

MODELO DE UN SISTEMA PARA SÍNTESIS DE MECANISMOS DE CUATRO BARRAS ASISTIDO POR COMPUTADOR

ALBEIRO ESPINOSA BEDOYA

Centro de Investigaciones en Minería y Metalurgia Extractiva

e-mail: aespinoz@col3.telecom.com.co ó aespinoz@perseus.unalmed.edu.co

JAIRO CAÑÓN RODRÍGUEZ

Departamento de Ingeniería Mecánica

e-mail: jcanon@epm.net.co ó jcanon@perseus.unalmed.edu.co

Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín

RESUMEN

El modelo propuesto para la Síntesis de Mecanismos de Cuatro Barras esta basado en las siguientes características: Simplicidad, Eficiencia y Precisión. Destacable en el modelo implementado es la versatilidad para solucionar diversos problemas de Síntesis de Mecanismos de Cuatro Barras: Síntesis de Posición, Síntesis de Velocidades, Síntesis de Aceleraciones y Síntesis Para Trayectorias. Todas las cuales pueden tener soluciones para un variado número de puntos de precisión. En la validación del prototipo presentado al final de este artículo se hace referencia a 12 puntos de precisión pero podrían ser mas los puntos de precisión exigidos al prototipo.

El diseño del modelo se estructuró siguiendo la metodología que se da a continuación: a) Plantear una hipótesis b) Transformar el mecanismo en uno equivalente pero más simple c) Reducir el número de incógnitas d) Linealizar el sistema resultante para su solución y e) Dimensionar el mecanismo con la precisión requerida.

Para finalizar el resumen hacemos referencia a la hipótesis en que se sostiene el modelo implementado: *“Lo fundamental para el diseño de mecanismos de cuatro barras son las posiciones relativas”*.

PALABRAS CLAVES

Síntesis de Mecanismos, Síntesis Dimensional, Función Generadora, Síntesis de Mecanismos de

Cuatro Barras, Síntesis de Posición, Síntesis Analítica, Síntesis General de Curvas de Acoplamiento.

ABSTRACT

The model proposed for the Synthesis of Four Bar linkages is based on the following characteristics: Simplicity, Efficiency and Precision.

The most important in the designed model is the versatility in order to solve diverse problems of Synthesis of Four Bar linkages: Synthesis of Position, Synthesis of Speeds, Synthesis of Accelerations and Synthesis For Trajectories. All the which they could have solutions for a varied number of points of precision. In the validation of the prototype presented at the end of this article becomes reference to 12 points of precision but they could be very much.

The design of the model was structured following the methodology that gives up next: a) Exound a hypothesis b) Transform the mechanism in one equivalent but more simple. c) Reduce the number of unknow quantities d) Linear the resulting system for their solution and e) Give dimensions to the mechanism with the required precision.

In order to conclude the summary we make reference to the hypothesis in that it is sustained the designed

model: «The fundamental for the design of four bar linkages are the relative positions.»

KEY WORDS

Synthesis of Linkages, Dimensional Synthesis, Function Generation, Position Synthesis, Synthesis of a four-bar linkages, Coupler-Curve Synthesis, Analytical Synthesis.

1. INTRODUCCIÓN

En la síntesis de mecanismos de cuatro barras se distinguen dos métodos para obtener las dimensiones del mecanismo: Los Métodos Gráficos y los Métodos Numéricos de Síntesis.

En este artículo nos referiremos a un modelo de Síntesis de Mecanismos que utiliza Métodos Numéricos de Síntesis, el cual es muy apropiado para la solución de mecanismos de barras articuladas, ya que los parámetros que definen el mecanismo forman un conjunto finito, las ecuaciones que se obtienen son de tipo algebraico y la mejor manera de tratarlas es mediante el manejo de métodos numéricos.

La novedad del modelo presentado en este artículo radica en la potencialidad que tiene para sintetizar cualquier número de puntos de precisión, en la rapidez de entregar las soluciones y en los errores mínimos de precisión en las respuestas.

En la tabla 1, se da un resumen del modelo implementado donde se muestran los diversos tipos de síntesis de mecanismos que se pueden solucionar y sus características principales.

Tabla 1. Diversas Síntesis de mecanismos de cuatro barras implementadas en el prototipo, con su tratamiento de variables.

Tipo Síntesis	Datos Entrada	Transf. Barras	Sistema Reducido a Solucionar	Sistema Solución
Posición	$\Delta\theta_{2i}, \Delta\theta_{4i}$	$A_1 = R_1/R_1 = 1$	A_2	$A_1 = 1$
Velocidad Ang.	$\Delta\theta_{2i}, \Delta\theta_{4i}$ W_{2i}, W_{4i}	$A_2 = R_2/R_1$ $A_3 = R_3/R_1$ $A_4 = R_4/R_1$	A_4	A_2
Aceleración A.	$\Delta\theta_{2i}, \Delta\theta_{4i}$ α_{2i}, α_{4i}		θ_2 θ_4	A_3 A_4
Trayectoria	$\Delta\theta_{2i}, \Delta\theta_{4i}$ X_{2i}, Y_{4i}	Ninguna	R_1, R_4 $\theta_1, \theta_2, \theta_4$	R_1, R_2, R_3 R_4, R_5, R_6

2. OBJETIVOS DEL MODELO PROUESTO PARA SINTETIZAR MECANISMOS DE CUATRO BARRAS

Los métodos matemáticos utilizados para optimizar la síntesis de mecanismos están encausados a la solución de problemas de:

Síntesis de posición

Síntesis de velocidades angulares

Síntesis de aceleraciones angulares

Síntesis de trayectorias

3. MODELO EMPLEADO PARA LA SÍNTESIS DE POSICIÓN

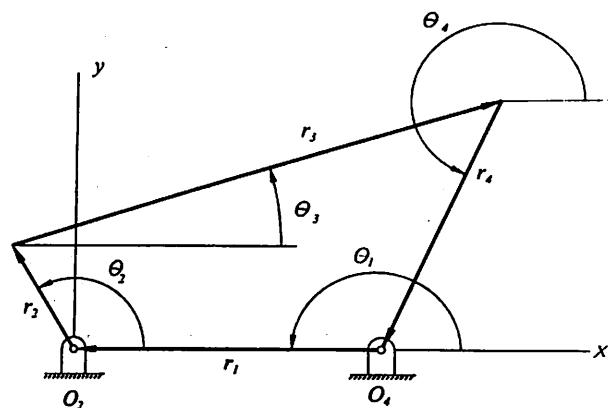


Figura 1 Modelo vectorial de un mecanismo de cuatro barras

La ecuación tradicional para Sintetizar Mecanismos es la de Freudenstein (ecuación 1) que corresponde a la ecuación general de un mecanismo de cuatro barras, la cual se obtiene a partir de un análisis vectorial, figura 1.

$$\frac{R1^2 + R2^2 - R3^2 + R4^2}{2R2R4} - \frac{R1}{R4} \cos \theta 2 + \frac{R1}{R2} \cos \theta 4 = \cos(\theta 2 - \theta 4) \quad (1)$$

Esta ecuación se obtiene a partir de la necesidad de encontrar una ecuación general, que describa la posición en el plano de cualquier mecanismo de cuatro barras.

