=modulo*Math.cos( conversionARadian( angulo ) );
        return i;
    }
public double calculaComponenteEn_j(double modulo, double angulo)
    {
        double j=modulo*Math.sin( conversionARadian( angulo ) );
        return j;
    }

public double calculaProductoCruz( double Fm, double Fa, double Rm, double Ra )
    {
        double Fi = calculaComponenteEn_i(Fm,Fa);
        double Fj = calculaComponenteEn_j(Fm,Fa);
        double Ri = calculaComponenteEn_i(Rm,Ra);
        double Rj = calculaComponenteEn_j(Rm,Ra);

        System.out.printf( "\n\nFi: %f,Fj: %f,Ri: %f,Rj: %f,", Fi,Fj,Ri,Rj);
        System.out.printf( "Prducto cruz: %f", (Ri*Fj - Rj*Fi) );
        return Ri*Fj - Rj*Fi;
    }

} // fin de la clase interna privada

```

**Figura 6.31 Clase interna de la clase InterfaceAnálisisDinamico**

El ciclo while permite armar una cadena con un objeto armador tipo ArmadorDeCadenas con una fuerza en notacion polar y un vector de posicion en notacion polar. Puesto que los datos estan desplazados tres indices en el arreglo de campos de texto, es necesario encontrar pares ordenados del contador de los indices y una variable de muestreo que permita puntos de extraccion de datos sobre la recta que es la curva de los índices del arreglo, figura 6.32.

contador	Variable
0	masa
1	momento de inercia
2	momento externo
3	F1ang
4	F1mod
5	R1mod
6	R1ang
7	F2ang
8	F2mod
9	R2mod
10	R2ang
11	F3ang
12	F3mod
13	R3mod
14	R3ang
Etc	etc

mod = modulo

ang = angulo

**Figura 6.32** *Tabla que permite observar la relacion del contador y el valor de las variables que almacena.*

Con ayuda de la figura 6.32 ya podemos relacionar el contador con Fimod, resulta la figura 6.33.

contador	Fimod
3	1
7	2
11	3

**Figura 6.33 Relación del contador con el módulo de la fuerza iesima.**

Tenemos pares ordenados que están relacionados por una recta, la ecuación de la recta es

$$(y - 1) = \frac{2 - 1}{7 - 3}(x - 3)$$

$$y = \frac{1}{4}(x - 3) + 1 = \frac{x}{4} - \frac{3}{4} + \frac{4}{4} = \frac{x}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{4}(x + 1)$$

$$y = \frac{1}{4}(x + 1)$$

Así en el cuerpo de while se utiliza una variable tipo int llamada j, y se utiliza en la línea:

$$j = (\text{contador} + 1) / 4;$$

que determina el índice de la fuerza y el vector de posición. Al final del cuerpo while se incrementa en 4 al contador para poder calcular un nuevo j, figura 6.34.

```
while ( contador <= (4*objetos) )
{
    j = (contador+1)/4;
    System.out.printf ( "\nDentro de while, contador %d , j %d \n ",
contador, j);
    cadena += armador.toString ( "\nM_0MFB_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador).getText()) );
    double Fmod_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador).getText());
```

```

        cadena += armador.toString ( "\nA_0AFB_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+1).getText()));
        double Fang_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+1).getText());
        cadena += armador.toString ( "\nL_0MVP_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+2).getText()));
        double
Rmod_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+2).getText());
        cadena += armador.toString ( "\nA_0AVP_00B"+barra + "_" + j,
Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+3).getText()));
        double
Rang_i=Double.parseDouble(campoTexto.get(contador+3).getText());

        contador +=4;

        System.out.printf ( "\nDentro de while, contador %d , j %d \n ", contador, j+3);

        sumatoriaProductosCruz += calculaProductoCruz( Fmod_i,
Fang_i,Rmod_i,Rang_i);
        System.out.printf ( "\n sumatoriaProductosCruz %f\n ", sumatoriaProductosCruz );
        sumatoriaFuerzas_x += calculaComponenteEn_i( Fmod_i, Fang_i);
sumatoriaFuerzas_y += calculaComponenteEn_j( Fmod_i, Fang_i);

    } // fin de while

```

**Figura 6.34 Ciclo while que permite extraer todos los datos de las fuerzas externas actuando en la barra iesima con su respectivo vector de posicion.**

Cada vez que el ciclo while entra en su cuerpo se calcula el producto cruz de la fuerza iesima y su vector iesimo con el método `calculaProductoCruz( Fmod_i, Fang_i,Rmod_i,Rang_i)`, posteriormente se agrega este producto cruz a una sumatoria de productos cruz, se efectúa una conversión a notación rectangular de la fuerza iesima que originalmente viene en forma polar, y así es posible incorporar cada componente a una sumatoria, figura 6.34.

Al final de la clase InterfaceAnálisisDinamico se crea un objeto anDin tipo AnálisisDinamico que efectua un análisis dinámico del mecanismo, se obtienen las cadenas de salida y se guadan mediante un objeto de la clase InterfaceDeArchivo.

La clase AnálisisDinamico utiliza la clase interna ReduccionMatriz\_MxN\_GaussJordan, esta clase interna permite reducir un matriz de M filas por N columnas mediante la reducción de Gauss Jordan. Al particular el autor desarrolló con libros de algebra, apuntes de programacion de vectores multidimensionales en Java, algunas hojas sueltas acompañadas de un boligrafo, y mucha paciencia esta clase. Como se estudio en el capítulo 5, el análisis dinámico del mecanismo resulta un sistema de 13 filas y 14 columnas que se resuelve con esta clase.

## 6.7 Caso de uso 6

Este caso de uso permite vizualizar el movimiento del mecanismo, el manejador ManejadorSimulacion, figura 6.35, usa un objeto de la InterfaceDeArchivo y por medio de los métodos obtenerDatosDeArchivo\_InterfaceSimulacion( cadenasDeRutaYNombre ) y obtenerValores() obtiene una inicializacion de un arreglo llamado valoresParaEntregar que se utiliza para llenar un arreglo llamado ValoresSimulacion. En la linea

```
mecanismo_6 ap = new mecanismo_6( null, null, null, ValoresSimulacion );
```

Se ejecuta un objeto de la clase mecanismo\_6 incluida en el material del CD, es la encargada de mostrar el mecanismo, calcular las posiciones de las barras y variando el ángulo dos de entrada es posible observar el movimiento de: sus barras, los centros de gravedad de las barras, y si se asocia una imagen a cada barra se puede observar el movimiento de cada imagen asociada a cada barra. Esta clase fue creada por Easy Java Simulations (EJS) y fue adaptada para el software simulador de mecanismos de cuatro barras Paula 1.0.

```
package com.mecanismo.caso_uso_6;
```

```
import com.mecanismo.caso_uso_2.*;
```

```
import com.mecanismo.caso_uso_3.*;
```

```
import javax.swing.*;
```

```
import java.awt.*;
```



```

import java.awt.event.*;
import java.util.*;
import java.io.*;
import javax.swing.JDesktopPane;

public class ManejadorSimulacion
{

    String cadenasDeRutaYNombre[] = new String[3];
    JDesktopPane elEscritorio;

    public ManejadorSimulacion( JDesktopPane jDP, String cadenas_ruta_nombre[] )
    {
        elEscritorio = jDP;
        cadenasDeRutaYNombre = cadenas_ruta_nombre;
    }
    public void manejadorProceso()
    {

try
{

                System.out.println("Ejecutando try...");

                // %%%%%%%%%%%
                InterfaceDeArchivo generarDatos = new InterfaceDeArchivo(); // aqui se
ordena obtener variables dependientes
                double valoresParaEntregar[] = new double[6];
                generarDatos.obtenerDatosDeArchivo_InterfaceSimulacion( cadenasDeRutaYNombre );
                valoresParaEntregar = generarDatos.obtenerValores();

                // %%%%%%%%%%%

                //

double ValoresSimulacion[] = new double [17];

                ValoresSimulacion[0]=valoresParaEntregar[0];
                ValoresSimulacion[1]=valoresParaEntregar[1];

```

```

    ValoresSimulacion[2]=valoresParaEntregar[2];
    ValoresSimulacion[3]=valoresParaEntregar[3];
    ValoresSimulacion[4]=valoresParaEntregar[4];
    ValoresSimulacion[5]=valoresParaEntregar[5];
    ValoresSimulacion[6]=valoresParaEntregar[6];
ValoresSimulacion[7]=valoresParaEntregar[7];
ValoresSimulacion[8]=valoresParaEntregar[8];
ValoresSimulacion[9]=valoresParaEntregar[9];
ValoresSimulacion[10]=valoresParaEntregar[10];
ValoresSimulacion[11]=valoresParaEntregar[11];
ValoresSimulacion[12]=valoresParaEntregar[12];
ValoresSimulacion[13]=valoresParaEntregar[13];
ValoresSimulacion[14]=valoresParaEntregar[14];
    ValoresSimulacion[15]=valoresParaEntregar[15];
    ValoresSimulacion[16]=valoresParaEntregar[16];

    System.out.println("Se crea un objeto Simulacion ...");

    mecanismo_6 ap = new mecanismo_6( null, null, null, ValoresSimulacion );
        System.out.println("Termino Simulacion");

        // fin de try
    catch(Exception e)
    {
        Toolkit.getDefaultToolkit().beep();
        return;
    }

