

SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA EL DESARROLLO DE LA  
HABILIDAD DE TOMA DE DECISIONES ASOCIADAS AL PROCESO DE  
CORROSIÓN Y MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE METALES

MILBA DAYALIZ BALLESTEROS VÁSQUEZ  
EDGAR ANDRÉS POVEDA PÉREZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018

SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA EL DESARROLLO DE LA  
HABILIDAD DE TOMA DE DECISIONES ASOCIADAS AL PROCESO DE  
CORROSIÓN Y MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE METALES

MILBA DAYALIZ BALLESTEROS VÁSQUEZ  
EDGAR ANDRÉS POVEDA PÉREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA


DIRECTOR  
MCS. DIEGO ALEXANDER BLANCO MARTÍNEZ

CODIRECTOR  
DRA. MARÍA TERESA CORTÉS MONTAÑEZ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

LA EVALUACIÓN COMO UNA FORMA DE ENSEÑAR EN CIENCIAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
BOGOTÁ  
2018

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Excellence in Education</i>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 1 de 77</b>	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de Grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	Secuencia de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones asociadas al proceso de corrosión y métodos de protección de metales
<b>Autor(es)</b>	Ballesteros Vásquez, Milba Dayaliz; Poveda Pérez, Edgar Andrés
<b>Director</b>	Blanco Martínez, Diego Alexander
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2018. 71 p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	HABILIDAD DE TOMA DE DECISIONES; PENSAMIENTO CRÍTICO; NATURALEZA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA; CORROSIÓN; MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE METALES; SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE; CICLO DE APRENDIZAJE 7E.

<b>2. Descripción</b>
<p>Trabajo de grado en donde los autores evaluaron los alcances de una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) frente a la habilidad de toma de decisiones por parte de un grupo de estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Mecánica de la Universidad ECCI, al abordar situaciones asociadas al proceso de corrosión y los métodos de protección de metales, en el marco de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT), específicamente en la categoría de influencia de la ciencia y la tecnología en la sociedad.</p> <p>Además, se desarrolló un trabajo experimental consistente en la síntesis de polipirrol sobre acero 1020 utilizando ácido oxálico como electrolito soporte y su correspondiente caracterización, siendo el soporte teórico para el diseño de la SEA, la que se desarrolló en tres etapas: fundamentación conceptual y metodológica, diseño de la SEA y la evaluación del alcance de la SEA frente a la habilidad de toma de decisiones.</p>

<b>3. Fuentes</b>
<p>Abd-El-Khalick, F., &amp; Akerson, V. (2009). The Influence of Metacognitive Training on Preservice Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. <i>International Journal of Science Education</i>, 31(16), 20161-2184.</p> <p>Acevedo Díaz, J. A., Vásquez Alonso, Á., Manassero, M. A., &amp; Acevedo Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. <i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias</i>, 4(1), 42-66.</p>

- Atienza Escarda, M. (2017). La enseñanza de la química en educación secundaria y bachillerato a través de experiencias prácticas de electroquímica. *Trabajo de maestría*. Universidad de Valladolid.
- Bedoya Lora, F. E., & Calderón Gutiérrez, J. A. (2011). Análisis de los parámetros determinados por espectroscopia de impedancia electroquímica para la evaluación del desempeño de pinturas. 1-16. (Grupo de Corrosión y Protección, Ed.) Medellín, Colombia: Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales - CIDEMAT.
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604.
- Camacho González, J. (2011). La historia de la teoría electroquímica y su contribución a la promoción de la explicación científica en la química escolar. *Revista científica*(14), 8-20.
- Chang, R. (2010). *Química*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Compañía General de Aceros S.A . (2007, Marzo). SAE 1020 Y SAE 1045. Aceros ingeniería al carbono. Bogotá D.C., Colombia. Retrieved from <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>
- De Jong, O., & Treagust, D. (2002). The Teaching and Learning of Electrochemistry. In J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. Van Driel, *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 317-337). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- De Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). Problems in Teaching the Topic of Redox Reactions: Actions and Conceptions of Chemistry Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 1097-1110.
- Downard, A., & Pletcher, D. (1986). The influence of water on the electrodeposition of polypyrrole in acetonitrile. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 206, 139-145. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-0728\(86\)90263-9](https://doi.org/10.1016/0022-0728(86)90263-9)
- Duffitt, G. L., & Pickup, P. G. (1991). Permselectivity of polypyrrole in acetonitrile. *J. Phys. Chem.*, 95(24), 9634-9635. doi:10.1021/j100177a008
- Eisenkraft, A. (2003). Expanding the 5E model. *The Science Teacher*, 70(6), 56-59.
- Elgrishi, N., Rountree, K., McCarthy, B., Rountree, E., Eisenhart, T., & Dempsey, J. (2018). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 197-206. doi:10.1021/acs.jchemed.7b00361
- Ennis, R. (1991). Critical thinking: A streamlined Conception. *Teaching Philosophy*.
- Fernández Otero, T. (2003). Polímeros conductores: síntesis, propiedades y aplicaciones electroquímicas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4(4), 1-32.
- Gnozdenovic, M., Jugovic, B., Stevanovic, J., & Grgur, B. (2014). Electrochemical synthesis of electroconducting polymers. *Hemijska Industrija*, 68(6), 673-684.
- Gómez, D. (2015). Diseño, aplicación y evaluación de un programa educativo basado en la Competencia Científica para el desarrollo del Pensamiento Crítico en alumnos de Educación Secundaria. *Trabajo de Doctorado*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Jenkins, E. (1997). Scientific and Technological Literacy for Citizenship: What can we learn from the research and other evidence? In S. Sjøberg, *Science, technology and citizenship. The understanding of*

*science and technology in Science Education and research policy* (pp. 29-50). Oslo, Norway: Norsk Institutt for studier av forskning og utdanning.

Lara Coral, A. (2012). Desarrollo de habilidades de pensamiento y creatividad como potenciadores de aprendizaje. *Unimar*(59), 85-96.

Lau, C.-Y., Xu, J., & Shiu, K.-K. (2012). Effects of solvent composition on the preparation and electroanalytical behaviors of polypyrrole modified electrodes. *Electrochimica Acta*, 72, 143-149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.04.027>

Manassero-Mas, M. (2015). EDU2015-64642-R (MINECO/FEDER). *Educación de las competencias científica, tecnológica y pensamiento crítico mediante la enseñanza de temas de naturaleza de ciencia y tecnología*. España: Universidad de las Islas Baleares.

Martínez Delgado, J. E. (2013). Propuesta metodológica para mejorar el aprendizaje del tema de electroquímica en estudiantes de 10 grado de la institución educativa cañaveral a través del estudio de sus ideas previas. *Trabajo de Maestría*. Universidad Nacional de Colombia.

Mollahosseini, A., & Noroozian, E. (2009). Electrodeposition of a highly adherent and thermally stable polypyrrole coating on steel from aqueous polyphosphate solution. *Synthetic Metals*, 159(13), 1247-1254.

Pérez Lemus, N. (2016). Teoría redox mediante aprendizaje basado en problemas. *Trabajo de Maestría*. Universidad de Valladolid.

Rojas Carrillo, J. P. (2012). Estrategia basada en investigación orientada para la enseñanza del tema oxidación. *Trabajo de Maestría*. Universidad Nacional de Colombia.

Saiz, C. (2011). *Pensamiento crítico: conceptos básicos y actividades prácticas*. Madrid: Pirámide.

Saiz, C., & Rivas, S. (2008). Intervenir para transferir en pensamiento crítico. *Conferencia Internacional: Lógica, Argumentación y Pensamiento Crítico* (pp. 1-17). Santiago de Chile: Universidad Diego Portales.

Suárez Herrera, M. F. (2011). *Electroquímica Física e interfacial: Una aproximación teórica*. Bogotá D.C., Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Tamayo Álzate, Ó. E., Zona López, J. R., & Loaiza Zuluaga, Y. E. (2014). *Pensamiento Crítico en el aula de ciencias*. Manizales: Universidad de Caldas.

Tamayo, Ó. E., & Orrego, M. (2005). Aportes de la Naturaleza de la Ciencia y del Contenido Pedagógico del Conocimiento para el campo conceptual de la Educación en Ciencias. *Revista Educación y pedagogía*, 16(43), 11-25.

Tietje-Girault, J., Ponce de León, C., & Walshb, F. (2007). Electrochemically deposited polypyrrole films and their characterization. *Surface & Coatings Technology*, 201, 6025-6034. doi:<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.11.009>

Torres Merchán, N. Y. (2011). El abordaje de situaciones contextuales para la solución de problemas y la toma de decisiones. *Revista del Instituto de Estudios en Educación Universidad del Norte*(14), 126-141.

Valdez Salas, B., & Schorr Wiener, M. (2013). *Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*. Barcelona, España: OmniaScience.

