

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA MECÂNICA 2**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
**JOÃO DALLAMUTA**  
(ORGANIZADORES)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA MECÂNICA 2**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
**JOÃO DALLAMUTA**  
(ORGANIZADORES)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**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

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 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 Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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 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  
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

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

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

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica 2 /  
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João  
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-582-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.829212810>

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz  
(Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. 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](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## 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 pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica, materiais e automação, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se ainda estabelecer que estas características levam a alterações quase que imediatas no projeto, sendo uma modificação constante na busca por melhores respostas e resultados.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **EFICIÊNCIA E CONSUMO ENERGÉTICO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA NO SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO**

Rafael Guimarães Oliveira dos Santos

Aloísio Santos Nascimento Filho


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128101>

### **CAPÍTULO 2..... 8**

#### **ANÁLISE COMPARATIVA DOS TIPOS DE ÁGUA E ELETRÓLITOS DE UM GERADOR DE HIDROGÊNIO PARA UM VEÍCULO CONVENCIONAL**

Thiago Gonçalves de Oliveira

Fábio Luís Figueiredo Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128102>

### **CAPÍTULO 3..... 19**

#### **A REVIEW ON ITERATIVE AND SERIES SOLUTIONS FOR KEPLER'S EQUATION**

Paula Cristiane Pinto Mesquita Pardal


Mariana Pereira de Melo

João Francisco Nunes de Oliveira

Leonardo de Oliveira Ferreira

Pedro Novak Nishimoto

Roberta Veloso Garcia


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128103>

### **CAPÍTULO 4..... 36**

#### **A-CAES (ADIABATIC COMPRESSOR AIR ENERGY STORAGE): APARATO EXPERIMENTAL EM ESCALA LABORATORIAL**

Roberto Sihnel

Thiago Antonini Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128104>

### **CAPÍTULO 5..... 51**

#### **LA IMPORTANCIA DE LA FACTORIZACIÓN EN LA INGENIERÍA MECÁNICA PARA DETERMINAR LA ALTURA MÁXIMA DE PRESIÓN EN LAS TURBOBOMBAS**

Juan Antonio Tena Verdejo


Francisco Santiago Gabino

Sandra Zulema Tena Galván

Víctor Francisco Cortes Ávila

José Salvador

Oropeza Ramírez


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128105>

### **CAPÍTULO 6..... 59**

#### **MODELO MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL**

## ÁLABE DE UN IMPULSOR CERRADO DE LAS TURBO BOMBAS


Juan Antonio Tena Verdejo  
Francisco Santiago Gabino  
Sandra Zulema Tena Galván  
Victor Francisco Cortes Ávila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128106>

## **CAPÍTULO 7..... 68**

### PROJETO DE TÚNEL DE VENTO DE BAIXA VELOCIDADE


Arthur de Lima Queiroga  
Rhander Viana  
Olexiy Shynkarenko

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128107>

## **CAPÍTULO 8..... 79**

### ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN MECANISMO DE SCOTCH-YOKE A TRAVÉS DE LA INTERFAZ SOLIDWORKS-MATLAB


Javier Guevara Rivera  
Adolfo Manuel Morales Tassinari  
María Esperanza Velasco Ordóñez  
Carlos Efrén Jiménez Acosta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128108>

## **CAPÍTULO 9..... 88**

### COMPARATIVO ENTRE UM OSSO COM PROPRIEDADES MECÂNICAS ISOTRÓPICAS E ORTOTRÓPICAS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS EM UMA FRATURA


Igor Emanuel Espindola Loureiro  
Celso Júnio Aguiar Mendonça  
Ivan Moura Belo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292128109>

## **CAPÍTULO 10..... 100**

### ANALYSIS OF DELAY COMPENSATION METHODS IN HARDWARE-IN-THE-LOOP TESTS


Eduardo Moraes Coraça  
Janito Vaqueiro Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.82921281010>

## **CAPÍTULO 11..... 113**

### METODOLOGIA SEIS SIGMA: APLICAÇÃO NUMA EMPRESA DE ROLHAS METÁLICAS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Edry Antonio Garcia Cisneros  
Daniel Guzmán del Río  
Israel Gondres Torné  
Vitor Hugo Machioly

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.82921281011>

**CAPÍTULO 12..... 127**


**PROPOSAL OF AN ELECTRONIC BRACELET DEVICE FOR THE MEASUREMENT OF VITAL SIGNS**

Eliel Eduardo Montijo-Valenzuela

Elvis Osiel Covarrubias-Burgos

Darío Soto-Patrón

Esthela Fernanda Torres-Amavizca

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.82921281012>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 137**

