

VOL III

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Emilio Castro Otero
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2025

VOL III

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Emilio Castro Otero
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2025



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). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Emilio Castro Otero
Imagem da Capa	yourapechkin/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, *Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)*, Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, *Universidade de Brasília-DF*, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – *New Jersey Institute of Technology*, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, *Universidade Estadual do Ceará*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo (USP)*, Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina



Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
 Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
 Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
 Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
 Prof.ª Dr.ª Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
 Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
 Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
 Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
 Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
 Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
 Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
 Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
 Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, Unifimes - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
 Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
 Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
 Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
 Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
 Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
 Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
 Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.^ª Dr.^ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª M^ªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
 Prof.^ª Dr.^ª Maurícea Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha
 Prof.^ª Dr.^ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof.^ª Dr.^ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
 Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*
 Prof.^ª Dr.^ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
 Prof.^ª Dr.^ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*
 Prof.^ª Dr.^ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
 Prof.^ª Dr.^ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*
 Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

O86g The Great World of Nanotechnology III / organização de Emilio Castro Otero. – 1. ed. – Curitiba, PR : Editora Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilingue.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81701-79-6

DOI 10.37572/EdArt_121225796

1. Nanotecnologia biomédica. 2. Engenharia de tecidos. 3. Nanomateriais – Aplicações. 4. Biosistemas – Inovação tecnológica. 5. Sensores avançados – Desenvolvimento. I. Otero, Emilio Castro.

CDD 620.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



FOREWORD

We are thrilled to present the third installment of ***The Great World of Nanotechnology***, a volume dedicated to exploring the cutting edge of nanotechnology applications, from the fundamental science of materials to their tangible impact on health, industry, and the environment. This book is meticulously structured into four thematic blocks, designed to guide the reader through the latest innovations that seek to solve crucial challenges in modern society.

The first pillar of this volume, ***Fundamentals of Nanomaterial Manufacturing and Characterization***, delves into the critical methodologies for creating high-quality nanostructures. Chapter 1 offers systematic research on the Effects of the Transfer Process on the Structure of Graphene Synthesized by Chemical Vapor Deposition. Complementing this, Chapter 2 examines Polymer Nanofibers via Airbrushing.

In ***Nanomaterials for Surface Engineering and Smart Sensors***, the chapters explore how these nanostructures can be applied in functional devices and material protection. Chapter 3 presents advances in the development of sensors based on graphene functionalized with nanoparticles. Similarly, Chapter 4 addresses the electrodeposition of nanostructured metal coatings.

Nanotechnology in Biomedical and Pharmaceutical Applications brings three chapters focusing on the use of nanotechnology to improve human health. Chapter 5 evaluates the Cytotoxic Effect of Nanoemulsion with Pumpkin Seed Oil on Breast Cancer Cell Lines. In the field of tissue engineering, Chapter 6 describes the development of Alginate/Collagen Structures Enhanced with Conductive Nanoparticles (PEDOT) for the Regeneration of Small-Diameter Blood Vessels. Finally, Chapter 7 discusses the development of an antiseptic gel based on bioactive compounds encapsulated in nanoparticles.

Concluding our exploration, ***Nanotechnological Solutions for Environmental Remediation*** addresses the water pollution crisis. The final chapter describes the Removal of Arsenic from Groundwater Using Recycled Iron Nanoparticles through the development of a low-cost filter that uses iron nanoparticles.

We invite you to immerse yourself in reading *The Great World of Nanotechnology*. Vol. III, where science on the smallest scale translates into large-scale solutions. We sincerely hope that this compilation of advanced research will not only be of utmost interest to you, but also inspire new directions of study and application in this infinitely promising field.

Emilio Castro Otero

PRÓLOGO

É com grande entusiasmo que apresentamos a terceira edição de ***The Great World of Nanotechnology***, um volume dedicado a explorar a vanguarda das aplicações nanotecnológicas, desde a ciência fundamental dos materiais até o seu impacto tangível na saúde, na indústria e no ambiente. Este livro está meticulosamente estruturado em quatro eixos temáticos, concebidos para guiar o leitor através das mais recentes inovações que procuram resolver desafios cruciais na sociedade moderna.

O primeiro eixo deste volume, ***Fundamentos da Fabricação e Caracterização de Nanomateriais***, aprofunda as metodologias críticas para a criação de nanoestruturas de alta qualidade. O Capítulo 1 oferece uma investigação sistemática sobre os Efeitos do Processo de Transferência na Estrutura do Grafeno Sintetizado por Deposição Química de Vapor e o segundo capítulo examina as Nanofibras Poliméricas via Aerografia.

Em seguida, o eixo ***Nanomateriais para Engenharia de Superfícies e Sensores Inteligentes***, explora como essas nanoestruturas podem ser aplicadas em dispositivos funcionais e proteção de materiais. O Capítulo 3 apresenta os avanços no desenvolvimento de Sensores Baseados em Grafeno Funcionalizado com Nanopartículas. Paralelamente, e o Capítulo 4 aborda a Eletrodeposição de Revestimentos Metálicos Nanoestruturados.

O eixo ***Nanotecnologia em Aplicações Biomédicas e Farmacêuticas***, centra-se na utilização da nanotecnologia para melhorar a saúde humana. O Capítulo 5 avalia o Efeito Citotóxico da Nanoemulsão com Óleo de Semente de Abóbora em Linhagens de Células de Cancro da Mama. No campo da engenharia de tecidos, o Capítulo 6 descreve o desenvolvimento de Estruturas de Alginato/Colagénio Melhoradas com Nanopartículas Condutoras (PEDOT) para a regeneração de Vasos Sanguíneos de Pequeno Diâmetro. Finalmente, o Capítulo 7 expõe a Elaboração de um Gel Antisséptico Baseado em Compostos Bioativos Encapsulados em Nanopartículas.

Concluindo a nossa exploração, o eixo ***Soluções Nanotecnológicas para Remédios Ambientais***, aborda a crise da contaminação da água. Este último capítulo descreve a Eliminação de Arsénico das Águas Subterrâneas Usando Nanopartículas de Ferro Reciclado, através do desenvolvimento de um filtro de baixo custo que utiliza nanopartículas de ferro.

Convidamo-lo a mergulhar na leitura de *The Great World of Nanotechnology Vol. III*, onde a ciência na escala mais pequena se traduz em soluções em grande escala. Esperamos sinceramente que esta compilação de pesquisas avançadas não só seja do seu interesse, mas também inspire novos rumos de estudo e aplicação neste campo infinitamente promissor.