} // fin del método

} // fin de la clase

```

**Figura 6.35. ManejadorSimulacion.**

## CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. Mediante la programación es posible obtener aplicaciones que asistan el diseño de mecanismos en el campo de la Mecánica. Por ejemplo en el programa de análisis de cinemático y dinámico asistido por computadora Paula 1.0, se puede analizar el comportamiento del aspecto de un mecanismo de cuatro barras, encontrar las velocidades angulares y aceleraciones angulares dependientes de la barra de entrada y finalmente dado un conjunto de variables de entrada en una situación de movimiento, es posible determinar el momento impulsor así como las fuerzas actuando internamente en cada barra.
2. Los métodos de análisis para el mecanismo de cuatro barras son usados para proyectar el uso de un mecanismo en una aplicación real. Una vez que se conocen datos de entrada para los dos análisis es posible obtener datos de salida como el torque necesario para impulsar al mecanismo, finalmente estos datos son utilizados para un análisis de resistencia de materiales, un ultimo análisis de carácter imprescindible para el diseño final del mecanismo.
3. En el lenguaje de programación Java en su versión estándar 6.0 para elaborar el programa se utilizaron los siguientes recursos: clases matemáticas, el manejo de arreglos de información de diversos tipos, la confección y diseño de tablas, clases para elaborar interfaces de usuario, importación y creación de paquetes de clases, acceso a archivos legibles y a medios de almacenamiento. Además del uso del lenguaje unificado de modelado acompañado de algoritmos de programación.
4. Actualmente, los lenguajes que pertenecen al conjunto de lenguajes orientados a objetos proveen de una extensa variedad de herramientas para programar aplicaciones de ingeniería. La aplicación al análisis cinemático y dinámico de un mecanismo de cuatro barras es un ejemplo de la capacidad disponible para la implementación de análisis corrientes que el ingeniero tiene que realizar en la practica de su profesión.

5. El diseño de una versión de software cualquiera comprende las siguientes etapas en su ciclo de vida: formulación de un problema, especificación de requisitos, análisis, diseño implementación o codificación, integración y pruebas. El software Paula en su versión 1.0 no fue la excepción, y al final de este proyecto se considera que se encuentra durante una fase operacional en la cual se mantiene y extiende el sistema.

