

Estudio de tintas conductoras a base de carbono para la fabricación de sensores flexibles a bajo costo.

Isabella Pizarro Perdomo
isapizarro23@javerianacali.edu.co

Resumen—Flexible sensors are fabricated by applying conductive inks onto substrates such as paper or plastic, allowing them to conform to irregular surfaces. These inks are typically expensive and require sophisticated equipment for printing.

In this research, conductive inks based on carbon were designed, using graphite powder and carbon black with glass varnish as a binder. These inks were printed on polyester using screen printing, an economical and simple technique.

The inks were evaluated through electrical tests of resistivity and resistance, structural and morphological analysis with Raman spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM), and an adhesion test according to ASTM F1842. Additionally, their performance was tested in an electrochemical sensor, yielding results comparable to those of a commercial ink.

Palabras clave—Sensor flexible, Tintas conductoras, Grafito, Bajo costo, Serigrafía, Electrónica de barrido (SEM), Espectroscopia Raman.

I. INTRODUCCIÓN

La transformación de señales naturales en información para su control ha impulsado avances tecnológicos, utilizando transductores para medir y actuar sobre variables físicas [1]. El desarrollo de sensores es crucial en ingeniería y otros campos [2], pero la producción de sensores tradicionales genera desechos tóxicos y es limitada en aplicaciones médicas y ambientales debido a su rigidez [3][4][5][6][7]. Para resolver estos problemas, se han creado sensores flexibles con tintas conductoras y sustratos adaptables [8][9], destacando por su alta sensibilidad y bajo peso [9][10]. Sin embargo, tintas

conductoras a base de carbono y metales enfrentan problemas de importación y costos en países como Colombia [11]. Este estudio busca diseñar una tinta de bajo costo a base de carbono para sensores flexibles. Se probaron diferentes formulaciones de solvente, aglutinante y material conductor, evaluadas mediante ensayos eléctricos, de adhesión y caracterización (Raman y SEM). De tres tintas seleccionadas, la tinta T6040 fue la única funcional para un sensor electroquímico, comparándose favorablemente con tintas comerciales en costo y resistividad [11].

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

II-A. Tintas

Una tinta es una sustancia con partículas características, como pigmentos en impresión, textiles y cerámicas [12][13][14]. Las tintas conductoras contienen materiales conductores, aglutinantes y solventes. Metales y carbono son comunes en tintas conductoras para sensores [15][16], siendo el grafito frecuentemente usado por su alta conductividad y bajo costo [17][18]. El aglutinante afecta la procesabilidad y adhesión de la tinta al sustrato, con alternativas económicas como esmalte de uñas y barniz de vidrio para reducir costos [18][19][20].

II-B. Sensor flexible:

Los sensores flexibles traducen el mundo físico en datos y son vitales en aplicaciones como medicina y la industria de alimentos debido a su adaptabilidad y bajo costo [21][22][23][24]. Estos dispositivos se ajustan a superficies no planas y objetos en movimiento sin perder funcionalidad [25][21]. Fabricados con tintas conductoras de metales como cobre y plata, y derivados del carbono como grafeno

y grafito, los sensores flexibles destacan por su conductividad y ligereza [26][21]. Se imprimen en sustratos flexibles como polímeros y papel mediante técnicas como inkjet y serigrafía [27][18][28].

II-C. Electroquímica:

La electroquímica estudia las reacciones químicas en la interfaz entre conductores eléctricos e iónicos [29]. En los sensores electroquímicos, estas reacciones generan cambios en el potencial o la corriente eléctrica al interactuar con especies químicas específicas [30]. Estos sensores tienen tres electrodos: de trabajo, auxiliar y de referencia [31]. La voltametría cíclica es una técnica electroquímica común para medir la actividad de las reacciones. Se busca una gráfica con picos catódicos y anódicos que indican reducción y oxidación, respectivamente [32][33][34]. La reversibilidad de la sustancia se evalúa por la diferencia entre los potenciales de pico anódico y catódico, y la razón de intensidad de pico.