- Vasini, E. J., & Donato, E. R. (2001). Uso de analogías adecuadas como recurso didáctico para la comprensión de los fenómenos electroquímicos en el nivel universitario inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 471-477.
- Vásquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y la tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 2-31.
- Vásquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 2): Una revisión desde los currículos de ciencias y la competencia PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 32-53.
- Vásquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2013). *Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia Tecnología y Sociedad (COCTS)*. Palma de Mallorca, España: Universitat de les Illes Balears.
- Vásquez Alonso, Á., Manassero Mas, M., Acevedo Díaz, J., & Acevedo Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad. *Educación Química*, 18(1), 38-55.
- Vásquez Alonso, Á., Manassero Mas, M., & Bennàssar Roig, A. (2013). *Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje sobre la Naturaleza de la Ciencia y Tecnología*. Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears.
- Vassos, B., & Ewing, G. (1998). *Electroquímica Analítica*. México D.F., México: Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Vera, M. I., Montiel, G. M., Stoppello, M. G., & Giménez, L. I. (2011). Aprendiendo electroquímica. Un estudio comparativo. *Avances en ciencias e ingeniería*, 2(2), 131-139.
- Viau, L., Hihn, J., Lakard, S., Moutarlier, V., Flaud, V., & Lakard, V. (2014). Full characterization of polypyrrole thin films electrosynthesized in room temperature ionic liquids, water or acetonitrile. *Electrochimica Acta*, 137, 298-310. doi:<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.05.143>
- Vieira, R. M., Terneiro Vieira, C., & Martins, I. (2011). Critical thinking: Conceptual clarification and its importance in science education. *Science Education International*, 22(1), 43-54.
- Villalonga, M., García, R., Menéndez, A., & Falls, M. (2009). Integración de la Química General en la carrera de Ingeniería Mecánica utilizando problemas profesionales. *Educación Química*, 20(1), 83-87.
- Whitten, K., Davis, R., Peck, L., & Stanley, G. (2008). *Química. Octava Edición*. México D.F.: Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Young, D., & Tamir, P. (1977). Finding out what Students know. *The Science Teacher*(44), 27-28.
- Zhou, M., & Heinze, J. (1999). Electropolymerization of pyrrole and electrochemical study of polypyrrole. 3. Nature of "water effect" in acetonitrile. *The Journal of Physical Chemistry B*, 103(40), 8451-8457. doi:10.1021/jp990162l

#### 4. Contenidos

Este trabajo de grado tuvo como objetivo desarrollar la habilidad de la toma de decisiones asociadas al proceso de corrosión y los métodos de protección de metales en el marco de la influencia de la Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad, abordando situaciones problema contextualizadas sobre este fenómeno

electroquímico. Para fundamentar teóricamente el trabajo y la SEA, se realizó una actividad experimental de síntesis de películas de polipirrol, el cual es un polímero electroconductor.

Por consiguiente, su estructura para dar cuenta de si se logró cumplir el objetivo planteado comienza con una explicación acerca de las problemáticas de aprendizaje de la electroquímica, y a continuación se describe a la alfabetización científica como posible solución a ese problema de enseñanza, ya que busca formar ciudadanos capaces de decidir adecuadamente en una sociedad inmersa de desarrollos científicos y tecnológicos, pero para ello, se debe adquirir los conocimientos científicos y los metaconocimientos de la ciencia. Estos metaconocimientos se denominan Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT). Luego se delimitó el problema de la investigación y sus objetivos, en torno al diseño y aplicación de una Secuencia de Enseñanza Aprendizaje sobre corrosión de metales e implicaciones en la sociedad, basada en la influencia de la ciencia y tecnología en la sociedad para que propenda al desarrollo de la habilidad de toma de decisiones, y lograr que esta sea aplicada en contextos cotidianos.

Delimitado el problema de investigación y los objetivos, a continuación, se presentan los antecedentes y el marco teórico que sustentan la investigación, y que contienen los conocimientos necesarios para el diseño de la SEA y el trabajo experimental sobre síntesis de polipirrol sobre acero 1020 utilizando ácido oxálico como electrolito soporte y su correspondiente caracterización. De allí se identificó que los metales pueden ser protegidos por métodos electroquímicos para prevenir la corrosión aparte de las diversas técnicas ya conocidas, es decir, que existen diversos métodos de protección contra la corrosión, y estos métodos no son los más adecuados en todos los casos, además de corroborarse, que existen metales más propensos a sufrir este fenómeno. Esta actividad experimental y sus resultados, junto al marco teórico, fueron base teórica para el análisis de los resultados obtenidos en cada componente. En seguida, se presentó la metodología cuyo enfoque fue mixto y diseño cuasiexperimental, distinguiéndose tres etapas dentro de la metodología: fundamentación conceptual y metodológica, diseño de la SEA y la evaluación del alcance de la SEA frente a la habilidad de toma de decisiones.

Finalmente, se analizaron los resultados, tanto de la actividad experimental de síntesis de polipirrol, como de la aplicación de la SEA, frente a la habilidad de toma de decisiones; y así verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos a lo largo del trabajo con las correspondientes conclusiones sobre la investigación.

## 5. Metodología

La metodología propuesta en este trabajo se enmarca bajo el enfoque mixto de investigación y su alcance es explicativo, ya que, se busca evaluar los alcances de la SEA en términos de la habilidad de pensamiento crítico de toma de decisiones, frente a situaciones problemas asociados al proceso de corrosión y métodos de protección de metales, en el marco de las actividades planteadas en la SEA. La investigación se realiza con doce estudiantes entre los 19 y 27 años de edad que cursaban la asignatura de Química I y Laboratorio, contemplada para el segundo semestre del plan de estudios de Ingeniería Mecánica en la Universidad ECCI.

Para el diseño metodológico de esta investigación se plantean tres (3) etapas:

- **Etapas de fundamentación conceptual y metodológica.**

Consiste en la revisión detallada de artículos, libros y publicaciones que permitieron la construcción del planteamiento del trabajo de investigación y la consolidación de antecedentes y marco teórico, importantes en la etapa del diseño de la secuencia e instrumentos, y, por otra parte, se realizó el diseño experimental utilizando un método electroanalítico, en este caso, para la síntesis de películas de polipirrol sobre acero 1020 a partir de voltametría cíclica y su correspondiente caracterización como un método de protección para el metal ante la corrosión.

- **Etapas de diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) e instrumentos de evaluación**

La secuencia de enseñanza-aprendizaje se desarrolló en torno a las principales características de corrosión y algunas técnicas de protección de corrosión en metales; temáticas articuladas mediante actividades que

involucran la naturaleza de la ciencia, tecnología y sociedad, las actividades de la SEA son diseñadas según la estructura didáctica del ciclo de aprendizaje 7E.

- **Etapas de ejecución y evaluación de la secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) sobre electroquímica**

Se realiza la implementación de la SEA “Corrosión de metales e implicaciones en la sociedad” y la aplicación de los instrumentos y actividades de la SEA con la muestra poblacional descrita anteriormente, para hacer el respectivo análisis de los datos obtenidos y así dar respuesta al problema de investigación formulado.

## 6. Conclusiones

Por medio del diseño e implementación de la SEA “Corrosión y métodos de protección de metales” en estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Mecánica de la Universidad ECCI, se logró un aumento significativo del desarrollo de la habilidad de toma de decisiones enmarcada en el Pensamiento Crítico (PC) e impulsado por el uso de la perspectiva de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT). Este aumento del desarrollo de la habilidad de toma de decisiones se evidencia en la comparación de los resultados expuestos en la rúbrica de evaluación de la SEA para las actividades Extraer (test de identificación de ideas previas) con los resultados de las actividades Elaborar (la corrosión en la vida diaria) y Extender (Corrosión en la Central Hidroeléctrica de Caldas); y, asimismo lo corrobora el COCTS con las puntuaciones Pre-Test y Post-Test de los índices medios para las frases adecuadas, plausibles e ingenuas; e índices globales promedios de categorías.

Lo anterior permite afirmar que, al utilizar la NdCyT los estudiantes logran establecer relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad, especialmente al reflexionar sobre la ciencia y el quehacer científico en el aula de clase; de ahí su conexión con el pensamiento crítico, que los llevó a desarrollar la habilidad de toma de decisiones teniendo en cuenta cada uno de los aspectos de un contexto determinando. Además, la SEA al estar diseñada según el Ciclo de Aprendizaje 7E favorece la comprensión del estudiante en la temática escogida, colocándolo en diversos contextos mediante cada una de las actividades diseñadas.

Por otra parte, se sintetizó electroquímicamente (utilizando la técnica de voltametría cíclica) películas de polipirrol sobre electrodos de acero 1020 dopadas con aniones oxalato como surfactantes, en solución de acetonitrilo +10wt % de agua. Sin embargo, las técnicas de caracterización (Tafel y Espectroscopía de Impedancia) en la película formada, arrojaron como resultado que, aunque los valores de los potenciales de corrosión aumentaban en limitada medida, había difusión de iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  a través de la película hacia el electrodo, favoreciendo la corrosión del metal durante la caracterización. Lo anterior se debe a que, la película de polipirrol no quedó lo suficientemente adherida a la superficie del electrodo de trabajo. Para finalizar, debe reconocerse que, a través de este trabajo experimental, los investigadores obtuvieron un buen soporte teórico de la temática para diseñar la SEA sobre corrosión y métodos de protección de metales.