6. Con el programa Paula 1.0 se puede asistir el diseño de mecanismos para aplicaciones de potencia hidráulica, mecanismos de apertura y cierre de puertas, mecanismos de cuatro barras utilizados en maquinaria industrial, sistemas de amortiguamiento y frenos automotrices, maquinas trituradoras de piedra, maquinaria para la construcción, prototipos de investigación en aplicaciones de este mecanismo, son algunas de las aplicaciones que se pueden asistir con este software.

## APENDICE

### MANUAL DE USO DE Paula 1.0

#### 1.1 Instalar Paula 1.0

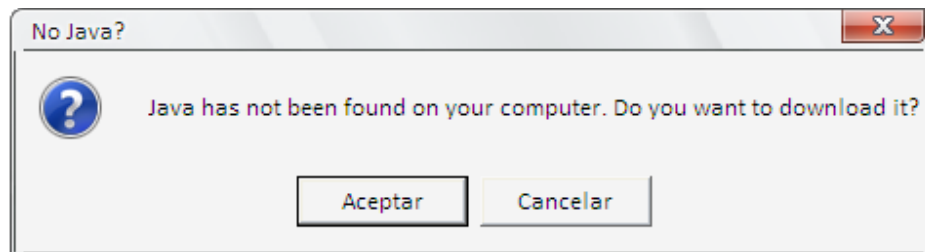
Copiar el folder llamado Paula 1.0 que viene dentro del CD en cualquier ubicación de su disco duro.



Dar doble clic en el icono



Es necesario contar con Java en el ordenador, si no se encuentra instalada la maquina virtual de Java se recibirá este mensaje



Al pulsar en aceptar se entrará en la página de descarga de Java



Seguir los pasos para instalar Java.

## 1.2 Usar el simulador de cuatro barras Paula 1.0

---

**Notas importantes.** Es necesario usar un sistema consistente de unidades para efectuar los análisis en el mecanismo.

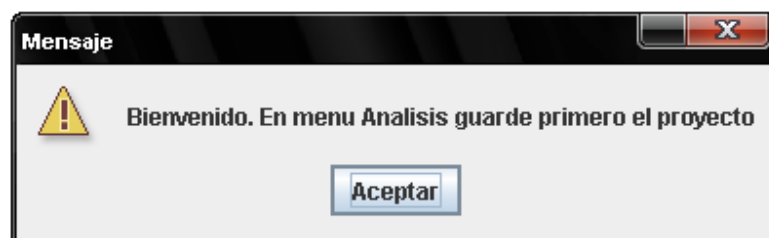
Algunos sistemas de unidades posibles son:

Distancias	Angulos	Velocidad angular	Aceleracion angular	Fuerzas	Momentos	Fuerzas de inercia
cm	Sexagesimales	$\frac{rad}{s}$	$\frac{rad}{s^2}$	Newton	Newton-cm	Newton-cm <sup>2</sup>
m	Sexagesimales	$\frac{rad}{s}$	$\frac{rad}{s^2}$	Newton	Newton-m	Newton-m <sup>2</sup>
pulgadas	Sexagesimales	$\frac{rad}{s}$	$\frac{rad}{s^2}$	Libra	Libra-pulg	Libra-pulg <sup>2</sup>

Paula 1.0 guarda el archivo como texto y es exclusivo para la simulación que se esté efectuando en ese momento, esta versión no soporta la opción Abrir proyecto, que permitiría rescatar un proyecto existente.

---

Al hacer doble clic en el icono para Paula 1.0, la primera ventana es el siguiente mensaje

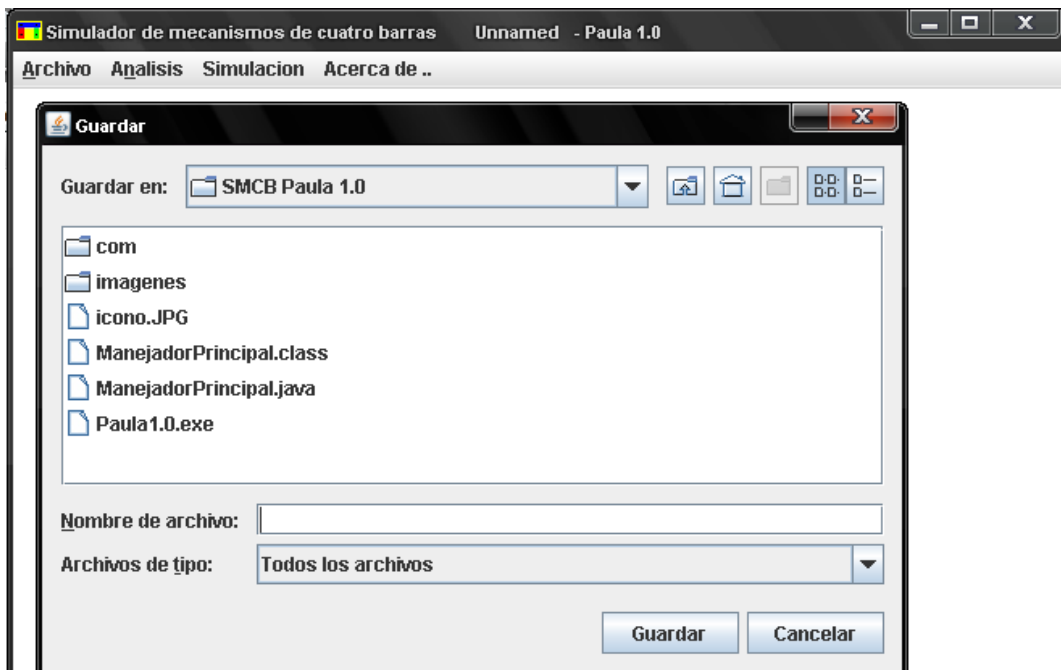


Pulsar en OK. El resultado es



A continuación se verificará la solución del mecanismo modelo.

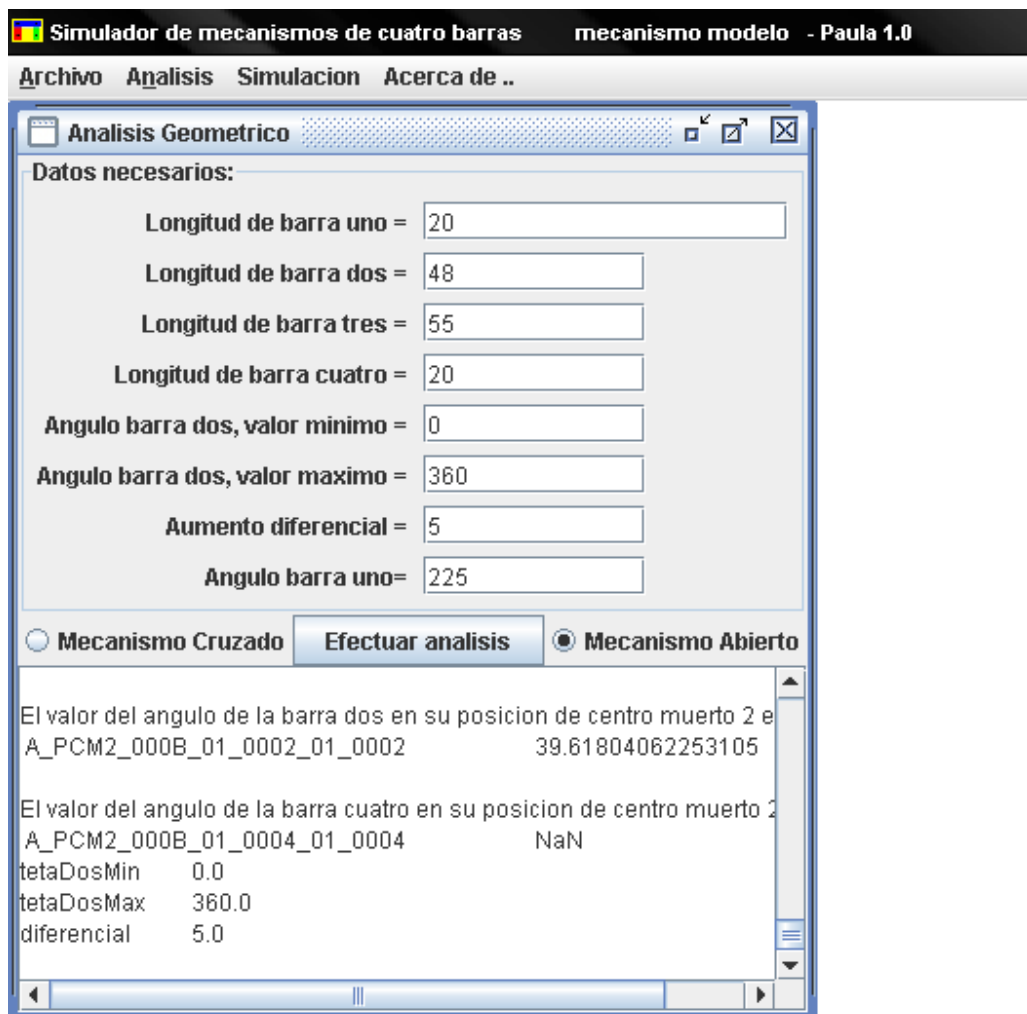
Ir al menú Archivo y seleccionar la opción Nuevo proyecto.





Guardar con el nombre: mecanismo modelo

Ir al menú Analisis -> Geometrico y llenar el panel con los datos mostrados en la siguiente figura