III. METODOLOGÍA

III-A. Criterios de diseño

Se establecieron requisitos para formular tintas: deben usar materiales de bajo costo y fácil acceso, con aglutinante y material conductor localmente disponibles. La técnica de impresión debe ser simple y económica, con tintas que se adhieran al poliéster sin despegarse ni agrietarse al doblarse. La formulación debe ser reproducible y las muestras deben tener resistencia eléctrica inferior a 500 Ω , manteniendo una resistividad entre 0.05 y 0.1 ohm-cm.

III-B. Selección de materia prima

III-B1. Aglutinante: El aglutinante en las tintas conductoras es crucial para garantizar la cohesión y la estabilidad, facilitando la unión de las partículas conductoras al sustrato y asegurando una impresión uniforme para mantener la conductividad eléctrica [35]. Se evaluaron el esmalte de uñas y el barniz de vidrio como opciones, siendo este último más efectivo en la fabricación de las tintas debido a su mejor desempeño en la consistencia y adhesión al sustrato [35]. Por ello, se decidió emplear el Barniz vitral de la marca Franco por su accesibilidad, costo asequible y calidad en la fabricación de tintas conductoras [35].

III-B2. Solvente: Se eligió un solvente volátil que no alterara la composición final de la tinta, permitiendo su rápida evaporación para minimizar residuos y agilizar el proceso de secado. Esta evaporación rápida reduce la posibilidad de agrietamiento en la capa conductora al solidificarse. Se consideraron solventes como acetona, tolueno, isoforona y butanol, todos volátiles y potencialmente peligrosos. La acetona fue seleccionada por su disponibilidad a través de las universidades Javeriana y Nacional.

III-B3. Material conductor: En la fabricación de tintas conductoras, se optó por usar grafito en polvo para cerraduras debido a su mejor comportamiento y acabado en comparación con el polvo de grafito para dibujo. El negro de humo se descartó como material principal debido a su difícil acceso, altos costos y rendimiento insatisfactorio en las pruebas de formulación, aunque se consideró su uso como material conductor de relleno.

III-C. Composiciones

III-C1. Formulaciones: Se plantearon formulaciones específicas en el Cuadro I para evaluar el comportamiento de las tintas conductoras, utilizando los materiales seleccionados, con el objetivo de limitar la investigación y caracterizar la funcionalidad de los componentes.

Tinta	% Barniz	% Grafito
T4060	40	60
T5050	50	50
T6040	60	40
T7030	70	30
T8020	80	20

Cuadro I

PROPORCIONES DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS TINTAS

El negro de humo no cumplía con los criterios de diseño ni ofrecía los acabados deseados en la impresión, por lo que no se usó como material conductor principal. Sin embargo, se exploró su uso como material de relleno, siguiendo las formulaciones equitativas de grafito y negro de humo presentadas en el Cuadro II.

Tinta	% Barniz	% Grafito	% Negro de humo
TN5025	50	25	25
TN6020	60	20	20
TN7015	70	15	15
TN8010	80	10	10

Cuadro II

PROPORCIONES DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS TINTAS COMPUESTAS

Se registró la cantidad de acetona utilizada en cada formulación para lograr una consistencia de pasta que facilitara su aplicación.

III-C2. Fabricación de tintas: Para fabricar las tintas conductoras, primero se pesa la materia prima con una báscula de alta precisión, asegurando las proporciones indicadas en los Cuadros I y II. En este estudio, se prepararon mezclas de tres gramos para las muestras con grafito y de dos gramos para las muestras con grafito y negro de humo.

Se mezcla el grafito, o grafito y negro de humo, en un recipiente, y luego se añade el barniz, agitándolos manualmente hasta obtener una mezcla homogénea. Si es necesario, se agrega acetona en pequeñas cantidades para lograr la consistencia deseada. Este procedimiento se repite para todas las muestras.

III-D. Fabricación moldes

Para este estudio, se fabricaron dos tipos de muestras: rectangulares para pruebas eléctricas y de caracterización, y electrodos para sensores electroquímicos. Se diseñaron y cortaron dos moldes diferentes en vinilo adhesivo, que se pegaron en poliéster para facilitar la impresión.