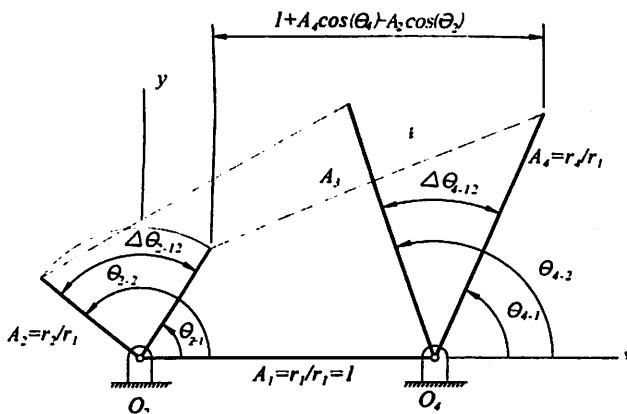


Figura 2 Modelo planteado para la síntesis de posición de un mecanismo de cuatro barras

La perspectiva que se plantea es diferente, ya que lo que aquí se busca es una ecuación que surja a partir de las necesidades mismas del diseño, esta necesidad se expresa a través del ángulo que forma cada punto de precisión respecto al primero. El planteamiento de este modelo se visualiza en la figura 2 y es el siguiente:

- A. Cada punto de precisión se expresa como el ángulo que forma la barra respecto al primer punto de precisión. La Hipótesis para este modelo sostiene que la importancia en el mecanismo radica en las posiciones relativas.
- B. La longitud de la barra R1 se ha normalizado al valor de uno, con esto se busca que el mecanismo sintetizado no dependa de este valor, que en última instancia no es mas que un factor de escala.
- C. Lo anterior, se fundamenta en el hecho de que un mecanismo de cuatro barras con longitud de barras **R1, R2, R3, y R4** es semejante a otro mecanismo con longitud de barras **CR1, CR2, CR3 y CR4**, donde **C** es una constante positiva mayor que cero,

es decir, es un factor de escala. Los desplazamientos angulares de ambos mecanismos son iguales.

- D. Cuando la manivela pasa de una posición a la siguiente, la distancia entre el extremo libre de la barra A2 y el extremo libre de la barra A4 debe permanecer constante. Esta es la barra A3.

A partir de la figura 2 se obtiene la ecuación matemática del modelo, la cual se expresa en la ecuación 2.

$$\begin{aligned} & \sqrt{[1 + A4 \cos \theta 4 - A2 \cos \theta 2]^2 + [A4 \sin \theta 4 - A2 \sin \theta 2]^2} \\ & = \sqrt{[1 + A4 \cos(\theta 4 + \Delta \theta 4_{1-2}) - A2 \cos(\theta 2 + \Delta \theta 2_{1-2})]^2 +} \\ & \quad \sqrt{[A4 \sin(\theta 4 + \Delta \theta 4_{1-2}) - A2 \sin(\theta 2 + \Delta \theta 2_{1-2})]^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Elevando al cuadrado ambos términos, desarrollando los términos encerrados por corchetes y simplificando se llega a la ecuación 3.

$$\begin{aligned} & A2[\cos \theta 2 - \cos(\theta 2 + \Delta \theta 2)] - A4[\cos \theta 4 - \cos(\theta 4 + \Delta \theta 4)] \quad (3) \\ & + A2A4[\cos(\theta 2 - \theta 4) - \cos(\theta 2 - \theta 4 + \Delta \theta 2 - \Delta \theta 4)] = 0 \end{aligned}$$

Por trigonometría se tiene que:

$$\cos \mu - \cos \nu = 2 \sin \frac{\nu + \mu}{2} \sin \frac{\nu - \mu}{2} \quad (4)$$

Aplicando la ecuación 4 a la ecuación 3 se obtiene la ecuación 5, que es la ecuación que sirve de fundamento al modelo propuesto.

$$\begin{aligned} & A2 \sin\left(\frac{2\theta 2 + \Delta \theta 2}{2}\right) \sin\left(\frac{\Delta \theta 2}{2}\right) - A4 \sin\left(\frac{2\theta 4 + \Delta \theta 4}{2}\right) \sin\left(\frac{\Delta \theta 4}{2}\right) \\ & + A2A4 \sin\left(\frac{2(\theta 2 - \theta 4) + (\Delta \theta 2 - \Delta \theta 4)}{2}\right) \sin\left(\frac{\Delta \theta 2 - \Delta \theta 4}{2}\right) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Esta ecuación ofrece mayores ventajas que la ecuación de Freudenstein, ya que cuando las condiciones de diseño están dadas por los ángulos $\Delta \theta 2$, y $\Delta \theta 4$, esta ecuación presenta cinco incógnitas ($K1, K2, K3, \theta 2$ y $\theta 4$), mientras que la ecuación 5 solo presenta cuatro de ellas ($A2, A4, \theta 2$ y $\theta 4$), esto representa menores problemas a la hora de resolver el sistema utilizando métodos de tipo iterativo.

4. MODELO EMPLEADO PARA LA SÍNTESIS DE TRAYECTORIA

De manera semejante al caso anterior, en el Modelo Propuesto también se buscó una ecuación que permitiera sintetizar mecanismos de cuatro barras con punto acoplador de una forma rápida y sencilla. La ecuación clásica para esta síntesis es la de Beyer, cuyo objetivo principal es el describir la posición del punto acoplador de un mecanismo de cuatro barras en el plano, respecto a un sistema de coordenadas en el que el ángulo θ_1 tiene un valor de cero. El modelo que se plantea en este artículo no parte de esta necesidad, sino de las exigencias mismas del diseño, es decir, el ángulo θ_1 puede tener un valor diferente de cero, ya que de otro modo se estaría restringiendo el conjunto de posibles soluciones a uno en el que tal vez no exista.

La figura 3 muestra el modelo que se plantea en este artículo para sintetizar mecanismos de cuatro barras con punto acoplador para condiciones de trayectoria.

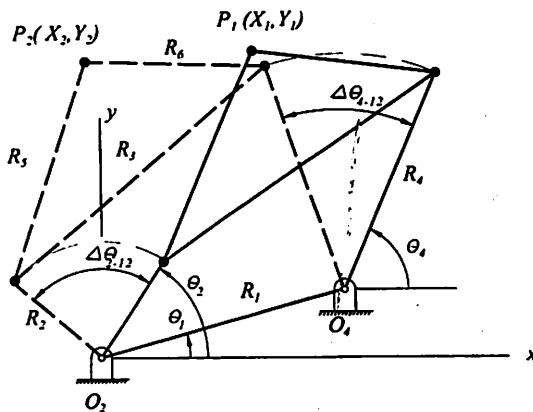


Figura 3 Modelo para la síntesis de generación de trayectoria de un mecanismo de cuatro barras

La idea que se expresa en este modelo es que cuando el mecanismo pasa de una posición a otra, las longitudes de las barras deben permanecer constantes.

De esta figura se deducen las siguientes ecuaciones:

$$R3^2 = (R1\cos\theta_1 - R2\cos\theta_2 + R4\cos\theta_4)^2 + (R1\sin\theta_1 - R2\sin\theta_2 + R4\sin\theta_4)^2 \quad (6)$$

$$R5^2 = (X1 - R2\cos\theta_2)^2 + (Y1 - R2\sin\theta_2)^2 \quad (7)$$

$$R6^2 = (X1 - R1\cos\theta_1 - R4\cos\theta_4)^2 + (Y1 - R1\sin\theta_1 - R4\sin\theta_4)^2 \quad (8)$$

Cuando el mecanismo ha pasado de la posición uno a la posición dos, las anteriores ecuaciones se pueden escribir de la siguiente forma:

$$R3^2 = [R1\cos\theta_1 - R2\cos(\theta_2 + \Delta\theta_2) + R4\cos(\theta_4 + \Delta\theta_4)]^2 + [R1\sin\theta_1 - R2\sin(\theta_2 + \Delta\theta_2) + R4\sin(\theta_4 + \Delta\theta_4)]^2 \quad (9)$$

$$R5^2 = [X2 - R2\cos(\theta_2 + \Delta\theta_2)]^2 + [Y2 - R2\sin(\theta_2 + \Delta\theta_2)]^2 \quad (10)$$

$$R6^2 = [X2 - R1\cos\theta_1 - R4\cos(\theta_4 + \Delta\theta_4)]^2 + [Y2 - R1\sin\theta_1 - R4\sin(\theta_4 + \Delta\theta_4)]^2 \quad (11)$$