Pulsar el botón Efectuar analisis. Las distancias están en cm y los ángulos en sexagesimales.

El resultado es la tabla que contiene los ángulos de las posiciones que son posibles que realice el mecanismo.

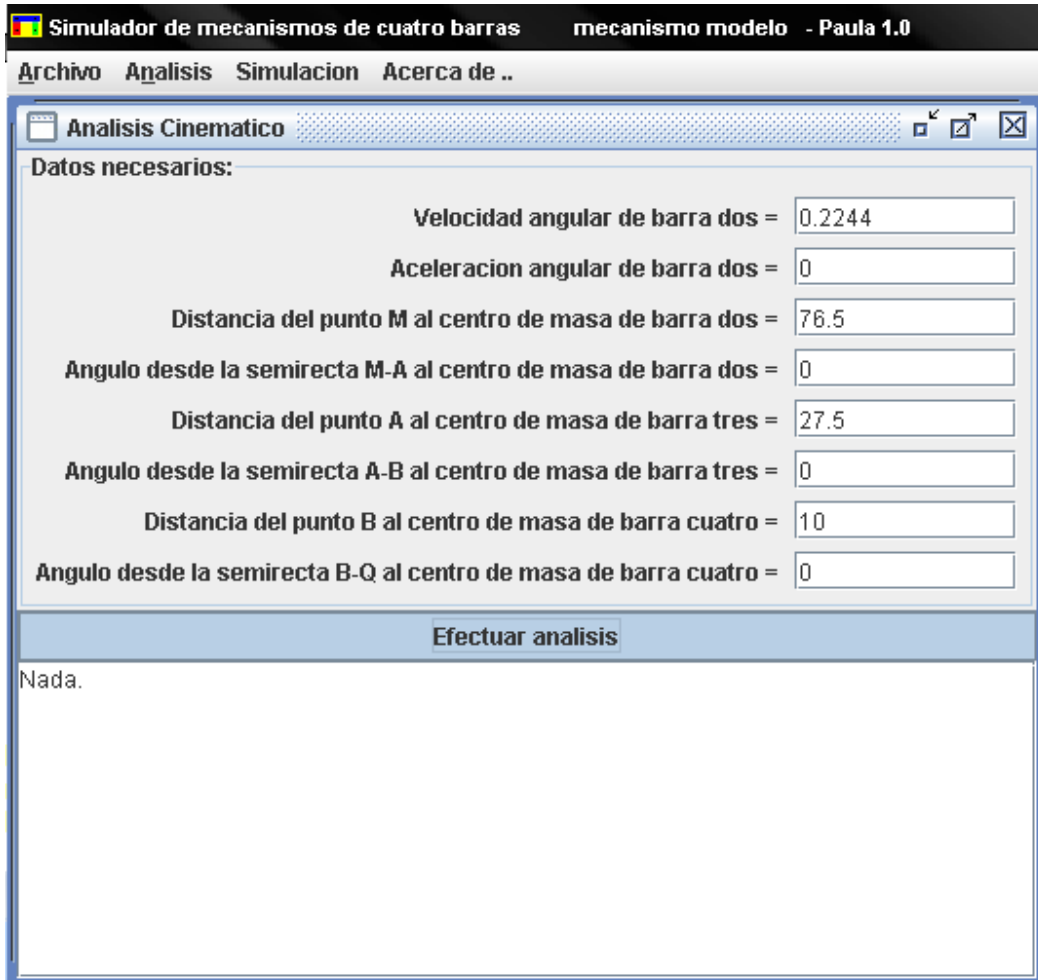
Simulador de mecanismos de cuatro barras      mecanismo modelo - Paula ...

Archivo   Analisis   Simulacion   Acerca de ..

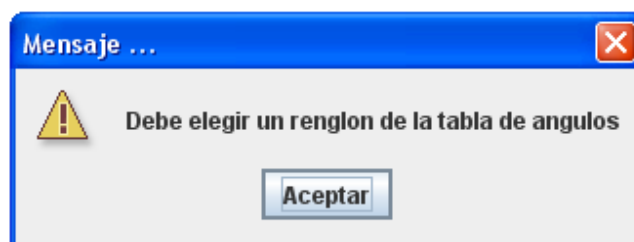
Angulos de las barras. Mecanismo Abierto

Angulo 1	Angulo 2	Angulo 3	Angulo 4
225.0	0.0	167.6142364941401	6.73353479327104
225.0	5.0	166.3406280440152	351.2874570939148
225.0	85.0	289.2893423497184	114.23617139961799
225.0	90.0	302.95397601475713	142.0732743138881
225.0	95.0	312.3922104847439	159.68117554320278
225.0	100.0	320.4105694466538	174.4857544376631
225.0	105.0	327.49965640832863	187.67347347498136
225.0	110.0	333.88386323856685	199.73238269136885
225.0	115.0	339.70024918341363	210.92863871796376
225.0	120.0	345.04559301909177	221.43085972255295
225.0	125.0	349.99396121602905	231.35591419606482
225.0	130.0	354.6048208183606	240.78946709326655
225.0	135.0	358.9274143775695	249.79652626141802
225.0	140.0	3.003421406978873	258.4274157245491
225.0	145.0	6.868736744556799	266.72141587785035
225.0	150.0	10.55474710671106	274.70910261880556
225.0	155.0	14.089298071989925	282.4139045788486
225.0	160.0	17.497456346030994	289.85316045214984
225.0	165.0	20.80212795907608	297.0388418386698
225.0	170.0	24.02456826726543	303.9780481463764
225.0	175.0	27.184803770312648	310.673351662138
225.0	180.0	30.30197384566008	317.1230604286055
225.0	185.0	33.39459014904866	323.3214677819095
225.0	190.0	36.480701840620426	329.2591659796739
225.0	195.0	39.57794661007534	334.92351210619205
225.0	200.0	42.70346302249318	340.29933922906645
225.0	205.0	45.87364305550524	345.36999252221204

Llenar con los datos mostrados, las velocidades angulares en radianes por segundo, la aceleración en radianes por segundo al cuadrado, los módulos de los centros de gravedad en cm y los ángulos de los vectores de centro de gravedad en sexagesimales.



Al pulsar en el botón Efectuar analisis se recibirá el mensaje



Entonces al elegir un renglón de la tabla de ángulos se obtiene una ventana con un mensaje para el usuario y una tabla que muestra la información seleccionada.