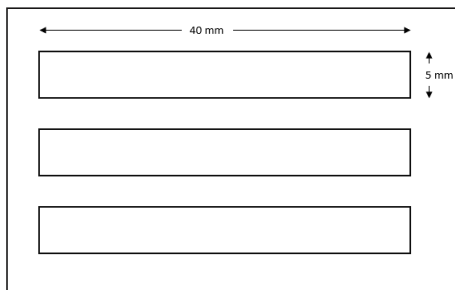


Figura 1. Diseño del molde para lote de electrodos de prueba.

III-E. Serigrafía

Antes de imprimir los patrones, se recomienda preparar el sustrato limpiándolo con alcohol para

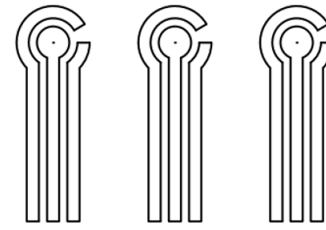


Figura 2. Diseño del molde para lote de electrodos de prueba.

eliminar impurezas. Luego, se pega el molde en el sustrato y se marca con el número de lote y muestras. La tinta se aplica con una espátula, asegurándose de distribuirla uniformemente para evitar variaciones en el grosor de la impresión. Tras retirar el molde, se deja secar durante 20 minutos antes de realizar pruebas, como se muestra en las figuras correspondientes.

III-F. Pruebas

III-F1. Método de cuatro puntas: La resistividad eléctrica se mide comúnmente mediante el método de cuatro puntas, reconocido por su precisión en la evaluación de propiedades eléctricas. Se calcularon las mediciones de resistividad utilizando el ancho, largo y espesor de la zona, junto con la corriente aplicada y la diferencia de potencial medida. La resistividad se determina mediante la fórmula:

$$\rho = \left(\frac{V}{I}\right) * \left(\frac{w * h}{L}\right) \quad (1)$$

Las mediciones se llevaron a cabo con un montaje adecuado, variando la frecuencia entre 100 y 1 MHz.

III-F2. Prueba de adhesión: Las pruebas de adhesión en tintas conductoras son fundamentales para optimizar los procesos de fabricación, proporcionando información vital sobre la compatibilidad de los materiales y las propiedades mecánicas de las tintas. La norma ASTM F1842-15 se utilizó en este estudio para llevar a cabo la prueba, que implica la creación de un patrón con cortes en la tinta, seguido de la evaluación del patrón resultante sobre cinta adhesiva. Los materiales utilizados incluyeron un bisturí para cortar el patrón y cinta adhesiva con una fuerza de adhesión conocida.

III-F3. Espectroscopia Raman: Se realizó espectroscopía Raman en el Tecnoparque Sena nodo Cali, utilizando un equipo con un láser de 532 nm para analizar la materia prima, la composición final de la tinta y la dispersión del material conductor. Esta técnica de análisis estudia las vibraciones moleculares mediante la dispersión inelástica de la luz láser. Al interactuar con las moléculas de la muestra, los fotones del láser provocan cambios en sus vibraciones, generando luz dispersada con frecuencias diferentes que se analizan para determinar las vibraciones moleculares del material, representadas en un espectro Raman con picos distintivos.

III-F4. Microscopio electrónico de barrido (SEM): Se realizó microscopía electrónica de barrido (SEM) en la Universidad Nacional, sede Manizales, utilizando el equipo SEM Helios 5 PFIB CXe con detector EDS Ultradry 100 mm², 129 eV. Esta técnica emplea un haz de electrones para generar imágenes detalladas de la superficie de una muestra. Al escanear la muestra punto por punto, los electrones interactúan con sus átomos, produciendo señales como electrones secundarios. Estos, detectados y convertidos en imágenes visuales, revelan la topografía y composición de la muestra con alta resolución y profundidad de campo, permitiendo visualizar la porosidad y distribución del material conductor en la tinta.

