

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-Não-Derivativos 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 CRÍTICA DE 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>

# CAPÍTULO 8

## 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

*Data de aceite: 10/01/2022*

### **Tena Verdejo Juan**

Departamento de Metal Mecánica, Instituto Tecnológico de Minatitlán Minatitlán, Ver., MEXICO

### **Santiago Gabino Francisco**

Departamento de Metal Mecánica, Instituto Tecnológico de Minatitlán Minatitlán, Ver., MEXICO

### **Tena Galván Sandra Zulema**

Departamento de Metal Mecánica, Instituto Tecnológico de Minatitlán Minatitlán, Ver., MEXICO

### **Oropeza Ramírez Salvador**

Departamento de Metal Mecánica, Instituto Tecnológico de Minatitlán Minatitlán, Ver., MEXICO

### **Gutierrez Pola Marlene**

Departamento de Ciencias Básicas Instituto Tecnológico de Minatitlán Minatitlán, Ver., MEXICO

### **Ordoñez Tapia Mayanin**

Departamento de Ciencias Básicas Instituto Tecnológico de Minatitlán Minatitlán, Ver., MEXICO

**RESUMEN:** El presente trabajo consiste en el análisis cuantitativo de las variables que intervienen en los impulsores que son utilizados en los turbocompresores para determinar en base al modelo matemático obtenido la componente

axial de la velocidad ( $C_{2u}$ ) la cual es necesaria conocerla para que sea aplicada en la ecuación de Euler, siendo esta la ecuación fundamental de las turbo máquinas.

**PALABRAS CLAVE:** Turbo máquinas, Ecuación de Euler.

**ABSTRACT:** The present work consists of the quantitative analysis of the variables that intervene in the impellers that are used in the turbochargers to determine based on the mathematical model obtained the axial component of the speed ( $C_{2u}$ ) which is necessary to know it so that it is applied in the Euler's equation, this being the fundamental equation of turbo machines.

**KEYWORDS:** Turbo máquinas, Ecuación de Euler.

## INTRODUCCIÓN

Es evidente que el desarrollo actual de modelos representa una herramienta útil, rápida y de bajo costo para el análisis de problemas ingenieriles reales. La confiabilidad y precisión de tales modelos es a la fecha un tema de interés científico. Lo anterior, debido a que se pretende que éstos ofrezcan un resultado tal que ya no sea necesario realizar experimentación para comparar la información obtenida numérica con respecto a la experimental. En este trabajo se tomaron los conceptos de Termodinámica y de Mecánica de los Fluidos siendo la evaluación el balance de energía y la cinemática en los impulsores. Es importante mencionar que en las

industrias de procesos químicos, petroquímicos y afines se utilizan compresores centrífugos para aire y gases cuyo diseño y análisis se basan en los fundamentos y o conceptos de **Ingeniería MECÁNICA**. En base a la ecuación fundamental de las turbo máquinas que determinó Euler a partir de la cinemática de los impulsores la cual determina la energía de presión (H) debido a la velocidad tangencial y a la componente axial de la velocidad absoluta. Puesto que la energía de presión es directamente proporcional al producto de las velocidades tanto axial y la componente axial.

## DESARROLLO DEL MÉTODO

Los sistemas termodinámicos e hidrodinámicos son descritos por las leyes de la termodinámica y de la mecánica de los fluidos, siendo la ecuación de balance de energía la misma para estos sistemas como lo indica la primera ley de la termodinámica y la ecuación de Bernoulli para la hidrodinámica, La ecuación de balance de energía para estos sistemas está dada por siguiente modelo matemático (Ec. 1) en base al modelo mecánico del impulsor (Fig. 1)

$$E_{c1} + E_c - q = E_{c2}, \quad (1)$$

Donde  $E_{c1}$  es la Energía Cinética del Impulsor,  $E_c$  es la Energía Adquirida en su recorrido,  $q$  es el Calor debido a la Fricción gaseosa, remolinos y Transferencia de Calor al medio Circundante,  $E_{c2}$  es la Energía Cinética a la Descarga del Impulsor