<b>Elaborado por:</b>	Ballesteros Vásquez, Milba Dayaliz; Poveda Pérez, Edgar Andrés
<b>Revisado por:</b>	Blanco Martínez, Diego Alexander

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	04	12	2018
--	----	----	------

## CONTENIDO

• <b>Etapa de fundamentación conceptual y metodológica</b> .....	5
Introducción .....	13
1. Justificación .....	14
2. Planteamiento del problema .....	17
2.1 Formulación del problema .....	17
3. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo general .....	18
3.2 Objetivos específicos.....	18
4. Antecedentes.....	19
5. Marco teórico .....	21
5.1 Secuencias de Enseñanza – Aprendizaje (SEA) .....	21
5.2 El ciclo de aprendizaje 7E .....	21
5.3 Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT). .....	22
5.3 Pensamiento crítico .....	23
5.4 Electroquímica.....	26
5.4.1 Deposición electroquímica de películas de polipirrol. ....	27
5.4.2 Corrosión.....	31
6. Metodología.....	33
6.1 Tipo de Investigación.....	33
6.2 Muestra poblacional .....	33
6.3 Etapas de desarrollo de la investigación.....	33
6.3.1 Fundamentación conceptual y metodológica. ....	34

6.3.2 Diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) e instrumentos de evaluación .....	36
6.3.2 Ejecución y evaluación de la secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) sobre electroquímica .....	40
7. Resultados y Análisis de Resultados .....	41
7.1 Trabajo Experimental.....	41
7.1.2 Síntesis por voltametría cíclica (CV) de películas de polipirrol sobre acero 1020 .....	42
7.1.3 Caracterización por Tafel de películas de polipirrol sobre acero 1020 sintetizadas por voltametría cíclica (CV).....	44
7.1.4 Caracterización por Espectroscopia de Impedancia de películas de polipirrol sobre acero 1020 sintetizadas por voltametría cíclica (CV) .....	47
7.2 Aplicación de la SEA .....	51
7.2.1 Actividad de elicitar-extraer .....	51
7.2.2 Actividad de elaborar .....	56
7.2.3 Actividad de extender .....	57
7.2.4 COCTS.....	58
8. Conclusiones .....	65
9. Recomendaciones .....	66
10. Referencias .....	67
Listado de Anexos .....	72

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Conceptos generales de electroquímica y sus aplicaciones. Fuente Propia. ....	26
Ilustración 2. Representación de una celda electroquímica. Tomado de: (Elgrishi et al., 2018) .....	29
Ilustración 3. Etapas del desarrollo del proyecto. ....	33
Ilustración 4. Montaje de la celda electroquímica empleada para la síntesis y caracterización de películas de polipirrol sobre acero 1020. ....	35
Ilustración 5. Mecanismo síntesis electroquímica de polipirrol. Tomado de: Gnozdencovic et al. (2014).....	44

## LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Síntesis de polipirrol en acero 1020 por voltametría cíclica con oxálico como surfactante y acetonitrilo como solvente.....	41
Gráfica 2. Voltametría Cíclica (CV). Síntesis de polipirrol sobre electrodo trabajo (acero 1020), 50 ciclos. ....	42
Gráfica 3. Voltametría Cíclica (CV). Síntesis de polipirrol sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos. ....	42
Gráfica 4. Voltametría Cíclica (CV). Síntesis de polipirrol sobre electrodo W (acero 1020), 150 ciclos.....	43
Gráfica 5. Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos. ....	44
Gráfica 6. Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos. ....	45
Gráfica 7. Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos. ....	46
Gráfica 8. Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos. ....	47
Gráfica 9. Bode, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos. ....	47
Gráfica 10. Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos. ....	48
Gráfica 11. Bode, Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos. ....	49
Gráfica 12. Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos. ....	49
Gráfica 13. Bode, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos. ....	50
Gráfica 14. Frecuencia de Respuestas al ítem N° 1 del test de ideas previas.....	51
Gráfica 15. Respuestas al ítem N° 2 del test de ideas previas. ....	52

Gráfica 16. Frecuencia de Respuestas al ítem N° 3 del test de ideas previas.....	52
Gráfica 17. Frecuencia de Respuestas a la primera decisión del ítem N° 4. ....	53
Gráfica 18. Frecuencia de Respuestas a la segunda decisión del ítem N° 4.....	54
Gráfica 19. Frecuencia de Respuestas a la tercera decisión del ítem N° 4. ....	54
Gráfica 20. Frecuencia de Respuestas a la cuarta decisión del ítem N° 4. ....	55
Gráfica 21. Frecuencia de Respuestas a la quinta decisión del ítem N° 4. ....	56
Gráfica 22. Resultados actividad de Extender. ....	58
Gráfica 23. Índices Medios Adecuadas por Cuestión del COCTS.....	60
Gráfica 24. Índices Medios Plausibles por Cuestión del COCTS. ....	61
Gráfica 25. Índices Medios Ingenuas por Cuestión del COCTS.....	62
Gráfica 26. Índices Global Actitud por Cuestión del COCTS.....	63

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del acero 1020. Tomado de: Compañía General de Aceros S.A (2007). .....	34
Tabla 2. Parámetros específicos para la síntesis electroquímica durante la investigación.....	35
Tabla 3. Respuestas al numeral 4 del Test de identificación de ideas previas.....	38
Tabla 4. Categorías de evaluación de la SEA.....	40
Tabla 5. Rúbrica de evaluación de las actividades de la SEA.....	40
Tabla 6. Resultados Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos.....	45
Tabla 7. Resultados Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos .....	45
Tabla 8. Resultados de Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos.....	46
Tabla 9. Resultados de Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos. ....	48
Tabla 10. Resultados de Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos. ....	49
Tabla 11. Resultados de Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos. ....	50
Tabla 15. Relación temática y subtemática de cada código COCTS. Tomado de Vázquez & Manassero, (2013).....	58

## INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se evaluó los alcances de una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) frente a la habilidad de toma de decisiones por parte de un grupo de estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Mecánica de la Universidad ECCI, al abordar situaciones asociadas al proceso de corrosión y los métodos de protección de metales, en el marco de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT), ya que les permitió a los estudiantes ser conscientes de la importancia de los conocimientos científicos para la toma de decisiones en su vida diaria, es decir, las aplicaciones y usos que estos conocimientos pueden tener en su devenir.

El documento comienza con una explicación acerca de las problemáticas de aprendizaje de la electroquímica, las cuales están inmersas en el compromiso de enseñanza de las ciencias, y que se originan en parte por los métodos tradicionales de enseñanza, y su desconexión con los procesos de aprendizaje de los estudiantes. Como una de las soluciones propuestas a esta problemática surge la alfabetización científica, la cual busca formar ciudadanos capaces de decidir adecuadamente en una sociedad inmersa de desarrollos científicos y tecnológicos, pero para ello, se debe adquirir los conocimientos científicos y los metaconocimientos de la ciencia. Estos metaconocimientos se denominan Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT).

Luego se delimitó el problema de la investigación y sus objetivos, en torno al diseño y aplicación de una SEA sobre corrosión de metales e implicaciones en la sociedad, basada en los metaconocimientos de la ciencia para que propenda al desarrollo de la habilidad de toma de decisiones, y lograr que esta sea aplicada en contextos cotidianos. Delimitado el problema de investigación, a continuación, se presentan los antecedentes y el marco teórico que sustentan la presente investigación, y que contienen los conocimientos necesarios para el diseño de la SEA y el trabajo experimental sobre síntesis de polipirrol sobre acero 1020 utilizando ácido oxálico como electrolito soporte y su correspondiente caracterización. Siendo el marco teórico, base para el análisis de los resultados obtenidos en cada componente. En seguida, se presenta la metodología que consiste en un enfoque mixto y diseño cuasiexperimental, distinguiéndose tres etapas dentro de la metodología: fundamentación conceptual y metodológica, diseño de la SEA y la evaluación del alcance de la SEA frente a la habilidad de toma de decisiones; y así analizar el cumplimiento de los objetivos propuestos a lo largo del trabajo con las correspondientes conclusiones sobre la investigación.

## 1. JUSTIFICACIÓN

La Electroquímica es uno de los temas más difíciles de abordar dentro de los cursos de Química correspondientes a los planes de estudio (De Jong, Acampo, & Verdonk, 1995), y de las temáticas menos trabajadas en la didáctica de la química. La Electroquímica para su enseñanza es frecuentemente dividida en dos grandes temas: reacciones redox y celdas electroquímicas (De Jong & Treagust, 2002). Con relación a las reacciones redox, según De Jong *et al.* (1995), la deficiencia de aprendizaje radica en que el alumno no domina ni entiende claramente los conceptos de transferencia de electrones, identificación de los reactivos como agentes oxidantes o reductores, números de oxidación y sus valores, balanceo de ecuaciones redox, y fuerza relativa de los agentes oxidantes y reductores, entre otros; a su vez, la investigación ha sido ampliada por De Jong & Treagust (2002), quienes han encontrado las siguientes dificultades en el entendimiento de las reacciones de óxido reducción:

- a) Conceptuales: en torno a la dependencia mutua de las reacciones de óxido-reducción, el significado del número de oxidación, el proceso de transferencia de electrones, la carga del ánodo y el cátodo en las pilas electroquímicas. A partir de allí se señalan los obstáculos que existen para comprender la conducción de la electricidad, la neutralidad eléctrica en la electricidad, identificar el ánodo y cátodo en una pila y sus respectivas cargas, dificultades más relacionadas a la temática de las celdas o pilas electroquímicas.
- b) Procedimentales, en relación a la identificación de reactantes como agentes oxidantes o reductores y de ecuaciones químicas, en términos de óxido-reducción.
- c) Componente instrumental y algorítmico: al cual muchas veces se reduce su enseñanza, favoreciendo así actividades hacia la memorización de los números de oxidación, el balanceo de ecuaciones y la resolución de ejercicios cuantitativos, con una débil comprensión conceptual.

