

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021



Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

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.



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 Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia mecânica: inovações tecnológicas de elevado valor

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia mecânica: inovações tecnológicas de elevado valor / 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 978-65-5706-782-6

DOI 10.22533/at.ed.826210902

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

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.

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.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, 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.

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
THICKNESS CONTROL OF COATINGS DEPOSITED BY CO ₂ LASER FOR AERONAUTICAL TURBINE BLADES	
Jéssica Fernanda de Azevedo	
Viviane Teleginski Mazur	
Daniele Cristina Chagas	
Júlio César Gomes Santos	
Maurício Marlon Mazur	
Getúlio de Vasconcelos	
DOI 10.22533/at.ed.8262109021	
CAPÍTULO 2	8
CORRELATION BETWEEN THE TOPOGRAPHY OF THE TOOL'S WORN SURFACE AND THE RESULTING WORKPIECE ROUGHNESS IN THE MILLING PROCESS OF THE INCONEL 718	
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva	
André Rezende de Figueiredo Oliveira	
Álisson Rocha Machado	
DOI 10.22533/at.ed.8262109022	
CAPÍTULO 3	22
LEVANTAMENTO DOS COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE TAYLOR PARA FORÇA DE USINAGEM EM TORNEAMENTO DE INCONEL COM PCBN	
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva	
Felipe dos Anjos Rodrigues Campos	
DOI 10.22533/at.ed.8262109023	
CAPÍTULO 4	36
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA, TÉRMICA E MICROESTRUTURAL DAS FIBRAS DE TIMBÓ-AÇU	
José Maria Braga Pinto	
Douglas Santos Silva	
Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.8262109024	
CAPÍTULO 5	52
“FAILURE ANALYSIS OF A 3102 ALUMINUM TUBE OF AN AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING CONDENSER”	
Miguel Angel Neri Flores	
DOI 10.22533/at.ed.8262109025	
SOBRE OS ORGANIZADORES	66
ÍNDICE REMISSIVO	67

CAPÍTULO 5

“FAILURE ANALYSIS OF A 3102 ALUMINUM TUBE OF AN AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING CONDENSER”

Data de aceite: 04/02/2021

data de submissão: 13/11/2020

Miguel Angel Neri Flores

Centro de Investigación en Materiales
Avanzados, S.C.
Chihuahua, México, C.P.31136

RESUMEN: Se realizó el análisis de falla, de un tubo de aluminio 3102 de un condensador de aire acondicionado automotriz que fallo en funcionamiento. El análisis de falla se realizó por medio de análisis químico, metalografía, dureza, y fractografía mediante estereoscopia y microscopia electrónica de barrido. El tubo de aluminio 3102 se caracterizó metalúrgicamente, para determinar si el material del tubo de aluminio cumplía con las especificaciones del plano de fabricación. Los resultados obtenidos en los diferentes análisis determinaron que el material del tubo de aluminio, cumplía con las especificaciones del plano de fabricación, por lo que se procedió a revisarlo superficialmente por medio de estereoscopia y microscopia electrónica de barrido, observándose que antes de la fractura del tubo, hubo una deformación plástica en el mismo. Finalmente se determinó que la causa de la falla en el tubo, fue la presencia de rayas diagonales en su superficie, las cuales actuaron como concentradores de esfuerzos, causando un agrietamiento en el mismo, después de un determinado tiempo de funcionamiento. La fractografía determino que la fractura fue del

tipo dúctil y la grieta se propago a través de las líneas o marcas en forma de “V” que tenía en su superficie.

PALABRAS CLAVE: Aluminio 3102, condensador automotriz, análisis de falla, sistema de aire acondicionado automotriz.

“ANALISE DE FALHA DE UM TUBO DE ALUMINIO 3102 DE UM CONDENSADOR DE AR CONDICIONADO ATOMOTIVO”

ABSTRACT: Failure analysis was performed on an aluminum tube 3102 of an automotive condenser that failed in operation. Failure analysis was performed through Chemical Analysis, Metallography, Hardness, and Fractography using Stereoscopy and Scanning Electron Microscopy. The aluminum tube 3102 was metallurgically characterized to determine if the material of the aluminum tube complied with the specifications of the manufacturing plane. The results obtained in the different analyzes determined that the material of the aluminum tube complied with the specifications of the manufacturing plane, so it was examined superficially by means of stereoscopy and scanning electron microscopy, observing that before the fracture of the tube, there was a plastic deformation in it. Finally, it was determined that the cause of the failure in the tube was the presence of diagonal stripes on its surface, which acted as stress concentrators, causing a cracking in the same, after a certain time of operation. The fractography determined that the fracture was of the ductile type and the crack was propagated through the lines or marks in the form of “V” that had on its surface.

KEYWORDS: Aluminum 3102, automotive condenser, failure analysis, automotive air conditioning system.