Reemplazando las ecuaciones 9, 10 y 11 en las ecuaciones 6, 7 y 8 respectivamente, desarrollando cada uno de los términos y simplificando se llega a las siguientes ecuaciones:

$$R1R2[\cos(\theta_1 - \theta_2) - \cos(\theta_1 - \theta_2 - \Delta\theta_2)] + R1R4[\cos(\theta_1 - \theta_4 - \Delta\theta_4) - \cos(\theta_1 - \theta_4)] + R2R4[\cos(\theta_2 - \theta_4) - \cos(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] = 0 \quad (12)$$

$$X2^2 - X1^2 + Y2^2 - Y1^2 + 2R2[X1\cos\theta_2 - X2\cos(\theta_2 + \Delta\theta_2)] + 2Y1\sin\theta_2 - Y2\sin(\theta_2 + \Delta\theta_2) = 0 \quad (13)$$

$$X2^2 - X1^2 + Y2^2 - Y1^2 + 2R1[(X1 - X2)\cos\theta_1 + (Y1 - Y2)\sin\theta_1] + 2R4[X1\cos\theta_4 + Y1\sin\theta_4 - X2\cos(\theta_4 + \Delta\theta_4) - Y2\sin(\theta_4 + \Delta\theta_4)] + 2R1R4[\cos(\theta_1 - \theta_4 - \Delta\theta_4) - \cos(\theta_1 - \theta_4)] = 0 \quad (14)$$

De las ecuaciones 12 y 13 se puede despejar el valor de $R2$, e igualando ambas ecuaciones se elimina esta variable. Habiendo realizado esta reducción, solo quedan dos ecuaciones, las cuales se indican en 15 y 16.

$$\begin{aligned} G_1 &= (x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2) \{ R1 [\cos(\theta_1 - \theta_2) - \cos(\theta_1 - \theta_2 - \Delta\theta_2)] \\ &+ R4 [\cos(\theta_2 - \theta_4) - \cos(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \} + \\ &2R1R4 [\cos(\theta_1 - \theta_4 - \Delta\theta_4) - \cos(\theta_1 - \theta_4)] \\ &[x_2 \cos(\theta_2 - \Delta\theta_2) - x_1 \cos\theta_2 + y_2 \sin(\theta_2 + \Delta\theta_2) - y_1 \sin\theta_2] = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} G_2 &= x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 + 2R1 [(x_1 - x_2) \cos\theta_1 + (y_1 - y_2) \sin\theta_1] \\ &+ 2R4 [x_1 \cos\theta_4 + y_1 \sin\theta_4 - x_2 \cos(\theta_4 + \Delta\theta_4) - y_2 \sin(\theta_4 + \Delta\theta_4)] \\ &+ 2R1R4 [\cos(\theta_1 - \theta_4 - \Delta\theta_4) - \cos(\theta_1 - \theta_4)] = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

La ecuación general se obtiene a partir de la suma de estas ecuaciones:

$$F4 = G_1 + G_2 = 0 \quad (17)$$

5. MÉTODO DE NEWTON APLICADO A LA SOLUCIÓN DE ECUACIONES NO LINEALES CON VARIAS INCÓGNITAS.

La estrategia aplicada para resolver este tipo de problema es la de linealizar las ecuaciones que se tienen. Para mostrar como se aplica este método se utilizaran dos funciones con dos variables, de tal forma que se tenga idea de como extender el concepto cuando se posean más variables.

Sean:

$$\begin{aligned} F_1(x_1, x_2) &= 0 \\ F_2(x_1, x_2) &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Suponiendo que (x_1, x_2) es una solución aproximada de la ecuación anterior, se pueden calcular varias correcciones para b_1 y b_2 de modo que $(x_1 + b_1, x_2 + b_2)$ sea una mejor aproximación a la solución. Para linealizar las ecuaciones se procede con un desarrollo en serie de Taylor, de la cual solo se

utilizan los primeros términos, ya que solo estos tienen los términos lineales. Las ecuaciones 19 muestran lo anteriormente descrito.

$$\begin{aligned} 0 &= F_1(x_1 + b_1, x_2 + b_2) \approx F_1(x_1, x_2) + b_1 \frac{\partial F_1}{\partial x_1} + b_2 \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ 0 &= F_2(x_1 + b_1, x_2 + b_2) \approx F_2(x_1, x_2) + b_1 \frac{\partial F_2}{\partial x_1} + b_2 \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{aligned} \quad (19)$$

Las derivadas parciales han de evaluarse en (x_1, x_2) . Como se puede apreciar en las ecuaciones anteriores, las incógnitas b_1 y b_2 forman un sistema lineal de dos ecuaciones cuya solución es bastante sencilla. La matriz de coeficientes, la cual esta formada por las derivadas parciales de las funciones, se denomina también matriz jacobiana de F_1 y F_2 , la cual se muestra en la ecuación 20.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \quad (20)$$

Para resolver el sistema lineal de ecuaciones es necesario que J sea no singular. Si esta condición se satisface, la solución esta dada por la ecuación 21.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = -J^{-1} \begin{bmatrix} F_1(x_1, x_2) \\ F_2(x_1, x_2) \end{bmatrix} \quad (21)$$

Como resultado se tiene que el método de Newton para dos ecuaciones no lineales en dos variables esta dada por la ecuación 22.

$$\begin{bmatrix} x_1^{(k+1)} \\ x_2^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^{(k)} \\ x_2^{(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1^{(k)} \\ b_2^{(k)} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Donde el sistema lineal:

$$J \begin{bmatrix} b_1^{(k)} \\ b_2^{(k)} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} F_1(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}) \\ F_2(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}) \end{bmatrix} \quad (23)$$

se resuelve aplicando cualquiera de los sistemas desarrollados para tal fin como es el método de Gauss-Seidel y el de eliminación Gaussiana.

6. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA LA SÍNTESIS DE POSICIÓN DE UN MECANISMO DE CUATRO BARRAS

La ecuación 5 obtenida en el numeral 2, para la síntesis de posición de mecanismos de cuatro barras es una ecuación de tipo no lineal con cuatro incógnitas ($A2, \theta2, A4, \theta4$), y como datos de entrada los ángulos ($\Delta\theta2_i, \Delta\theta4_i$). Para resolver este tipo de ecuaciones se utiliza el método de Newton anteriormente descrito.

Sea la función $F1$ la ecuación general obtenida para la síntesis de posición:

$$F1 = A2 \operatorname{Sen}\left(\frac{2\theta2 + \Delta\theta2_i}{2}\right) \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i}{2}\right) - A4 \operatorname{Sen}\left(\frac{2\theta4 + \Delta\theta4_i}{2}\right) \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta4_i}{2}\right) + A2A4 \operatorname{Sen}\left(\frac{2(\theta2 + \theta4) + (\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i)}{2}\right) \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i}{2}\right) = 0 \quad (24)$$

Donde:

($\Delta\theta2_i, \Delta\theta4_i$): Indican los ángulos de los puntos de precisión respecto al primero.

Las respectivas derivadas parciales de dicha función son:

$$\frac{\partial F1}{\partial A2} = \operatorname{Sen}\left(\frac{2\theta2 + \Delta\theta2_i}{2}\right) \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i}{2}\right) + A4 \operatorname{Sen}\left(\frac{2(\theta2 + \theta4) + (\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i)}{2}\right) * \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i}{2}\right) \quad (25)$$

$$\frac{\partial F1}{\partial A4} = -\operatorname{Sen}\left(\frac{2\theta4 + \Delta\theta4_i}{2}\right) \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta4_i}{2}\right) + A2 \operatorname{Sen}\left(\frac{2(\theta2 + \theta4) + (\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i)}{2}\right) * \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i}{2}\right) \quad (26)$$

$$\frac{\partial F1}{\partial \theta2} = A2 \operatorname{Cos}\left(\frac{2\theta2 + \Delta\theta2_i}{2}\right) \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i}{2}\right) + A2A4 \operatorname{Cos}\left(\frac{2(\theta2 + \theta4) + (\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i)}{2}\right) * \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i}{2}\right) \quad (27)$$

$$\frac{\partial F1}{\partial \theta4} = -A4 \operatorname{Cos}\left(\frac{2\theta4 + \Delta\theta4_i}{2}\right) \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta4_i}{2}\right) - A2A4 \operatorname{Cos}\left(\frac{2(\theta2 + \theta4) + (\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i)}{2}\right) * \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta\theta2_i - \Delta\theta4_i}{2}\right) \quad (28)$$

Conocidas estas derivadas parciales se tiene que la solución se encuentra por el método de Newton, utilizando el primer desarrollo en la serie de Taylor tal como se muestra en la ecuación 29

$$\frac{\partial F1}{\partial A2} \Delta A2 + \frac{\partial F1}{\partial A4} \Delta A4 + \frac{\partial F1}{\partial \theta2} \Delta \theta2 + \frac{\partial F1}{\partial \theta4} \Delta \theta4 = -F1 \quad (29)$$

Utilizando cualquier valor inicial de las variables ($A2, \theta2, A4, \theta4$), se procede a encontrar los valores de $\Delta A2, \Delta \theta2, \Delta A4$ y $\Delta \theta4$, luego se suma a los valores de las variables y se realiza de nuevo el procedimiento, cada ciclo de estos corresponde a una mejor aproximación a la solución.

7. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA LA SÍNTESIS DE VELOCIDAD DE UN MECANISMO DE CUATRO BARRAS

La ecuación que se obtiene para determinar la velocidad angular de los mecanismos de cuatro barras es una ecuación de tipo no lineal con cuatro incógnitas ($A2, \theta2, A4, \theta4$), y como datos de entrada los ángulos y velocidades angulares ($\Delta\theta2_i, \Delta\theta4_i, \omega2_i, \omega4_i$). Para resolver este tipo de ecuaciones se utiliza el método de Newton anteriormente descrito.

Sea $F2$ la función para la ecuación general obtenida para el análisis de velocidades angulares:

$$F2 = A2\omega_2 \{ \text{Sen}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Sen}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \} - A4\omega_4 \{ \text{Sen}(\theta_4 + \Delta\theta_4) + A2 \text{Sen}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \} = 0 \quad (30)$$

Las derivadas parciales para esta ecuación son:

$$\frac{\partial F2}{\partial A2} = \omega_2 \{ \text{Sen}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Sen}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \} - A4\omega_4 \text{Sen}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \quad (31)$$

$$\frac{\partial F2}{\partial A4} = A2\omega_2 \text{Sen}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - \omega_4 \{ \text{Sen}(\theta_4 + \Delta\theta_4) + A2 \text{Sen}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \} \quad (32)$$

$$\frac{\partial F2}{\partial \theta_2} = A2\omega_2 \{ \text{Cos}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Cos}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \} - A2A4\omega_4 \text{Cos}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \quad (33)$$

$$\frac{\partial F2}{\partial \theta_4} = -A2A4\omega_2 \text{Cos}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - A4\omega_4 \{ \text{Cos}(\theta_4 + \Delta\theta_4) - A2 \text{Cos}[(\theta_2 - \theta_4) + (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \} \quad (34)$$

Conocidas estas derivadas parciales, la solución se encuentra por el método de Newton, utilizando el primer desarrollo en la serie de Taylor tal como se muestra en la ecuación 35.

$$\frac{\partial F2}{\partial A2} \Delta A2 + \frac{\partial F2}{\partial A4} \Delta A4 + \frac{\partial F2}{\partial \theta_2} \Delta \theta_2 + \frac{\partial F2}{\partial \theta_4} \Delta \theta_4 = -F2 \quad (35)$$

8. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA LA SINTESIS DE ACELERACIÓN DE MECANISMOS DE CUATRO BARRAS

Adecuando la ecuación que se obtiene para las aceleraciones angulares del mecanismo de cuatro barras al modelo de solución de este artículo se obtiene:

$$F3 = \omega_2^2 A2 [\text{Cos}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - 2A2A4\omega_2 \omega_4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) - \omega_4^2 A4 [\text{Cos}(\theta_4 + \Delta\theta_4) - A2 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] + \alpha_2 A2 [\text{Sen}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - \alpha_4 A4 [\text{Sen}(\theta_4 + \Delta\theta_4) + A2 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] = 0 \quad (36)$$

Las respectivas derivadas parciales están dadas por:

$$\frac{\partial F3}{\partial A2} = \omega_2^2 [\text{Cos}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - 2A4\omega_2 \omega_4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) + \alpha_2 [\text{Sen}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - \alpha_4 A4 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) \quad (37)$$

$$\frac{\partial F3}{\partial A4} = \omega_2^2 A2 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) - 2A2\omega_2 \omega_4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) + \omega_4^2 [\text{Cos}(\theta_4 + \Delta\theta_4) - A2 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] + \alpha_2 A2 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) - \alpha_4 [\text{Sen}(\theta_4 + \Delta\theta_4) + A2 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \quad (38)$$

$$\frac{\partial F3}{\partial \theta_2} = \omega_2^2 A2 [-\text{Sen}(\theta_2 + \Delta\theta_2) - A4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] + 2A2A4\omega_2 \omega_4 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) - A2A4\omega_4^2 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) + \alpha_2 A2 [\text{Cos}(\theta_2 + \Delta\theta_2) + A4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - \alpha_4 A4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) \quad (39)$$

$$\frac{\partial F3}{\partial \theta_4} = A2A4\omega_2^2 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) - 2A2A4\omega_2 \omega_4 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) - \omega_4^2 A4 [-\text{Sen}(\theta_4 + \Delta\theta_4) - A2 \text{Sen}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] - \alpha_2 A2 A4 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4) - \alpha_4 A4 [\text{Cos}(\theta_4 + \Delta\theta_4) - A2 \text{Cos}(\theta_2 - \theta_4 + \Delta\theta_2 - \Delta\theta_4)] \quad (40)$$

La solución se plantea de forma similar a los casos anteriores:

$$\frac{\partial F_3}{\partial A2} \Delta A2 + \frac{\partial F_3}{\partial A4} \Delta A4 + \frac{\partial F_3}{\partial \theta 2} \Delta \theta 2 + \frac{\partial F_3}{\partial \theta 4} \Delta \theta 4 = -F_3 \quad (41)$$

9. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA LA SÍNTESIS DE GENERACIÓN DE TRAYECTORIA DE UN MECANISMO DE CUATRO BARRAS CON PUNTO ACOPLADOR.

La ecuación general se dedujo en el numeral 4 y a partir de la figura 3, la cual está esta dada por:

$$F_4 = G_1 + G_2 = 0 \quad (42)$$

Las respectivas derivadas parciales están dadas por:

$$\frac{\partial F_4}{\partial R1} = \frac{\partial F_4}{\partial G_1} \frac{\partial G_1}{\partial R1} + \frac{\partial F_4}{\partial G_2} \frac{\partial G_2}{\partial R1} \quad (43)$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial \theta 1} = \frac{\partial F_4}{\partial G_1} \frac{\partial G_1}{\partial \theta 1} + \frac{\partial F_4}{\partial G_2} \frac{\partial G_2}{\partial \theta 1} \quad (44)$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial \theta 2} = \frac{\partial F_4}{\partial G_1} \frac{\partial G_1}{\partial \theta 2} + \frac{\partial F_4}{\partial G_2} \frac{\partial G_2}{\partial \theta 2} \quad (45)$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial R4} = \frac{\partial F_4}{\partial G_1} \frac{\partial G_1}{\partial R4} + \frac{\partial F_4}{\partial G_2} \frac{\partial G_2}{\partial R4} \quad (46)$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial \theta 4} = \frac{\partial F_4}{\partial G_1} \frac{\partial G_1}{\partial \theta 4} + \frac{\partial F_4}{\partial G_2} \frac{\partial G_2}{\partial \theta 4} \quad (47)$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial \Delta \theta 4} = \frac{\partial F_4}{\partial G_1} \frac{\partial G_1}{\partial \Delta \theta 4} + \frac{\partial F_4}{\partial G_2} \frac{\partial G_2}{\partial \Delta \theta 4} \quad (48)$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial \Delta \theta 2} = \frac{\partial F_4}{\partial G_1} \frac{\partial G_1}{\partial \Delta \theta 2} + \frac{\partial F_4}{\partial G_2} \frac{\partial G_2}{\partial \Delta \theta 2} \quad (49)$$