# CAPÍTULO 6

## MODELO MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL ÁLABE DE UN IMPULSOR CERRADO DE LAS TURBO BOMBAS

*Data de aceite: 01/10/2021*

### **Juan Antonio Tena Verdejo**

Ingeniería Electromecánica Tecnológico  
Nacional de México, Campus Minatitlán  
Veracruz, México

### **Francisco Santiago Gabino**

Ingeniería Electromecánica Tecnológico  
Nacional de México, Campus Minatitlán  
Veracruz, México

### **Sandra Zulema Tena Galván**

Ingeniería Electromecánica Tecnológico  
Nacional de México, Campus Minatitlán  
Veracruz, México

### **Víctor Francisco Cortes Ávila**

Ingeniería Electromecánica Tecnológico  
Nacional de México, Campus Minatitlán  
Veracruz, México

**RESUMEN:** El presente trabajo consiste en el análisis cuantitativo a partir de la cinemática involucrando a las variables que intervienen en los impulsores tipo cerrado que son utilizados en las turbos bombas para determinar en base al modelo matemático obtenido, el comportamiento mecánico energético de los impulsores pudiendo así obtener la energía intercambiada en el impulsor de esta máquinas.

**PALABRAS CLAVE:** Termodinámica, cinética, sistemas termodinámicos, hidrodinámicos

## 1 | 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 estos ofrezcan un resultado de tal manera 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 de cuyo diseño y análisis están fundamentados en 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.

## 2 | DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

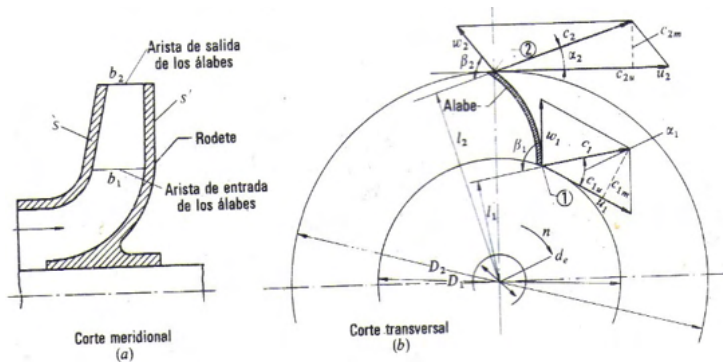


Figura 1. Rodete de una bomba centrífuga: (a) corte.

### 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 el siguiente modelo matemático (Ec. 1) en base al modelo mecánico del impulsor (Fig. 1b)

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

Donde  $E_{ci}$  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 meridional, (b) corte transversal. En este último se han dibujado los triángulos de velocidad a la entrada y a la salida.

$$y_1 + y_u - q = y_2 \quad (1.a)$$

Donde:

$$Y_1 = E_{c1} = \frac{C_1^2}{2} + C_p T_1 \quad (\text{J/Kg}) \quad (2)$$

$$Y_u = u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u} \quad (\text{J/Kg}) \quad (3) \quad \text{Ecuación de Euler}$$

$$Y_2 = E_{c2} = \frac{C_2^2}{2} + C_p T_2 \quad (\text{J/Kg}) \quad (4)$$

Como no hay intercambio de energía las  $E_c$  (2) y (4) son igual a cero, ya que en las bombas centrífugas la temperatura a la succión y descarga es constante, por lo que las entalpías son iguales:

$$H_1 = H_2$$

De la cinemática del impulsor (ver Fig. 1b). Euler obtuvo la ecuación de la energía específica  $E_c$  (3) intercambiada entre el rodete y el fluido, siendo esta:

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

### a. Deducción de la Ecuación de Euler

Esta deducción se hará con relación a la misma Figura 1. Que representa, como ya hemos dicho, el rodete de una bomba centrífuga; pero todo el razonamiento y por tanto la fórmula de Euler deducida mediante él, será válido para todas las turbo-máquinas.