1 | INTRODUCCIÓN

El ser humano se siente a gusto si su entorno tiene una determinada temperatura y humedad del aire; siente una reconfortante comodidad. El bienestar, como una parte integrante de la seguridad activa, ejerce una gran influencia sobre la posibilidad de conducir sin disminución de la capacidad física y mental. El “ambiente climatizado en el coche” influye directamente sobre el conductor, sobre una conducción exenta de fatiga y sobre la seguridad de la conducción. La temperatura ideal para el conductor se cifra entre los 20° y los 22°C. Equivalen a la carga climatológica, que viene siendo el margen agradable. Una radiación solar intensa sobre el vehículo puede elevar la temperatura en el habitáculo a más de 15°C por encima de la temperatura atmosférica. Aquí es donde el calor ejerce las influencias más peligrosas. La temperatura corporal aumenta y la frecuencia cardiaca se intensifica. El cerebro recibe una escasa cantidad de oxígeno. En el área C significa una sobrecarga para el cuerpo llamándolo “estrés climatológico”. Para reducir este tipo de cargas se ha creado el aire acondicionado automotriz, un sistema que acondiciona el aire a una temperatura agradable, que también puede depurar y deshidratar el aire. El filtro antipolen y el filtro de carbón activado representan factores complementarios para la depuración del aire [1]. Esta depuración viene a favorecer especialmente a las personas que padecen de enfermedades alérgicas.

El aire acondicionado es una parte importante de un sistema integrado que proporciona enfriamiento, calentamiento, descongelación, eliminación de neblina, filtrado de aire, control de humedad para la comodidad del pasajero y la seguridad del vehículo. Los elementos de un circuito de aire acondicionado para automóvil, consta de los siguientes elementos fundamentales:

Válvula de expansión, Evaporador, compresor y otros elementos auxiliares [2] (Figura 1)

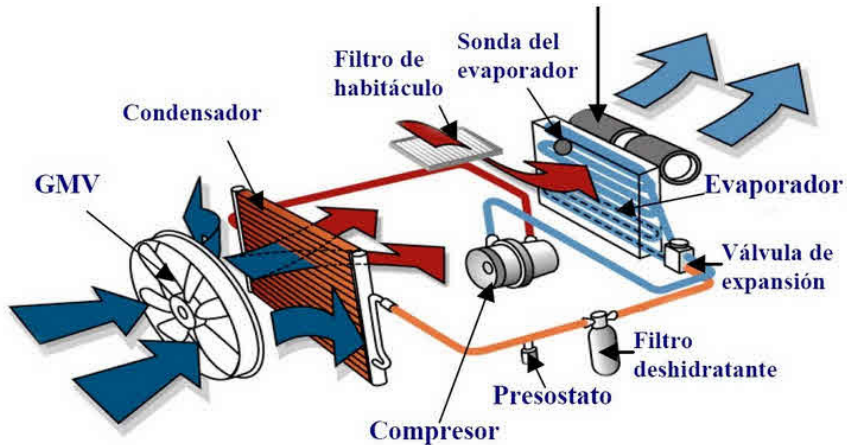


Figura 1.- Sistema de aire acondicionado automotriz y sus componentes.

Descripción y función de los elementos que componen el sistema de aire acondicionado automotriz

1. Compresor

El compresor es el mecanismo encargado de aspirar el gas, comprimirlo y ponerlo en circulación a través de los circuitos y demás elementos. Cada sistema montará un compresor específico según las características y capacidad del equipo. El mecanismo interior de los compresores puede variar según marcas, pero el resultado o el objetivo siempre es el mismo.

2. Condensador

El condensador es el elemento encargado de transformar el gas en líquido, lo consigue bajando su temperatura. Es un radiador convencional con ventilador adecuado para alojar gas y líquido del sistema de climatización

3. Filtro Deshidratante

Este filtro tiene varias funciones y es un elemento básico para el buen funcionamiento del sistema:

- Retiene partículas de suciedad con el filtro interior.
- Retiene la humedad, como su nombre indica esta es una más de sus funciones.
- Actúa de contenedor de gas líquido, hace de depósito acumulador.
- Controla la calidad de la condensación. Disponen de una mirilla para ver si hay burbujas de aire dentro del circuito.

3. Presostato

Es el encargado de controlar y regular las presiones en el circuito refrigerante, conocidos como válvulas trinarias o cuatrinarias. Éste controlará el arranque del compresor y de los ventiladores según la presión.

4. Válvula de expansión

Esta válvula regula la cantidad de gas en estado líquido que debe entrar en el evaporador para el funcionamiento correcto. Hay tres tipos, termostáticas, monobloque y de tubo.

5. Evaporador

El evaporador es un intercambiador de calor o radiador, en el interior del vehículo, por el que circula el gas líquido frío y mediante un ventilador empuja el aire refrigerado hacia el habitáculo.