Donde G1 y G2 están dadas por:

$$\begin{aligned} G_1 = & \left(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 \right) \left\{ R1 \left[\cos(\theta 1 - \theta 2) - \cos(\theta 1 - \theta 2 - \Delta \theta 2) \right] \right. \\ & \left. + R4 \left[\cos(\theta 2 - \theta 4) - \cos(\theta 2 - \theta 4 + \Delta \theta 2 - \Delta \theta 4) \right] \right\} \\ & + 2R1R4 \left[\cos(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \cos(\theta 1 - \theta 4) \right] \\ & \left[x_2 \cos(\theta 2 - \Delta \theta 2) - x_1 \cos \theta 2 + y_2 \sin(\theta 2 + \Delta \theta 2) - y_1 \sin \theta 2 \right] = 0 \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned} G_2 = & x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 + 2R1 \left[(x_1 - x_2) \cos \theta 1 \right. \\ & \left. + (y_1 - y_2) \sin \theta 1 \right] + 2R4 \left[x_1 \cos \theta 4 + y_1 \sin \theta 4 - x_2 \cos(\theta 4 + \Delta \theta 4) - y_2 \sin(\theta 4 + \Delta \theta 4) \right] + 2R1R4 \\ & \left[\cos(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \cos(\theta 1 - \theta 4) \right] = 0 \end{aligned} \quad (51)$$

Las respectivas derivadas parciales son:

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_1}{\partial R1} = & \left(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 \right) \left[\cos(\theta 1 - \theta 2) - \cos(\theta 1 - \theta 2 - \Delta \theta 2) \right] \\ & + 2R4 \left[\cos(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \cos(\theta 1 - \theta 4) \right] \\ & \left[x_2 \cos(\theta 2 - \Delta \theta 2) - x_1 \cos \theta 2 + y_2 \sin(\theta 2 + \Delta \theta 2) - y_1 \sin \theta 2 \right] \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_1}{\partial \theta 1} = & R1 \left(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 \right) \left[\sin(\theta 1 - \theta 2 - \Delta \theta 2) - \sin(\theta 1 - \theta 2) \right] \\ & + 2R1R4 \left[\sin(\theta 1 - \theta 4) - \sin(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) \right] \\ & \left[x_2 \sin(\theta 2 - \Delta \theta 2) - x_1 \sin \theta 2 + y_2 \cos(\theta 2 + \Delta \theta 2) - y_1 \cos \theta 2 \right] \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_1}{\partial \theta 2} = & \left(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 \right) \\ & \left\{ R1 \left[\sin(\theta 1 - \theta 2) - \sin(\theta 1 - \theta 2 - \Delta \theta 2) \right] + \right. \\ & \left. R4 \left[\sin(\theta 2 - \theta 4 + \Delta \theta 2 - \Delta \theta 4) - \sin(\theta 2 - \theta 4) \right] \right\} + \\ & 2R1R4 \left[\cos(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) \cos(\theta 1 - \theta 4) \right] \\ & \left[x_2 \sin(\theta 2 - \Delta \theta 2) - x_1 \sin \theta 2 + y_2 \cos(\theta 2 + \Delta \theta 2) - y_1 \cos \theta 2 \right] \end{aligned} \quad (54)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_1}{\partial R4} = & \left(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 \right) \left[\cos(\theta 2 - \theta 4) - \cos(\theta 2 - \theta 4 + \Delta \theta 2 - \Delta \theta 4) \right] \\ & + 2R1 \left[\cos(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \cos(\theta 1 - \theta 4) \right] \\ & \left[x_2 \cos(\theta 2 - \Delta \theta 2) - x_1 \cos \theta 2 + y_2 \sin(\theta 2 + \Delta \theta 2) - y_1 \sin \theta 2 \right] \end{aligned} \quad (55)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_1}{\partial \theta 4} &= R4(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2) \\
[\text{Sen}(\theta 2 - \theta 4) - \text{Sen}(\theta 2 - \theta 4 + \Delta \theta 2 - \Delta \theta 4)] & \\
+ 2R1R4[\text{Sen}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \text{Sen}(\theta 1 - \theta 4)] & \\
[x_2 \text{Cos}(\theta 2 - \Delta \theta 2) - x_1 \text{Cos} \theta 2 + y_2 \text{Sen}(\theta 2 + \Delta \theta 2)] & \\
- y_1 \text{Sen} \theta 2] & \\
\end{aligned} \tag{56}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_1}{\partial \theta 2} &= (x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2) \{ -R1 \text{Sen}(\theta 1 - \theta 2 - \Delta \theta 2) \\
+ R4 \text{Sen}(\theta 2 - \theta 4 + \Delta \theta 2 - \Delta \theta 4) \} + 2R1R4[\text{Cos}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) \\
- \text{Cos}(\theta 1 - \theta 4)] - x_2 \text{Sen}(\theta 2 - \Delta \theta 2) + y_2 \text{Cos}(\theta 2 + \Delta \theta 2)] \\
\end{aligned} \tag{57}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_1}{\partial \theta 4} &= -R4(x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2) \text{Sen}(\theta 2 - \theta 4 + \Delta \theta 2 - \Delta \theta 4) + \\
2R1R4[x_2 \text{Cos}(\theta 2 - \Delta \theta 2) - x_1 \text{Cos} \theta 2 + y_2 \text{Sen}(\theta 2 + \Delta \theta 2)] & \\
- y_1 \text{Sen} \theta 2] \text{Sen}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) & \\
\end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_2}{\partial R1} &= 2[(x_1 - x_2) \text{Cos} \theta 1 + (y_1 - y_2) \text{Sen} \theta 1] + \\
2R4[\text{Cos}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \text{Cos}(\theta 1 - \theta 4)] & \\
\end{aligned} \tag{59}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_2}{\partial \theta 1} &= 2R1[(y_1 - y_2) \text{Cos} \theta 1 - (x_1 - x_2) \text{Sen} \theta 1] \\
+ 2R1R4[\text{Sen}(\theta 1 - \theta 4) - \text{Sen}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4)] & \\
\end{aligned} \tag{60}$$

$$\frac{\partial G_2}{\partial \theta 2} = 0 \tag{61}$$

$$\frac{\partial G_2}{\partial \theta 4} = 0 \tag{62}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_2}{\partial R1} &= 2[x_1 \text{Cos} \theta 4 + y_1 \text{Sen} \theta 4 - x_2 \text{Cos}(\theta 4 + \Delta \theta 4) \\
- y_2 \text{Sen}(\theta 4 + \Delta \theta 4)] + 2R1[\text{Cos}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \text{Cos}(\theta 1 - \theta 4)] \\
\end{aligned} \tag{63}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_2}{\partial \theta 4} &= 2R4[x_2 \text{Sen}(\theta 4 + \Delta \theta 4) - y_2 \text{Cos}(\theta 4 + \Delta \theta 4) - x_1 \text{Sen} \theta 4 \\
+ y_1 \text{Cos} \theta 4] + 2R1R4[\text{Sen}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) - \text{Sen}(\theta 1 - \theta 4)] \\
\end{aligned} \tag{64}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial G_2}{\partial \Delta \theta 4} &= 2R4[x_2 \text{Sen}(\theta 4 + \Delta \theta 4) - y_2 \text{Cos}(\theta 4 + \Delta \theta 4)] \\
+ 2R1R4 \text{Sen}(\theta 1 - \theta 4 - \Delta \theta 4) & \\
\end{aligned} \tag{65}$$

La solución se plantea utilizando nuevamente el método de newton:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_4}{\partial R1} & \frac{\partial F_4}{\partial \theta 1} & \frac{\partial F_4}{\partial \theta 2} & \frac{\partial F_4}{\partial R4} & \frac{\partial F_4}{\partial \theta 4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta R1 \\ \Delta \theta 1 \\ \Delta \theta 2 \\ \Delta R4 \\ \Delta \theta 4 \end{bmatrix} = -[F_4] \tag{66}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial \Delta \theta 2} & \frac{\partial G_1}{\partial \Delta \theta 4} \\ \frac{\partial G_2}{\partial \Delta \theta 2} & \frac{\partial G_2}{\partial \Delta \theta 4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \Delta \theta 2 \\ \Delta \Delta \theta 4 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{bmatrix} \tag{67}$$

10. ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO DE SÍNTESIS DE MECANISMOS DE CUATRO BARRAS

El sistema desarrollado permitirá ser aplicado en la ingeniería mecánica, en el campo del diseño de máquinas y de mecanismos. Este, fue desarrollado de tal forma que en futuras revisiones permita adicionar nuevos módulos que complementen los ya existentes, como ejemplo de ello podría implementarse un módulo para análisis estático.