Emilio Castro Otero

TABLE OF CONTENTS

FUNDAMENTALS OF NANOMATERIAL MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION

CHAPTER 1..... 1

EFFECTS OF THE TRANSFER PROCESS ON THE STRUCTURE OF CVD-SYNTHESIZED GRAPHENE: A RAMAN SPECTROSCOPY STUDY

Rodrigo Segura-del-Río
Fernanda Olivares Salgado
Ricardo Henríquez Correa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257961

CHAPTER 2..... 15

NANOFIBRAS POLIMÉRICAS POR FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO VIA AEROGRAFIA: UMA REVISÃO DAS PROPRIEDADES, VANTAGENS TECNOLÓGICAS E APLICAÇÕES EMERGENTES

Gabriel da Cruz Dias
Thelma Sley Pacheco Cellet
Mirian Cristina dos Santos
Caroline Silva Danna
Paulo Roberto Orlandi Ruiz
Deuber Lincon Agostini da Silva
Clarissa de Almeida Olivati

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257962

NANOMATERIALS FOR SURFACE ENGINEERING AND SMART SENSORS

CHAPTER 3..... 34

SENSORES BASADOS EN GRAFENO FUNCIONALIZADO CON Pt-Sn/TiO₂ PARA DETECCIÓN DE SO₂

Luz María García-Rivera
Juan Manuel Padilla Flores
Octavio Maldonado Saavedra
Erick A. Juarez-Arellano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257963

CHAPTER 4..... 50

ELECTRODEPOSICIÓN DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS NANOESTRUCTURADOS

Marcos Bedolla Hernández

Genaro Texcucano Romano

Jorge Bedolla Hernández

Jorge Aguilar Vázquez

Carlos Alberto Mora Santos

Luz Fabiola Sánchez Parra

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257964

NANOTECHNOLOGY IN BIOMEDICAL AND PHARMACEUTICAL APPLICATIONS

CHAPTER 5..... 60

CYTOTOXIC EFFECT OF PUMPKIN SEED OIL-LOADED NANOEMULSION IN BREAST CANCER CELL LINES

Anelise Pereira Alves

Wanderleya Toledo dos Santos

Daniel Augusto de Andrade

Felipe Kelmer Müller

Kézia Cristine Barbosa Ferreira

Guilherme Diniz Tavares

Fabiano Freire Costa

Paula Rocha Chellini

Ana Cláudia Chagas de Paula

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257965

CHAPTER 6..... 74

ENHANCED ALGINATE/COLLAGEN SCAFFOLDS WITH CONDUCTIVE POLY (3,4-ETHYLENEDIOXYTHIOPHENE) NANOPARTICLES FOR NEXT-GENERATION SMALL-DIAMETER TISSUE-ENGINEERED BLOOD VESSELS

Emilio Castro

Èlia Bosch-Rué

Sara Estruch-Sotoca

Román A. Pérez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257966

CHAPTER 7 86

ELABORATION OF AN ANTISEPTIC GEL BASED ON BIOACTIVE COMPOUNDS OF *ORIGANUM VULGARE* AND *ALOE VERA* ENCAPSULATED IN SiO_2 Y ZnO-SnO_2 NANOPARTICLES FOR CONTROLLED RELEASE

Guadalupe Luna Cedillo
Francisco Javier Tzompantzi Morales
Sandra Luz Hernández-Valladolid
Juan Manuel Padilla Flores

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257967

NANOTECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION

CHAPTER 8 96

ARSENIC REMOVAL FROM GROUNDWATER USING RECYCLED IRON NANOPARTICLES: DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A LOW-COST FILTER FOR RURAL COMMUNITIES

Juan Simón Torres Espada
Yrene Romina Lazcano Cruz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257968

ABOUT THE ORGANIZER 106

INDEX 107

CHAPTER 3

SENSORES BASADOS EN GRAFENO FUNCIONALIZADO CON Pt-Sn/TiO₂ PARA DETECCIÓN DE SO₂

Data de submissão: 12/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

Luz María García-Rivera

Centro de Física y Tecnología Avanzada
Campus UNAM No. 3001
C.P: 76230 Juriquilla, Qro. México
<https://orcid.org/0009-0008-8384-4992>

Juan Manuel Padilla Flores

Universidad Tecnológica del
Centro de Veracruz
Avenida Universidad No. 350
Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja
Localidad dos Caminos
Cuitláhuac, Veracruz, C.P 94910
<http://orcid.org/0000-0002-9038-2959>

Octavio Maldonado Saavedra

Universidad Tecnológica del
Centro de Veracruz
Avenida Universidad No. 350
Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja
Localidad dos Caminos
Cuitláhuac, Veracruz, C.P. 94910
<http://orcid.org/0000-0002-0851-4239>

Erick A. Juarez-Arellano

Centro de Investigaciones Científicas
Instituto de Química Aplicada
Universidad del Papaloapan
Circuito Central 200, Parque Industrial
C.P. 68301, Tuxtepec, Oaxaca, México
<http://orcid.org/0000-0003-4844-8317>

RESUMEN: La siguiente propuesta, presenta los avances en el desarrollo de sensores que permitan el monitoreo en tiempo real de la integridad del SF₆, mediante la evaluación de la presencia de subproductos de éste, en particular del SO₂. El SF₆ es utilizado como material dieléctrico principalmente en interruptores de potencia. Se diseñaron sensores a base de nanocompuestos grafíticos decorados con distintas Np's metálicas. Se utilizó óxido de grafeno (OG), como nanoestructura principal del nanocompuesto y se caracterizó mediante DRX y espectroscopía Raman. Posteriormente se funcionalizó con Np's metálicas. Para la caracterización fisicoquímica de los sensores se utilizó microscopía SEM, AFM y óptica. Así como pruebas de eficiencia de los sensores a escala laboratorio en una cámara de gas utilizando una mezcla N₂-SO₂ a 120 ppm de este último. El nanocompuesto con una relación peso [1:3] (resina-nanoestructura Pt-Sn/TiO₂) presentó una respuesta promedio de 59% ante la presencia de SO₂.

PALABRAS CLAVE: nanocompuesto; nanopartículas de óxidos metálicos; óxido de grafeno; sensores de gas.