6. Sonda del evaporador

Sensor encargado de enviar información de la temperatura del evaporador ya sea a la válvula trinaria o a centralita en el caso de climatizadores.

7. Filtro de habitáculo

Este filtro de habitáculo o filtro de anti polen es el encargado de eliminar impurezas en el aire que utilizamos para ventilar el interior del coche.

8. Tubos y mangueras

Estos conductos diseñados según las características del equipo son los encargados de transportar el gas o líquido entre los elementos que forman el esquema. Encontraremos siempre secciones anchas para los tramos de baja presión y diámetros más pequeños para las zonas de alta presión.

Funcionamiento del sistema

El compresor o motor del aire acondicionado empuja el gas y manda presión hacia el condensador. El gas, al pasar por el condensador baja su temperatura y presión pasando a estado líquido.

Cuando sale del condensador pasa por la válvula trinaria ofreciendo lectura de presión a la misma, de ahí sigue pasando por el interior del filtro, eliminando impurezas y humedad.

Ahora la válvula de expansión será la encargada de regular la cantidad de gas en estado líquido que entra en el evaporador.

El gas líquido ya circula por el evaporador y el ventilador empuja el aire frío, filtrado por el anti polen, hacia el habitáculo.

El compresor aspira el gas llevándolo de nuevo a su interior para seguir comprimiendo y enviando a través del circuito cerrado.

En el presente trabajo se realizó el análisis de falla de un condensador del sistema de aire acondicionado automotriz, en el que el tubo de aluminio se fracturo, ocasionando una falla catastrófica en todo el sistema. En las Figuras 2 y 3 se muestra el condensador fallado después de haber estado operando un determinado tiempo.

El objetivo del presente trabajo es determinar las causas por las que fallo el tubo del condensador de aluminio 3102, después de haber trabajado un determinado tiempo en el

automóvil.

Se realizó una investigación bibliográfica sobre el tema de análisis de falla en tubos de aluminio de condensadores aire acondicionado automotrices, y se detectaron solamente fallas por corrosión [3-5], y no por concentración de esfuerzos.

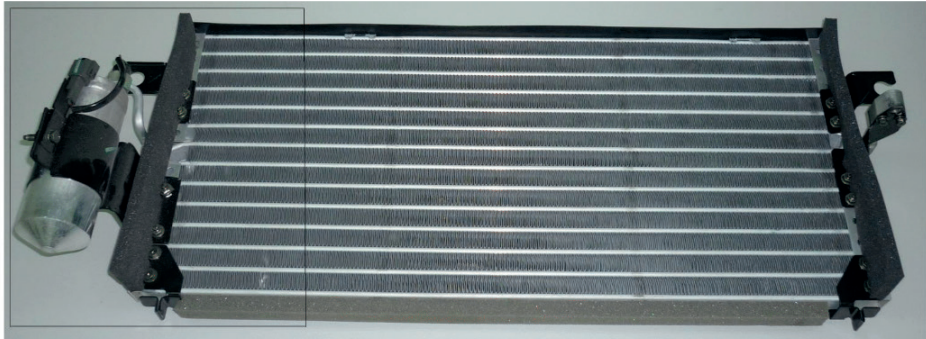


Figura 2.- Fotografía del condensador de un sistema de aire acondicionado que fallo estando en operación.

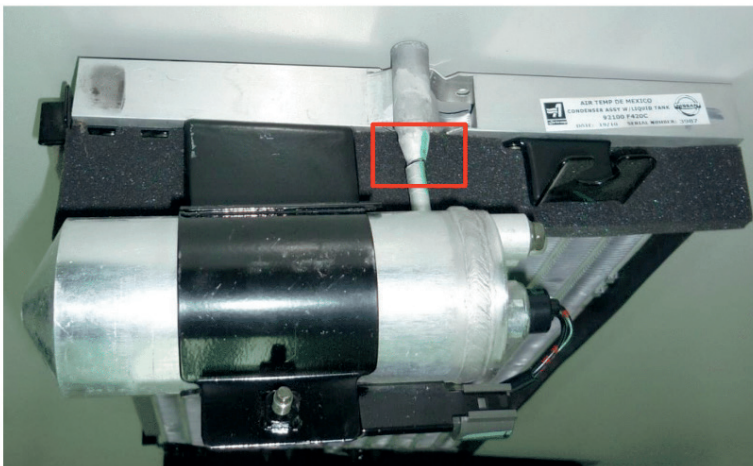


Figura 3.- Fotografía del condensador de un sistema de aire acondicionado, en donde se observa el tubo fracturado marcado por el recuadro rojo.