En cuanto a las dificultades relacionadas con las pilas electroquímicas, se encuentra la dificultad de predecir los productos y la magnitud de diferentes potenciales en las celdas galvánicas, el potencial redox y espontaneidad de la reacción electroquímica. Vasini & Donato (2001) afirman que generalmente las dificultades en dicho contenido se presentan en la identificación del marco conceptual y físico, común entre celdas electrolíticas y galvánicas, así como las asociadas a las propias reacciones de óxido-reducción, iones responsables del transporte de la corriente eléctrica a través de la solución y del puente salino o con la interpretación de las cargas asignadas a cada electrodo. Estos temas son necesarios para entender la diversidad de contenidos temáticos que aborda la electroquímica, como lo son por

ejemplo los fenómenos de corrosión y electrólisis, o los métodos electroanalíticos de análisis y de síntesis.

Observándose este panorama, es aún más preocupante ver que en muchos cursos de química en instituciones educativas de Educación Superior, para programas académicos en donde se labora y se estudian materiales, como la ingeniería civil o mecánica, no se cubre adecuadamente esta temática, ya que no se relaciona la Química con su especialidad, y no se le atribuye toda la importancia que se requiere (Villalonga, García, Menéndez, & Falls, 2009), siendo fundamental para que estos futuros profesionales logren comprender procesos estudiados por la electroquímica, como lo es la corrosión, la cual puede llegar a afectar negativamente las estructuras o máquinas fabricadas.

Sumado a lo descrito anteriormente, las metodologías convencionales de enseñanza, las cuales se fundamentan aún en la transferencia de contenidos a través de la memorización de información, el hacer consultas o responder talleres y las herramientas tradicionales de evaluación se limitan en principio a comprobar en qué medida se ha “aprendido” o quizá cuanto se ha memorizado, no son apropiados para enseñar ciencias en la actualidad, imposibilitando un aprendizaje real de los conocimientos.

Por ello, es necesario un cambio para promover una enseñanza de las ciencias, que les permita a los estudiantes no solo aprender los conceptos de la ciencia, sino que les dé sentido a esos conocimientos. Y es en ese marco, en donde la didáctica de las ciencias ha desarrollado diferentes formas para lograr dar relevancia a los conocimientos científicos, siendo uno de ellos la alfabetización científica, la cual parte de una necesidad perentoria para que la ciudadanía alcance una comprensión básica sobre ciencia y tecnología, que sea útil para tomar y participar en dichas decisiones, con independencia de que las trayectorias futuras, académicas y profesionales, estén, o no, relacionadas con la ciencia y la tecnología. (DeBoer, 2000 citado por Vásquez Alonso & Manassero Mas 2012).

La necesidad de alfabetizar científica y tecnológicamente a la sociedad se justifica por razones socioeconómicas, culturales, de autonomía personal, utilidad para la vida cotidiana, democráticas para la participación social en las decisiones sobre asuntos de interés público relacionados con la CyT, etc. (Vázquez, Acevedo & Manassero, 2005, como se citó en Vásquez Alonso & Manassero Mas, 2012), la razón ética de la responsabilidad social que asumen científicos, técnicos, políticos y ciudadanos, en general (Jenkins, 1997). Por estas razones, la alfabetización en ciencia y tecnología se convierte en el objetivo básico y prioritario de una educación inclusiva y para todos. Las implicaciones de esta afirmación llevan a que la enseñanza de las ciencias no puede ceñirse al mero conocimiento científico y tecnológico, sino que los objetivos educativos deberán tener un enfoque más holístico (p. e. desarrollo de competencias) y auténtica relevancia social, incluyendo los valores éticos y democráticos.

La alfabetización científica de la población tiene dos componentes principales: aprendizaje de la ciencia (contenidos de conocimientos y procesos), y aprendizaje acerca de la ciencia (contenidos sobre qué es la ciencia) (Vásquez Alonso, Manassero Mas, & Bennàssar Roig, 2013). Este segundo componente de la alfabetización se denomina naturaleza de la ciencia y tecnología (NdCyT) y constituye el reto más innovador y arduo para los profesores de ciencias. La NdCyT aporta a la apropiación crítica del conocimiento científico y a la generación de nuevas condiciones y mecanismos que promuevan la formación de actitudes hacia la ciencia y el conocimiento científico, a partir de la comprensión y el interés hacia la ciencia y la toma de decisiones frente al conocimiento científico, entre otros.

Finalmente, como soporte del primer componente de la alfabetización científica (aprendizaje de la ciencia), los investigadores desarrollaron una actividad experimental, que consistió en la síntesis electroquímica de recubrimientos poliméricos, estos actúan como método de protección de metales. Con la realización de esta técnica de síntesis, se buscó retomar componentes teóricos útiles en la SEA, sobre todo los relacionados a los contextos donde se puede aplicar estas películas. Además, permitió ampliar la comprensión de la temática de corrosión a los investigadores.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La corrosión es tal vez el fenómeno químico más complejo que existe para la industria y para la metalurgia, debido al impacto sufrido en la infraestructura civil, conformada por las estructuras y sus materiales de ingeniería que la componen, especialmente los diversos metales y aleaciones, expuestos en los cuerpos de agua, el suelo y la atmósfera (Valdez Salas & Schorr Wiener, 2013). Solamente para la economía de los Estados Unidos el costo de la corrosión se estima en más de 100 mil millones de dólares anuales (Chang, 2010). Por ello, se requiere que los profesionales cuyo desempeño laboral se de en el manejo de materiales susceptibles a corrosión, comprendan a profundidad este proceso electroquímico, para que puedan así tomar decisiones para prevenirla o remediar los daños ocasionados.

Sin embargo, para que los estudiantes logren comprender teóricamente la corrosión o cualquier temática, debe buscarse una contextualización, para que se apropien de esos conocimientos y los retomen en su quehacer diario. En el caso de este trabajo, se buscó que los estudiantes tomaran decisiones sobre algunas cuestiones en contextos específicos, acerca de la problemática de corrosión, para que aplicaran sus conocimientos.

Pero, para lograr contextualizar adecuadamente la temática y lograr un desarrollo de la habilidad de toma de decisiones, se puede utilizar las implicaciones de la Influencia de Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad en el marco de la Naturaleza de la Ciencia y Tecnología, para ejemplificar este fenómeno en contexto, a fin de discernir sobre la necesidad de solucionar en la vida diaria y construir la acertada toma de decisiones, y así, adquieran relevancia y valor en su desempeño profesional futuro.

### **2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿En qué medida la implementación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje estructurada en el ciclo de aprendizaje 7E, promueve el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones de un grupo de estudiantes de segundo semestre de ingeniería mecánica de la Universidad ECCI, al abordar situaciones asociadas al proceso de corrosión y los métodos de protección de metales?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los alcances de la SEA estructurada en el ciclo de aprendizaje 7E, frente a la habilidad de la toma de decisiones al abordar situaciones problema asociadas al proceso de corrosión y los métodos de protección de metales en el marco de la influencia de la Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Sintetizar y caracterizar por técnicas electroquímicas películas de polipirrol sobre electrodos de acero 1020 para definir el componente conceptual y metodológico de la SEA.

Diseñar una SEA para el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones desde la perspectiva de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT) en términos de la influencia de la Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad.

Analizar el grado de desarrollo de la habilidad de toma de decisiones alcanzado por los estudiantes a partir de las actividades con carácter evaluativo de la SEA y del cuestionario COCTS.

#### 4. ANTECEDENTES

A partir de las dificultades en el aprendizaje de conceptos, evidenciadas en los estudiantes de química, autores como Acevedo Díaz, Vásquez Alonso, Manassero, & Acevedo Romero (2007) plantean que es necesario que los currículos de ciencias dejen de centrarse principalmente en contenidos conceptuales y se dé importancia a la formación de la ciencia misma. Pero son pocos los trabajos referentes a la enseñanza - aprendizaje de la electroquímica que han optado por este enfoque y se evidencia que un gran número de investigaciones toman posturas desde, dónde partir y cómo trabajar los contenidos de electroquímica, a partir de conceptos estructurantes y teniendo diferentes metodologías de enseñanza como: cambio conceptual, ABP, aprendizaje por investigación, entre otras.

En la revisión bibliográfica realizada se hace una recopilación de trabajos sobre enseñanza y aprendizaje en electroquímica. Para comenzar se distinguen investigaciones enfocadas a la enseñanza de conceptos asociados a la temática, destacándose el reconocimiento del ánodo y del cátodo de una pila, las especies químicas participantes en las reacciones de oxidación - reducción en los electrodos; la aplicación de la Ecuación de Nernst y el cálculo de la FEM estándar de la celda, en Vera, Montiel, Stoppello, & Giménez (2011); al igual que Pérez (2016) quien trabaja estos conceptos utilizando la estrategia del aprendizaje basado en problemas (ABP); Rojas, (2012) aplica la metodología de investigación orientada para la enseñanza del tema de oxidación donde está inmersa la temática de electroquímica; por su parte, Atienza (2017) aborda los conceptos mencionados anteriormente en conjunto con experiencias prácticas de laboratorio pero, además, la autora plantea una serie de competencias a desarrollar al igual que los trabajos que se mencionan a continuación.

Con respecto al desarrollo de competencias, se destaca Camacho (2011) que a través del empleo de la historia de la ciencia promueve la explicación, como una competencia científica, por medio de una unidad didáctica para la enseñanza y aprendizaje de la teoría electroquímica.

Por último, se encuentran investigaciones centradas en la indagación de dificultades de los estudiantes como el de Martínez Delgado (2013) donde trabaja ideas previas de estudiantes de educación media a partir de su percepción sobre conceptos referentes a la temática de electroquímica, e identificando modelos de explicación de fenómenos electroquímicos de acuerdo con su desarrollo histórico.