SENSORS BASED ON FUNCTIONALIZED GRAPHENE WHIT PT-SN/TIO2 FOR SO2 DETECTION

ABSTRACT: The following proposal presents the advances in the development

of sensors that allow real-time monitoring of SF_6 quality by evaluating the presence of SF_6 by-products, in particular SO_2 . SF_6 is used as a dielectric material mainly in power switches. Sensors based on graphitic nanocomposites decorated with different metallic Np's were designed. Graphene oxide (GO) was used as the main nanostructure of the nanocomposite and was characterized by XRD and Raman spectroscopy. Subsequently, it was functionalized with metallic Np's. SEM, AFM and optical microscopy were used for the physicochemical characterization of the sensors. As well as efficiency tests of the sensors at laboratory scale in a gas chamber using a N_2 - SO_2 mixture at 120 ppm of the latter. The nanocomposite with a [1:3] weight ratio (resin-nanostructure Pt-Sn/ TiO_2) presented an average response of 59% in the presence of SO_2 .

KEYWORDS: gas sensors; graphene oxide; nanocomposite; nanoparticles metal oxide.

1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica que se utiliza diariamente es distribuida mediante una red eléctrica a lo largo del país, donde un elemento esencial son las subestaciones eléctricas, las cuales, tienen como objetivo distribuir y modificar la energía a los parámetros necesarios para su Utilización [1]. Dentro de las subestaciones eléctricas existen un sinfín de equipos y sistemas que trabajan en conjunto [2], por esta ocasión nos enfocaremos en los sistemas dieléctricos, los cuales tienen como finalidad asegurar el aislamiento eléctrico entre los conductores, piezas metálicas y la carcasa de los equipos [3]; estos pueden ser de diferentes elementos tales como: aceite dieléctrico y hexafluoruro de azufre (SF_6), siendo este último el más común en la actualidad [4] [5]. El SF_6 es el compuesto químico gaseoso ideal para utilizarse como inhibidor de arco eléctrico, ya que presenta una gran estabilidad química debido a su perfecto arreglo simétrico. Sin embargo, durante su empleo puede contaminarse con impurezas, tales como, humedad y oxígeno, lo que da paso a la generación de subproductos del mismo; los cuales originan una disminución en su capacidad dieléctrica, además de convertirlo en una sustancia peligrosa para la salud humana y al ambiente [6][7].

En los últimos años se han empleado algunos sistemas de monitoreo basados en diferentes técnicas [4] y aunque han sido eficientes en su momento, actualmente esta tecnología no se considera óptima para el monitoreo del SF_6 , lo cual podría dar lugar a la no detección de fallas incipientes en los sistemas aislantes.

Dada esta problemática, es necesario investigar mejores opciones para minimizar su impacto, por lo que se propone el desarrollo de redes inteligentes, las cuales, se basan en sistemas de monitorización y diagnóstico en tiempo real con el objetivo de proporcionar información necesaria para la evaluación del estado en que se encuentra el gas.

En esta propuesta se busca diseñar sensores de tipo resistivo, dado que estos son capaces de dar una respuesta ante un cambio químico de su entorno [8]. El sensor está enfocado en la detección del dióxido de azufre (SO_2), subproducto principal del SF_6 ; con él se busca garantizar las mejores condiciones del gas y así prevenir cualquier eventualidad [9].

Para el desarrollo de un buen sensor resistivo es necesario tener una superficie con alta sensibilidad a su entorno, por lo que se optó por utilizar nanoestructuras de óxido de grafeno (OG), dado que por su bajo espesor atómico y gran número de sitios activos en la superficie es viable para esta aplicación [10]. Para potenciar aun más la sensibilidad del sensor se busca funcionalizar el OG con Np's metálicas y con ello obtener las nanoestructuras de refuerzo [11]. Se generará un nanocompuesto a base de una matriz polimérica de uso comercial reforzada con las nanoestructuras funcionalizadas de OG, con el cual se recubrirá de manera homogénea los circuitos interdigitados que fungirán como la base del sensor resistivo.

2. OBJETIVO

Diseñar y caracterizar un sensor a base de nanocompuestos gráficos decorados con Np's metálicas dispersados en una matriz polimérica, para su aplicación en sensores de gas.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. SÍNTESIS DE ÓXIDO DE GRAFENO POR EL MÉTODO DE HUMMERS MODIFICADO.

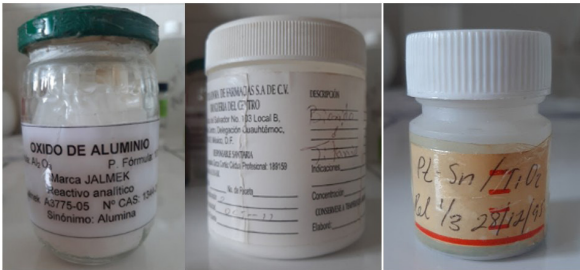
Se optó por utilizar óxido de grafeno (OG), dado que esta especie es más sensible y selectiva en el entorno en que se encuentre [12]. El método de Hummers permite obtener OG mediante un proceso redox en el grafito precursor [13], se propone el uso de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), como agente oxidante. Se tomó como referencia la metodología descrita por Hernández y Galaviz (2016), la cual se modificó ligeramente de acuerdo a la presente propuesta.

3.2. FUNCIONALIZACIÓN DE OG CON NP'S METÁLICAS

Al introducir diferentes Np's metálicas en la estructura del OG, se busca generar una sinergia entre las especies, con la finalidad de obtener nanoestructuras con mayor sensibilidad a los cambios de su entorno [14] [15]. La figura 1, muestra las diferentes Np's metálicas utilizadas para la funcionalización del OG.

Se emplearon en conjunto las técnicas de sonicación y secado en horno, para lograr la funcionalización del OG de manera homogénea en toda la superficie, al dispersar las Np's seleccionadas [16] [17].

Figura 1. Np's metálicas empleadas para la funcionalización de OG (A) Al_2O_3 , (B) TiO_2 y (C) Pt-Sn/ TiO_2 .



3.3. FORMULACIÓN DE NANOCOMPUESTOS Y PREPARACIÓN DE LOS SENSORES

Se empleó una matriz polimérica de uso comercial como la base del nanocompuesto diseñado. Se utilizaron diferentes concentraciones (ver Tabla 1), en relación en peso, con la finalidad de evaluar su comportamiento en función de la concentración.

Tabla 1. Concentraciones de los nanocompuestos formulados.