III-F5. Voltametría Cíclica: El ferricianuro de potasio se usa en pruebas electroquímicas debido a su reacción redox altamente reversible, permitiendo una evaluación precisa del sensor. Sus reacciones estables garantizan la fiabilidad de las mediciones. Al realizar una voltametría cíclica con ferricianuro, se deben cumplir dos criterios de reversibilidad: una diferencia de potencial entre picos anódico y catódico de 50 a 70 mV, y una razón de intensidad de picos cercana a uno. Evaluar los electrodos fabricados bajo estos criterios valida su idoneidad para mediciones electroquímicas.

IV. RESULTADOS

IV-A. Resistencia

La medición de la resistencia de las tintas se realizó en dos etapas: primero, se midió la resis-

tencia de líneas impresas antes y después de doblar el sustrato a 90°, y segundo, se usó el método de cuatro puntas para obtener una resistividad más precisa. Las tintas T4060 y TN5025 no pudieron ser evaluadas por problemas mecánicos y de mezcla, respectivamente. La prueba mostró que tintas con mayor porcentaje de aglutinante, como T7030 y T8020, presentaron mayor resistencia eléctrica pero mejor comportamiento ante la flexión. Todas las tintas aumentaron su resistencia tras la flexión, destacando la tinta TN6020 que mostró un aumento del 327.13 % en resistencia debido a la fragilidad inducida por el negro de humo. El análisis sugiere que un mayor contenido de aglutinante mejora la flexibilidad y reduce el incremento de resistencia tras la flexión.

IV-B. Resistividad

Al hacer la prueba, se pudo apreciar que los valores de resistividad de las tintas conductoras no están muy alejadas del criterio de diseño planteado, el cual es que la resistividad de la tinta debe mantenerse entre 0.05 y 0.1 ohm.cm. Como excepción está la tinta TN8010 la cual presenta, en las diferentes frecuencias, valores mayores a 0.2 ohm.cm. Lo cual se debe a la gran cantidad de aglutinante y el poco material conductor. Eso quiere decir que las demás tintas ofrecen una conductividad eléctrica más eficiente y es capaz de permitir el flujo fácil de corriente eléctrica a través de ella.

IV-C. Prueba adhesión

Se realizaron pruebas de adhesión en las nueve tintas formuladas, repitiendo la prueba tres veces por cada tinta. Las tintas T4060 y TN5025 no arrojaron resultados debido a problemas mecánicos y fragilidad, respectivamente, causando que se despegaran del sustrato. La tinta TN6020 también mostró fragilidad y se despegó durante la prueba. En contraste, las tintas con mayor porcentaje de barniz (T7030, T8020 y TN8010) mostraron mejor adhesión, sugiriendo que un mayor contenido de aglutinante mejora la adherencia al sustrato al proporcionar consistencia y unión a las partículas conductoras. Las tintas compuestas con grafito y negro de humo obtuvieron menor calificación en adhesión, posiblemente debido al efecto del negro de humo.

IV-D. Espectroscopia Raman

Los resultados de la espectroscopia Raman muestran que la tinta T5050 presenta un comportamiento similar al grafito, pero a medida que disminuye el porcentaje de grafito y aumenta el barniz en las tintas T6040 y T7030, se observan modificaciones en el pico de la banda D y la aparición de nuevos picos en la banda G y al final del espectro, atribuibles al barniz. Las tintas TN7015 y TN8010 muestran espectros similares al negro de humo, con picos en las bandas D y G y un pico ancho en la banda 2D, posiblemente debido a la presencia de múltiples capas de grafito y la interacción y dispersión desigual de los componentes de la tinta.

IV-E. Microscopio electrónico de barrido

El estudio SEM analizó las propiedades morfológicas de las tintas impresas, enfocándose en la distribución de las partículas conductoras en el área transversal de la impresión. A pesar de posibles alteraciones por el corte con bisturí, se observó que la tinta T7030 presentaba escamas de grafito superpuestas y espacios internos, posiblemente por errores en la impresión. La tinta compuesta por 70 % de barniz y 30 % de negro de humo mostró una distribución compacta sin espacios, aunque con grumos que podrían aumentar su fragilidad. La tinta TN7015 mostró material comprimido con posibles burbujas de aire o aglutinante mal mezclado, y una agrupación de negro de humo cubriendo el grafito y rellenando los espacios entre las láminas de grafito.