The screenshot shows the 'Simulador de mecanismos de cuatro barras' software interface. The main window displays a table with columns 'Variable' and 'Valor'. A dialog box titled 'Selección completada' is open, showing the selected values from the table. The dialog box contains the following information:

**Selección completada**

Valores elegidos de tabla

angulo1= A\_T1AB\_000B\_02\_0001\_02\_0001 225.0

angulo2= A\_T1AB\_000B\_02\_0002\_02\_0002 135.0

angulo3= A\_T1AB\_000B\_02\_0003\_02\_0003 358.9274143775695

angulo4= A\_T1AB\_000B\_02\_0004\_02\_0004 249.79652626141802

Aceptar

The background table shows the following data:

Variable	Valor	Angulo 4
Barra 1	20.0	27104
Barra 2	48.0	939148
Barra 3	55.0	9961799
Barra 4	20.0	138881
Teta 1	225.0	4320278
225.0	105.0	376631
225.0	110.0	327.49965640832863
225.0	115.0	333.88386323856685
225.0	120.0	339.70024918341363
225.0	125.0	187.67347347498136
225.0	130.0	199.73238269136885
225.0	135.0	210.92863871796376
225.0	140.0	221.43085972255295
225.0	145.0	231.35591419606482
225.0	150.0	240.78946709326655
225.0	155.0	249.79652626141802
225.0	160.0	258.4274157245491
225.0	165.0	266.72141587785035
225.0	170.0	274.70910261880556
225.0	175.0	282.4139045788486
225.0	180.0	289.85316045214984
225.0	185.0	297.0388418386698
225.0	190.0	303.9780481463764
225.0	195.0	310.673351662138
225.0	200.0	317.1230604286055
225.0	205.0	323.3214677819095
225.0	210.0	329.2591659796739
225.0	215.0	334.92351210619205
225.0	220.0	340.29933922906645
225.0	225.0	345.36999252221204
225.0	230.0	350.1187248108373
225.0	235.0	354.5304001290313
225.0	240.0	358.59333620253847
225.0	245.0	362.3010033314858784

The screenshot shows the 'Simulador de mecanismos de cuatro barras' software interface. The 'Resultados de Analisis Geometrico' window is open, displaying the following data:

Variable	Valor
Barra 1	20.0
Barra 2	48.0
Barra 3	55.0
Barra 4	20.0
Teta 1	225.0
Teta 2	135.0
Teta 3	358.9274143775695
Teta 4	249.79652626141802

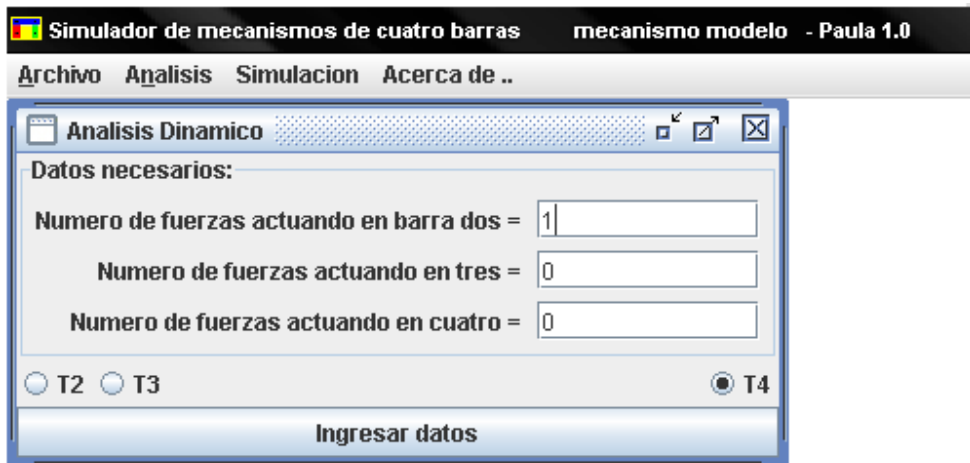
Entonces al pulsar en Efectuar analisis el resultado es una tabla llamada Resultados de Analisis

Cinematico:

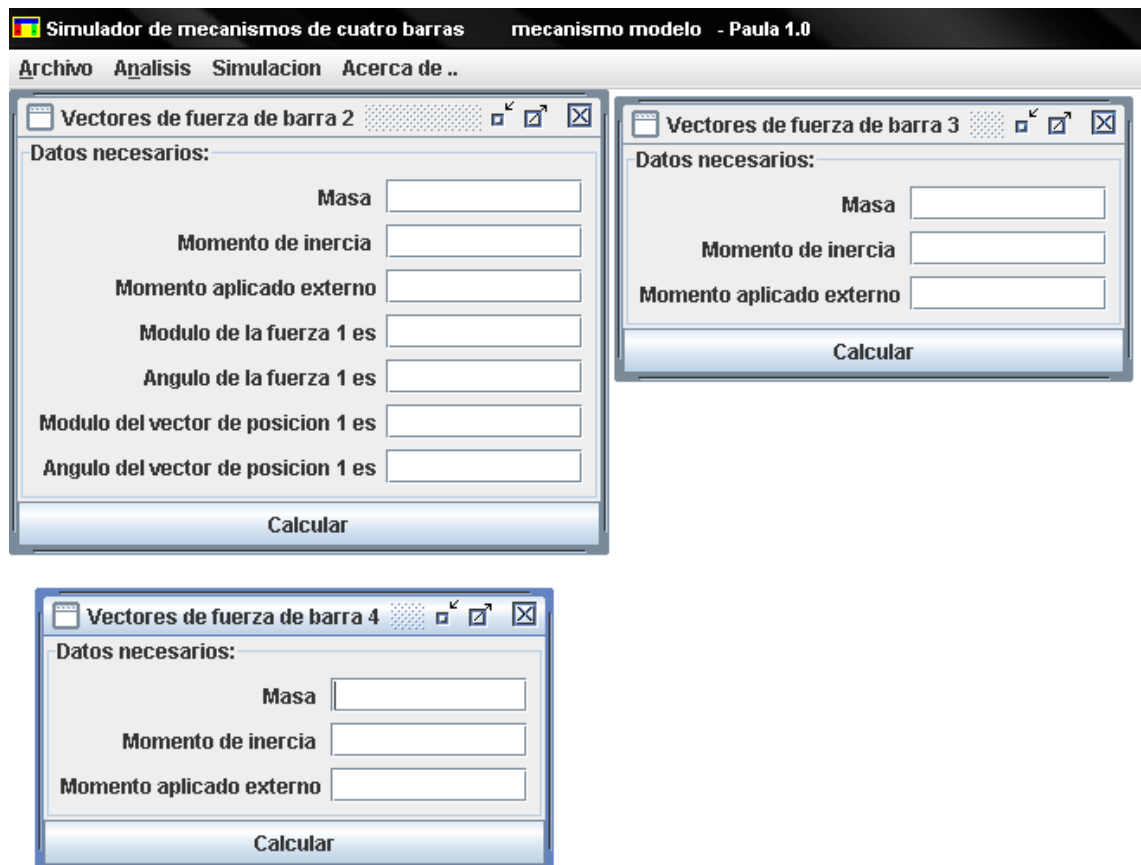
The screenshot shows a software window titled "Simulador de mecanismos de cuatro barras" with a sub-window titled "Resultados de Analisis Cinematico". The window contains a table with two columns: "Variable" and "Valor". The table lists various kinematic variables and their corresponding numerical values.

Variable	Valor