[3:1] - [30 mg resina: 10 mg OG/Np's]
[1:1] - [20 mg resina: 20 mg OG/Np's]
[1:3] – [10 mg resina: 30 mg OG/Np's]

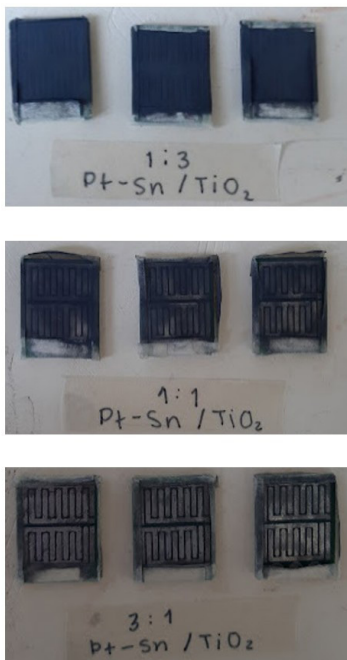
Para homogenizar el nanocompuesto se utilizaron las técnicas de agitación mecánica, para dispersar las nanoestructuras en el sistema líquido, y sonicación para proporcionar energía localizada y así dispersar los aglomerados que se puedan generar, la figura 2 muestra parte de este proceso; debe de considerarse que esta técnica es recomendable solo para pequeños volúmenes [18].

Figura 2. Preparación de nanocompuestos utilizando el proceso de baño ultrasónico.



Una vez que se obtuvieron las formulaciones, se utilizó un aerógrafo como medio de deposición de los nanocompuestos en la superficie de las tarjetas interdigitadas, esto con la finalidad de lograr un recubrimiento homogéneo en todo el sensor. A continuación, figura 3, se muestran las tarjetas interdigitadas recubiertas con el nanocompuesto obtenido.

Figura 3. Tarjetas interdigitadas recubiertas con el nanocompuesto de Pt-Sn/TiO₂ a distintas concentraciones.

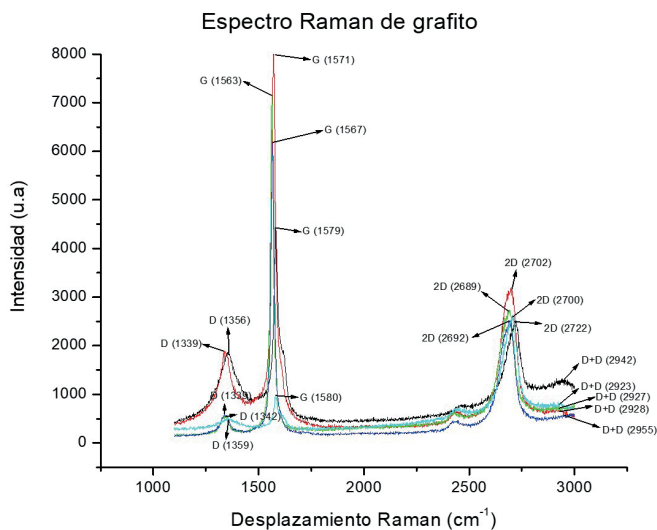


4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA RAMAN DEL OG

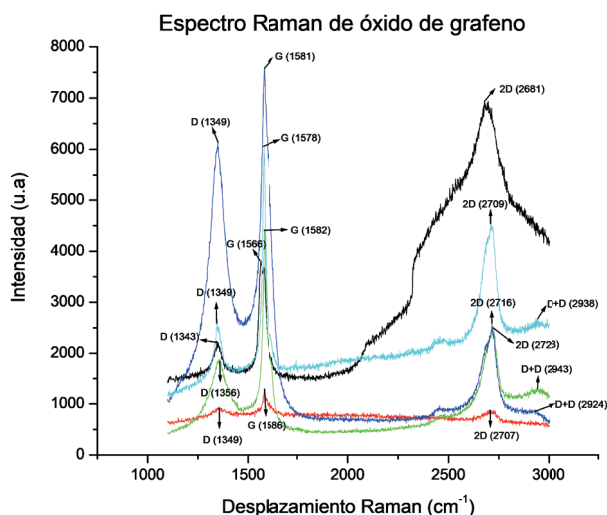
En la figura 4, se presenta el espectro obtenido, posterior al mapeo de la muestra de grafito comercial empleado como precursor; las bandas características de un grafito hexagonal identificadas como G y D, la primera se encuentra alrededor de los 1580 cm⁻¹ y se atribuye a la dispersión de primer orden de los átomos de ⁶C con hibridación sp², la gran intensidad de la banda representa el gran número de átomos con tal hibridación dentro de la estructura del material; mientras que la banda D, se observa alrededor de los 1350 cm⁻¹ y se asocia a los cambios en el orden de la misma, por lo que al ser un grafito su intensidad es baja. De igual forma se identificaron las bandas D' (1620 cm⁻¹), 2D (2700 cm⁻¹) y la D+D (2920 cm⁻¹) las cuales corresponden a la resonancia de la banda D.

Figura 4. Espectro Raman del grafito precursor.



En la figura 5, se presenta el espectro Raman correspondiente al mapeo de la muestra de OG obtenido por el método de Hummers modificado. Se genera un cambio en las intensidades en las bandas D y G, debido al cambio en la estructura del grafito posterior a los procesos de oxidación y exfoliación, por lo que la intensidad de la banda D aumenta al existir mayor desorden de las láminas y la introducción de grupos funcionales a la estructura.

Figura 5. Espectro Raman de óxido de grafeno.

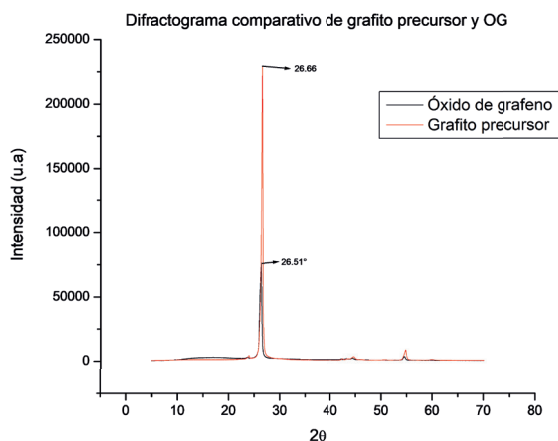


Al llevar a cabo las cinco mediciones correspondientes, se observa una gran variación en las intensidades y anchuras de las bandas, lo que nos indica que la muestra no es homogénea, existen puntos de la muestra con mayor porcentaje de conversión de grafito a OG que en otras.