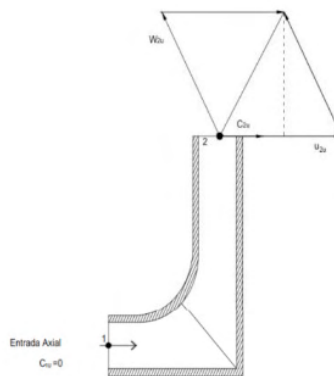


Figura 1

La ecuación 1 quedara expresada en forma de energía  $y_1 + y - q = y_2$  (1 a)

Donde

$$y_1 = E_{c1} = \frac{c_1^2}{2} + C_p T_1 \quad \left[ \frac{J}{Kg} \right] \quad (2)$$

$$y = E_c = C_{2u} u_2 - C_{1u} u_1 \quad \left[ \frac{J}{Kg} \right] \quad (3) \text{ Ecuación de Euler}$$

$$y_2 = E_c = \frac{c_2^2}{2} + C_p T_2 \quad \left[ \frac{J}{Kg} \right] \quad (4)$$

De la cinemática del impulsor (ver Fig. 2). Euler obtuvo la ecuación de la energía específica  $E_c$  intercambiada entre el rodete y el fluido, siendo esta:

$$E_c = C_{2u} u_2 - C_{1u} u_1 \quad (5)$$

Como la energía cinética es:

$$E_c = \left( \frac{J}{kg} \right) = E_c = \left( \frac{m^2}{s^2} \right) \quad (6)$$

Además  $H_u$  es la altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido, donde:

$$H_u (m) g \left( \frac{m}{s^2} \right) = E_c \quad (7)$$

Igualando las ecuaciones (6) y (7) en la ecuación (3) obtenemos la ecuación de Euler expresada en ALTURAS ( $H_u$ ):

$$H_u = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g} \quad (8)$$

En donde los términos de la ecuación (8) son:

$H_u$  = Altura de Presión del Impulsor

$u_2, u_1$  = Velocidades Tangenciales a la entrada y salida del impulsor

$c_{2u}, c_{1u}$  = Componentes axiales a la entrada y salida del impulsor

$g$  = gravedad

## CINEMÁTICA DEL IMPULSOR

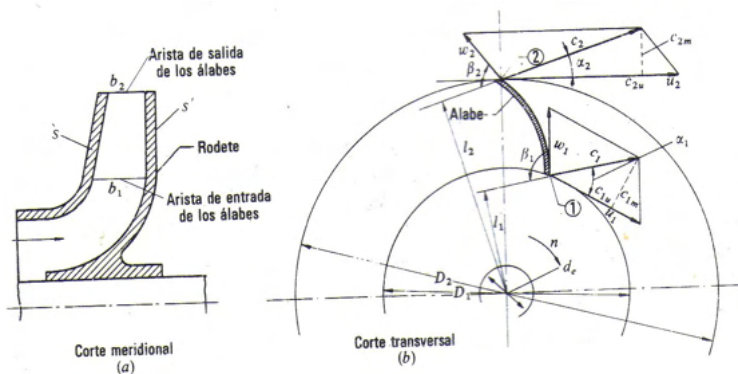


Figura 2 Impulsor de un compresor centrífugo: (a) corte meridional, (b) corte transversal

Una vez analizado los conceptos térmicos hidráulicos del impulsor, partiendo del concepto cinemático del impulsor o para obtener la energía específica intercambiada entre el impulsor y el fluido:

Sustituiremos en la ecuación 1 las ecuaciones 2, 3 y 4

$$\frac{c_1^2}{2} = C_p T_1 + (C_{2u} u_2 - C_{1u} u_1) - q = \frac{c_2^2}{2} + C_p T_2 \quad (\text{Ecuación 9})$$

La temperatura  $T_2$  del gas al salir del impulsor será

$$T_2 = T_1 + \frac{1}{2C_p} [C_1^2 - C_2^2 + 2(C_{2u} u_2 - C_{1u} u_1)] - \frac{q}{C_p} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Si el proceso de compresión fuese adiabático, la temperatura de salida  $T_2$  sería:

$$T_{2a} = T_1 + \frac{1}{2C_p} [C_1^2 - C_2^2 + 2(C_{2u} u_2 - C_{1u} u_1)] - \frac{q}{C_p} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$\frac{T_{2a}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2a} - T_1}{\eta_a} \quad (\text{Ecuación 12.a})$$

