

GILBERTO JOÃO PAVANI  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

GILBERTO JOÃO PAVANI  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Collection: applied mechanical engineering

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Gilberto João Pavani

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering / Organizador  
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,  
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-860-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.608220102>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João  
(Organizador). II. Título.

CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied mechanical engineering” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na mensuração da criticidade na manutenção de equipamentos, análise de desempenho de indicadores de manutenção, análise de modo e efeito de falha para o desenvolvimento de um plano de manutenção, estudo cinemático das velocidades de um mecanismo genérico, avaliação da eficiência e utilização de ventiladores com motores eletrônicos em sistemas de ar condicionado industrial, desenho de mecanismo e estrutura para animatrônicos, estudo da posição de um mecanismo de quatro barras por meio de uma interface gráfica, modelo matemático para obter a componente axial da velocidade absoluta nos impulsores de turbocompressores centrífugos, mensuração do aumento de eficiência de produção e energia elétrica usando o pré-resfriamento para o ultracongelamento de pães, requisitos metrológicos, ondas de Lamb e métodos estatísticos para detecção do limiar de dano aplicado à estruturas de aeronaves e uso da visão por computador para identificação de circuitos integrados em placas eletrônicas.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DE CRITICADE DOS EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CALHAS PLUVIAIS**


Pierre Breno Nunes de Assis  
Beatriz da Costa Lima  
Claudecir Fernandes de Freitas Moura Júnior  
Matheus Gomes Lima  
Patric de Holanda Nogueira  
Ramon Rudá Brito Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201021>

### **CAPÍTULO 2..... 16**

#### **ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DO VALE DO JAGUARIBE**


José Guilherme Queiroz Sousa  
Patric de Holanda Nogueira  
James Rodrigo da Silva Lima  
Luan Victor Diniz Campos  
Ramon Rudá Brito Medeiros  
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201022>

### **CAPÍTULO 3..... 28**

#### **ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM SISTEMA DE LIMPEZA E PINTURA EM EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO**


Vinícius Gomes Silva  
Daniel Levi Maia Matos  
João Víctor Nogueira Gonçalves  
Gilvan Antônio Cappi  
Ramon Rudá Brito Medeiros  
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201023>

### **CAPÍTULO 4..... 42**

#### **APLICAÇÃO DIDÁTICA NO ESTUDO CINEMÁTICO DAS VELOCIDADES DE UM MECANISMO GENÉRICO DE QUATRO BARRAS**

Vergara Hernández Erasto  
Pérez Millán Brenda Carolina  
Cea Montufar César Eduardo  
Torres Torres Yael Valdemar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201024>

### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E UTILIZAÇÃO DOS VENTILADORES COM MOTORES**


## ELETRÔNICOS (EC) - APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO INDUSTRIAL

Abimael J. Urcino Junior

Samuel Mariano do Nascimento

Eliandro Barbosa de Aguiar

Alexandre Fernandes Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201025>

### **CAPÍTULO 6..... 68**

#### **DISEÑO DE MECANISMOS Y ESTRUCTURA PARA EL ANIMATRÓNICO DEL DINOSAURIO TRICERATOPS**


Roberto Carlos García Gómez

Hernán Valencia Sánchez

Juan Carlos Niños Torres

Mario Alberto Cruz Padilla

Fernando Alfonso May Arrioja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201026>

### **CAPÍTULO 7..... 80**


#### **ESTUDO DA POSIÇÃO DE UM MECANISMO DE QUATRO BARRAS POR MEIO DE UMA INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO**

Vergara Hernández Erasto

Pérez Millán Brenda Carolina

Cea Montufar César Eduardo

Yael Valdemar Torres Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201027>

### **CAPÍTULO 8..... 90**

#### **LA ECUACIÓN DE SEGUNDO GRADO COMO MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER LA COMPONENTE AXIAL ( $C_{2U}$ ) DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA EN LOS IMPULSORES DE LOS TURBOCOMPRESORES CENTRÍFUGOS**