4.2. ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL OG

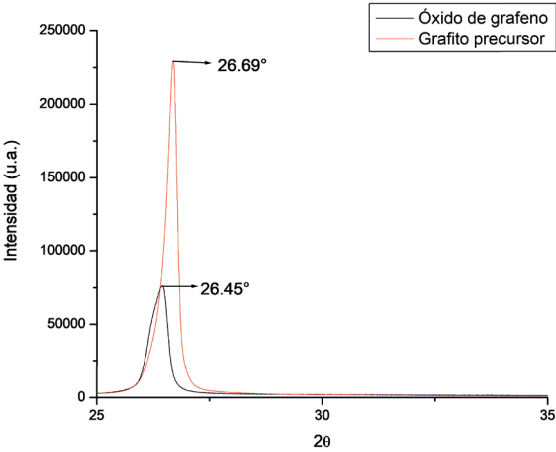
De las figuras 6 a la 10, se muestran los difractogramas obtenidos del óxido de grafeno sintetizado por el método de Hummers modificado comparados con el obtenido del grafito precursor. En la figura 6, se logran apreciar los dos picos característicos del grafito, uno a los 26.6° y otro a 44.6° correspondiente al plano (002), lo que nos indica una estructura hexagonal típica de los materiales carbonos. Si bien el OG también presenta un pico similar al grafito, este no es tan intenso, lo que manifiesta que la estructura cristalina se ha modificado tras el proceso de oxidación.

Figura 6. Difractograma comparativo de grafito precursor (rojo) y OG (negro).



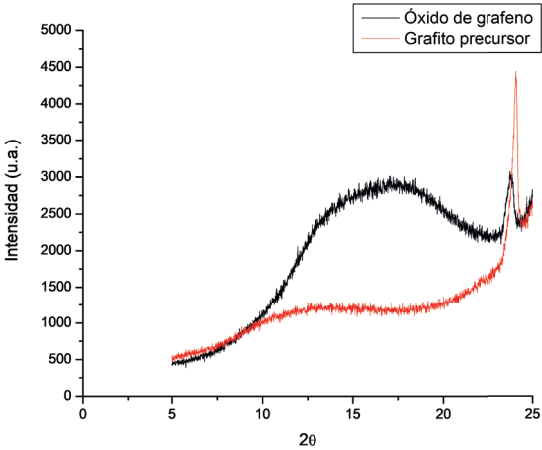
Se realizó una ampliación en el intervalo de los 25° a 35° , figura 7, donde se aprecia un ligero desplazamiento hacia la izquierda del pico principal posterior a la oxidación del grafito.

Figura 7. Ampliación del pico principal, plano (002) en el intervalo de 25 ° y 35 °, color rojo grafito precursor, color negro OG.



La figura 8 representa la ampliación en el intervalo de 0 ° a 25 ° del difractograma principal, en el que se puede apreciar la elevación de una curva en el ángulo 15.3 ° de la muestra estudiada. Se sabe que el pico de difracción característico de OG se desplaza en 2θ entre 9.90 ° y 10.6 °, lo cual, es indicativo de una gran distancia entre sus capas derivada de la incorporación de los grupos funcionales entre los planos del grafito, así como de su naturaleza cristalina.

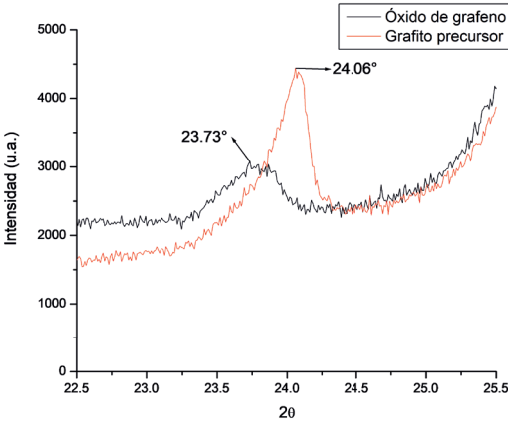
Figura 8. Ampliaciones del difractograma comparativo de grafito precursor (rojo) y OG (negro) de 0 ° a 25 °.



La figura 9, corresponde a una ampliación en el intervalo de 22.5 ° a 25.5 °, se observa para el OG un pico ancho alrededor de los 23.73 °, debido al re-apilamiento de

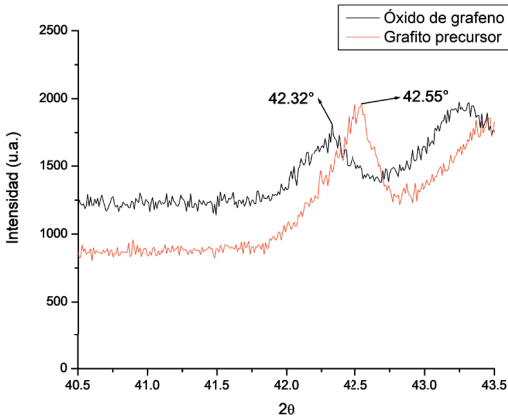
las capas de grafeno, ya que durante el proceso de síntesis se restablecen parcialmente los dominios sp^2 de la estructura, lo cual se identifica mediante el corrimiento hacia la izquierda del pico, así como la disminución de la intensidad del mismo.

Figura 9. Ampliaciones del difractograma comparativo de grafito precursor (rojo) y OG (negro), en el intervalo de 22.5° a 25.5° .



La figura 10 muestra la ampliación del difractograma principal en el intervalo de 40.5° a 43.5° , esto con la finalidad de apreciar los picos alrededor de los $42.4 \pm 0.1^\circ$, ya que de acuerdo a la literatura se sabe que es un pico característico del OG tras la oxidación correspondiente al plano (100), su poca intensidad se relaciona a la falta de regularidad de la estructura así como al menos espesor de empaquetamiento, deduciendo así una estructura con pocos números de capas de grafeno.

Figura 10. Ampliaciones del difractograma comparativo de grafito precursor (rojo) y OG (negro) en el intervalo de 40.5° a 43.5° .

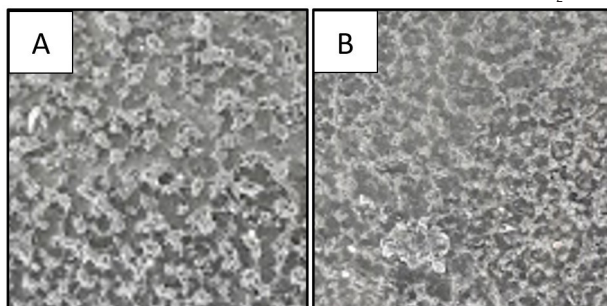


4.3. ANÁLISIS DE MICROSCOPIA ÓPTICA

Para llevar a cabo este análisis se utilizó el adaptador para cámara Nurugo Micro Smartphone Microscope 400X, con el cual se lograron obtener microscopías con una amplificación de 200x, es decir, a una escala de 500 μm , las cuales nos permiten visualizar la superficie del sensor así como la distribución del nanocompuesto en la misma.