2 | DESARROLLO

Se caracterizó metalúrgicamente el tubo fallado del condensador, para determinar si el material cumplía con las especificaciones de una aleación de aluminio 3102, utilizando las técnicas de análisis químico por espectroscopia de absorción atómica para determinar la composición química del tubo, Estereoscopia para observar la superficie fracturada a bajos

aumentos, Metalografía para determinar la microestructura del material en conjunto con microcopia óptica, medición de propiedades mecánicas en especial la dureza, y Microscopia Electrónica de Barrido para analizar la superficie de fractura del tubo y determinar el tipo de fractura que se presentó.

2.1 Análisis químico

Para el análisis químico se utilizó en Espectrofotómetro de Absorción Atómica Marca GBC Modelo Avanta Sigma, determinando la composición química del material del tubo de aleación de aluminio 3102, y los resultados se compararon la composición química nominal de una aleación de aluminio 3102, de acuerdo a la norma ASTM B210, para una aleación de aluminio 3102, para la fabricación de tubos estirados sin costura. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en el análisis realizado.

Muestra	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Zn	%Ti	%Al
<i>Aleación de aluminio 3102 composición Nominal (máx.)</i>	0.40	0.7	0.10	0.05-0.40	0.30	0.10	Resto
Tubo Fracturado	0.074	0.444	0.001	0.180	0.018	--	Resto
Tubo No fracturado	0.075	0.436	0.001	0.193	0.019	--	Resto

Tabla 1. Composición nominal de una aleación de aluminio 3102 de acuerdo a norma ASTM B 210, y composición química del tubo fracturado, y de uno no fracturado.

La composición química de los tubos fracturado y no fracturado está dentro de los límites establecidos en la composición nominal para una aleación de aluminio AA3102 de la norma ASTM B210 Tabla1, pagina 2.

2.2 Estereoscopia

Se observó la superficie del tubo fracturado por medio un estereoscopio marca Dino Lite modelo Pro a bajos aumentos (20X), para detectar posibles defectos superficiales en el tubo fallado que pudieran haber afectado las propiedades mecánicas del tubo.

En la Figura 4 se muestra la superficie del tubo fallado, en la zona de fractura, observándose que la fractura se propago en el cambio de sección del tubo, indicado por el recuadro rojo.

En la Figura 5 se muestra la superficie de un tubo no fallado, observándose que en este tubo no existen rayas diagonales como las del tubo fracturado, en la zona del recuadro rojo.

En la Figura 6 se muestra a mayores aumentos el tubo fallado, en su superficie se aprecian rayas diagonales en forma de “V” en la sección delgada del tubo, la grieta de la fractura corrió sobre una de las rayas diagonales, actuando estas rayas diagonales como

centradoras de esfuerzos.

En la Figura 7 se muestra la parte posterior del tubo fallado, apreciándose también rayas diagonales en forma de “V”, y que la fractura corrió por una de estas rayas.

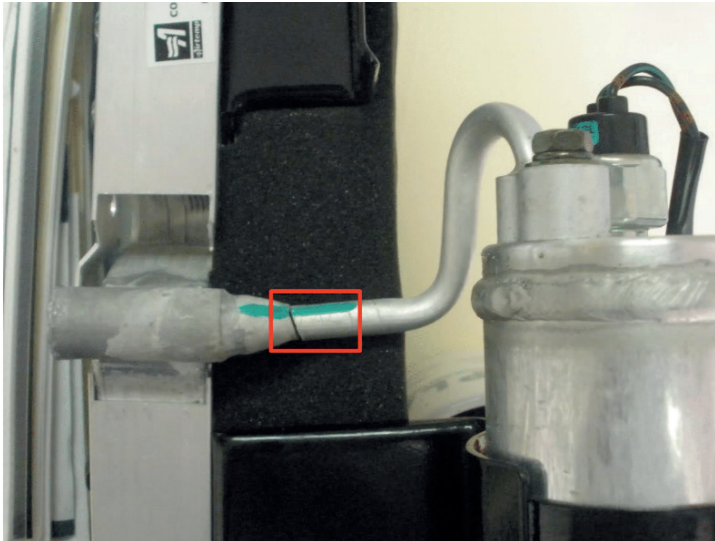


Figura 4. Tubo fracturado del condensador de aire acondicionado, mostrando el sitio de la fractura en el recuadro rojo.