Tena Verdejo Juan


Santiago Gabino Francisco

Tena Galván Sandra Zulema

Oropeza Ramírez Salvador

Gutierrez Pola Marlenne

Ordoñez Tapia Mayanin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201028>

### **CAPÍTULO 9..... 98**

#### **MENSURAÇÃO DO AUMENTO DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO E ENERGIA ELÉTRICA USANDO O PRÉ RESFRIAMENTO PARA O ULTRACONGELAMENTO DE PÃES**


Leandro Fluvio Torno





Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Sariah Torno

Darlo Torno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201029>

<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>110</b>
REQUISITOS METROLÓGICOS LEGAIS PARA MEDIÇÃO FISCAL APLICADOS A UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE PETRÓLEO (FPSO): CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	
Hélio Damásio de Lima Filho	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antônio Robson Gurgel	
Antonio Rodolfo Paulino Fernando Pessoa	
André Luís Novaes Motta	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010210">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010210</a>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>124</b>
SHM BASEADO EM ONDAS DE LAMB E MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O LIMAR DE DETECÇÃO DE DANO APLICADO A ESTRUTURAS DE AERONAVES	
Lucas Altamirando de Andrade da Rocha	
Roberto Mendes Finzi Neto	
Valder Steffen Jr	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010211">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010211</a>	
<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>138</b>
VISIÓN POR COMPUTADORA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS EN TARJETAS ELECTRÓNICAS	
Samuel Sotelo Martínez	
Raúl García García	
Rafael Ocampo Martínez	
Marco Antonio Olivo Flores	
Pablo Saúl Espinoza Aguirre	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010212">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010212</a>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>148</b>
AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO EM CAVIDADES DIRIGIDAS COM USO DO DESIGN CONSTRUTAL	
Priscila Martta Rodrigues	
Cícero Coelho de Escobar	
Flávia Schwarz Franceschini Zinani	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010213">https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010213</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>159</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>160</b>

## APLICAÇÃO DIDÁCTICA NO ESTUDO CINEMÁTICO DAS VELOCIDADES DE UM MECANISMO GENÉRICO DE QUATRO BARRAS

*Data de aceite: 10/01/2022*

*Data de submissão: 08/10/2021*

### **Vergara Hernández Erasto**

Instituto Politécnico Nacional, UPIIH  
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

### **Pérez Millán Brenda Carolina**

Instituto Politécnico Nacional, CECyT 19  
Tecámac, Estado de México, México

### **Cea Montufar César Eduardo**

Instituto Politécnico Nacional, UPIIH  
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

### **Torres Torres Yael Valdemar**

Instituto Politécnico Nacional, UPIIH.  
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México

**RESUMEN:** En el presente trabajo se desarrolló un programa didáctico para realizar el análisis de la posición de un mecanismo genérico de cuatro barras. El programa se realizó mediante el análisis matemático de la ecuación de lazo cerrado del mecanismo y se implementó en la plataforma GUIDE de MATLAB a través de funciones programadas en el ambiente de MATLAB. El resultado permite al usuario encontrar de manera precisa las posiciones angulares y la configuración final del mecanismo de cuatro barras. El programa se validó aplicándolo a un grupo de alumnos de la materia de “Análisis y síntesis de mecanismos”, los resultados muestran una disminución para el tipo de solución requerida, convirtiendo al programa

en una herramienta poderosa de enseñanza y aprendizaje.

**PALABRAS CLAVE:** Mecanismo de cuatro, análisis de velocidad, aprendizaje significativo.

### DIDACTIC APPLICATION IN THE KINEMATIC STUDY OF VELOCITIES OF A GENERIC FOUR-BAR MECHANISM

**ABSTRACT:** This work shows the results of developing and implementing a didactic program for the analysis of angular velocities of a four-bar mechanism for a group of engineering students. The application was based on the analytical method of the loop equation to find the angular velocities of each of the four members that compose the mechanism. A graphical interface was implemented in MATLAB for the student to visually connect with the configuration of the final mechanism. The program was applied to a group of 30 students, resulting in significant learning due to the active involvement of the student, which was reflected in a reduction in the time required to solve problems of this type.