La figura 11, corresponde a la comparativa de las formulaciones a base de Pt-Sn/TiO₂, la concentración [1:1], muestra una mejor distribución del material, sin embargo, representa vacancias en la superficie, dado que el material solidifica creando pequeñas aglomeraciones a lo largo del sensor, generando así mayor diferencia entre los máximos y mínimos de la superficie.

Figura 11. Micrografías ópticas correspondiente a la formulación Pt-Sn/TiO₂ (A) [1:1], (B) [3:1].

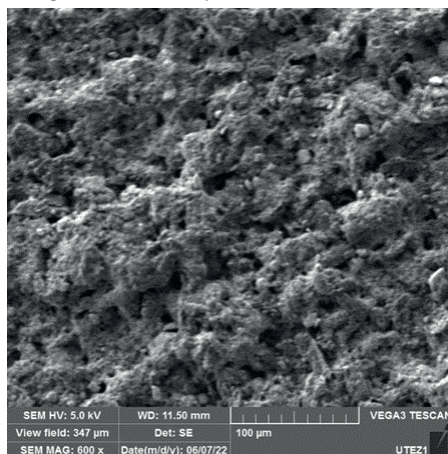


4.4. ANÁLISIS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Para llevar a cabo el análisis por SEM se empleó el equipo TESCAN VEGA3, bajo las siguientes condiciones de trabajo: un bombardeo de electrones a 5.0 kV, una amplificación de 600 x, a una escala de 100 μm y velocidad de escaneo de 7.

Se analizó la muestra con la concentración [1:3], dado que al ser la de mayor concentración de nanoestructuras se observa una mejor respuesta ante la presencia del gas, de lo cual se discutirá más adelante. La figura 12, corresponde a la micrografía obtenida del sensor [1:3] de Pt-Sn/TiO₂, donde se logran apreciar pequeñas aglomeraciones a lo largo de toda la superficie, por lo que no es un material homogéneo, sin embargo, presenta una buena distribución. La forma particular de las aglomeraciones se puede comparar a una superficie porosa, lo que nos permite tener una mayor área superficial, punto clave para nuestro objetivo, considerando los resultados obtenidos por medio de otras técnicas se puede decir que esto es favorable para su efectividad.

Figura 12. Micrografía SEM correspondiente al sensor [1:3] de Pt-Sn/TiO₂.

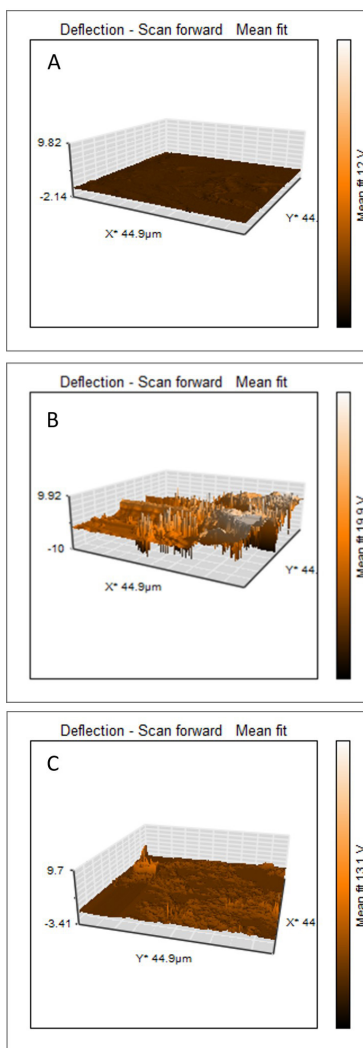


4.5. ANÁLISIS DE MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA (AFM)

Durante el análisis se utilizó el equipo Nanosurf Naio, se escaneo un área de 44.86 µm, equivalente a 512 líneas, a una velocidad de 1.5 s.

Las micrografías 3D resultantes del análisis de la formulación de Pt-Sn/TiO₂ presentan grandes variaciones entre ellas, la figura 13A, corresponde a la concentración [1:1], la cual tiene una distribución muy homogénea, no presenta grandes diferencias dentro de los máximos y mínimos de altura del material, se observan algunos valles en la superficie. Mientras que la concentración [3:1], figura 13B, tiene una topología muy dispersa, zonas con grandes picos y delgados, lo que nos indica que el tamaño de los agregados es pequeño, sin embargo, es de gran altura, así como valles de mayor anchura, pero menor altura. Considerando las micrografías obtenidas en las otras técnicas de esta concentración, se comprueba que existen grandes aglomerados a lo largo de la superficie, esto debido al aumento de matriz en la formulación, ya que las nanoestructuras no se dispersan homogéneamente, sino que generan áreas ricas en ellas y partes deficientes. La última concentración, [1:3], figura 13C, muestra mayor homogeneidad, pero con algunos aglomerados de mayor altura y anchos variables. Comparando las 3 concentraciones, la [1:1] es la más homogénea.

Figura 13. Micrografías 3D de SEM correspondientes a la formulación Pt-Sn/TiO₂ (A) [1:1], (B) [3:1], (C) [1:3].



4.6. PRUEBAS DE EFECTIVIDAD EN CÁMARA DE GAS

Posterior a llevar el proceso de recubrimiento de las tarjetas interdigitadas con las formulaciones obtenidas, se dejaron reposar por 12 horas para dejar solidificar el nanomaterial compuesto, finalizado este tiempo, se midieron las resistencias de los sensores, con la finalidad de llevar un control de su comportamiento a condiciones ambientales y tenerlo como referencia para las pruebas ante la presencia de SO₂.

Las pruebas de eficiencia se realizaron en una cámara de gas diseñada para este proyecto en particular; la figura 14A, muestra el sistema donde se realizaron las pruebas. La figura 14B, muestra la forma en que se conectan los sensores dentro de la cámara.