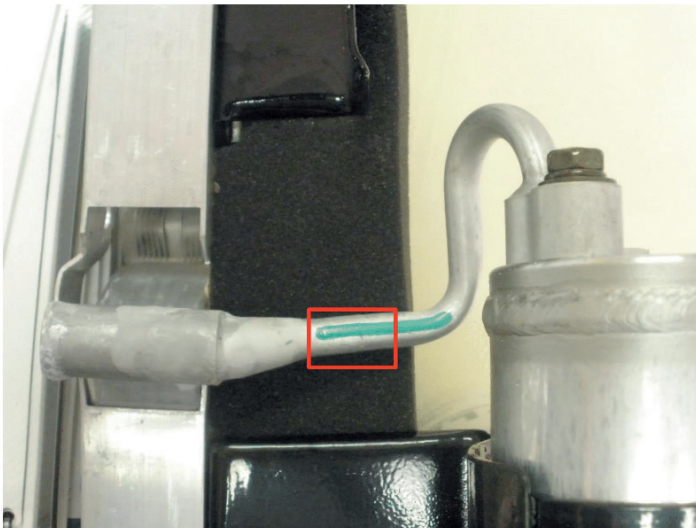


Figura 5. Tubo no fracturado del condensador de aire acondicionado, en su superficie no se observan rayas diagonales en forma de “V” en la sección delgada del tubo, indicada en el recuadro rojo.

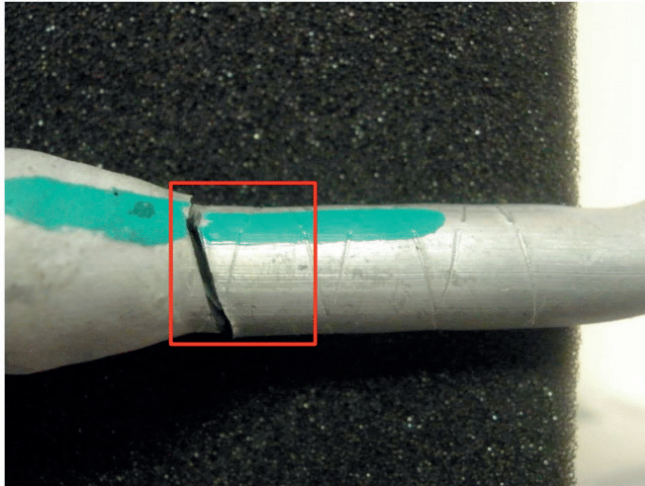


Figura 6. Tubo fracturado del condensador de aire acondicionado, en la zona de la fractura, visto a mayores aumentos, apreciándose rayas diagonales en forma de "V", (10X).

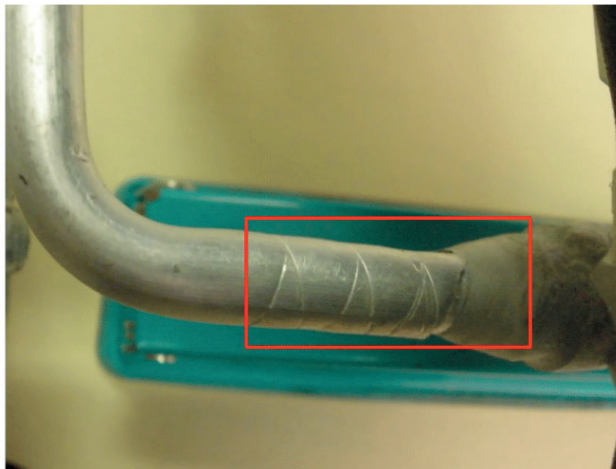


Figura 7. Tubo fracturado del condensador de aire acondicionado, en la zona de la fractura, visto en la posterior a mayores aumentos, apreciando rayas diagonales en forma de "V", (10X).

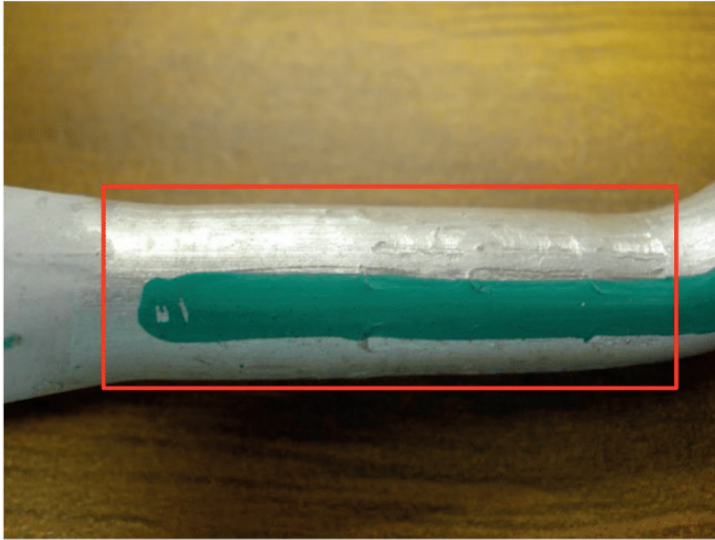


Figura 8. Tubo no fracturado del condensador de aire acondicionado, en su superficie no se observan rayas diagonales en forma de “V” en la sección delgada del tubo, visto a mayores aumentos, (10X).

En las figuras 5 a 8 se aprecian rayas profundas en forma de “V” sobre la superficie del tubo fracturado. Estas rayas actúan como concentradores de esfuerzos sobre el tubo, cuando esté en condiciones de operación en el automóvil (Tubo con presión interna del refrigerante).