Dónde:

$K$  = Coeficiente isentrópico

$P_2$  y  $P_1$  = Presiones a la salida y la entrada

De las ecuaciones 11 y 12 se puede calcular la presión de salida del impulsor

$$P_2 = P_1 \left\{ 1 + \frac{1}{C_{p1}} [C_1^2 - C_2^2 + 2(C_{2u} u_2 - C_{1u} u_1)] \right\}^{\frac{k}{k-1}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Debido a las pérdidas provocadas por el fluido que circula a gran velocidad por los canales inter alabes, el proceso de compresión se aleja de las condiciones isentrópicas, ya que una parte de la energía del fluido se pierde en forma de fricción y en formación de remolinos, transformándose en calor, siendo el proceso real muy próximo al poli trópico.

Dónde:  $Pv^n = Cte$

$\eta$  = Índice poli trópico

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\eta}{\eta-1}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Para compresores con buen aislamiento térmico  $q = 0$

$$\eta_a = \frac{W_a}{W_i} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Dónde:

$\eta_a$  = Rendimiento adiabático

$W_a$  = Trabajo necesario para realizar la compresión adiabática

$W_i$  = Trabajo interno real

$$W_a = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (\text{Ecuación 15.a})$$

Para el proceso real la ecuación 13 toma la forma:

$$P_2 = P_1 \left\{ 1 + \frac{\eta_a}{C_p T_1} [C_1^2 - C_2^2 + 2(C_{2u}u_2 - C_{1u}u_1)] \right\}^{\frac{k}{k-1}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

El  $\eta_a$  para compresores multietapas anda entre 0.80 – 0.90 la eficiencia adiabática de la etapa se puede tomar igual a 0.85.

Para los impulsores centrífugos la componente axial (a la entrada del impulsor)  $C_{1u} = 0$ , y las componentes radiales  $C_{1m} = C_{2m}$  por lo tanto tenemos la siguiente relación:

$$C_{1m} = C_{2m} = C_1$$

$$W_1 = \sqrt{u_1^2 + C_1^2}$$

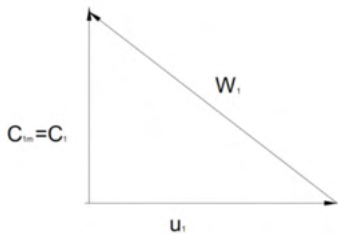


Figura 3. Triangulo de velocidades a la entrada del impulsor del compresor centrífugo.

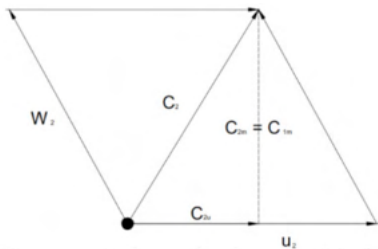


Figura 4. Triangulo de velocidades a la salida del impulsor del compresor centrífugo.

De la ecuación 16

$$P_2 = P_1 \left\{ 1 + \frac{\eta_a}{C_p T_1} [C_1^2 - C_2^2 + 2(C_{2u}u_2 - C_{1u}u_1)] \right\}^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 1 + \frac{\eta_a}{C_p T_1} [C_1^2 - C_2^2 + 2 C_{2u}u_2]$$



$$(C_1^2 - C_2^2 + 2 C_{2u}u_2) \frac{\eta_a}{2C_p T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} - 1$$

$$C_1^2 - C_2^2 + 2 C_{2u}u_2 = \frac{2C_p T_1}{\eta_a} \left[ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] \quad (\text{Ecuación 17})$$

Del triángulo de velocidades a la salida (de componentes radial y axial)

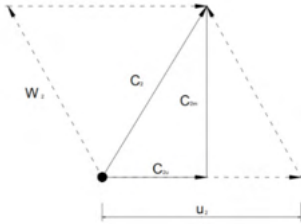


Figura 5. Componente radial y axial, a la salida del impulsor del compresor centrífugo.