Omega 2	0.2244
Omega 3	0.18817667269697713
Omega 4	0.3954646987064413
Alfa 2	0.0
alfaTres	-0.02840253815999653
alfaCuatro	-0.04330760166833512
A_CMB2i	2.7239061641693714
A_CMB2j	-2.723906164169372
A_abs_g3i	0.750121453497949
A_abs_g3j	-2.4718221491317225
A_ag4i	-0.13367912368026452
A_ag4j	-1.6172633525295665
R12_i	54.093668760770875
R12_j	-54.093668760770896
R32_i	20.1525432638166
R32_j	-20.152543263816607
R23_i	-27.495181535179334
R23_j	0.5147740742629491
R43_i	27.495181535179334
R43_j	-0.5147740742629524
R14_i	-3.4535509748367232
R14_j	-9.384720862348775
R34_i	3.4535509748367224
R34_j	9.384720862348775

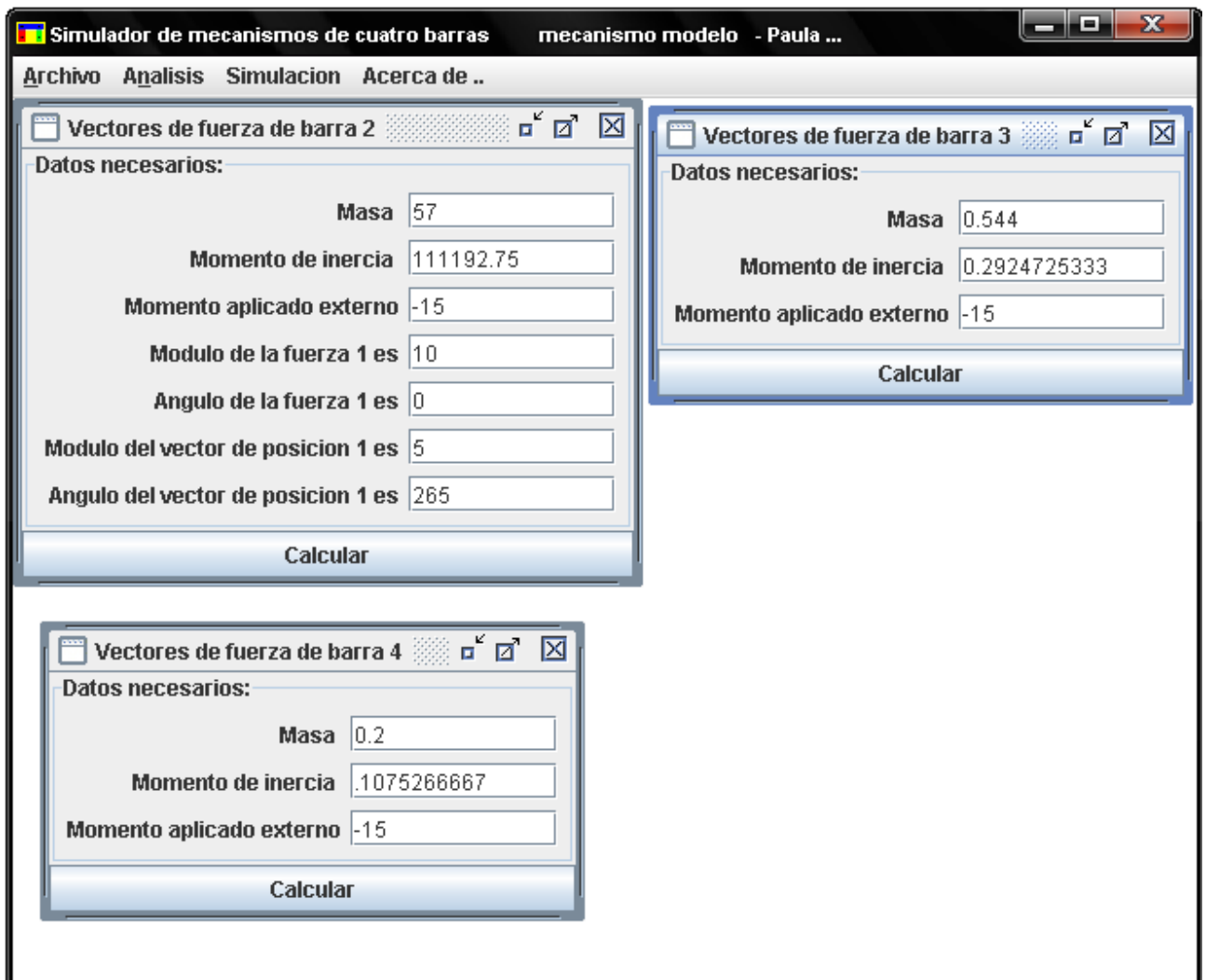
Ir al Analisis -> Dinamico, llenar los siguientes datos para las fuerzas aplicadas en las barras, elegir el torque en la barra cuatro y pulsar en el botón *Ingresar datos*



El resultado son las siguientes tres ventanas

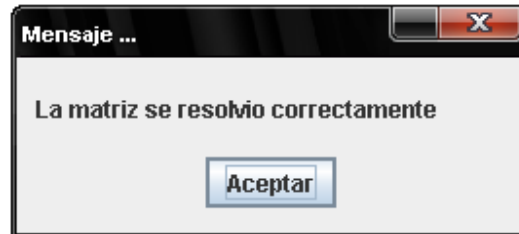


Llenar con los siguientes datos

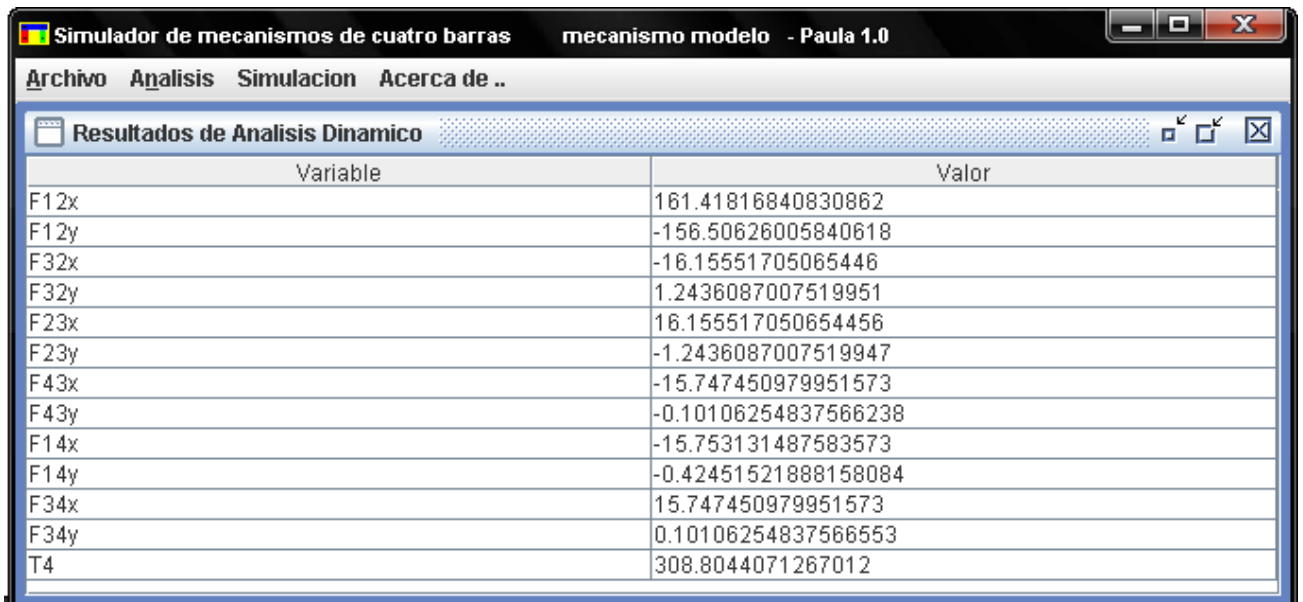


Las fuerzas en Newton, los momentos de inercia en kilogramo por centímetro cuadrado, los vectores polares en centímetros para el módulo y ángulos sexagesimales para el ángulo, y el momento en Newton por centímetro cuadrado.

Si la reducción de Gauss-Jordan se efectuó de manera correcta aparecerá el siguiente mensaje



Los resultados del análisis dinámico son



Simulador de mecanismos de cuatro barras mecanismo modelo - Paula 1.0

Archivo Analisis Simulacion Acerca de ..

Resultados de Analisis Dinamico

Variable	Valor
F12x	161.41816840830862
F12y	-156.50626005840618
F32x	-16.15551705065446
F32y	1.2436087007519951
F23x	16.155517050654456
F23y	-1.2436087007519947
F43x	-15.747450979951573
F43y	-0.10106254837566238
F14x	-15.753131487583573
F14y	-0.42451521888158084
F34x	15.747450979951573
F34y	0.10106254837566553
T4	308.8044071267012



Ir al menú Simulación -> correr ...

Simulación del mecanismo de cuatro barras

Controles

Pausa Paso>>

Imagen\_1

Imagen 2

Imagen 3

Imagen 4

Ajustes de

Ajustes de centros de graved...

Factor de barra  $\mu\nu n2=76.5$

Inicializac

Ventana Angulos

Barra 1= 20  $e1=3.92699082$

Barra 2 = 48  $e2=0$

Barra 3= 55  $e3=2.9254203$


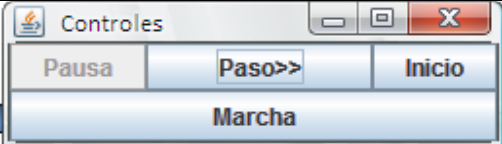
Barra 4= 20  $e4=0.11752235244$

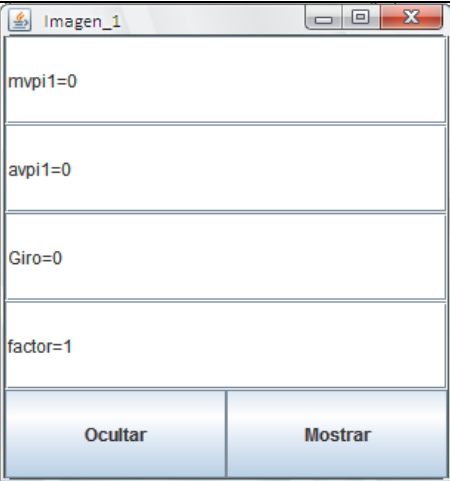
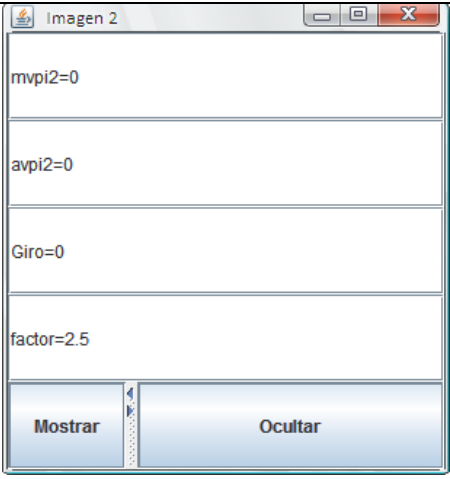
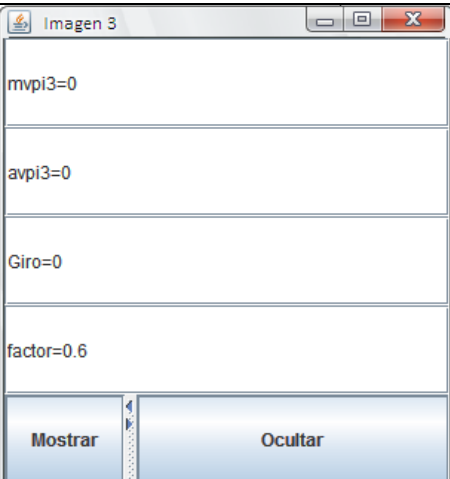