2.3 Metalografía

Se prepararon las muestras metalográficas para observarlas posteriormente en un microscopio Óptico marca Olympus modelo PMG3, para observar su microestructura. Se cortó una muestra transversal del tubo fracturado y otra del tubo no fracturado en la sección del diámetro más pequeño, para posteriormente montarla en resina y prepararla para su observación metalográfica. En las fotografías N° 9 y 10 se muestra la microestructura del tubo fracturado a 500 y 1,000X respectivamente, apreciándose una matriz de aluminio con una fase dispersa de otros elementos.

La microestructura encontrada en los tubos fracturado y no fracturado, corresponde a una matriz de aluminio con fases dispersas de Al, Si, Mn y Fe. Las Fotografías N° 6 a 9 muestran la microestructura de ambos tubos, no se aprecian diferencias significativas entre la microestructura del tubo fracturado y el no fracturado.



Figura N° 9.- Microestructura del tubo fracturado, constituida por una matriz de aluminio con fases dispersas, vista a 500X.

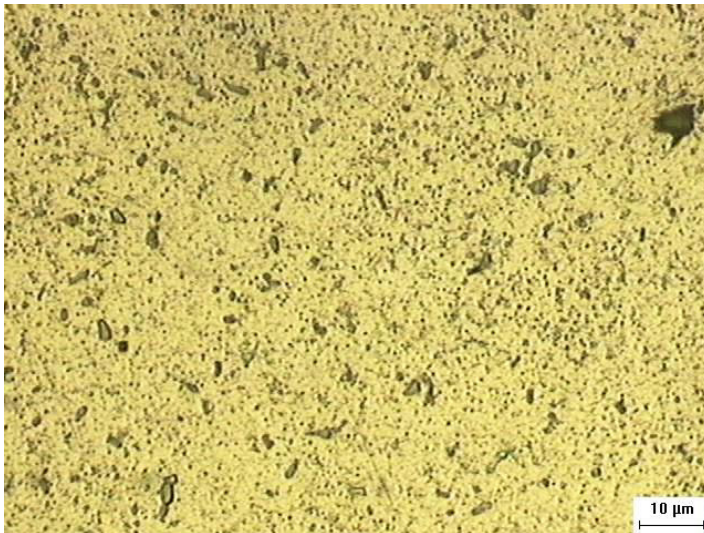


Figura N° 10.- Microestructura del tubo NO fracturado, constituida por una matriz de aluminio con fases dispersas, vista a 500X.

2.4 Micro Dureza

Se midió la micro dureza en escala Vickers, aplicando una carga de 50 grs durante 15 segundos, en el centro de la pared del tubo, en diferentes zonas de la circunferencia del tubo fracturado, y del tubo no fracturado.

La Tabla N° 2 muestra los resultados obtenidos de micro dureza Vickers en la

muestra del tubo fracturado, y del tubo no fracturado. No hay diferencia significativa de microdureza entre los dos tubos.

Muestra	Dureza Vickers 1°	Dureza Vickers 2°	Dureza Vickers 3°	Dureza Vickers 4°	Dureza Vickers 5°	Promedio
Tubo fracturado	37.9	37.6	38.9	40.3	38.2	38.58
Tubo no fracturado	39.6	38.5	37.6	40.8	40.6	39.42

Tabla N° 2.- Mediciones de micro dureza en escala Vickers, en el tubo fracturado y en el no fracturado.

Los valores de dureza obtenidos se muestran en la tabla N° 2 para el tubo fracturado y el no fracturado, ambos tienen valores de micro dureza Vickers promedio muy similares (38.58 y 39.42 HV) por lo que no hay diferencia significativa entre ellos.

3 | FRACTOGRAFÍA

3.1 Estereoscopia

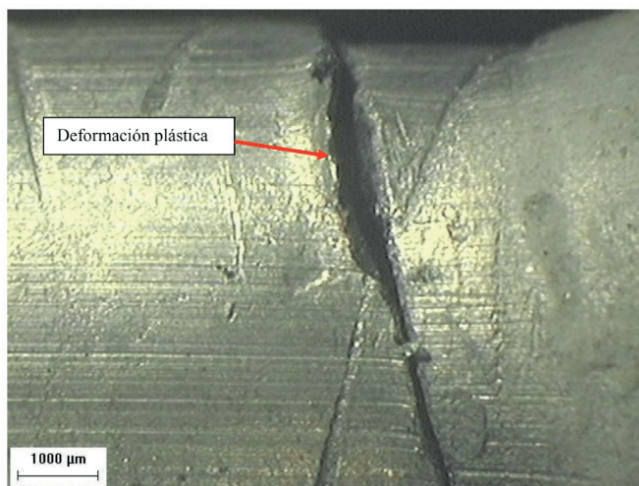


Figura N° 11.- Superficie externa del tubo fracturado, se aprecia que la fractura corrió por una de las rayas profundas en forma de "V", vista a 50X.