Una vez preparado el sistema, se midieron las referencias en un ambiente de N_2 , de esta manera obtenemos una línea base de las mediciones que se esperan al poner en contacto los sensores con el SO_2 . Posteriormente, se cargó la cámara de SO_2 a 120 ppm y se monitoreo el comportamiento de los sensores por alrededor de 280 minutos, dado que nuestro objetivo es tener un sensor que brinde respuesta de manera inmediata al estar en contacto con SO_2 .

Figura 14. (A) Cámara de gas para pruebas de eficiencia, (B) Conexión del sensor.



Con la finalidad de observar el comportamiento de los sensores en la cámara, se emplea la ecuación 1, donde: R_0 es la resistencia promedio en N_2 , R , la resistencia en tiempo real del sensor en ambiente de SO_2 .

Ecuación 1. Resistencia relativa.

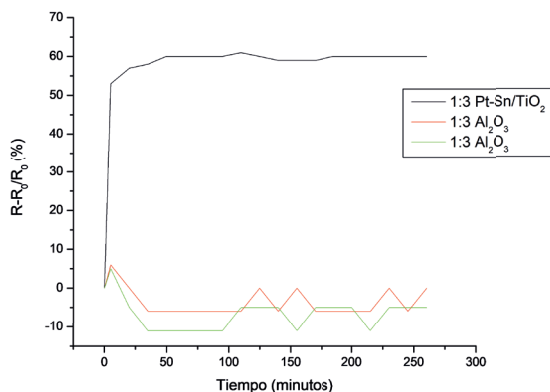
$$S = \frac{R - R_0}{R_0} * 100\%$$

Se probaron los sensores con mayor concentración de nanoestructuras, dado que posterior a las pruebas anteriores, análisis morfológico y monitoreo de resistencias de referencia, se decidió que eran los que mejor respuesta nos pueden brindar. De esta manera, se obtuvo la gráfica que se muestra en la figura 15, donde se muestran los cambios de resistencia con respecto al tiempo.

Las líneas de color verde y rojo, representan a la formulación [1:3] Al_2O_3 , la cual tiene una respuesta entre el 3% y 7%, el patrón de su comportamiento es repetitivo, es decir, si presenta cambios ante la presencia del SO_2 dentro de los primeros minutos, posteriormente se estabiliza y cada cierto tiempo presenta cambios nuevamente de manera espontánea; el porcentaje de respuesta es muy bajo a lo requerido para la aplicación.

Para la formulación [1:3] $Pt-Sn/TiO_2$, se obtuvo una respuesta promedio del 59% casi de manera instantánea al estar en contacto con el SO_2 , lo cual es un resultado prometedor para su aplicación a nivel industrial, si bien aún faltan estudios por hacer al respecto es un buen inicio para esta formulación en particular.

Figura 15. Gráfica comparativa de las resistencias relativas, resultado de las pruebas de efectividad de los sensores. Color verde y rojo formulación [1:3] Al_2O_3 , color negro formulación [1:3] Pt-Sn/TiO_2 .



5. CONCLUSIONES

Al utilizar el método de Hummers modificado se obtuvo de manera parcial OG, sin embargo, la oxidación no fue de manera homogénea en toda la muestra, se presentan zonas con mayor grado de oxidación que otras; esto se debe principalmente por el cambio del agente oxidante empleado en la síntesis.

Las técnicas de microscopía óptica, SEM y AFM, muestran resultados congruentes entre ellos, nos brindan una buena imagen de la distribución y morfología del nanocompuesto sobre la superficie de los circuitos interdigitados. Se lograron identificar ciertos patrones de solidificación en los nanocompuestos a base de las mismas Np's metálicas, de igual forma que entre mayor es la cantidad de la matriz empleada es más propensa la formación de aglomeraciones de mayor tamaño.

Las formulaciones de la concentración [1:3] son las que brindan mejores resultados tanto en la distribución del material, como de sensibilidad a los cambios en su entorno.

Las pruebas de eficiencia son punto clave en nuestra investigación, dado que mediante ellas podemos evaluar la sensibilidad de los sensores ante los cambios en su entorno, esto nos permitió identificar que la formulación [1:3] de Pt-Sn/TiO_2 , es la que muestra mejores resultados para el monitoreo de SO_2 , alcanzando una respuesta promedio de 59% de cambio de su resistencia ante la presencia del gas, lo que sugiere que es un sensor muy viable para su aplicación.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos el apoyo del Dr. Vicente Rodríguez González y la Dra. Bety Rivera Escoto del IPICYT, el Dr. Francisco Javier Tzompantzi Morales de

la UAM Iztapalapa y la Dra. Manuela Calixto Rodríguez de la UTEZ, por apoyarnos en las caracterizaciones de espectroscopía Raman, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido, respectivamente. Al Ing. José Carlos Ruiz Vázquez por su apoyo durante las pruebas de eficiencia de los sensores.

REFERENCIAS

- [1] Zárraga-Vázquez A.J (2021) Subestaciones eléctricas: tipos, elementos y beneficios. SISSA <https://www.sissamx.com.mx/Nota/227/subestaciones-electricas:-tipos,-elementos-y-beneficios> Fecha de consulta: abril de 2022.
- [2] Zuñiga P. (2013) 8 partes de las subestaciones eléctricas. Instalaciones eléctricas residenciales. <https://instalacioneselctricasresidenciales.blogspot.com/2013/05/subestaciones-electricas.html> Fecha de consulta: marzo de 2022.
- [3] Pozueta-Rodríguez M.A. (2015) Funcionalización de óxido de grafeno con nanopartículas de paladio y su aplicación en la detección de hidrógeno. San Luis Potosí: Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica, A.C.
- [4] Huamani M. (2018) El SF₆ en la industria eléctrica y su impacto en el medio ambiente. Lima: CITE energía.
- [5] Electricidad (2021) Hexafluoruro de Azufre. Comisión Federal de Electricidad. México: CFE.
- [6] Carpio-Balcazar R.V (2017) Diseño de un sistema de gestión integral para el hexafluoruro de azufre en la empresa eléctrica regional centro sur C.A. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- [7] Molina L. (2011) ElectroIndustria. El hexafluoruro de azufre. EMB. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1563&tip=7&xit=elhexafluoruro-de-azufre> Fecha de consulta: marzo de 2022.
- [8] Bautista-Burdallo I. (2014) Integración de microsensores y estructuras microfluídicas para la medida de parámetros químicos en sistemas biológicos. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- [9] Erasmus (2020) Transmisor para gas SF₆. Vaisala. <https://www.erasmus.com.co/index.php/es/lineas-de-productos/monitoreo-dehumedadsf6/en-sf6> Fecha de consulta: marzo de 2022.
- [10] Felli E., Martínez-Victoria E., Fernández- Campollo A.J, Aroca-Serrano A. (2016) El grafeno y sus derivados en la ingeniería tisular. España: Revista Iberoamericana Interdisciplinar de métodos, modelización y simulación.
- [11] Esteve I, Gil M., Zaitogui L. Z, Quijano A, & García, M. (2020). Grafeno: obtención, tipos y su aplicación como sensor para detección de gases y sensor de presión. España: Universidad de los Andes.
- [12] Hernández-Rosas O.F, Galaviz-Silva E. (2016) Electroodos transparentes conductores basados en óxido de grafeno reducido para depósito electroquímico de óxidos semiconductores de interés fotovoltaico. Tamaulipas: Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
- [13] Colom X, Cañavate J, Liz M.J, San Juan G & Gil I. (2020) Análisis estructural de óxidos de grafeno (OG) y óxidos de grafeno reducidos (rGO).