Teta 1= 225  $teta1=225$

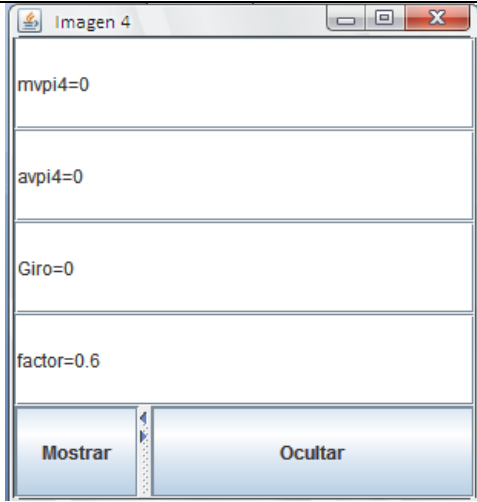
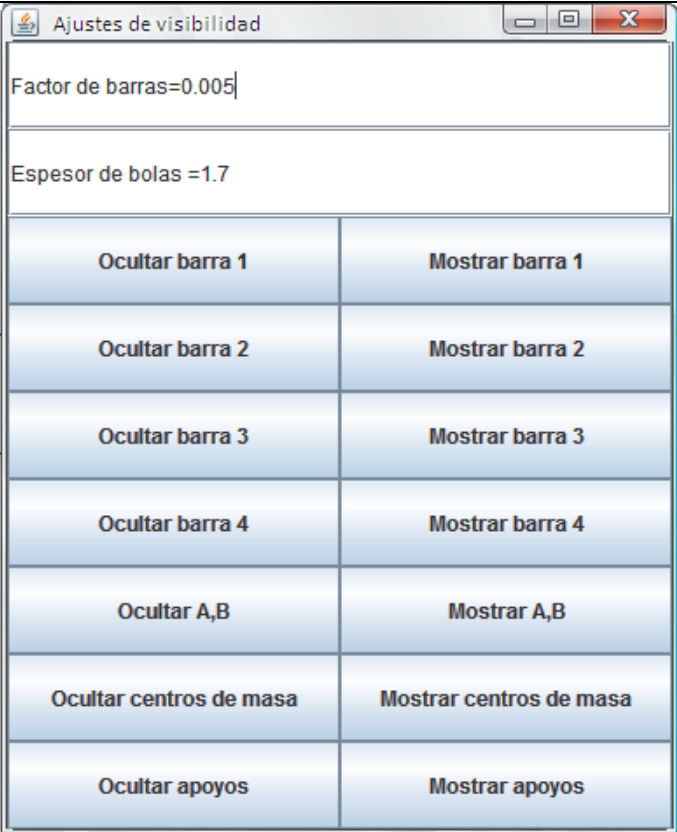
Teta 2 minimo  $tetaDos=1$

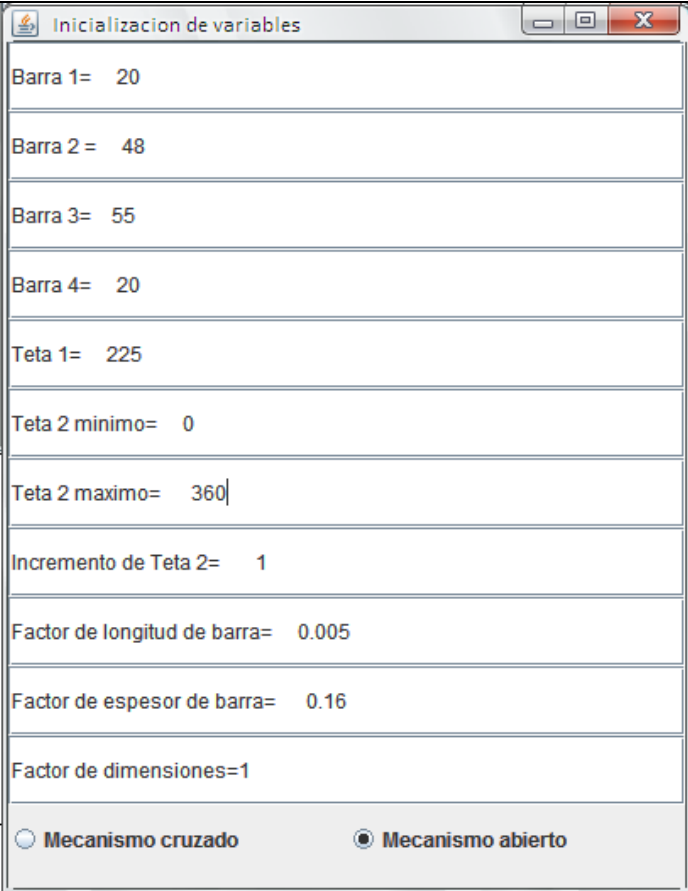
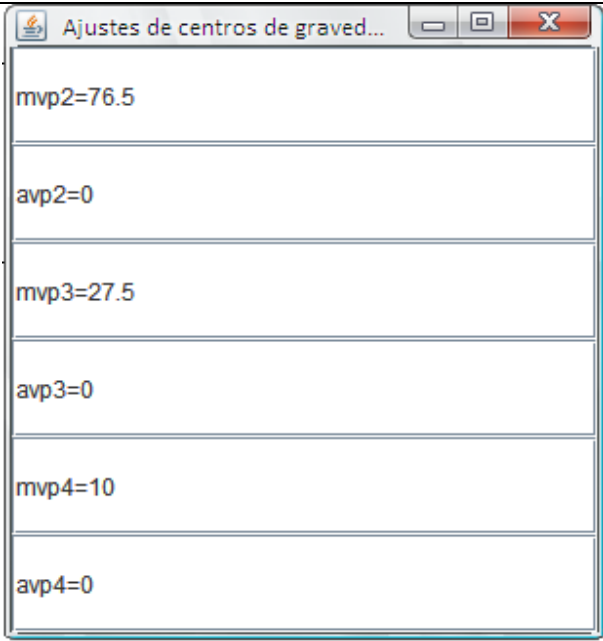
$anguloTres=167.614236494$

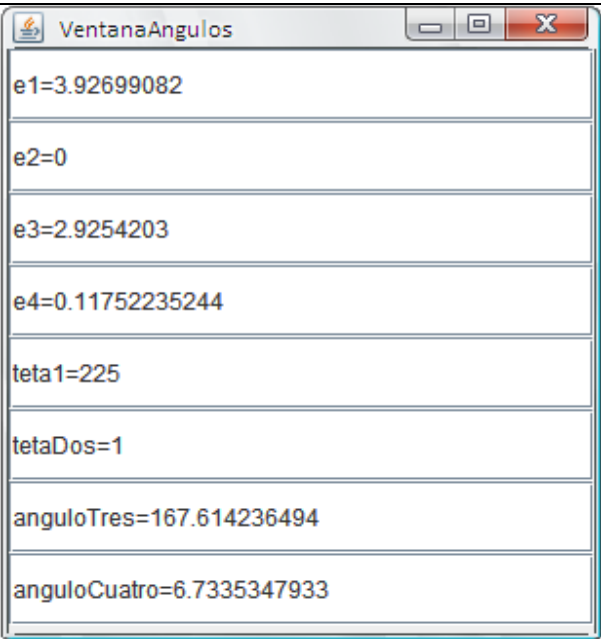
Se despliegan en pantalla las siguientes ventanas

Nombre de ventana	Función	Ventana
Simulación del mecanismo de cuatro barras	Muestra el mecanismo con sus apoyos, barras, centros de masa de cada barra, puntos A y B.	
Controles	Permiten Inicio, Pausa, Marcha y paso de la simulación.	

<p>Imagen_1</p>	<p>Permite la entrada de un módulo de vector de posición, un ángulo del vector de posición, un giro de toda la imagen y un factor de dimensionamiento.</p>	
<p>Imagen_2</p>	<p>Permite la entrada de un módulo de vector de posición, un ángulo del vector de posición, un giro de toda la imagen y un factor de dimensionamiento.</p>	
<p>Imagen_3</p>	<p>Permite la entrada de un módulo de vector de posición, un ángulo del vector de posición, un giro de toda la imagen y un factor de dimensionamiento.</p>	

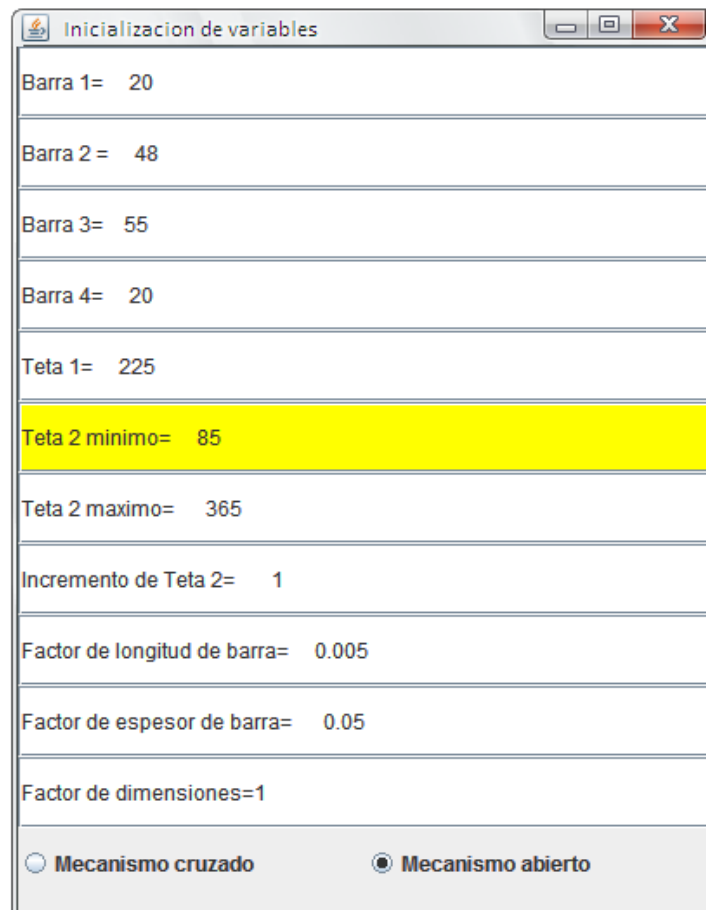
	dimensionamiento.	
Imagen_4	Permite la entrada de un módulo de vector de posición, un ángulo del vector de posición, un giro de toda la imagen y un factor de dimensionamiento.	
Ajustes de visibilidad	Factor de barras, espesor de bolas, mostrar u ocultar elementos	

<p>Inicializacion de variables</p>	<p>Es posible cambiar la longitud de cada barra, el ángulo de la barra uno, el ángulo de la barra dos mínimo y el máximo, el incremento del ángulo de la barra dos, un factor de longitud de barra, un factor de espesor de barras, y un factor global de dimensiones.</p>	
<p>Ajustes de centros de gravedad</p>	<p>Permite especificar un vector en coordenadas polares para cada centro de gravedad.</p>	

VentanaAngulos	Muestra el valor de los ángulos de las barras en radianes y ángulos sexagesimales en tiempo real.	 <p>The screenshot shows a window titled 'VentanaAngulos' with the following content:</p> <pre> e1=3.92699082 e2=0 e3=2.9254203 e4=0.11752235244 teta1=225 tetaDos=1 anguloTres=167.614236494 anguloCuatro=6.7335347933 </pre>
----------------	---	--

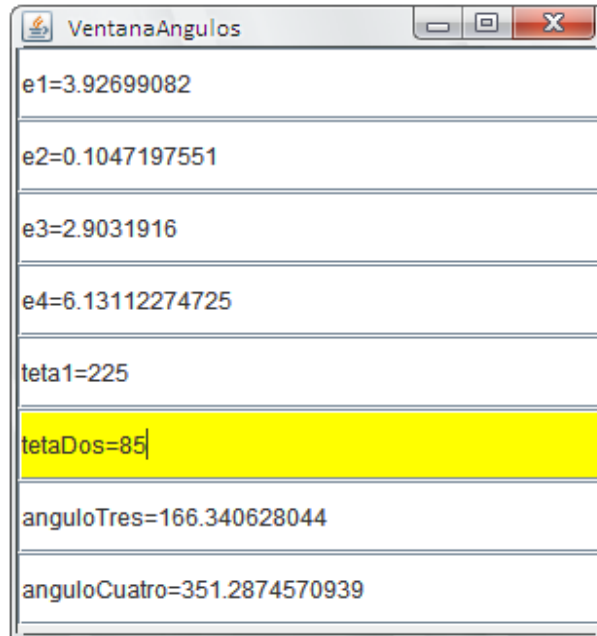
Así para poder observar una simulación apropiada es necesario hacer ajustes sobre las ventanas Inicializacion de variables, VentanaAngulos y Ajustes de visibilidad.