Las tres velocidades  $c$ ,  $u$ , &  $w$  están relacionadas según la mecánica del movimiento relativo, por la ecuación vectorial:

$$\bar{w}_1 = \bar{c}_1 - \bar{u}_1 \quad (6)$$

Suponemos que el álabe (o su tangente) tiene la dirección del vector  $\bar{w}_1$ , con lo que la partícula entra sin choque en el álabe. La partícula guiada por el álabe sale del rodete con una velocidad relativa a la salida  $\bar{w}_2$ , que será tangente al álabe en el punto 2. En dicho punto, el álabe tiene la velocidad periférica  $\bar{u}_2$ . La misma composición de velocidades de la Ecuación (6) nos proporciona la velocidad absoluta a la salida  $\bar{c}_2$ ,

$$\bar{c}_2 = \bar{w}_2 + \bar{u}_2 \quad (7)$$

La partícula de fluido ha sufrido, pues, en su paso por el rodete un cambio de velocidad de  $\bar{c}_1$  a  $\bar{c}_2$ . Del teorema de la cantidad de movimiento se deduce el teorema del movimiento cinético o del impulse o cantidad de movimiento. En efecto, la ecuación aplicada al hilo de corriente a que pertenece la partícula de fluido considerada,

$$\bar{F} = \rho Q \Delta \bar{v} \quad (8)$$

Será:

$$d\bar{F} = dQ\rho(\bar{c}_2 - \bar{c}_1) \quad (9)$$

Tomando momentos en la Ec. (9) con relación al eje de la máquina tendremos:

$$dM = dQ\rho(l_2 c_2 - l_1 c_1) \quad (10)$$

Que es el teorema del movimiento cinético.

Donde:

$dM$  Es el momento resultante con relación al eje de la máquina de todas las fuerzas que el rodete ha ejercido sobre las partículas que integran el filamento de corriente considerado para hacerle variar su movimiento cinético.

$dQ$  Es el caudal del filamento.

$l_2, l_1$  Son los brazos de momento de los vectores  $c_2$  y  $c_1$ , respectivamente.

Suponemos ahora que todas las partículas de fluido entran en el rodete en un diámetro  $D_1$  con la misma velocidad  $c_1$ , y salen a un diámetro  $D_2$  con la misma velocidad  $c_2$ . Esto equivale a suponer que todos los filamentos de corriente sufren la misma desviación, lo cual a su vez implica que el número de álabes es infinito para que el rodete guíe al fluido perfectamente. Aplicando esta hipótesis llamada teoría unidimensional, o teoría del número infinito de álabes, al hacer la integral de la Ec. (10) el paréntesis del segundo miembro será constante, obteniéndose finalmente:

$$M = Q\rho(l_2c_2 - l_1c_1) \quad (11)$$

Donde:

$M$  es el momento total comunicado al fluido o momento hidráulico.

$Q$  es el caudal total de la bomba.

Pero de la Figura 1 b, se deduce fácilmente que

$$l_1 = r_1 \cos \alpha_1 \quad \text{Y} \quad l_2 = r_2 \cos \alpha_2$$

Luego

$$M = Q\rho (r_2c_2 \cos \alpha_2 - r_1c_1 \cos \alpha_1) \quad (12)$$

Este momento multiplicado por  $N$  será igual a la potencia que el rodete comunica al fluido. Por tanto

$$P_w = MN = Q\rho N(r_2 \cos \alpha_2 - r_1 \cos \alpha_1) \quad W, SI \quad (13)$$

Donde:

$$N = \frac{2\pi n}{60} - \text{velocidad angular del rodete, } \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Por otra parte, si llamamos  $Y_u$  a la energía específica intercambiada entre el rodete y el fluido, en nuestro caso la energía específica que el rodete de la bomba comunica al fluido, y  $G$  al caudal másico que atraviesa el rodete, se tendrá en el SI:

$$P_u(W) = G \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) Y_u \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) = Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) g \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) H_u(m) \quad (14)$$

Donde:

$H_u$  Es la altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido:

$$Y_u \left( \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) = Y_u \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) = H_u(m) g \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Igualando las dos expresiones de la potencia de las Ecuaciones (13) y (14) se tiene

$$Q\rho Y_u = Q\rho\omega(r_2c_2 \cos \alpha_2 - r_1c_1 \cos \alpha_1) \quad (15)$$

Pero

$$\begin{aligned} r_1\omega &= u_1 \text{ \& } r_2\omega = u_2 \\ c_1 \cos \alpha_1 &= c_{1u} \text{ \& } c_2 \cos \alpha_2 = c_{2u} \end{aligned}$$

Donde

$c_{1u}$ ,  $c_{2u}$  Son proyecciones de  $c_1$  y  $c_2$  sobre  $u_1, u_2$ , o componentes periféricas de las velocidades absolutas a la entrada y a la salida de los álabes.