V. VALIDACIONES

V-A. Funcionamiento de tinta en sensor electroquímico

Se realizaron pruebas de voltametría cíclica en las tintas T5050, T6040 y TN7015 con ferricianuro, descartando las tintas T7030 y TN8010 por alta resistencia y resistividad. La tinta T6040 mostró un buen comportamiento de reversibilidad y superó al sensor comercial PalmSens IS-C en el diferencial de potencial. En contraste, las tintas T5050 y TN7015 no cumplieron con los criterios de reversibilidad debido a la alta resistividad y la separación de picos, además de problemas mecánicos en la T5050. Se aclara que las diferencias en las voltametrías cíclicas entre los sensores fabricados y el comercial no

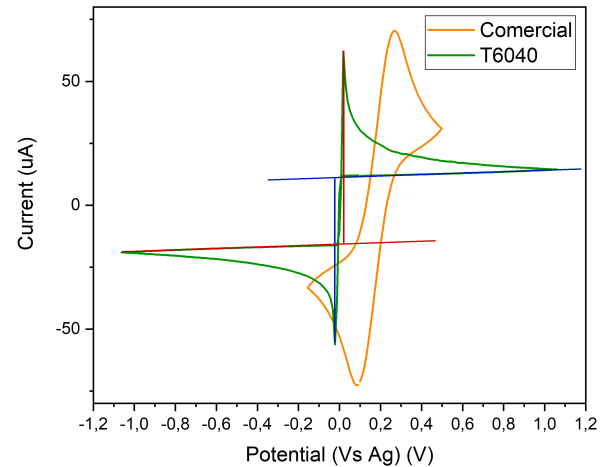


Figura 3. Diseño del molde para lote de electrodos de prueba.

implican un mal funcionamiento, sino una variación en la naturaleza de los sensores.

V-B. Costo de fabricación de tinta

En el Cuadro III se detalla el costo total de los materiales para fabricar la tinta conductora T6040, destacada por sus resultados en diversas pruebas. Obtuvo una resistencia menor a 500 ohm antes y después de la flexión, con un incremento insignificante tras el doblez. Su resistividad no excedió drásticamente los límites de diseño y mostró un comportamiento adecuado en pruebas electroquímicas. El bajo costo se debe a técnicas manuales en la mezcla y serigrafía, lo que puede introducir errores humanos. Se planea comparar con tintas comerciales para evaluar su eficacia y calidad.

Material	Valor x gramo	Cantidad (g)	Total
Grafito en polvo para cerraduras [36]	\$ 21.9 COP	1.2	\$ 26.28
Barniz de vidrio	\$128 COP	1.8	\$ 212.56
Acetona	\$ 274.26 COP	0.237	\$ 64.94
TOTAL			\$ 304
PRECIO POR GRAMO			\$ 106.35

Cuadro III

COSTO DE FABRICACIÓN DE LA TINTA CONDUCTORA T6040.

VI. DIFICULTADES

La validación del proyecto enfrentó dificultades al intentar adquirir una tinta comercial para comparar su resistencia. El alto costo y la cantidad mínima requerida excedieron el presupuesto del proyecto, además del tiempo de entrega prolongado al ser importada. Como alternativa, se comparó la resistividad de las tintas comerciales con su comportamiento en sensores electroquímicos, ya que estas eran las únicas referencias disponibles para la comparación.

VII. CONCLUSIONES

1. Las formulaciones de las tintas influyen en sus propiedades mecánicas y eléctricas, afectando la flexibilidad y resistencia del sensor.
2. La proporción de negro de humo y grafito no garantiza eficiencia eléctrica ni propiedades mecánicas óptimas.
3. La formulación de la tinta y el tipo de material de relleno influyen en su adhesión al sustrato.
4. El uso de material conductor con partículas diminutas puede hacer al sensor más frágil y propenso a la ruptura.
5. La tinta T6040 demostró ser apta para la fabricación de sensores electroquímicos.
6. El sensor fabricado resultó ser más económico que la tinta importada.