**KEYWORDS:** Four-bar linkage, velocity analysis, meaningful learning.

## 1 | INTRODUCCIÓN

El mecanismo de cuatro barras es la cadena cerrada cinemática más sencilla. Consiste de cuatro cuerpos conectados mediante cuatro articulaciones. El mecanismo de cuatro barras se ha implementado en distintas máquinas dentro de los procesos de

manufactura, considerando aplicaciones desde los limpiaparabrisas de los automóviles hasta las perforadoras de pozos de petróleo.

Una etapa dentro del estudio cinemático de los mecanismos, incluyendo el de cuatro barras, es el estudio de las velocidades angulares de cada uno de los miembros que lo componen. Principalmente existen dos métodos para su estudio: i) método gráfico a través de centros instantáneos, y ii) método analítico, donde se puede abordar de forma vectorial, o bien, con la representación en el plano complejo de un eslabón.

Hoy en día, el uso de las tecnologías de la información en el campo de la educación, en los últimos meses se ha visto impulsado por el rápido desarrollo de las computadoras las cuales han transformado la manera en como los alumnos adquieren el conocimiento de manera significativa. Una de las herramientas en la enseñanza de la ingeniería es el desarrollo de programas y aplicaciones para su uso en las clases. En el área de la ingeniería mecánica el software MATLAB es una poderosa herramienta que puede utilizarse en el proceso de enseñanza aprendizaje, en el presente artículo se crea una aplicación en el entorno de MATLAB para mejorar el aprendizaje de los alumnos.

En este trabajo se desarrolló un programa didáctico con el propósito de apoyar a los estudiantes que cursen alguna materia de análisis de mecanismos o de dinámica de cuerpo rígido con el propósito de fortalecer los conocimientos de un de la cinemática de mecanismo de cuatro barras

## 2 | DESARROLLO

### 2.1 Análisis matemático

El trabajo se implementó en el ambiente grafico APP DESIGNER de Matlab, el cual permite al estudiante conocer las velocidades angulares de cada elemento de un mecanismo genérico de cuatro barras. Se inicia el análisis a partir de la configuración que se muestra en la Figura 1.

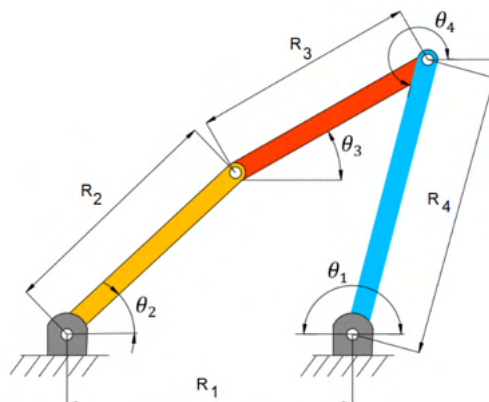


Figura 1.- Configuración de mecanismo de cuatro barras a estudiar

El análisis toma en cuenta la representación de Euler de los números complejos:

$$z_n = R_n e^{i\theta_n} \quad (1)$$

Al aplicar la ecuación de lazo cerrado, ecuación 1, al diagrama de variable compleja que se muestra en la Figura 2. se obtiene la ec. (2)

$$\vec{z}_1 + \vec{z}_2 + \vec{z}_3 + \vec{z}_4 = 0 \quad (2)$$

dónde  $z_n$  es la representación compleja de cada eslabón.

En el análisis matemático se considera que la velocidad angular del eslabón,  $w_2$  es conocida, mientras que las velocidades  $w_3$  y  $w_4$  son calculadas, la velocidad del eslabón 1 al ser fijo, es  $w_1=0 \text{ rad/s}$ .