Sustituyendo estos valores en la Ecuación (15) y simplificando, se obtiene la ecuación de Euler:

$$Y_u = u_2c_{2u} - u_1c_{1u} \quad (16)$$

Se comprueba la Ecuación (3)

### **(Ecuación de Euler: Bombas, ventiladores y turbocompresores)**

De la variable  $Y$  se pasa a la variable  $H$  por la ecuación:

$$Y_u \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) = g \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) H (m) \quad (17)$$



Por tanto, dividiendo los dos términos de la Ec. (16) por se tendrá:

- Primera forma de la ecuación de Euler (Expresión en alturas).

$$H_u = \pm \frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{g} \quad (17.a)$$

**(Ecuación de Euler, primera forma: bombas, ventiladores, turbocompresores, turbinas hidráulicas, turbinas de vapor y turbinas de gas: signo [positivo +] maquinas motoras y signo [negativo - ] máquinas generadoras; unidades m, SI).**

### b. Modelo Matemático del impulsor

La altura teórica que da una bomba es la expresada por la ecuación (17.a) donde los puntos 1 y 2 (ver fig.2) se refieren a la entrada y salida del impulsor.

$H_u$  es la altura que el impulsor imparte al fluido.

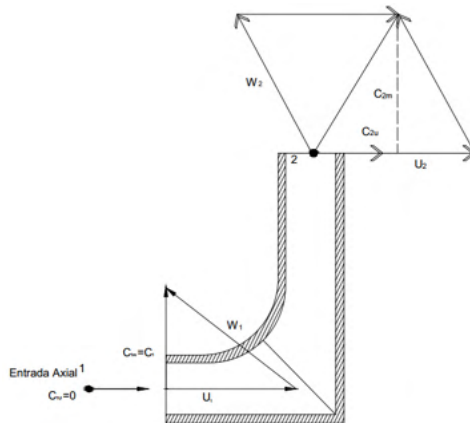


Figura 2

De la Ecuación. (16) tenemos que: por ser entrada axial se tendrá la expresión energética siendo esta la Energía Cinética

$$Y_u = u_2 c_{2u} \quad (18)$$

La ecuación (18) expresada en alturas:

$$H_u = \frac{u_2 c_{2u}}{g} \quad (19)$$

Como el término

$(u_2 c_{2u}) = \left(\frac{m^2}{s^2}\right) = V^2$  y este al ser dividido entre  $(g)$  se obtiene:

$$H_u = \frac{V^2}{g} \quad (19.a)$$

Cuya expresión es la energía cinética.

Ahora bien, la expresión anterior se pondrá en función del Caudal para obtener el

#### **Modelo Matemático de la Energía Cinética:**

$$Q = AV \quad (20)$$

Donde

$Q$  es caudal que maneja el impulsor

$A$  es el área del impulsor

$V$  es la velocidad del fluido que es impulsado por el impulsor

Despejando:

$$V = Q/A \quad (20.a)$$

Sustituyendo la Ec. (20.a) en la Ec. (19.a)

$$H = \frac{Q^2}{A^2 g} = \frac{Q^2}{A^2 g} = \frac{Q^2}{D} = BQ^2$$

Finalmente obtenemos el MODELO MATEMÁTICO

De la ENERGÍA CINÉTICA

$$\mathbf{H = BQ^2}$$

En donde:

$B$  es una constante

$Q$  es el caudal

#### **Gráfica**

La representación gráfica del modelo matemático resulta ser una parábola, debido a que es una ecuación cuadrática.

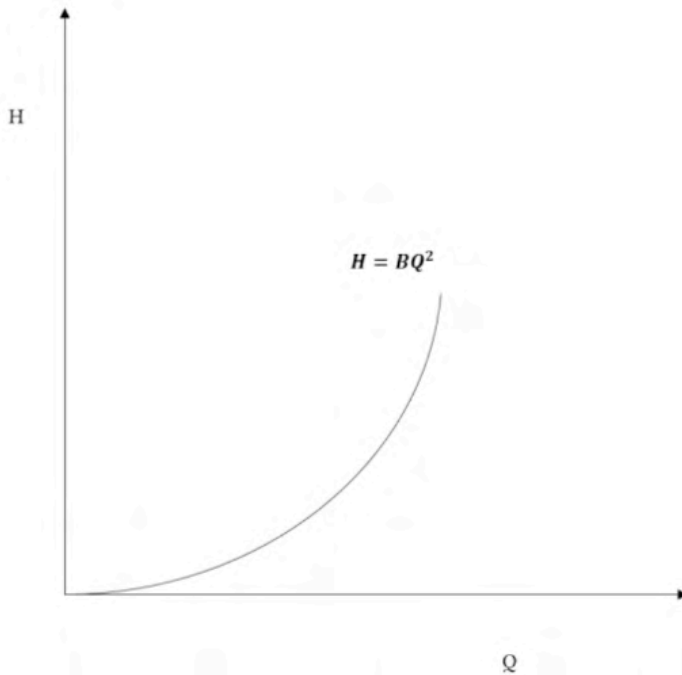


Figura 3.