VIII. BIBLIOGRAPHY

- [1] I. Chopra, "Review of state of art of smart structures and integrated systems," *AIAA journal*, vol. 40, n.º 11, págs. 2145-2187, 2002.
- [2] L. G. C. Ramírez, G. S. A. Jiménez y J. M. Carreño, *Sensores y actuadores*. Grupo Editorial Patria, 2014.
- [3] L. H. Aguilera, "La basura electrónica y la contaminación ambiental," *Enfoque UTE*, vol. 1, n.º 1, págs. 46-61, 2010.
- [4] N. U. Rubilar, "Desechos Electrónicos," Tesis doct., Universidad Nacional de La Plata, 2014.
- [5] S. Honda, H. Hara, T. Arie, S. Akita y K. Takei, "A wearable, flexible sensor for real-time, home monitoring of sleep apnea," *iScience*, vol. 25, n.º 4, pág. 104 163, 2022, ISSN: 2589-0042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104163>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004222004333>.
- [6] L. Benages Pardo y J. D. Buldain Pérez, "Detección de actividades humanas con sensores portables,"
- [7] F. Wang, S. Liu, L. Shu y X.-M. Tao, "Low-dimensional carbon based sensors and sensing network for wearable health and environmental monitoring," *Carbon*, vol. 121, págs. 353-367, 2017, ISSN: 0008-6223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.06.006>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622317305730>.
- [8] K. Takei, "History of Flexible and Stretchable Devices," *Flexible and Stretchable Medical Devices*, págs. 1-6, 2018.
- [9] S.-T. Han, H. Peng, Q. Sun et al., "An overview of the development of flexible sensors," *Advanced materials*, vol. 29, n.º 33, pág. 1 700 375, 2017.
- [10] O. Lavrentovich, P. Pasini, C. Zannoni y S. Zumer, *Defects in liquid crystals: Computer simulations, theory and experiments*. Springer Science & Business Media, 2001, vol. 43.
- [11] A. M. N. Vargas e I. Jaramillo, "La industria de sensores en Colombia," *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, vol. 22, n.º 57, págs. 44-54, 2018.
- [12] E. Cosoi, "Guía para las impresoras de inyección de tinta," *Revista chilena de pediatría*, vol. 77, n.º 3, págs. 304-305, 2006.
- [13] A. M. Gallegos Cordovilla, "Estampado de textiles naturales en el Ecuador," B.S. thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, 2008.
- [14] M. Dondi, M. Blosi, D. Gardini, C. Zanelli y P. Zannini, "Tecnología de la tinta para la decoración digital cerámica: una visión de conjunto," *CNR-ISTEC, Faenza y Universidad de Módena y Reggio Emilia, Italia, Qualicer*, 2014.
- [15] W. Yang y C. Wang, "Graphene and the related conductive inks for flexible electronics,"