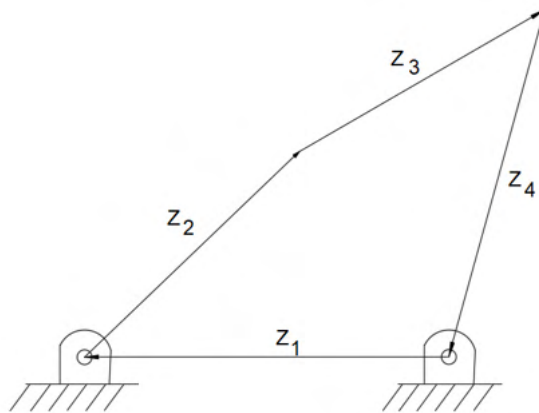


Figura 2.- Diagrama vectorial del mecanismo de cuatro barras genérico

Derivando la ecuación 2 para obtener las velocidades angulares se obtiene:

$$\frac{\vec{z}_1}{dt} + \frac{\vec{z}_2}{dt} + \frac{\vec{z}_3}{dt} + \frac{\vec{z}_4}{dt} = \mathbf{0} \quad (3)$$

Al considerar  $w_1=0$ , y sabiendo  $\vec{v}_n = \vec{w}_n \times \vec{z}_n$  se tiene que:

$$(\vec{w}_2 \times \vec{z}_2) + (\vec{w}_3 \times \vec{z}_3) + (\vec{w}_4 \times \vec{z}_4) = \mathbf{0} \quad (4)$$

El vector  $\vec{z}_n$  de la ecuación 4 se representa en términos de sus componentes:

$$\vec{z}_n = R_n \cos\theta_n \mathbf{i} + R_n \sin\theta_n \mathbf{j} \quad (5)$$

representando la ecuación (5) como:

$$\vec{z}_n = z_{nx} \mathbf{i} + z_{ny} \mathbf{j} \quad (6)$$

y el vector de la velocidad angular de cada cuerpo queda definido como:

$$\vec{w}_n = w_n k \quad (7)$$

Al sustituir la ecuación (6), la ecuación (7) en la ecuación (4) y realizar el producto cruz de cada velocidad se obtiene el siguiente sistema:

$$\begin{bmatrix} z_{3y} & z_{4y} \\ z_{3x} & z_{4x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_3 \\ w_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -w_2 z_{2y} \\ -w_2 z_{2x} \end{bmatrix} \quad (8)$$

La ecuación (8) es de la forma  $\mathbf{Ax}=\mathbf{b}$ , y su solución está expresada en la ecuación (9) para  $w_3$  y en la ecuación (10) para  $w_4$ .

$$w_3 = -w_2 \left( \frac{z_{2y}z_{4x} - z_{2x}z_{4y}}{z_{3y}z_{4x} - z_{3x}z_{4y}} \right) \quad (9)$$

$$w_4 = -w_2 \left( \frac{z_{3y}z_{2x} - z_{3x}z_{2y}}{z_{3y}z_{4x} - z_{3x}z_{4y}} \right) \quad (10)$$

## 2.2 Programación

En la etapa de la programación se realizó e implemento el diagrama de flujo con las operaciones que se muestran en la Figura 5. El inicio del programa es con la adquisición de los datos: i) longitud y posición angular de cada eslabón, haciendo notar que las medidas angulares deben estar en el sistema sexagesimal, y ii) la velocidad angular del eslabón 2. El siguiente paso en la estructura del programa es programar las soluciones de las velocidades angulares  $w_3$  y  $w_4$ , luego entonces se despliega la magnitud y dirección de las velocidades angulares buscadas y se gráfica la configuración final del mecanismo en estudio para una comprensión de parte del alumno.

El gráfico final muestra en colores diferentes cada eslabón también se colocó un sistema de escala para comparar las medidas, los eslabones son graficados por un conjunto de líneas que parten de un punto inicial  $P_i$  a un punto final  $P_f$ .

La interfaz gráfica se muestra en la Figura 3, emplea cuadros de dialogo para la adquisición de datos (parte inferior) para el despliegue de los resultados, en la parte superior de la ventana se muestra el gráfico en dos dimensiones del mecanismo en estudio, resumiendo, mediante una ventana se despliega: i) la solución matemática del mecanismo,  $\omega_3, \omega_4$  y ii) la representación gráfica del mecanismo solucionado.