El diseño del sistema se hizo de tal forma que cada módulo cumpliera los siguientes requisitos:

- Simplicidad
- Independencia de los demás módulos
- Realice una tarea específica

Fue así como el sistema se dividió en los siguientes módulos:

- Módulo para la síntesis de posición de mecanismos de cuatro barras
- Módulo para la síntesis de velocidad de mecanismos de cuatro barras

- Módulo para la síntesis de aceleración de mecanismos de cuatro barras
- Módulo para la síntesis de trayectoria de mecanismos de cuatro barras
- Módulo para simular el movimiento del mecanismo
- Módulo de análisis de posición
- Módulo de análisis de velocidad
- Módulo de análisis de aceleración
- Módulo de análisis de trayectoria
- Módulo de manejo de matrices
- Módulo de Fichas Guía y Ayuda
- Módulo de Manejo de Bibliotecas

La forma en la que cada una de estas bibliotecas interactua con las demás se muestra en la figura 4.

11. IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Este sistema trabaja en ambientes donde el sistema operativo es Windows 95 o superior, es decir, que solo opera en sistemas con 32 bits. En sistemas operativos como el DOS y ambientes Windows 3.1 o 3.11 esta aplicación no funciona.

11.1. EJEMPLO PARA REALIZAR LA SÍNTESIS DE POSICIÓN

En esta sección se describirá paso a paso la forma de realizar la síntesis de posición de un mecanismo de

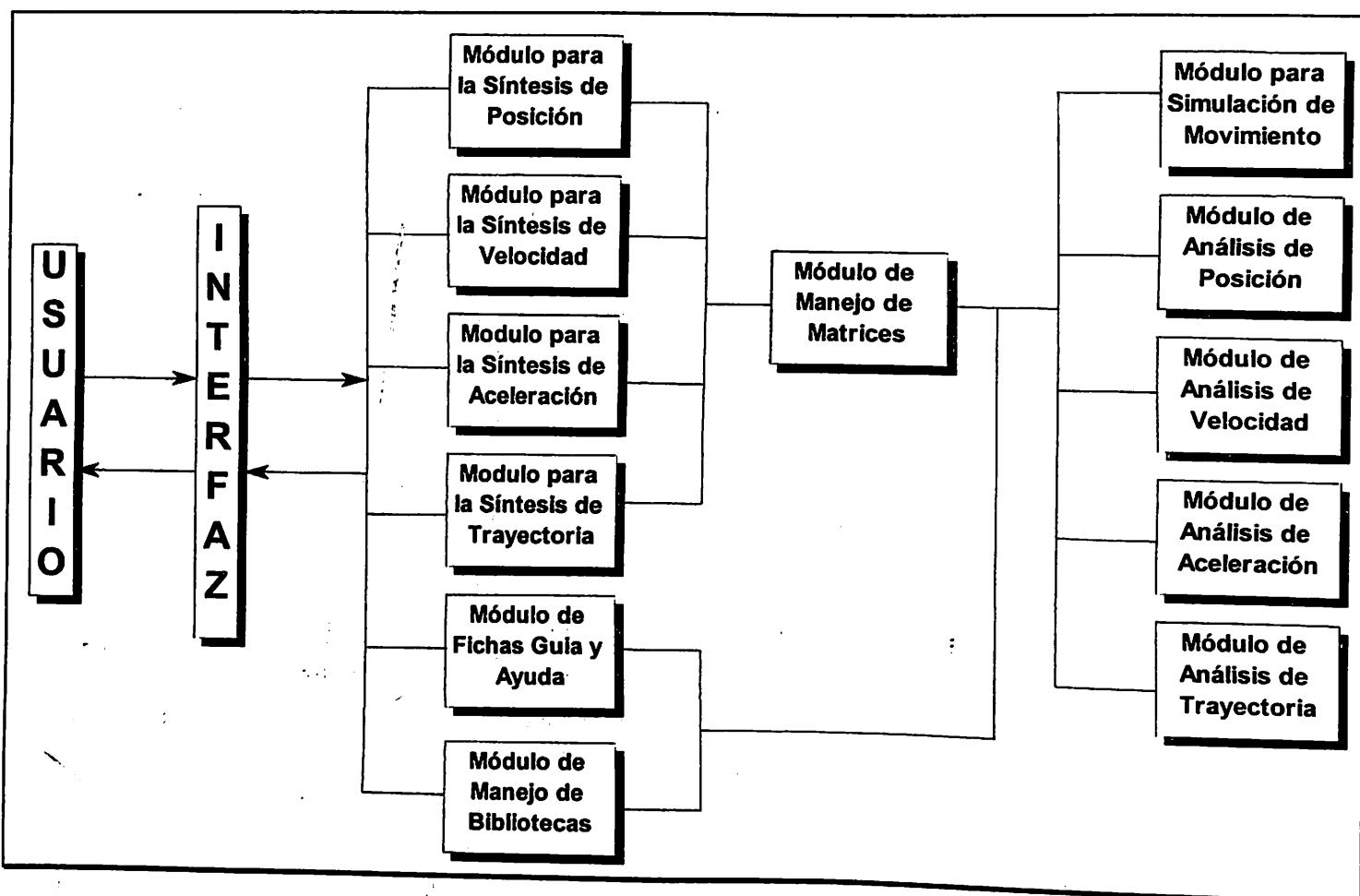


Figura 4 Arquitectura del sistema para la síntesis de mecanismos de cuatro barras

cuatro barras, utilizando como condiciones de diseño doce puntos de precisión, es de anotar que los datos utilizados son los que se obtuvieron para la validación del sistema, ver numeral 10.2.

Los pasos son los siguientes:

Paso 1 : Crear un archivo nuevo o cargar uno existente

Para abrir un archivo existente basta con oprimir el botón con la etiqueta "AA". A continuación aparece una ventana en la que se debe especificar al archivo que se desea abrir. La extensión de estos archivos es MDB, esto implica que también pueden abrirse y los datos que contiene en sus diferentes tablas ser manejados desde el software Microsoft Access Versión 2.0 o superior. La figura 5 muestra la ventana desplegada.

Cuando lo que se desea es crear una nueva base de datos para entrar otros puntos a sintetizar, se debe oprimir el botón con la etiqueta "NA". A continuación se despliega una ventana similar a la anterior, la cual se muestra en la figura 6.

En el campo llamado "Nombre de archivo" se debe escribir el nombre con el cual se identificará la base de datos que se generará después de oprimir el botón aceptar. El nombre que se puede colocar debe tener como máximo 32 caracteres, típico de sistemas operativos que funcionan a 32 bit. No es necesario colocar la extensión del archivo luego del nombre, ya que cuando se cree la base de datos, automáticamente tendrá la extensión MDB.