- J. Mater. Chem. C*, vol. 4, págs. 7193-7207, 30 2016. DOI: 10.1039/C6TC01625A. dirección: <http://dx.doi.org/10.1039/C6TC01625A>.
- [16] L. Wang y J. Liu, “Advances in the development of liquid metal-based printed electronic inks,” *Frontiers in materials*, vol. 6, pág. 303, 2019.
- [17] S. Bi, W. Dong, B. Lan et al., “Flexible carbonic pen ink/carbon fiber paper composites for multifunctional switch-type sensors,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 124, pág. 105452, 2019.
- [18] L. Pradela-Filho, D. Araújo, R. Takeuchi y A. Santos, “Nail polish and carbon powder: An attractive mixture to prepare paper-based electrodes,” *Electrochimica Acta*, vol. 258, págs. 786-792, 2017.
- [19] I. A. de Araujo Andreotti, L. O. Orzari, J. R. Camargo et al., “Disposable and flexible electrochemical sensor made by recyclable material and low cost conductive ink,” *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 840, págs. 109-116, 2019.
- [20] L. A. Pradela-Filho, I. A. Andreotti, J. H. Carvalho et al., “Glass varnish-based carbon conductive ink: A new way to produce disposable electrochemical sensors,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 305, pág. 127433, 2020.
- [21] Y. Luo, M. R. Abidian, J.-H. Ahn et al., “Technology roadmap for flexible sensors,” *ACS nano*, vol. 17, n.º 6, págs. 5211-5295, 2023.
- [22] W. Heng, S. Solomon y W. Gao, “Flexible electronics and devices as human-machine interfaces for medical robotics,” *Advanced Materials*, vol. 34, n.º 16, pág. 2107902, 2022.
- [23] H. Yousefi, H.-M. Su, S. M. Imani, K. Alkhalidi, C. D. M. Filipe y T. F. Didar, “Intelligent food packaging: A review of smart sensing technologies for monitoring food quality,” *ACS sensors*, vol. 4, n.º 4, págs. 808-821, 2019.
- [24] S. Chen, J. Qi, S. Fan, Z. Qiao, J. C. Yeo y C. T. Lim, “Flexible wearable sensors for cardiovascular health monitoring,” *Advanced Healthcare Materials*, vol. 10, n.º 17, pág. 2100116, 2021.
- [25] S. Bauer, S. Bauer-Gogonea, I. Graz, M. Kaltenbrunner, C. Keplinger y R. Schwödjauer, “25th Anniversary Article: A Soft Future: From Robots and Sensor Skin to Energy Harvesters,” *Advanced Materials*, vol. 26, n.º 1, págs. 149-162, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201303349>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/adma.201303349>. dirección: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.201303349>.
- [26] J. C. Costa, F. Spina, P. Lugoda, L. Garcia-Garcia, D. Roggen y N. Münzenrieder, “Flexible Sensors—From Materials to Applications,” *Technologies*, vol. 7, n.º 2, 2019, ISSN: 2227-7080. DOI: 10.3390/technologies7020035. dirección: <https://www.mdpi.com/2227-7080/7/2/35>.
- [27] E. Dimitriou y N. Michailidis, “Printable conductive inks used for the fabrication of electronics: an overview,” *Nanotechnology*, vol. 32, n.º 50, pág. 502009, oct. de 2021. DOI: 10.1088/1361-6528/abefff. dirección: <https://dx.doi.org/10.1088/1361-6528/abefff>.
- [28] L. A. Pradela-Filho, I. A. Andreotti, J. H. Carvalho et al., “Glass varnish-based carbon conductive ink: A new way to produce disposable electrochemical sensors,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 305, pág. 127433, 2020.
- [29] C. L. Mantell, *Ingeniería electro-química*. Reverté, 2021.
- [30] S. A. Perdomo, V. Ortega, A. Jaramillo-Botero et al., “SenSARS: A low-cost portable electrochemical system for ultra-sensitive, near real-time, diagnostics of SARS-CoV-2 infections,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, págs. 1-10, 2021.
- [31] A. Baeza et al., “Sensores y biosensores electroquímicos,” *Facultad de Química UNM*, págs. 1-15, 2015.
- [32] S. Gómez-Biedma, E. Soria y M. Vivó, “Análisis electroquímico,” *Revista de Diagnóstico Biológico*, vol. 51, n.º 1, págs. 18-27, 2002.

- [33] M. Cano, *Diseño y aplicación de sensores electroquímicos basados en moléculas orgánicas conductoras*. Universidad de Córdoba, Servicio de Publicaciones, 2009.
- [34] E. Flores, “Voltametría cíclica: la espectroscopía electroquímica. Parte I,” *Revista de Química*, vol. 9, n.º 2, págs. 165-172, 1995.
- [35] V. J. Quispe León et al., “Aplicación de pintura conductora a base de grafito/zn, para electrodeposición de cobre en sustrato no conductor.” Tesis doct.
- [36] *Grafito En Polvo (1 Kilo) — Ferretería Levallejo AZ*, <https://ferreteriaonlinelevallejoaz.com/grafito-en-polvo-1-kilo/>, (Accessed on 05/27/2024).