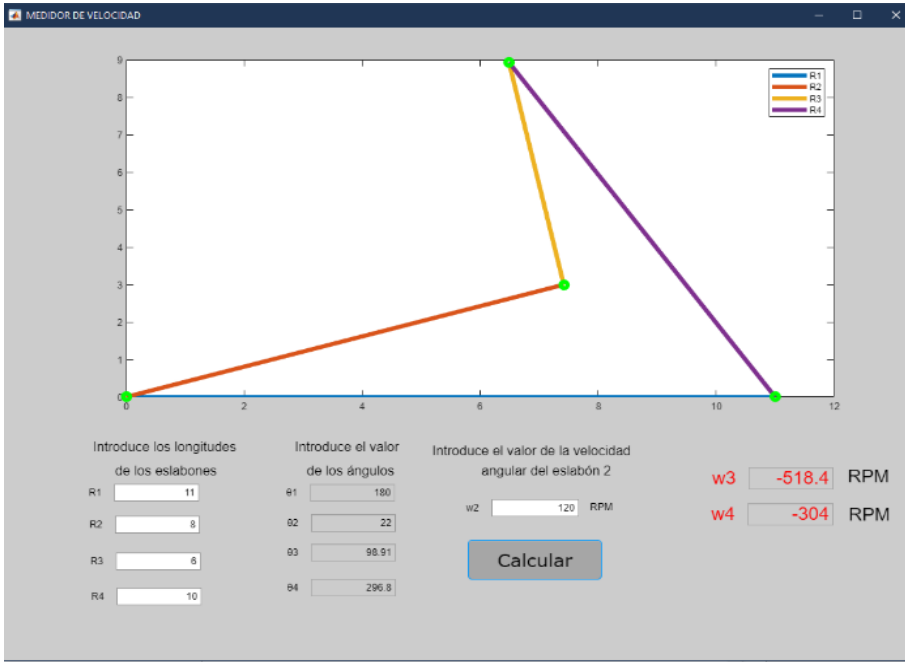


Figura 3.- Ventana de inicio del programa implementado

```

App Designer - C:\Users\Studio\Documents\2do Parcial 21-22o examen parcial mecanismos 21-2 IMM1\medidordevelocidad.mapp
DESIGNER EDITOR
Save Compare Callback Function Property App Input Arguments Go To Find Comment % % Indent
None Left/ Right Top/ Bottom SPLIT DOCUMENT VIEW Enable app coding alerts Zoom In Zoom Out Show Tips Run
FILE INSERT NAVIGATE EDIT VIEW ZOOM RESOURCES RUN
medidordevelocidad mapp x
CODE BROWSER
94 - k=90-u1;
95 - theta3=90-k;
96 - app.angulo3.Value=theta3;
97 -
98 - p2=180-a1p;
99 -
100 - z4=d*cos(p2*pi/180);
101 - z4L=d*sin(p2*pi/180);
102 - x4=[z4 z1x+z4];
103 - y4=[z1y z4L];
104 -
105 - x3=[z2x z1x+z4];
106 - y3=[z2y z4L];
107 - %Sacamos los valores de z3 y z4
108 -
109 - z3x=c*cos(theta3*pi/180);
110 - z3y=c*sin(theta3*pi/180);
111 -
112 - z4x=d*cos(theta4*pi/180);
113 - z4y=d*sin(theta4*pi/180);
114 -
115 - %VELOCIDAD ANGULAR EN RPM
116 - w2=app.vangular2.Value;
117 - w3=-w2*((z2*y24-z2x*z4y)/(z3*y24-z3x*z4y));
118 - w4=-w2*((z2*x23y-z2y*z3x)/(z3*y24-z3x*z4y));
119 - app.vangular3.Value=w3;
120 - app.vangular4.Value=w4;
121 - plot(app.graficador,x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4,x1,y1,'go',x2,y2,'go',x3,y3,'go',x4,y4,'go','linewidth',4);
122 - legend(app.graficador,'R1','R2','R3','R4')
123 -
124 -
125 - if w2=0
126 -     app.velocidad2.Value=w2;