Del triángulo de velocidades de la figura 5, tenemos:

$$C_2^2 = C_{2m}^2 + C_{2u}^2$$

$$C_{2u}^2 = C_2^2 - C_{2m}^2$$

$$\text{Pero: } C_{2m} = C_{1m} = C_1$$

$$C_{2u}^2 = C_2^2 - C_1^2 \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$(-1)[C_{2u}^2 = C_2^2 - C_1^2]$$

Por lo tanto, se obtiene la siguiente ecuación

$$-C_{2u}^2 = C_1^2 - C_2^2 \quad (\text{Ecuación 19})$$

Sustituimos (19) en la (17)

$$2C_{2u}u_2 - C_{2u}^2 = \frac{2C_p T_1}{\eta_a} \left[ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] \quad (\text{Ecuación 20})$$

De la ecuación 20 se puede determinar la componente axial  $C_{2u}$  necesario para calcular el incremento de presión en el impulsor.

## OBTENIÉNDOSE EL MODELO MATEMATICO

$$-C_{2u}^2 + C_{2u}u_2 + \frac{2C_p T_1}{\eta_a} \left[ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] = 0 \quad (\text{Ecuación 21})$$

En la ecuación 21, se puede observar claramente que es la ecuación general de segundo grado cuya expresión es de todos bien conocido de la forma:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

Y cuya ecuación de solución es:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

En la ecuación 21 los coeficientes a, b y c serán:

$$a = -1$$

$$b = u_2$$

$$C = -2 \frac{C_p T_1}{\eta_a} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right] = -B$$

Donde B es la constante C

Aplicando la fórmula general para resolver la ecuación de segundo grado y sustituyendo las constantes a, b y c se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_{2u} = \frac{-u_2 \pm \sqrt{u_2^2 - 4(-1)(-B)}}{2(-1)} = C_{2u} = \frac{-u_2 \pm \sqrt{u_2^2 - 4B}}{-2} \quad (\text{Ecuación 22})$$

**POR LO QUE LA FORMA GENERAL SERA:**

$$C_{2u} = \frac{-u_2 \pm \sqrt{u_2^2 - 4B}}{-2}$$

## CONCLUSIONES

Se obtuvo el Modelo Matemático y con ello, poder calcular la componente axial de la velocidad absoluta en base a las ecuaciones de energía. En particular dicha componente es la que refleja el comportamiento cinemático de los impulsores que son utilizados en los compresores centrífugos, esta, es parte importante de las variables que intervienen en dicha ecuación para determinar la energía de presión expresada en alturas. De antemano este modelo matemático obtenido para la expresión está de manera analítica. Otra de las virtudes es el modelado y analizar el comportamiento energético de las turbo máquinas, poniendo de manifiesto la aplicación de la herramienta matemática que desde la secundaria se enseña para las soluciones de las ecuaciones de segundo grado por la fórmula general.

## REFERENCIAS

Fernández, Francisco. **INTRODUCCION A LA MECANICA DE FLUIDOS**. Editorial. Alfa Omega.

Igor J. Karassik y Roy Carter. **BOMBAS CENTRIFUGAS**, Editorial. CECSA

Joseph B. Franzini. **MECANICA DE FLUIDOS CON APLICACIÓN EN INGENIERIA**. Editorial Mc Graw Hill.

Luszczewski, Antoni. **REDES INDUSTRIALES DE TUBERIA, BOMBAS PARA AGUA, VENTILADORES Y COMPRESORES**. Editorial Reverté Ediciones, S.A. de C.V. 1a Edición 1999

Mataix, Claudio, “**Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas**”, Harla México, 2da. Ed., 1982

Mott, Robert L. **MECANICA DE FLUIDOS**. Editorial Prentice Hall.

Munson Young. **FUNDAMENTOS DE MECANICA DE FLUIDOS**. Editorial. Noriega Limusa.

Smits Alexander S. **MECANICA DE LOS FLUIDOS**. Editorial ALFA OMEGA. 2003

Vickers. **BOMBAS SELECCIÓN, USO Y MANTENIMIENTO**. Editorial Vickers.

## 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

---

  
Ano 2022

 [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