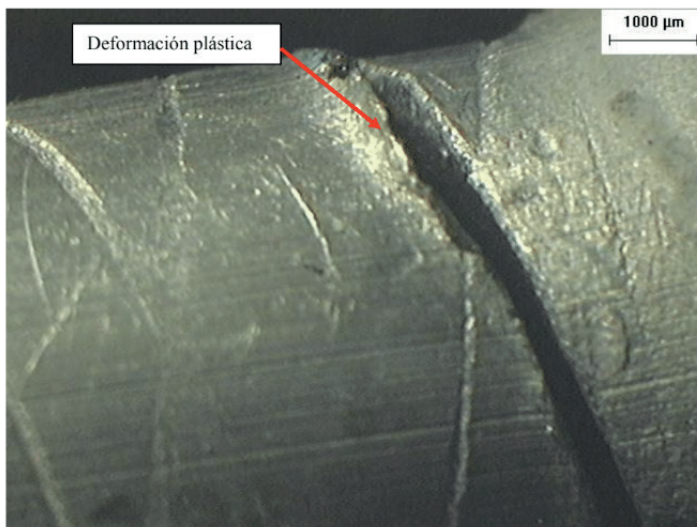


Figura N° 12.- Superficie externa del tubo fracturado, se aprecia que la fractura corrió por una de las rayas profundas en forma de “V”, y que hubo una deformación plástica antes de la fractura, vista a 50X.

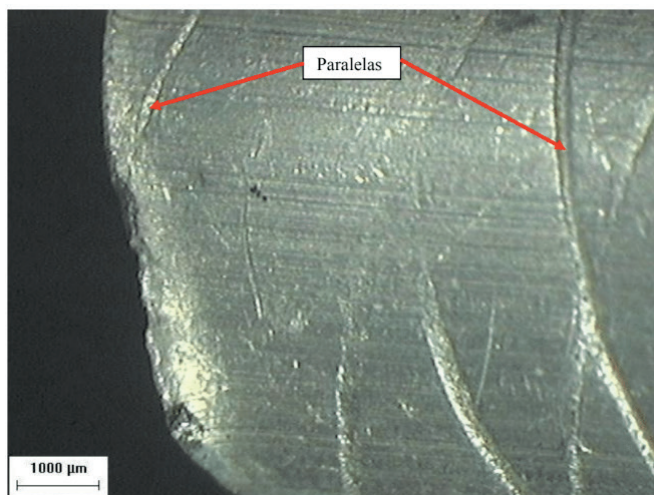


Figura N° 13.- Superficie externa del tubo fracturado, se aprecia que la fractura corrió en forma paralela a una de las rayas profundas en forma de “V”, vista a 50X.

En las Figuras N° 11 y 12 se aprecia que hubo una deformación plástica antes de la fractura, lo que indica que hubo una fractura del tipo dúctil, además se muestra que la fractura se propagó a través de las rayas profundas localizadas sobre la superficie externa del tubo fracturado. Estas rayas actuaron como concentradores de esfuerzos y la fractura se propagó a través de estas rayas.

En la Fotografía N° 13 se aprecia que la fractura tiene una dirección paralela a la raya profunda observada en la misma.

3.2 Microscopia Electrónica de barrido

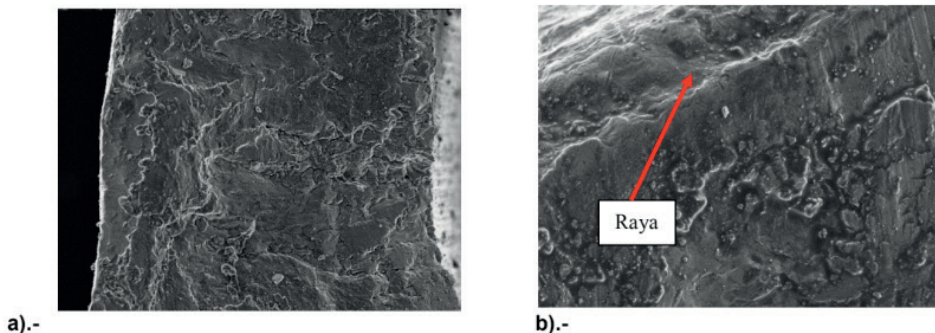


Figura N° 14.-a).-Superficie de fractura del tubo, se aprecia una fractura del tipo dúctil, (100X).
b).-Superficie de fractura del cono, se aprecia la raya profunda en la superficie la cual origina la fractura del tubo, (300X).