```

Figura 4.- Código realizado para la programación de la ecuación 9 y de la ecuación 10



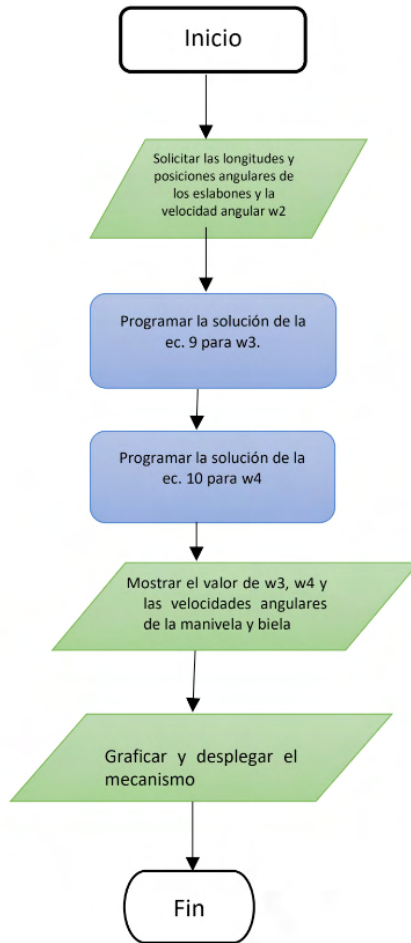


Figura 5.- Diagrama de flujo del programa desarrollado para análisis de posición de mecanismo de cuatro barras

### 3 | RESULTADOS

Una vez terminado el programa se realizó la prueba y depuración del mismo, para lo cual se utilizaron los datos que se muestran en la Tabla 1, las unidades de las longitudes de los eslabones son establecidas en unidades arbitrarias, mientras que las posiciones angulares están definidas en ángulos sexagesimales, los resultados de las velocidades angulares se dan en revoluciones por minuto (rpm). Valores negativos en las velocidades angulares implican un movimiento del eslabón en sentido horario.

Eslabón	Longitud (un. arb.)	Posición angular (°)	Velocidad angular (rpm)
1	10	180	0
2	5.5	40	120
3	6	108.2	-306
4	12	309.7	-139.6

Tabla 1.- Datos de prueba

El gráfico que se obtiene al introducir los datos de la Tabla 1 se muestra en la Figura 6

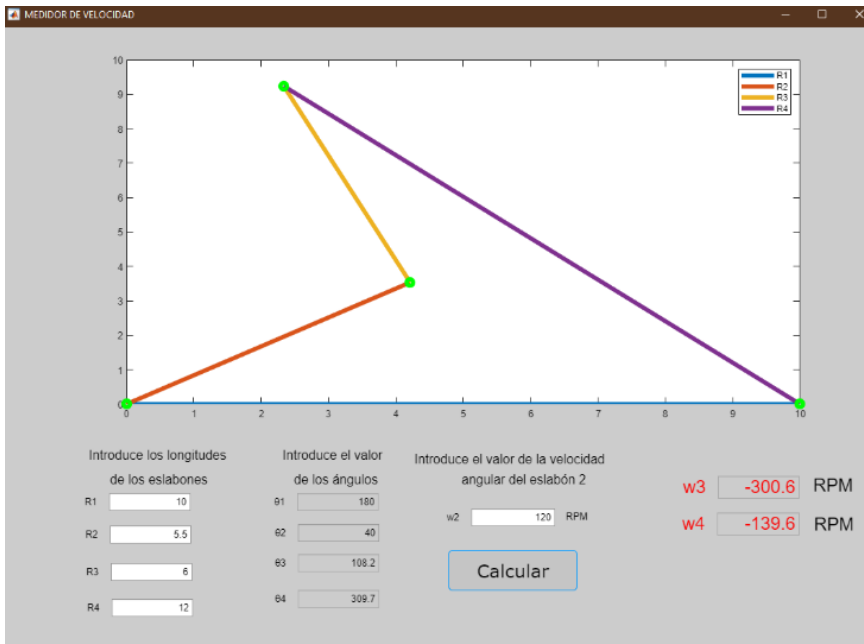


Figura 6 - Resultados obtenidos con los datos de la Tabla 1

De la ventana de resultados se obtienen el valor de la velocidad angular del eslabón 3 y del eslabón 4, que son de -306 rpm y -139.6 rpm. Así mismo en la zona gráfica el alumno puede observar la configuración del mecanismo de acuerdo a la geometría establecida.