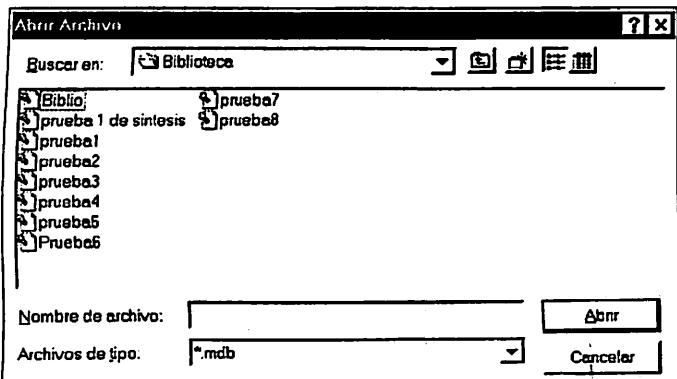


Figura 5 Ventana desplegada para abrir el archivo que contiene los datos para la Síntesis

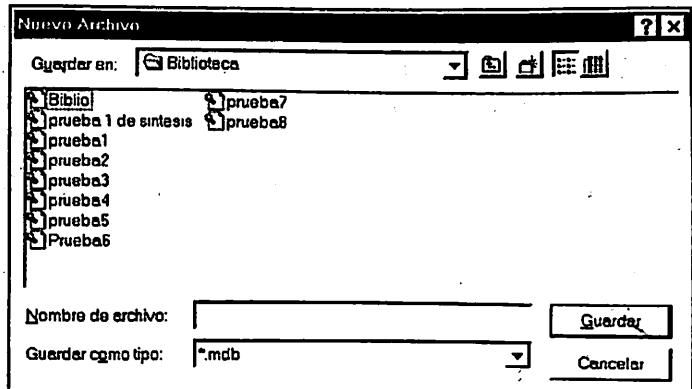


Figura 6 Crear una nueva base de datos para la Síntesis de mecanismos de cuatro barras

Paso 2: Actualizar la base de datos

Cuando en memoria ya ha sido cargado un archivo, se debe oprimir sobre el botón etiquetado "SP", si la base de datos es nueva, aparece una ventana en la que se pregunta al usuario por el número de puntos de precisión que desea utilizar para la síntesis. La ventana que se despliega se muestra en la figura 7. El siguiente paso consiste en actualizar la tabla que se presenta en pantalla cuando la base de datos es nueva, ya que, todos los campos tienen valor cero. Si la tabla ya existía, esta puede modificarse, simplemente colocándose sobre la celda cuyo valor se desea modificar. Cuando se han revisado todos los datos y se considera que están correctos, se procede a dar aceptación.

La figura 7 muestra la tabla de valores que aparece en pantalla.

Puntos de Precisión			
Indicaciones			
La tabla que se presenta a continuación debe ser llenada en su totalidad, con los ángulos los demás puntos de precisión respecto al primero. Los valores de los ángulos deben estar en grados.			
Ángulos Respecto al Primer Punto de Precisión			
Indice 1	DT2	DT4	DT6
1	30	16.506101	
2	60	50.5123009	
3	90	40.1293637	
4	120	44.9380961	
5	150	44.1951565	
6	180	35.1146134	
7	210	15.59579813	

Figura 7 Ventana que muestra la tabla de valores de las condiciones de Síntesis para el sistema.

Después de oprimir el botón aceptar hay que esperar hasta que aparezca la ventana con el resultado del proceso de síntesis, figura 8.

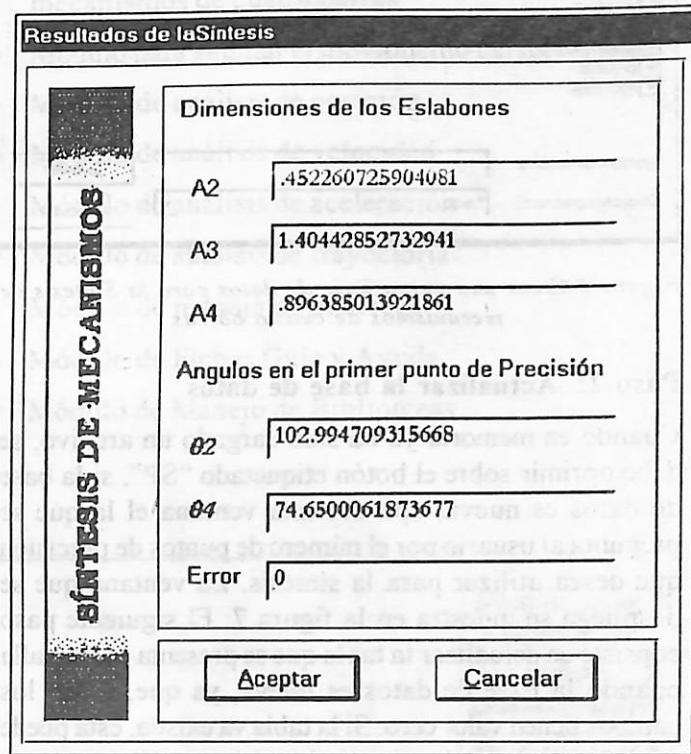


Figura 8 Ventana que muestra los resultados de la Síntesis

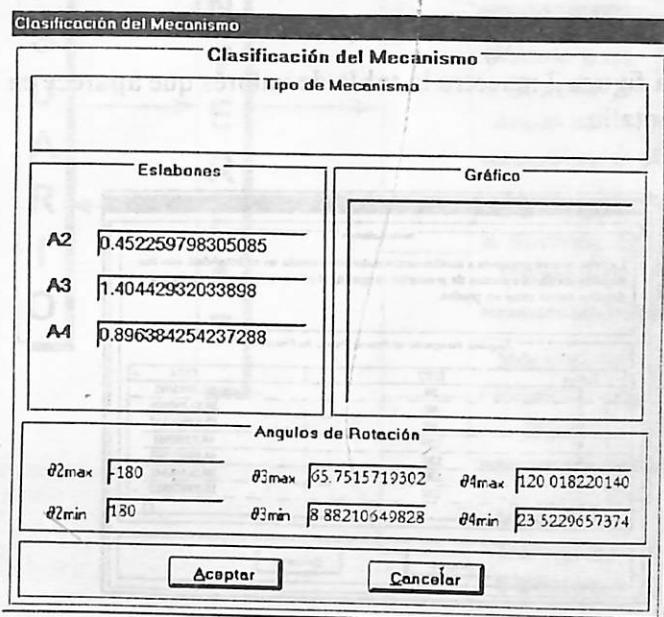


Figura 9 Ventana de clasificación del mecanismo según ángulo de oscilación de las barras

Paso 3: Resultado de la Síntesis

Al oprimir el botón aceptar, aparece una ventana con información más detallada acerca de este mecanismo. Dicha ventana se muestra en la figura 9.

Paso 4: Simulación del Mecanismo

Cuando se oprime el botón aceptar de la figura anterior, se pasa a la ventana de simulación del mecanismo sintetizado, la cual se muestra en la figura 10.

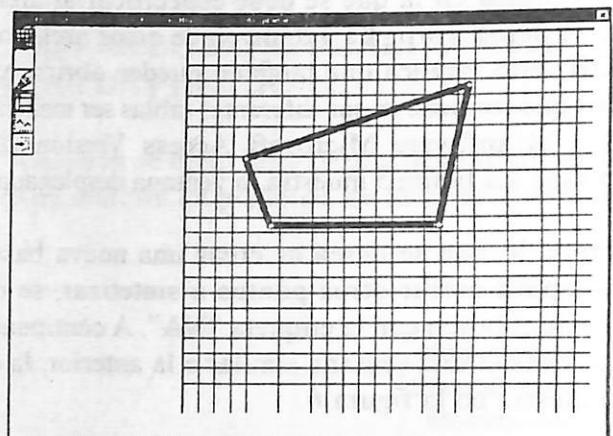


Figura 10 ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.: Ventana de simulación del mecanismo de cuatro barras sin punto acoplador

11.2 VERIFICACIÓN DEL SISTEMA

En el desarrollo de software de cualquier tipo, es necesario e indispensable realizar un proceso verificación, de tal forma que se pueda comprobar que aquello que se ha llevado a un lenguaje de programación o a cualquier otro tipo de software, funcione correctamente. Para ello, se debe diseñar cuidadosamente las pruebas a realizar.