Por otra parte, se hace referencia a las investigaciones que aportaron al montaje experimental para la síntesis electroquímica de polipirrol sobre acero 1020 en acetonitrilo y ácido oxálico como electrolito soporte, recopilando información sobre las condiciones necesarias para síntesis electroquímica como lo son: las concentraciones de pirrol y electrolito soporte, y parámetros eléctricos (ventana de potencial, velocidad de barrido, número de ciclos).

En la investigación realizada por Zhou & Heinze (1999) titulada: *Electropolymerization of pyrrole and electrochemical study of polypyrrole. 3. Nature of "water effect" in acetonitrile*; se hace una revisión del mecanismo de electropolimerización del pirrol en acetonitrilo cuando a este último se le adiciona una pequeña cantidad de agua, ya que facilita la síntesis de polipirrol. Sobre la base del mecanismo que implica la formación catalizada por el ácido de un trímero de pirrol, 2,2'-(2,5 pirrolidinodiilo)dipirrol y su posterior electropolimerización que conduce a la pasivación del electrodo, se propone que el agua, una base bastante fuerte en acetonitrilo, previene la formación de este trímero catalizado por ácido mediante la captura de protones liberados por la reacción.

En el estudio de Viau, y otros (2014) denominado: *full characterization of polypyrrole thin films electrosynthesized in room temperature ionic liquids, water or acetonitrile*. El pirrol fue oxidado electroquímicamente en dos medios (agua y acetonitrilo) y en tres líquidos iónicos a temperatura ambiente: Hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio, 1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide, and 1-butyl-1-methylpyrrolidinium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide. Se obtuvo como resultado, que las láminas de polipirrol sintetizadas, al mismo potencial, en líquidos iónicos eran más delgadas y tenían menor rugosidad que las sintetizadas en otros solventes.

En la investigación de Tietje-Girault, Ponce de León & Walshb (2007) titulado: *"Electrochemically deposited polypyrrole films and their characterization"*, las láminas de polipirrol se depositaron a 295 K en acetonitrilo anhidro, acetonitrilo/H<sub>2</sub>O y soluciones acuosas de NaBF<sub>4</sub> sobre platino, discos de acero al carbono y acero inoxidable, utilizando voltametría cíclica, técnicas potencioestáticas y galvanostáticas. La voltametría cíclica de las láminas de polímeros se estudió en función del contenido de agua del disolvente de acetonitrilo, la concentración de polipirrol y la velocidad de barrido potencial. Las láminas bien adherentes y conductoras se depositaron a un potencial constante en soluciones revueltas con electrolitos de acetonitrilo que contienen 1% (v/v) de agua.

En la investigación realizada por Downard & Pletcher (1986) nombrada: *"The influence of water on the electrodeposition of polypyrrole in acetonitrile"*, estudian la oxidación anódica del pirrol a películas de polipirrol sobre una superficie de platino en acetonitrilo con tetrafluoroborato de tetrabutilamonio que contiene 0, 0.1, 1.0 y 10 mol dm<sup>-3</sup> de agua agregada. Se muestra que las respuestas dependen en gran medida de la concentración de agua y que la forma de la respuesta se puede correlacionar con la calidad de la lámina resultante.

## 5. MARCO TEÓRICO

A continuación, se fundamenta teóricamente esta investigación, partiendo de la conceptualización de secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA), al ser el principal resultado de este trabajo, y se finaliza, haciendo alusión a la síntesis electroquímica de polipirrol.

### 5.1 SECUENCIAS DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE (SEA)

Una Secuencia de Enseñanza – Aprendizaje (SEA) es un conjunto articulado de actividades de enseñanza-aprendizaje sobre el tema elegido, basadas en las prescripciones de la investigación y adaptadas al nivel evolutivo y a las pautas de las reacciones esperadas de los estudiantes (Buty, Tiberghien, & Le Maréchal, 2004). La SEA contiene un paquete de intervenciones curriculares, que constituyen, a la vez, una actividad de investigación (prueba unas actividades y un diseño) y un producto (resultados de aprendizaje previstos). Una SEA debe incluir la descripción de actividades de enseñanza-aprendizaje (bien fundamentadas en la investigación), actividades empíricamente adaptadas al nivel evolutivo de los estudiantes y pautas que prevén reacciones esperadas de los estudiantes (Vásquez Alonso *et al.*, 2013). Las secuencias de enseñanza-aprendizaje se encuentran diseñadas en estructuras didácticas que permiten a los estudiantes construir sus propios aprendizajes sobre las ideas que se quieren enseñar (Vásquez Alonso, Manassero Mas, & Bennàssar Roig, 2013). La estructura didáctica desarrollado en este trabajo fue el ciclo de aprendizaje 7E.

### 5.2 EL CICLO DE APRENDIZAJE 7E

Es un modelo cíclico de aprendizaje, cuya estructura didáctica propuesta por Eisenkraft (2003), permite desarrollar adecuadamente los requisitos esenciales para el aprendizaje de los estudiantes mediante cada uno de los componentes que se describen a continuación:

- Extraer-Elicitar: hacer emerger las concepciones previas de los estudiantes, para diagnosticar las necesidades de los estudiantes en las próximas fases.
- Envolver: motivar e involucrar a los estudiantes, despertar su interés y curiosidad, teniendo en cuenta también su diversidad.
- Explorar: progresar en la comprensión a través de las actividades de aprendizaje (diseñar proyectos o experimentos, resolver problemas, tomar y analizar datos, sacar conclusiones, desarrollar hipótesis, hacer predicciones, discutir temas, etc).
- Explicar: usar conceptos, terminología, hechos, leyes, etc. para interpretar y reforzar los resultados de la fase de exploración.
- Elaborar: transferir y aplicar el aprendizaje a nuevos dominios del entorno próximo (proponer preguntas o resolver problemas nuevos).

- Extender: transferir y aplicar el aprendizaje a nuevos dominios, cuestiones y contextos más lejanos de los estudiantes (creatividad).
- Evaluar: aplicar métodos e instrumentos de evaluación formativa a todos los aspectos relevantes del aprendizaje.

Esta secuencia se desarrolló desde la perspectiva de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT), en términos de la influencia de la Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad, ya que esta categoría de la NdCyT permite fomentar la habilidad de toma de decisiones, al establecer las condiciones necesarias para resolver problemas entre la ciencia y el contexto social.

### **5.3 NATURALEZA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA (NDCYT).**

La NdCyT se refiere a un conjunto de cuestiones de historia, filosofía y sociología de Ciencia y Tecnología, es decir, a las relaciones que se establecen entre la ciencia, la tecnología y la sociedad (CTS). NdCyT es un conjunto de metaconocimientos sobre la Ciencia y la Tecnología (CyT) (Abd-El-Khalick & Akerson, 2009), las cuales se han originado de las reflexiones interdisciplinarias realizadas por los especialistas en filosofía, sociología e historia de la CyT, así como por algunos científicos y expertos en didáctica de las ciencias, sobre:

qué son CyT y cómo se relacionan, cuál es su funcionamiento interno y externo, los métodos que emplea para construir, desarrollar, validar y difundir el conocimiento que produce, los valores implicados en las actividades científicas, las características de la comunidad científica, los vínculos entre ciencia y tecnología, las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y, viceversa, las aportaciones de éste a la cultura y progreso de la sociedad (Vásquez Alonso, Manassero Mas, Acevedo Díaz, & Acevedo Romero, 2007).

Las respuestas a las preguntas señaladas en el párrafo anterior delimitan la funcionalidad de la naturaleza de la ciencia en torno a aspectos de muy diversa índole, tales como: la evolución del conocimiento científico, la comprensión y el interés hacia la ciencia, la toma de decisiones frente al conocimiento científico, la reducción de la ansiedad en la enseñanza y la cualificación de los procesos de enseñanza-aprendizaje (Tamayo & Orrego, 2005). La importancia de la NdCyT en la educación en ciencias se centra en ubicar la reflexión sobre la ciencia y el quehacer científico en el aula de clase.

Sin embargo, entre los especialistas han existido controversias y debates sobre la falta de acuerdo para definir las creencias que tienen suficiente consenso para ser enseñadas en el currículo de ciencias como contenidos más adecuados de NdCyT. Este es el origen de una de las grandes dificultades para el ingreso de los contenidos de NdCyT en la educación científica. A pesar de su complejidad, existe una línea de investigación que ha identificado múltiples consensos (adecuados e ingenuos)

empleando una metodología empírica mediante el Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia-Tecnología-Sociedad (COCTS). Este cuestionario es un banco de 100 cuestiones que ha sido traducido y construido como adaptación al contexto cultural español a partir de los cuestionarios Views on Science, Technology and Society – VOSTS- (Vásquez Alonso & Manassero Mas, 2013). Las cuestiones son independientes entre sí, y pueden usarse de modo flexible y abierto, para evaluar las opiniones/actitudes acerca de temas de ciencia-tecnología-sociedad, naturaleza, epistemología y sociología de la ciencia (CTS/NdC). Estas cuestiones averiguan sobre las dimensiones de la NdCyT y se agrupan las diferentes cuestiones examinadas a saber: definiciones de ciencia y tecnología, y de sus relaciones mutuas, epistemología de la ciencia, influencia de la sociedad sobre la ciencia y la tecnología, influencia de la ciencia y la tecnología sobre la sociedad, educación en ciencia y tecnología, y sociología interna de la ciencia y tecnología (Vásquez Alonso *et al.*, 2012).