Se realizó una segunda prueba donde se intentó que la posición angular del eslabón de manivela estuviera alineada con el eslabón 1 ( $180^\circ$ ), los datos para cumplir con la geometría se muestran en la Tabla 2.

Eslabón	Longitud (un. arb.)	Posición angular (°)	Velocidad angular (rpm)
1	15	180°	0
2	6	180°	57.3
3	17	26.07	16.37
4	10	306.9	16.37

Tabla 2.- Datos de prueba

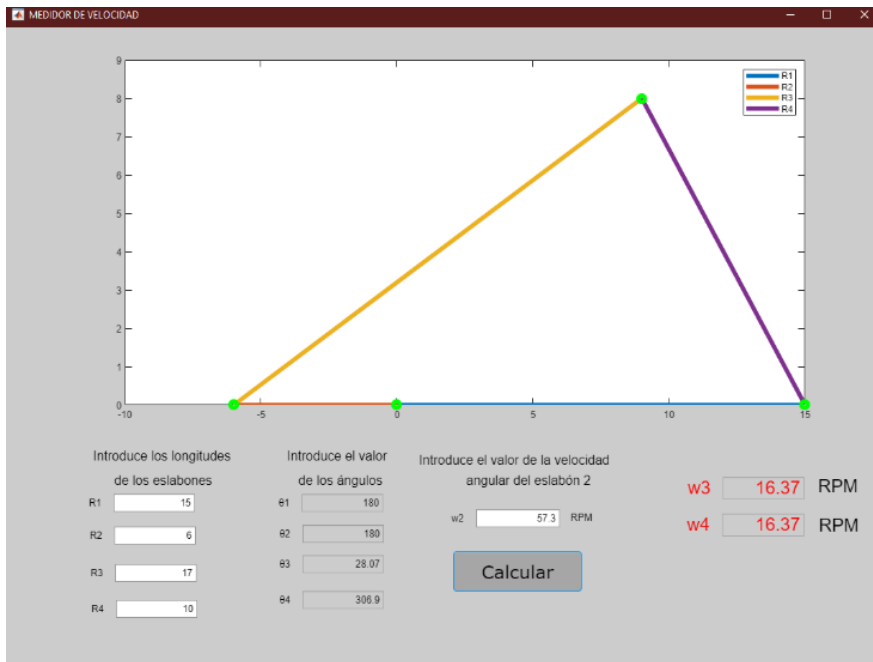


Figura 7.- Resultados de la simulación obtenidos con los datos de la Tabla 2

En la Figura 7 los resultados muestran que las velocidades angulares del eslabón 3 y del eslabón 4 son de la misma magnitud y el mismo sentido con valor de 16.37 rpm.

La aplicación desarrollada se implementó en un grupo de 26 estudiantes de la materia de “Análisis y síntesis de mecanismos” del Instituto Politécnico Nacional, creándose un experimento dónde se comparan el de resolución en los problemas de análisis de velocidad (método analítico) que le toma a los alumnos cuando utilizan la aplicación y cuando no la utilizan, los resultados se muestran en la Figura 8.