12. MODELO PARA LA VERIFICACIÓN

El modelo de verificación para la síntesis, se llevó a cabo utilizando el software AutoCAD. En este, se dibujo un mecanismo de cuatro barras, cuyas longitudes se seleccionaron de forma aleatoria. Luego se procedió a cambiar el mecanismo a otra posición, y así sucesivamente hasta lograr tener el mecanismo en doce posiciones diferentes. Utilizando las funciones

del AutoCAD se procedió a determinar las longitudes de las barras y los ángulos de cada barra respecto a la primera posición, con una precisión de 8 dígitos decimales.

Tan solo se presentará la verificación para la síntesis de posición ya que la metodología para las otras síntesis es muy similar.

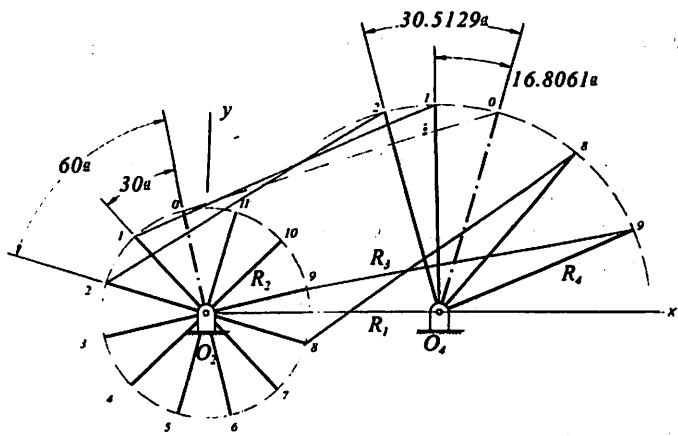


Figura 11 Gráfico del modelo para la verificación de la síntesis de mecanismos para condiciones de posición, velocidad y aceleración

Los datos obtenidos del dibujo son:

Tabla 2: Longitud de las Barras del Mecanismo Dibujado en AUTOCAD para la Verificación

IDENTIFICACIÓN DE LA BARRA	LONGITUD DE LA BARRA
R1	5.9
R2	2.66833281
R3	8.28613299
R4	5.28866713
R5	5.85918083
R6	5.85918083
α	45°

Conocidas las condiciones de síntesis (posiciones angulares, velocidades, aceleración y trayectoria), se procede a realizar el proceso de síntesis para cada caso.

Los valores que se deben obtener son las longitudes de cada barra y el ángulo al primer punto de precisión.

En la tabla 3 se dan los valores obtenidos de la figura 11, para la verificación de la síntesis de posición, ahora el programa conoce las posiciones angulares relativas a una primera posición y debe encontrar las dimensiones del mecanismo y los valores de la posición angular inicial.

Tabla 3: Datos utilizados para la verificación de la síntesis de posición, obtenidos por AutoCAD.

INDICE	DT2	DT4
1	30	16.8061081
2	60	30.51290909
3	90	40.12926537
4	120	44.9380961
5	150	44.19515865
6	180	36.11461341
7	210	15.89579813
8	240	335.9208293
9	270	308.9647598
10	300	322.3228232
11	330	341.290177

Donde:

DT2 : Indica el ángulo que forma la barra R2 en cada punto de precisión respecto al primero

DT4 : Indica el ángulo que forma la barra R4 en cada punto de precisión respecto al primero

Para entrar estos datos al programa y obtener la respuesta se siguen las instrucciones dadas en el numeral anterior. En la tabla 4, se da un resumen de los valores obtenidos por el programa, los valores reales del mecanismo y el error cometido en el cálculo. Los datos consignados en esta tabla son contundentes para validar el modelo.

Tabla 4: Comparación de longitudes obtenidas por el Sistema de Síntesis con las longitudes reales.

Long. Obtenidas de AutoCAD		Long. Obtenidas del Modelo de Síntesis		Escala	ERROR
R_1	5.9	A_1	1	5.9/1	0
R_2	2.66833281	A_2	0.452261	5.899988018	2.03078E-06
R_3	8.28613299	A_3	1.404429	5.900003247	-5.50381E-07
R_4	5.28866713	A_4	0.896385	5.899995018	8.44332E-07

13. CONCLUSIONES

El proceso de síntesis por métodos convencionales como son los métodos gráficos es bastante complicada, tediosa e imprecisa. El desarrollo de una herramienta que permita hacer este proceso con mayor precisión y rapidez se hace necesario en el mundo de hoy donde se requiere obtener buenos diseños en menor tiempo.

La ayuda de los PC en esta tarea es fundamental, pero no solo de ellos sino también de la implementación de algoritmos y métodos numéricos adecuados. Es por esta razón que se le ha dedicado una buena cantidad de tiempo al desarrollo y adecuación de las ecuaciones y métodos numéricos que se implementaron en el modelo de esta síntesis de mecanismos.

Una de las mayores ventajas de utilizar el programa implantado en este trabajo es el de poder utilizar cualquier cantidad de puntos de precisión, tantos como el diseñador requiera en su mecanismo.

Otra cualidad para resaltar del prototipo implementado es la rapidez de procesamiento y de la exactitud en la entrega de las respuestas.

Además de realizar los tipos de síntesis más comunes, realiza también, con igual eficiencia la síntesis de velocidad y aceleración que en el medio prácticamente se desconocen.

La utilización de la biblioteca de mecanismos desarrollada en este programa, representa una herramienta útil en el aprendizaje del estudiante a cerca de los tipos de mecanismos de cuatro barras más comúnmente usados o que tienen una aplicación interesante.

14. BIBLIOGRAFÍA

[ANG79] Ángeles Alvarez, Felix Jorge; "Análisis y Síntesis Cinemáticos de Sistemas Mecánicos.", pp 229, Editorial Limusa , México 1978.

[ASME92] "Advances in Desing Automation.", Vol. 2, D.A. Holteel, pc.53-66, U.S.A: 1992.

[ESP97] Espinosa Bedoya, Albeiro; "Diseño e Implementación de un Programa Computacional Para la Síntesis de Mecanismos de Cuatro Barras", pp 145, Tesis de Grado para Optar el Título de Ingo. Mecánico, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, 1997

[FAIR89] Fairley, Richard E.; "Ingeniería de Software.", pp 390, McGraw-Hill, México 1987.

[HART64] Hartenberg, Richard S. Y Denavit, Jacques.; "Kinematic Synthesis of Linkages.", pp 435, McGraw-Hill, U.S.A. 1964.

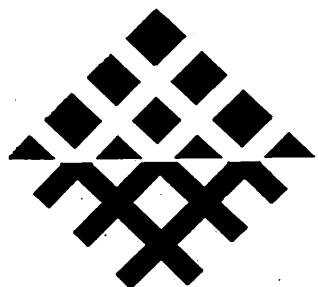
[MAB78] Mabic, Hamilton H. Y Ocvirk, Fred W.;
"Mechanisms and Dynamics of Machinery.",
pc 15-27, 260-279, 360-393, Tercera edición,
John Wiley Sons, Inc, New York, U.S.A.
1978.

[MAR69] Martin, George H.; "Kinematics and
Dinamics of Machines.", pc 47-401, McGraw-
Hill , New York, U.S.A. 1969.

[NIE78] Nieto N., Justo; "Síntesis de Mecanismos.",
pp 190, Editorial A.C., Madrid, España 1978.

[SHI88] Shigley, Joseph Edward y Uicker, John
Joseph.; "Teoría de Máquinas y
Mecanismos.", pc 29-203, p.343-381,
McGraw-Hill., México 1988.

[SHI69] Shigley, Joseph Edward; "Análisis Cinemático
de Mecanismos.", pp 429, McGraw-Hill.,
México 1969.



GESTEC

**CENTRO DE GESTIÓN
PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Sede Medellín

TELÉFONO: 2609000 EXT. 893

CORREO ELECTRÓNICO: gestec@perseus.unalmed.edu.co