Para el ejemplo, se cambia a 85 grados el valor de Teta 2 minimo, al hacer clic sobre la fila se puede cambiar el valor, así se colorea la fila de Amarillo, para cargar el valor se pulsa la tecla de aceptar. Hacer lo mismo para el ángulo Teta 2 maximo, pero con el valor de 365 grados. Estos valores se eligieron en base al análisis geométrico de posición.



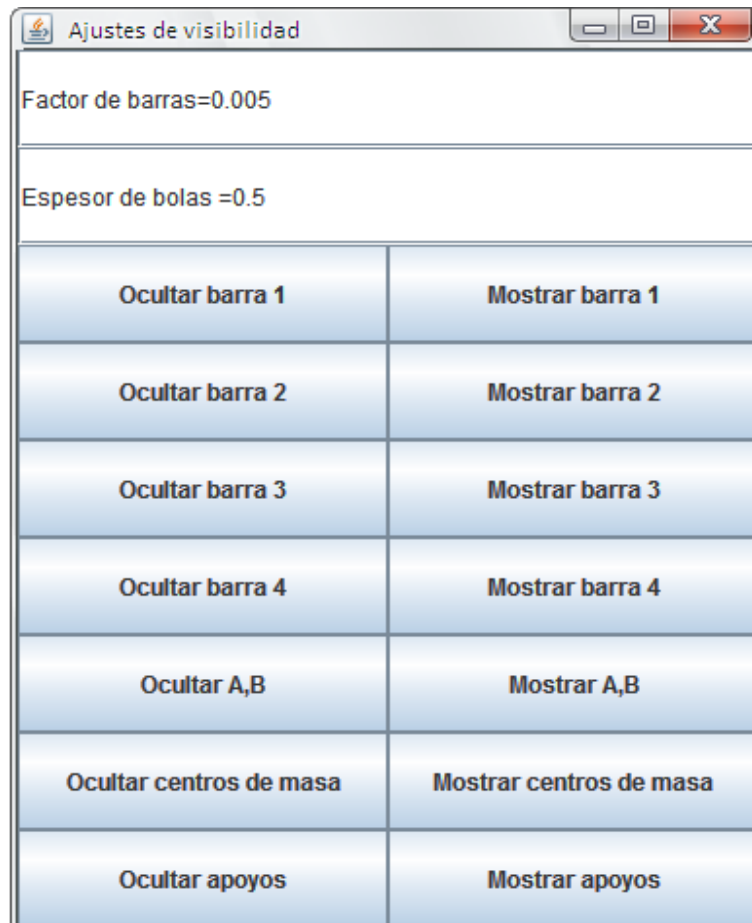
Variable	Valor
Barra 1=	20
Barra 2 =	48
Barra 3=	55
Barra 4=	20
Teta 1=	225
<b>Teta 2 minimo=</b>	<b>85</b>
Teta 2 maximo=	365
Incremento de Teta 2=	1
Factor de longitud de barra=	0.005
Factor de espesor de barra=	0.05
Factor de dimensiones=	1
<input type="radio"/> Mecanismo cruzado <input checked="" type="radio"/> Mecanismo abierto	

En la ventana VentanaAngulos se cambia el valor de 85 grados para el ángulo de la barra dos, así comenzará la simulación desde ese ángulo que define una posición posible.

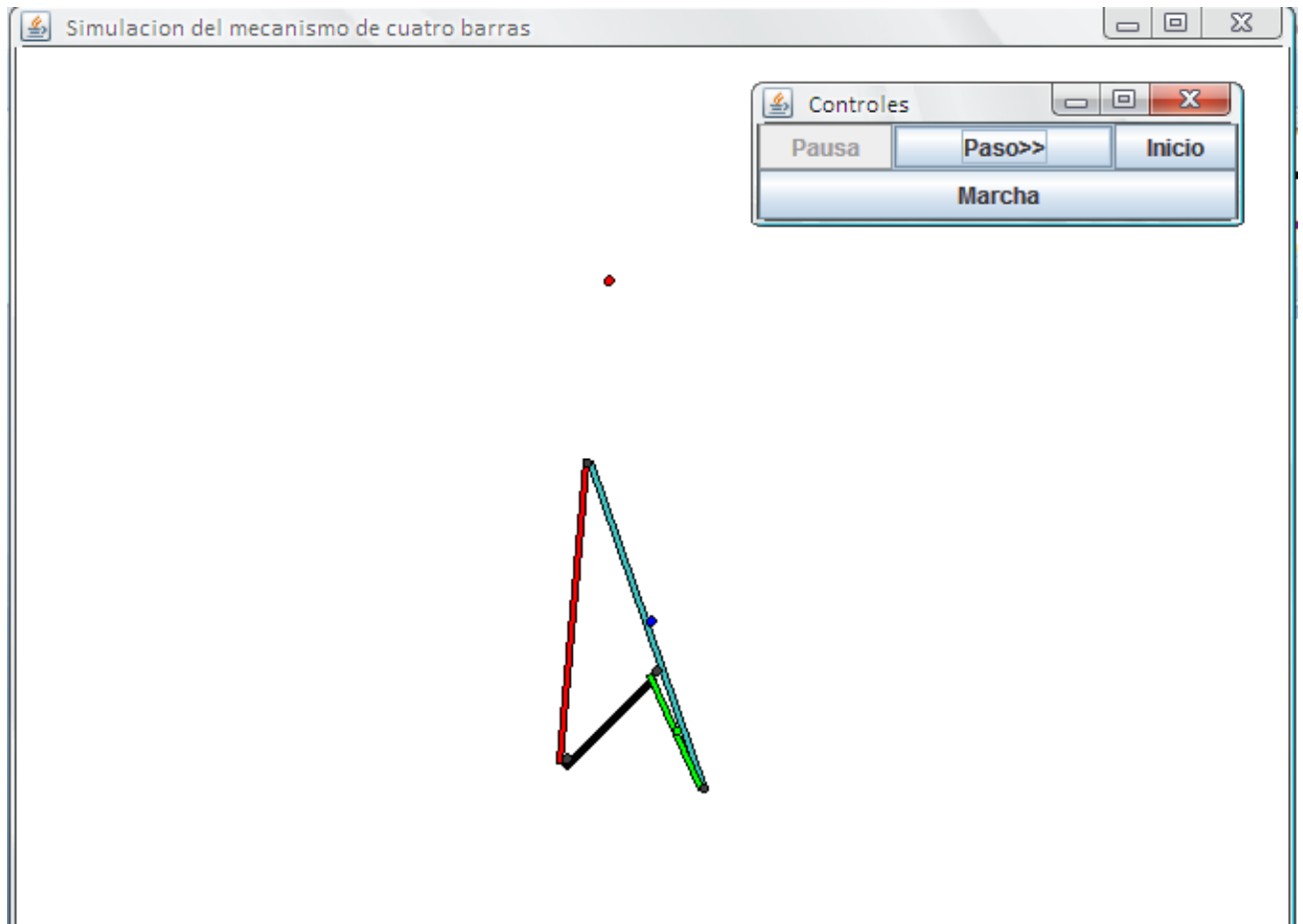




En Ajustes de visibilidad se cambia el factor de barras y el espesor de bolas como se muestra a continuación

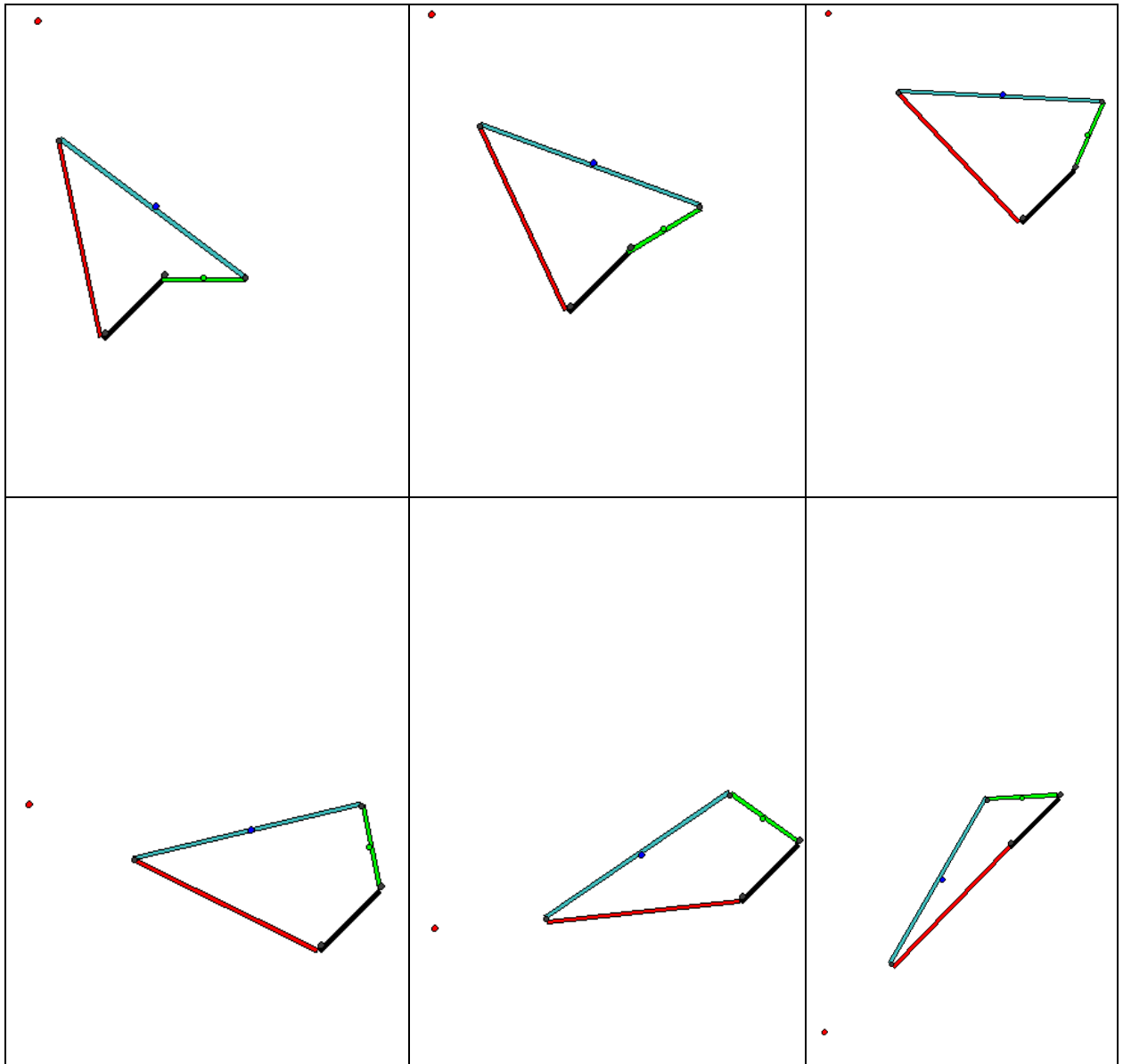


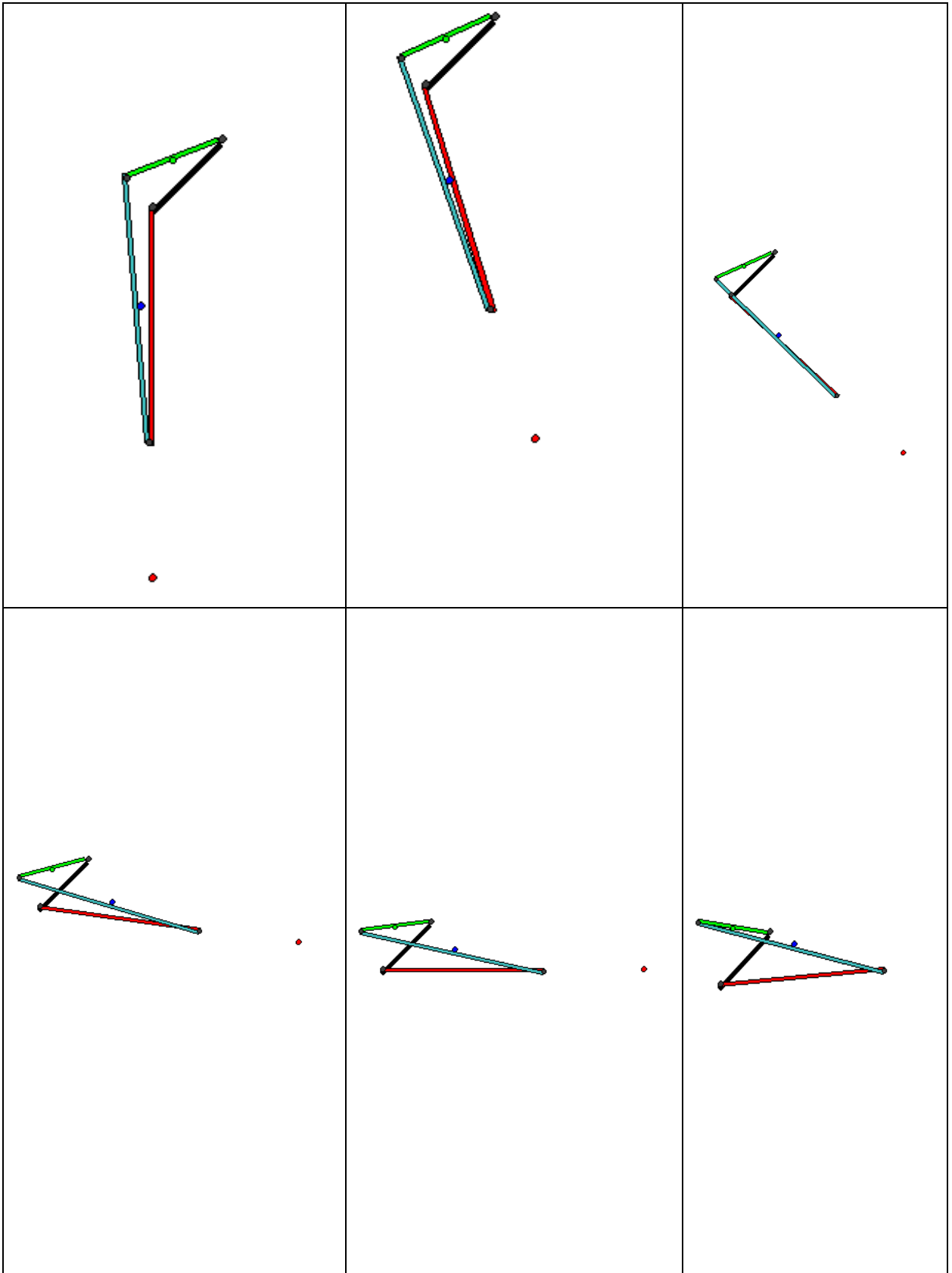
Al dar un clic en la ventana Controles en el botón Marcha se muestra la simulación del movimiento del mecanismo.



En la imagen se muestra los centros de gravedad las barras y apoyos en la posición de 85 grados para la barra dos. Es posible observar el cambio e posición en pasos, para ello pulsar repetidamente el botón Paso>>. El botón Inicio resteará los datos al estado original que se obtiene al pulsar en el menú Simulación -> correr.

Algunas imágenes del mecanismo obtenidas mediante Paula 1.0 son las siguientes.





## BIBLIOGRAFIA

Diseño de maquinaria, NORTON Robert L. Pearson, 1999.

Teoría de máquinas y mecanismos, SHIGLEY J. E, Pearson, 2004.

Estática, BEDFORD, FOWLER, Addison Wesley y Longman de México, 2000.

Autocad 2007 Avanzado, TAJADURA Zapirain, Mc Graw Hill, 2006.

Mecánica vectorial para ingenieros Dinámica, BEER Ferdinand y coautores, Mc. Graw Hill, Ed. 4ª, 2002.

Manufactura, ingeniería y tecnología, KALPAKJIAN Serope, Pentice Hall, Ed. 4ª. 2002.

La ciencia e ingeniería de los materiales, ASKELAND Donald R. Mc Graw Hill, 2006.

JAVA Como programar, DEITEL, P. J Pearson Prentice Hall, 2008.

Ingeniería de software orientada a objetos con UML , Java e Internet, WEITZENFELD Alfredo, Thomson 2005.