Este instrumento usa el método respuesta múltiple y permite caracterizar las actitudes de los estudiantes como: adecuadas (si la frase expresa un punto de vista apropiado o informado), plausibles (aunque la frase no es completamente adecuada la proposición expresa algunos aspectos aceptables) o ingenuas (la frase expresa una opinión desinformada) en relación a una serie de afirmaciones frente una cuestión presentada, ante las cuales los estudiantes indican el grado de acuerdo que ésta les genera; de esta forma es posible evaluar el grado de información sobre la ciencia, tecnología y sociedad (Vásquez Alonso & Manassero Mas, 2013).

Un factor de complejidad de los rasgos de NdCyT es su mutua relación, de modo que su aprendizaje debe ir más allá de la pura memorización (la ciencia es...) para requerir procesos de reflexión y convicción (la ciencia es... pero también es... y en determinadas situaciones podría ser...etc.). Estas demandas coinciden con las exigencias de las destrezas del Pensamiento Crítico (apertura de mente a ideas opuestas), y de ahí la conexión entre ambos que pretende desarrollar este proyecto: enseñar Pensamiento Crítico (PC) desarrolla comprensión de NdCyT y aprender NdCyT desarrolla destrezas de PC (Vásquez Alonso & Manassero Mas, 2012). En general, los contenidos de NdCyT deben enseñarse habitualmente integrados en el currículo escolar de ciencia y tecnología.

De esta perspectiva, se puede afirmar que la enseñanza de los temas de NdCyT en el contexto de la enseñanza de la ciencia es un espacio adecuado para el desarrollo del Pensamiento Crítico y por consiguiente de las habilidades que este pensamiento conlleva en los estudiantes, entre ellos el de la toma de decisiones.

### **5.3 PENSAMIENTO CRÍTICO**

El pensamiento crítico puede ser definido como el pensamiento reflexivo razonable que se centra en decidir qué creer o hacer (Ennis, 1991). Para Lara Coral (2012), el pensamiento crítico permite procesar y relaborar la información que recibe, disponer

de una base de sustentación de sus propias creencias, posibilitando una actividad intelectual, tendiente a conseguir objetivos de manera eficaz, no tan sólo en el ámbito académico sino también en la vida diaria. En una definición más concreta, Gómez (2015) considera al pensamiento crítico como una actitud intelectual que tiene como objeto de pensamiento el análisis y la evaluación de la estructura y consistencia de los razonamientos, especialmente las opiniones o afirmaciones que las personas aceptan, en general, como verdaderas en el contexto de la vida cotidiana.

Partiendo de estas concepciones, se podría considerar al pensamiento crítico como un elemento central en la didáctica de las ciencias en general y particular de la química, ya que es fundamental para la formación de sujetos y comunidades que piensen y actúen críticamente con los aprendizajes adquiridos en la escuela o colegio, relevando la enseñanza y aprendizaje de principios, conceptos y teorías de un determinado campo disciplinar a un plano de menor categoría (Tamayo Álzate, Zona López, & Loaiza Zuluaga 2014, pág. 17). Al desarrollarse el Pensamiento Crítico en los estudiantes, se logra que ellos sean capaces de resolver problemas y de tomar decisiones bien informadas sobre Ciencia y Tecnología.

Para fomentar el pensamiento crítico, se requiere el desarrollo de habilidades de pensamiento superior, tales como: identificar los elementos de un razonamiento (razones y conclusiones); identificar y evaluar suposiciones y valores implícitos; clarificar e interpretar expresiones e ideas; juzgar la aceptabilidad y credibilidad de las afirmaciones; evaluar argumentos de diferentes tipos; analizar, evaluar y producir explicaciones; analizar, evaluar y tomar decisiones; extraer inferencias, conclusiones o generalizaciones; poner a prueba las propias conclusiones; producir argumentos; reconocer y resolver problemas; recoger y ordenar información pertinente; comprender y usar el lenguaje con claridad, precisión y discriminación; apreciar e interpretar datos y pruebas; reconocer las relaciones lógicas entre proposiciones; reconstruir las creencias propias con base en la experiencia, etc. (Glaser, 1941, citado por Fisher, 2009). Estas habilidades de pensamiento crítico son fundamentales para tener éxito en el aprendizaje de las ciencias, puesto que contribuyen a mejorar la comprensión de las mismas, con el propósito de ser competente en la resolución de problemas y en la toma de decisiones, en el contexto de las relaciones de influencia mutua entre la Ciencia y la Tecnología y la Sociedad (Barak, Ben-Chaim y Zoller, 2007 citado por Vieira, Terneiro Vieira, & Martins, 2011).

Del listado anterior, quizá el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas en el aula de clase es la más compleja, ya que es una actividad general que integra todas las habilidades de pensamiento crítico existentes. En muchas ocasiones esos "problemas" son de decisión, por lo que es muy importante fomentar la habilidad de toma de decisiones, ya que ésta habilidad fundamental forma parte de todo proceso de solución de problemas, por lo que es tan esencial y posee tal autonomía que impone un tratamiento separado (Saiz & Rivas, 2008). La toma de decisiones requiere una actitud cuidadosa que implica el uso de conocimientos relevantes, la

conciencia, el compromiso con los valores y la capacidad de transformar actitudes. Para decidir se necesita valorar las ventajas y las desventajas de las diferentes opciones, así como su probabilidad de ocurrencia; los juicios de valor y probabilidad son el núcleo de las buenas decisiones (Saiz, 2011).

Para Zoller (citado por Torres Merchán, 2011), los currículos deberían ser estructurados con las condiciones necesarias para la toma de decisiones, lo que implica hacer:

- un reconocimiento del problema,
- comprender la esencia del conocimiento de hechos y conceptos,
- evaluar la importancia y el significado de las posibles soluciones,
- realizar un procesamiento de solución al problema que involucra: la selección y el análisis de los datos, la evaluación de la fuentes de información utilizadas, la planificación de estrategias, el establecimiento de juicios, la propuesta de nuevas opciones, la toma de decisiones, la acción de acuerdo a la decisión tomada con responsabilidad.

Por otra parte, y siguiendo la línea de las habilidades de pensamiento crítico, se encuentra que la identidad entre habilidades de Pensamiento Crítico (PC) y habilidades de pensamiento científico son avaladas por los contenidos similares de ambas, como enuncia Manassero Mas (2015) a continuación:

La comparación de las habilidades del Pensamiento Crítico (PC) con las competencias atribuidas a los científicos por los estudios de sociología de la ciencia y vida en el laboratorio o las controversias para aceptar y rechazar teorías científicas en filosofía de la ciencia, pone de manifiesto la coincidencia entre el pensamiento de los científicos y las destrezas del PC. Esta coincidencia hace que la educación científica sea un contexto apropiado para educar el PC de los estudiantes, y viceversa, el PC mejora el aprendizaje de la ciencia (obviamente, en todos los casos, destrezas adaptadas al nivel evolutivo de los estudiantes). La identidad entre PC y pensamiento científico también viene sugerida y reforzada por las similitudes entre los instrumentos para evaluar PC y evaluar pensamiento científico, es decir, la forma de evaluar los métodos, estrategias, valores y prácticas a través de los cuales los científicos construyen y validan conocimiento, que como se ha citado ya también recibe el nombre de naturaleza de ciencia y tecnología (NdCyT).

En el caso particular de este trabajo de grado, se buscó evaluar si la SEA diseñada permitió el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones, para ello, se utilizó el fundamento de la NdCyT, y se conectó a la temática de corrosión, ya que sus implicaciones tanto sociales como tecnológicas evidencian la conexión entre ciencia, tecnología y sociedad, y requiere de especial interés en la muestra seleccionada. Por esta razón, sumada a la del desarrollo experimental de síntesis de películas anticorrosivas (fundamentación teórica para la SEA), a continuación,

se desarrolla un pequeño marco conceptual acerca de la electroquímica, la corrosión y la técnica de síntesis empleada.

## 5.4 ELECTROQUÍMICA.

La electroquímica se encarga de estudiar los cambios químicos que producen la corriente eléctrica y la generación de electricidad mediante reacciones químicas. El estudio de la electroquímica permite evidenciar varios aspectos de las reacciones químicas, así como medir la cantidad de energía eléctrica que se produce o se consume. Todas las reacciones electroquímicas comprenden la transferencia de electrones y, por tanto, son reacciones de oxidación-reducción. (Whitten, Davis, Peck, & Stanley, 2008). Procesos como la corrosión, el funcionamiento de las pilas y las baterías de los autos se fundamentan en algún tipo de reacción redox. En la Ilustración 1, se presentan los principales conceptos asociados y aplicaciones de esta temática.