### 3 | CONCLUSIONES

En base al Modelo Matemático obtenido con ello, poder determinar la ecuación de energía o término matemático conocida como la energía de Cinetica, la cual se incluirá en la ecuación de BERNOULLI. En particular las velocidades son las que refleja el comportamiento cinemático de los impulsores que son utilizados en las turbomáquinas centrífugas de las turbomáquinas, estas velocidades, son parte importante de las variables que intervienen en dicha ecuación para determinar la energía de presión expresada en alturas. De antemano este modelo matemático utilizado para obtener la energía está de manera analítica. Otra de las virtudes es el modelado y analizar el comportamiento energético de las turbomáquinas, poniendo de manifiesto la aplicación de la herramienta matemática como es en este caso la trigonometría que desde la secundaria se enseña para las soluciones de problemas de trigonometría para ser aplicada en mecánica vectorial.

Por otra parte, podemos observar la ley de la conservación de la energía ya que la energía cinética de un fluido, se convierte en energía de presión la cual puede ser cuantificada o medible por el instrumento de medición llamado manómetro de presión.

## REFERÊNCIAS

Libros:

Cherkasski, V. M. "Bombas, ventiladores y compresores". Ed. Mir, Moscú, 1986.

Durnov, P. I. "Bombas, ventiladores y compresores". Ed. Vicha Chkola, Kiev, Odesa, 1985.

Pfleiderer, K. "Bombas centrifugas y turbocompresores". Ed. Labor S.A., España, 1960.

Ramos Páez, Néstor, Jorge L. Jiménez H., Rafael Quesada P. "Erosión de los anillos de desgaste delanteros de las bombas de cachaza BSA 140-25". Ingeniería energética, Vol. VIII, Ciudad de la Habana, 1987.

Mataix, Claudio. "Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas". Ed. Alfa omega, segunda edición, 13° impresión, octubre 2005.

Viejo Zubicaray, Álvarez Fernández. "Bombas teoría, diseño y aplicaciones". Ed. Limusa, 3° edición, 2003.

Karassik, Igor J. Roy Carter. "Bombas centrifugas Selección, operación y mantenimiento". Ed. Cecsca, 14° impresión, mayo de 1987.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

A-CAES 5, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48

Aerodinâmica 68, 69

Ar comprimido 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 48, 50

Armazenamento 36, 38, 39, 40, 41, 44, 48, 49

### B

Biomecânica 88

### C

Cavernas 36, 39, 40, 41

Células de inovação 127

Ciência de dados 1

Confiabilidade 113, 115, 121

Consumo de combustível 1, 8, 10

### D

Desenvolvimento sustentável 1, 2

### E

Eletrólise 8, 9, 10, 11, 14, 18

Eletrólitos 5, 8, 9, 14, 17, 18

Energia 3, 8, 9, 11, 17, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 48, 49, 50, 68, 70, 90

Energia limpa 8, 9

### F

Fluidodinâmica computacional 68

Fluido incompressível 68

Fratura coronal 88, 89, 99

### G

Geração de hidrogênio 8, 9, 10, 11, 17

### H

Huntorf 36, 37, 39, 40, 41, 49

### M

Medição de sinais vitais 127

Método dos elementos finitos 6, 88, 90, 98

Metodologia seis sigma 6, 113

## **O**

Ortotrópico 88, 89, 92, 96, 97, 98

## **P**

Paradas não planejadas 113, 114, 118, 119, 120, 122, 124, 125

Perdas metálicas 113

Pulseira eletrônica 127

## **R**

Renovável 36, 38, 42, 48

Router CNC 68, 69, 70

## **S**

Setor automotivo 5, 1, 2, 3, 7

Sistema remoto 127

## **T**

Tipos de água 5, 8, 10, 11, 12, 17

Túnel de vento 6, 68, 70, 71, 74, 78

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA 2

- 
-  [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)

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA 2

-  [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)