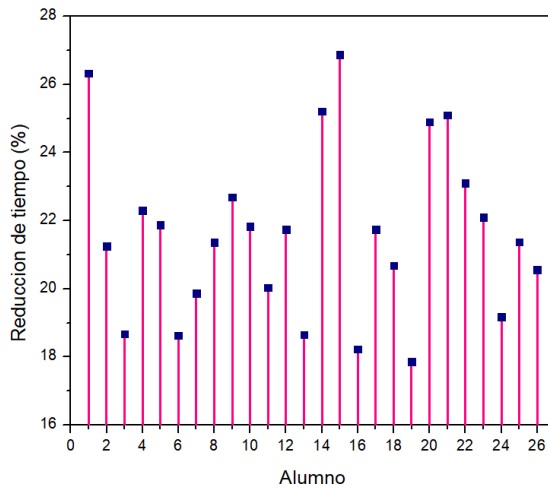


Figura 8.- Resultados de la simulación obtenidos

En la gráfica de la Figura 8 se observa que en promedio el grupo de alumnos presentó una reducción en el tiempo de la resolución correcta de los ejercicios de velocidades angulares del mecanismo de cuatro barras es en promedio del 22%, destacar que los 26 alumnos presentaron algún porcentaje de reducción en la solución de los problemas, resultado que es esperado de acuerdo a los principios del aprendizaje significado.

## 4 | CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrolló e implementó una aplicación en el entorno APP DESIGNER de MATLAB, para encontrar las velocidades angulares del eslabón acoplador y de salida de un mecanismo de cuatro barras a través del análisis matemático del mismo. El trabajo se aplicó en un grupo de alumnos de ingeniería, dónde los resultados muestran una reducción general en el tiempo de resolución de los problemas típicos de velocidades angulares del mecanismo de cuatro barras, fortaleciendo significativamente el conocimiento adquirido.

## REFERENCIAS

Bureerat S. et. al. **Constraint handling technique for four-bar linkage path generation using self-adaptive teaching-learning-based optimization with a diversity archive.** Eng. Optim., vol. 0273, 2020.

Highman D.J, Highman N. **Matlab Guide.** SIAM, 2016

Lin W.Y. **A GA-DE hybrid evolutionary algorithm for path synthesis of four-bar linkage.** Mechanism and Machine Theory. vol. 45, no. 8, pp. 1096–1107, 2010.

Pytel A., Kiusalaas J. **Dinámica**, Cengage Learning, 2012.

Sleesongsom S. et al. **Four-bar linkage path generation through self-adaptive population size teaching-learning based optimization**, Knowledge-Based Syst., vol. 135, pp. 180–191, 2017

Zhou C. et. Al. **Students perceptions of creativity in learning Information Technology (IT) in project groups**. Computers in Human Behavior., vol. 41, pp. 454–463, 2014

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA 29

Análise estatística 124, 125, 131, 135

### C

Calha 7, 15

Cinemática 42, 43, 90, 91, 92

Circuito integrado 138, 142, 143, 144, 145, 146, 147

Confiabilidade 14, 25, 28, 40, 41

Criticidade 1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 66

### D

Desenho 151

### E

Estrutura 7, 23, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 150

### F

Ferramenta da qualidade 22

Floating Production Storage and Offloading - FPSO 111, 112

### I

Impulsor 91, 92, 93, 94, 95

Indústria têxtil 16

Interface gráfica 80

### M

Manutenção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 52, 53, 54, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 112

Manutenção corretiva 1, 3, 4, 5, 8, 11, 18, 19, 39

Manutenção preventiva 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 18, 19, 38, 61

Mecanismo 10, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 71, 74, 75, 76, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 152

Mecanismo de quatro barras 80

Medição fiscal 110, 111, 112, 113, 114, 118

Monitoramento da integridade estrutural 125

## **O**

Ondas de Lamb 124, 125, 126, 129

## **P**

Petróleo 43, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 121, 123

Placa eletrônica 61

Plano de manutenção 4, 5, 7, 12, 13, 22, 28, 30, 35, 37, 40, 54, 63, 64

Pré-resfriamento 98

## **Q**

Qualidade 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 29, 33, 40, 41, 99, 101, 122

## **R**

Rendimento térmico 98

Requisitos metrológicos 110, 111

## **T**

Tempo Médio de Reparo - MTTR 17, 24

Tempo Médio entre Falhas - MTBF 17, 22


Triceratops 68, 69, 77


## **U**


Ultracongelamento 98, 102, 107, 108

## **V**

Ventilador 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

---

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

  
Ano 2022