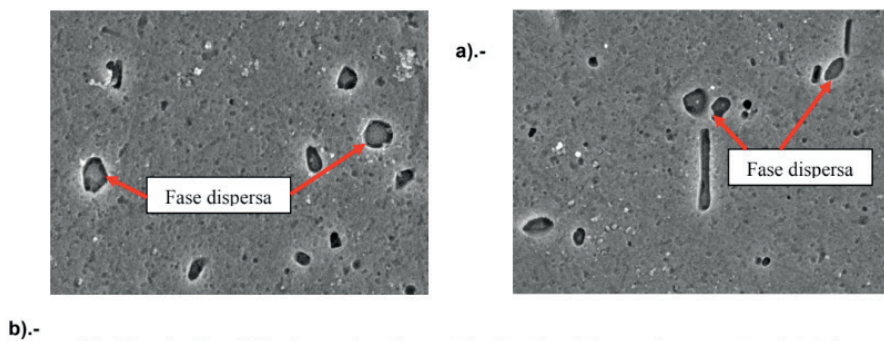


Figura N° 15.-a).-Precipitados sobre la matriz de aluminio, en la muestra del tubo fracturado, los precipitados o fase dispersa contiene Al, Si, Mn y Fe. b).-Precipitados sobre la matriz de aluminio, en la muestra de tubo no fracturado, los precipitados o fase dispersa contiene Al, Si, Mn y Fe.

En la Tabla N° 3 se muestran los elementos detectados en los precipitados de las Figura N° 16 a y b, están compuestos principalmente de Al, Si Mn y Fe.

Muestra	%Al	%Si	%Mn	%Fe
Tubo fracturado	76.51	4.77	4.40	14.32
Tubo no fracturado	72.47	4.74	5.63	17.16

Tabla N° 3.- Elementos detectados en los precipitados de las muestras de tubo fracturado y no fracturado

3.3 Microscopia electrónica de barrido

En la figura N° 14 a y b, se observan las características de la superficie de fractura del tubo, siendo esta del tipo dúctil, con deformación plástica previa a la fractura.

En las Fotografías N° 15 a y b se muestran los precipitados sobre la matriz de aluminio en la microestructura del tubo fracturado y del no fracturado, respectivamente.

4 | CONCLUSIONES

- La fractura se propaga por las rayas profundas localizadas en la superficie externa del tubo, actuando estas rayas como concentradores de esfuerzos en el proceso de fractura.
- Las rayas externas afectan las propiedades mecánicas del tubo, el cual está fabricado con una aleación de baja dureza (blanda).
- No se encontraron variaciones significativas entre el tubo fracturado y el no fracturado, en cuanto a composición química, microestructura y micro dureza.
- En la superficie externa del tubo se observó que hubo una deformación plástica previa a la fractura, que corre por las rayas diagonales en forma de “V”.
- Las características de la superficie de fractura del tubo indican que se presentó una fractura del tipo dúctil.

REFERÊNCIAS

[1] Diego Castillo, “Sistema de aire acondicionado Automotriz”, (2012) cita en internet en el sitio: <https://es.slideshare.net/sebastianhd/sistema-de-aire-acondicionado-automotriz-13505369>

[2] Juan G. Bors, “Aire acondicionado y climatización del automóvil”, (2014) cita en internet en el sitio: http://guiamecanica.blogspot.mx/2012/07/aire-acondicionado-y-climatizacion-del_19.html

[3] H.S.Khatakand J.B. Gnanamoorthy, “Failure of an Aluminum Brass condenser tube”, Handbook of Case Histories in Failure Analysis, Volume 2, ASM International, (1993) pp. 192-193.

[4] Raymond F. Mikesell, “The World Copper Industry: Structure and Economic Analysis”, RFF Press, (2011). pp. 162.

[5] F.Flohr, C. Meurer, H.W. Swidersky and H.J. Belt, “Perspectives of Aluminum As A Construction Material for Stationary Refrigeration and Air Conditioning Systems”, Purdue University, Purdue e-Pubs, 2000 International Refrigeration Conference at Purdue, (2000).

SOBRE OS ORGANIZADORES

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

JOÃO DALLAMUTA - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise 5, 25, 26, 36, 42, 44, 49

Ar Condicionado 52

C

Caracterização mecânica 36, 49

Condensador 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60

Cutting Forces 9

D

Deposição 2

E

Equação de Taylor 6, 22, 23, 25, 28, 29

F

Falha 52

I

Inconel 718 6, 8, 9, 10, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29

L

Laser 6, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

O

Otimização 22, 24, 25, 27, 30

P

Palhetas 2

Penalidade Interna 22, 24, 27, 30

S

Surface topography 8

T

TBC 1, 2

Térmica 6, 2, 36, 38, 40, 42, 44, 49, 50

Timbó-Açu 6, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49





Tool Wear 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22

Turbina 2

V

Variável Métrica 22, 24

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

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

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

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