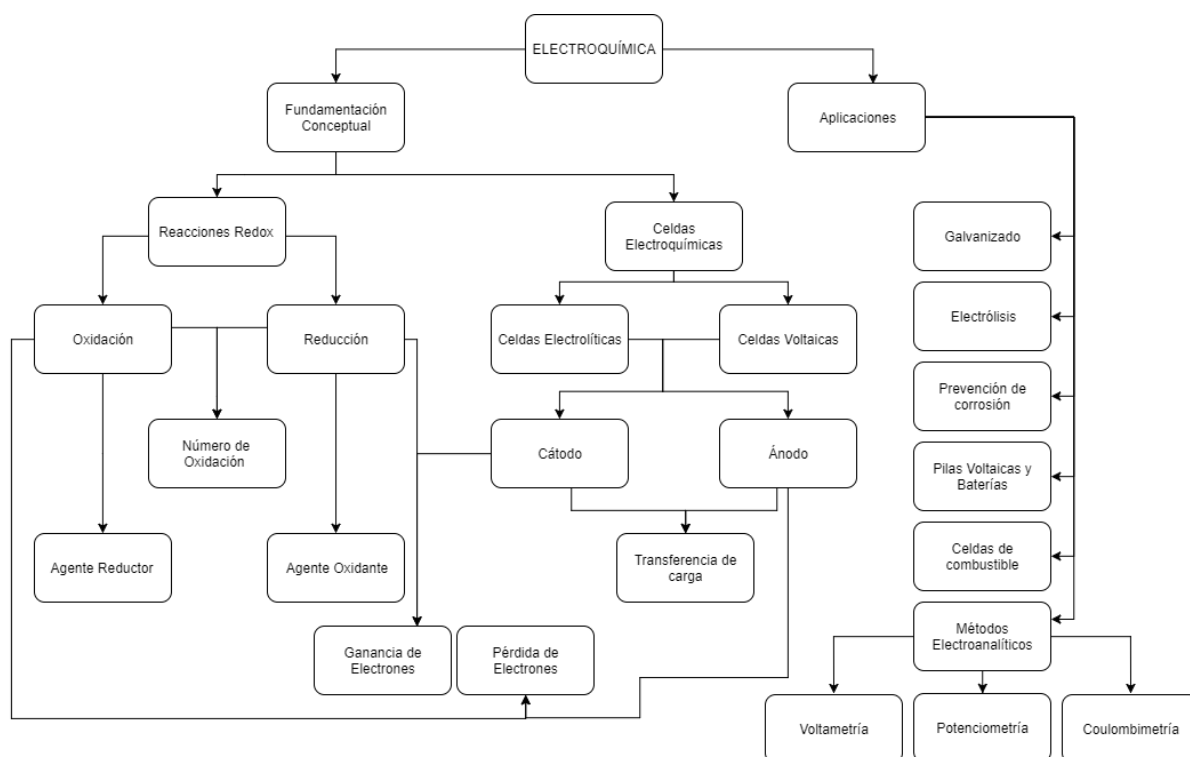


Ilustración 1. Conceptos generales de electroquímica y sus aplicaciones. Fuente Propia.

La electroquímica es importante en variadas aplicaciones científicas, tecnológicas e industriales, y es por esto que los procesos electroquímicos se encuentran en diferentes áreas, como por ejemplo en las síntesis industriales, la producción y purificación de metales, los estudios de corrosión, la investigación de las baterías, la galvanoplastia, y los métodos analíticos cuantitativos (Vassos & Ewing, 1998), los cuales se basan en las propiedades eléctricas de una solución de analito cuando

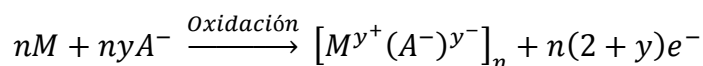
forma parte de una celda electroquímica, a esto último se denomina química electroanalítica. Existe una amplia variedad de métodos electroanalíticos, siendo los más comunes la potenciometría, la coulombimetría y la voltametría, y en la actualidad la voltamperometría o voltametría cíclica.

#### 5.4.1 Deposición electroquímica de películas de polipirrol.

El polipirrol es uno de los materiales poliméricos pertenecientes al grupo de los "polímeros electroconductores", que poseen tanto conductividad iónica como electrónica, en otras palabras, es un material polimérico con conductividad electrónica originada en la especificidad de su estructura molecular (Gnozdenovic, Jugovic, Stevanovic, & Grgur, 2014). Este material tiene aplicaciones tanto como sensor como de protección contra la corrosión (Mollahosseini & Noroozian, 2009).

Este polímero puede ser sintetizado a partir de un método químico (oxidación química del monómero), o uno electroquímico (proceso heterogéneo que ocurre en el ánodo de una célula electroquímica), sin embargo, el método electroquímico tiene ventajas, ya que el monómero (pirrol) se oxida directamente en el ánodo, evitando el uso de un agente oxidante, lo que lleva a una mayor pureza del polímero (Gnozdenovic *et al.*, 2014). Además, al estar el polímero depositado (adherido) en el electrodo, su caracterización es más fácil de realizar (Gnozdenovic *et al.*, 2014).

El polipirrol es sintetizado a través de una electropolimerización, la cual consiste en la oxidación de su monómero y el crecimiento de una cadena del polímero en el ánodo de la celda electroquímica (Gnozdenovic *et al.*, 2014). En esta celda ocurre una transferencia de electrones, y la neutralidad eléctrica se mantiene por la migración de iones en la solución (Elgrishi *et al.*, 2018). A medida que los electrones se transfieren del electrodo al analito, los iones se mueven en solución para compensar la carga y cerrar el circuito eléctrico. En general, la síntesis de estos polímeros puede resumirse en la siguiente ecuación química:



*Ecuación 1. Reacción general de la síntesis de polímeros electroconductores.*

en donde M se refiere al monómero, y es el grado de dopaje (relación entre las cargas en el polímero y el número de unidades monoméricas), y A es una sal, llamada electrolito de soporte o dopante (Gnozdenovic *et al.*, 2014), el cual en la medida en que se produce la transferencia de electrones en los electrodos, migrará para equilibrar la carga y completar el circuito eléctrico. La conductividad de la solución depende de las concentraciones de la sal disuelta. La mezcla del solvente, el monómero y el electrolito de soporte se denomina comúnmente "solución electrolítica" (Elgrishi *et al.*, 2018).

De acuerdo a Elgrishi *et al.* (2018), una solución electrolítica debe tener un solvente que sea líquido a la temperatura del experimento, que disuelva al monómero y al dopante completamente a altas concentraciones, que además sea estable hacia la oxidación y la reducción en el rango de potencial del experimento, que no conduzca a reacciones perjudiciales con el monómero o el electrolito de soporte, y que se pueda purificar. Normalmente, para la síntesis de polipirrol en medios no acuosos se utiliza el acetonitrilo como solvente.

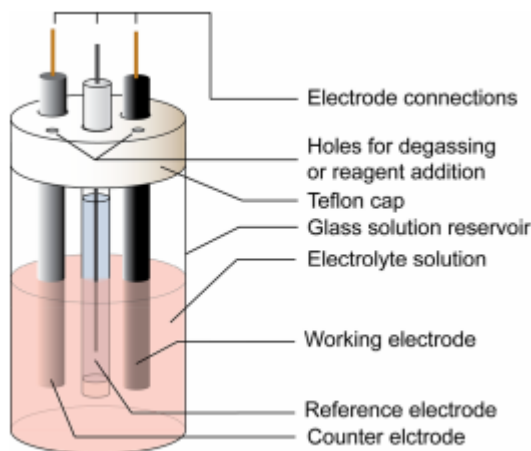
Por otro lado, el electrolito soporte o dopante, también permite cumplir el principio de electroneutralidad en la estructura del polímero, es decir, cumple la función de contraión (Fernández Otero, 2003). Un buen dopante según Elgrishi *et al.* (2018) tiene estas características:

- Es altamente soluble en el solvente escogido.
- Es química y electroquímicamente inerte en las condiciones del experimento.
- Puede purificarse.

Una gran concentración del electrolito soporte es necesaria para incrementar la conductividad de la solución, y así aumentar la transferencia de electrones; sin una adecuada concentración de este contraión disponible para lograr balance de carga, la solución desarrollará resistencia para transferir las cargas (Elgrishi *et al.* 2018). Además, una alta concentración del electrolito soporte, asegura limitar la migración del monómero, y así se desarrolle la película en la superficie del electrodo (Elgrishi *et al.* 2018). Los contraiones pueden ser de origen orgánico o inorgánico, y entre los que se destacan está el ion oxalato, perclorato, tetrabutilamonio, poliestirensulfonato (PSS), polifosfato, entre otros (Mollahosseini & Noroozian, 2009).

Para la síntesis de los polímeros de polipirrol, aparte del solvente y el electrolito, los otros componentes fundamentales son los electrodos con los que funciona la celda electrolítica, y la técnica electroquímica utilizada. Como se observa en la Ilustración 2, el sistema utiliza tres electrodos, un electrodo de trabajo (ánodo), un electrodo de referencia y un contraelectrodo (cátodo).

Ilustración 2. Representación de una celda electroquímica. Tomado de: (Elgrishi *et al.*, 2018)



El electrodo de trabajo es donde se realiza la electropolimerización. Se utiliza un potenciostato para controlar el potencial aplicado del electrodo de trabajo en función del potencial del electrodo de referencia. El aspecto más importante del electrodo de trabajo es que está compuesto de un material inerte redox en el rango potencial de interés (Elgrishi *et al.*, 2018). La naturaleza del electrodo influye en la facilidad de oxidación del monómero y, por otra parte, la deposición del polímero depende de la energía de la superficie del electrodo y de su naturaleza hidrófoba/hidrófila (Gnozdenovic *et al.*, 2014), sin contar que la polimerización al ocurrir en la superficie del electrodo de trabajo, es imperativo que la superficie del electrodo debe estar extremadamente limpia y su área de superficie bien definida. Por ello, el electrodo debe pulirse antes de realizar la síntesis (Elgrishi *et al.*, 2018).