- [14] Molina-Castelain M. (2017) Desarrollo de métodos sintéticos basados en química click para la preparación de materiales avanzados grafeno-polímero. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- [15] Orozco R.D. (2015) Síntesis y caracterización de materiales compuestos de óxido de grafeno con nanopartículas de plata y con dióxido de titanio. San Luis Potosí, México.
- [16] Guillamón-Garrido A. (2018) Preparación y caracterización de nuevos nanocomposites de óxido de grafeno modificado con líquido iónico. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- [17] Segovia N, Sánchez J, Choren E, Arteaga G & Arteaga A. (s.f) Caracterización de catalizadores Pt-Sn/Al₂O₃ por medio de una reacción sonda. Venezuela: Universidad de Zulia.
- [18] Fernández-Ramos G. (2017) Efecto de la química superficial del óxido de grafeno en el desarrollo de aplicaciones. España: Universidad de Alicante.

ABOUT THE ORGANIZER

Emilio Castro Otero é professor da área de Bioengenharia na *Universitat Internacional de Catalunya*, Barcelona, Espanha. Pesquisador com ampla trajetória científica nas áreas de biomateriais, nanotecnologia, química física de polímeros e sistemas nanoestruturados aplicados à medicina regenerativa e à liberação controlada de fármacos. Sua produção abrange estudos fundamentais sobre auto-organização molecular, interações entre copolímeros e surfactantes, estabilidade proteica e desenvolvimento de nanopartículas e hidrogéis inteligentes, contribuindo de maneira significativa para a compreensão dos mecanismos físico-químicos que governam materiais avançados e sua aplicabilidade biomédica. Seu trabalho mais recente, publicado em *Acta Biomaterialia* (2023), aborda o papel angiogênico e imunomodulador de íons nas fases iniciais da regeneração óssea, consolidando sua atuação no campo dos biomateriais bioativos. Ao longo de sua carreira, publicou artigos de impacto em periódicos como *Langmuir*, *Biomacromolecules*, *Journal of Biomedical Nanotechnology*, *Macromolecular Bioscience*, *Journal of Physical Chemistry B*, *Chemical Physics* e *Journal of Colloid and Interface Science*, além de contribuir com capítulo de livro na área de nanomedicina, ampliando sua presença internacional na literatura científica.

Entre suas contribuições relevantes, destacam-se estudos sobre auto-organização de elastina recombinante e copolímeros responsivos à temperatura, síntese e caracterização de nanopartículas funcionalizadas, incluindo magnetita pegulada e nanocápsulas multifuncionais, e sistemas poliméricos capazes de encapsular e liberar fármacos de forma controlada, com foco em aplicações oncológicas e terapêuticas avançadas. Sua pesquisa também inclui extensas investigações termodinâmicas envolvendo surfactantes, copolímeros e sistemas micelares complexos, bem como análises detalhadas de interações entre proteínas e fármacos anfífilos, contribuindo para o entendimento de processos de dobramento, estabilidade e agregação proteica. Com forte perfil interdisciplinar, o pesquisador tem colaborado com grupos internacionais de renome em bioengenharia, físico-química de materiais, nanotecnologia e biotecnologia aplicada, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias inovadoras em engenharia de tecidos, medicina regenerativa e materiais biomiméticos.

Ao longo de quase duas décadas de produção científica contínua, Emilio Castro Otero consolidou uma carreira marcada pela investigação rigorosa, inovação metodológica e abordagem integrada da ciência dos materiais, oferecendo contribuições relevantes tanto para o avanço do conhecimento fundamental quanto para o desenvolvimento de soluções tecnológicas com potencial translacional na área biomédica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7491-4169>

INDEX

A

Adsorption 13, 80, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Aerografia 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27

Antiseptics 86, 87

Arsenic 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

B

Bactericidal 86, 87

Blood vessel 75, 84

C

Chemical vapor deposition 1, 14

Conductive hydrogel 75

Cromo 50, 51, 53, 54, 58, 59

Cucurbita moschata 60, 61, 62, 63, 68, 70, 71, 72, 73

E

Electrodeposición 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Emulsions 61, 63, 64, 73

F

Fiação por Sopro de Solução 16, 22, 24, 30

G

Graphene 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 27, 31, 34, 35

Graphene transfer 1, 4, 9

Groundwater 96, 97, 98, 99, 105

I

Inflammatory breast neoplasms 61

Iron nanoparticles 96, 100, 101, 104, 105

Iron oxide 96, 97, 100, 101, 102, 104, 105

L

Low-cost filter 96

M

Morfología 22, 24, 33, 47, 51, 53, 56, 57

N

Nanocompuesto 34, 36, 37, 38, 43, 47

Nanofibras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 30, 32

Nanoparticles 32, 35, 51, 62, 69, 72, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Nanopartículas de óxidos metálicos 34

Nanopartículas metálicas 51, 52

O

Óxido de grafeno 34, 36, 39, 40, 48, 49

P

PEDOT nanoparticles 74, 75, 77, 78, 81, 82, 83

Propiedades poliméricas 16

R

Raman spectroscopy 1, 5, 11, 13, 14, 35

Recubrimientos nanoestructurados 50, 51, 53, 59

S

Sensores de gas 34, 36

Smooth muscle cells 74, 75, 82, 84

T

Toxicity tests 61

Tratamento de água 15, 16, 17, 18, 25, 26

V

Vascular regeneration 74, 75, 83

Virucidal and bioactive compounds 86