Según Elgrishi *et al.* (2018) con relación a los electrodos de referencia:

El electrodo de referencia tiene un potencial de equilibrio bien definido y estable. Se utiliza como un punto de referencia contra el cual se puede medir el potencial de otros electrodos en una celda electroquímica. Por lo tanto, el potencial aplicado es típicamente reportado como "vs" una referencia específica. Hay algunos ensamblajes de electrodos comúnmente usados (y generalmente disponibles comercialmente) que tienen un potencial de electrodo independiente del electrolito usado en la celda. Algunos electrodos de referencia comunes utilizados en medios acuosos incluyen el electrodo de calomel saturado (SCE), el electrodo de hidrógeno estándar (SHE) y el electrodo de AgCl / Ag. Estos electrodos de referencia están generalmente separados de la solución por una frita porosa. Es mejor minimizar los potenciales de unión haciendo coincidir el disolvente y el electrolito en el compartimiento de referencia con el utilizado en el experimento (p.202).

Con relación al contraelectrodo, su propósito es completar el circuito eléctrico. La corriente se registra como un flujo de electrones entre el electrodo de trabajo

(electrodo al que se le aplica el potencial) y el contraelectrodo. Para garantizar que la cinética de la reacción que se produce en el contraelectrodo no inhiba la que se produce en el electrodo de trabajo, el área de superficie del contraelectrodo debe ser mayor que el área de superficie del electrodo de trabajo. Un alambre o disco de platino se usa típicamente como contraelectrodo, aunque también están disponibles contraelectrodos a base de carbono. Al estudiar una reducción en el electrodo de trabajo, se produce una oxidación en el contraelectrodo.

Finalmente, en consideración a la técnica electroquímica seleccionada para la síntesis de polímeros electroconductores, dependiendo de la utilizada se determinan algunas de las propiedades de los polímeros electroconductores dependen de la técnica electroquímica elegida (Gnozdenovic *et al*, 2014). Estas técnicas pueden ser clasificadas en galvanostáticas (se refiere a la formación de polímeros electroconductores a una velocidad constante (densidad de corriente); potenciostática (aplicación de un potencial constante positivo), y potenciodinámica (voltametría cíclica) (Gnozdenovic *et al*, 2014). Para la síntesis de polipirrol, normalmente se utiliza la voltametría cíclica.

La voltametría cíclica (o voltamperometría cíclica) es una poderosa y popular técnica electroquímica utilizada para investigar el proceso de oxidación y reducción de especies moleculares. (Elgrishi, y otros, 2018). Permite analizar sistemas electroquímicos complejos, tales como reacciones electroquímicas consecutivas, reacciones en fase homogénea de especies electroactivas, procesos de pasivación, fenómenos de adsorción, electrocatálisis, corrosión, etc. (Suárez Herrera, 2011). Consiste en hacer un cambio cíclico del potencial aplicado al electrodo de trabajo, con respecto al electrodo de referencia, desde un extremo de potencial  $E_i$  hasta otro  $E_f$  a una velocidad de barrido de potencial constante ( $v$ ) que es dada en voltios por segundo ( $V s^{-1}$ ), allí, el polímero formado en el ánodo cambia de su forma no conductora (de dopada) y conductora (dopada).

Al efectuar una síntesis por voltametría cíclica se obtiene como resultado un voltagrama cíclico, el cual es un gráfico que representa la corriente que pasa por el electrodo de trabajo en función de la diferencia de potencial eléctrico entre este y un electrodo de referencia durante la voltametría cíclica, tantos ciclos como se requiera (Suárez Herrera, 2011), o en otras palabras, representa la intensidad de corriente contra el potencial suministrado, por tanto, se pueden evidenciar picos de intensidad de corriente asociados a procesos redox. Estos picos pueden ser de tipo catódico o anódico, y en reacciones donde ocurran uno o más procesos redox se corresponderá con el mismo número de señales (Suárez Herrera, 2011).

Esto le brinda al metal no perder sus características y le permite protegerlo del proceso de corrosión.

### 5.4.2 Corrosión.

Es un proceso electroquímico, espontáneo, en donde ocurre una reacción de degradación de un metal (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos) con su entorno, que conlleva a un deterioro en sus propiedades. Al sufrir esta reacción, el metal transita de su estado elemental a su forma iónica, o combinada, cediendo electrones (oxidación).

La mayoría de los procesos de corrosión involucran reacciones de reducción-oxidación (reacciones electroquímicas), y, se genera cuando coinciden tres constituyentes: (1) unos electrodos (un ánodo y un cátodo), (2) un electrolito, como medio conductor, que en la mayoría de los casos corresponde de una solución acuosa, y (3) una conexión eléctrica entre los electrodos.

Para evaluar el fenómeno de corrosión en la superficie de un metal, se pueden utilizar diferentes métodos electroquímicos, entre ellos la técnica de extrapolación de Tafel, la cual proporciona una forma de determinar la velocidad de corrosión de una muestra metálica. Con las gráficas de Tafel, se puede determinar qué tipo de cinética controla la velocidad de la reacción electroquímica (control por activación o control por difusión). La dirección positiva del potencial del electrodo de trabajo, indica una condición de oxidación progresiva en dicho electrodo (curva de polarización anódica). La dirección positiva es también llamada dirección noble, porque los potenciales de corrosión de los metales más nobles, tal como el oro, son más positivos que los metales base no pasivos. La dirección negativa del potencial del electrodo de trabajo, a menudo llamada la dirección activa, está asociada con la reducción (curva de polarización catódica) y consecuentemente con los potenciales de corrosión de metales activos, tales como el magnesio.

Otra técnica muy utilizada para determinar el comportamiento corrosivo de un metal es la espectroscopia electroquímica de impedancia (EIS), la cual consiste en la aplicación de un potencial eléctrico de frecuencia variable al material estudiado y en la medición en el campo complejo de la intensidad resultante (Suárez Herrera, 2011).

De acuerdo con Bedoya & Calderón (2011), la EIS, provee información importante y útil para la estimación del desempeño de los recubrimientos, además, como es una técnica transiente, provee información acerca de la velocidad de los procesos que allí suceden y cuál de todos es el que controla el proceso de deterioro. Teniendo en cuenta esto, la impedancia electroquímica puede proveer información valiosa básicamente sobre los siguientes procesos:

- Hinchamiento del recubrimiento e incorporación (difusión) de iones en el recubrimiento, y la formación intrínseca de defectos tales como poros.
- Inicio de corrosión localizada en los focos de deterioro.
- Propagación de la corrosión bajo el recubrimiento, que puede deberse a reacciones anódicas o catódicas.

- Transporte del agua o medio a través del recubrimiento.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es mixto y su alcance es explicativo, ya que por medio de la aplicación de la secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA), se busca evaluar sus alcances en términos de la habilidad de pensamiento crítico de toma de decisiones, frente a situaciones problemas asociados al proceso de corrosión y métodos de protección de metales, en el marco de las actividades planteadas en la SEA. Por otra parte, al trabajar con grupos ya conformados antes de esta investigación hace referencia a un diseño cuasiexperimental.

### 6.2 MUESTRA POBLACIONAL

La SEA fue aplicada a veintidós estudiantes que se encontraban cursando la asignatura de Química I y Laboratorio, contemplada en el segundo semestre del plan de estudios de Ingeniería Mecánica en la Universidad ECCI. Sin embargo, para el análisis del trabajo solo se consideraron los resultados de doce estudiantes, quienes participaron en la aplicación de la SEA en su totalidad.

La muestra poblacional en consideración estaba compuesta de doce hombres entre 19 y 27 años de edad.

### 6.3 ETAPAS DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolla en tres (3) etapas que se denotan detalladamente a continuación en la Ilustración 3.

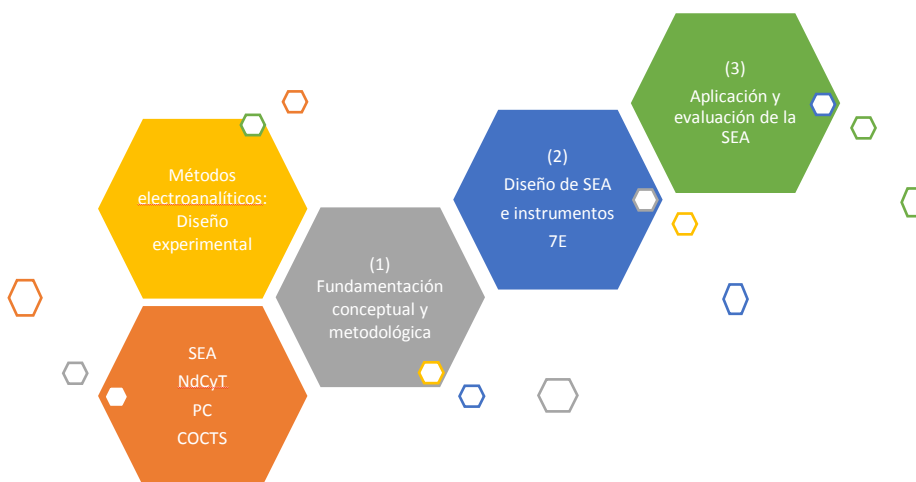


Ilustración 3. Etapas del desarrollo del proyecto.

### 6.3.1 Fundamentación conceptual y metodológica.

En este apartado, por una parte, se realizó una revisión detallada de artículos, libros y publicaciones que permitieron la construcción del planteamiento del trabajo de investigación y la consolidación de antecedentes y marco teórico, importantes en la etapa del diseño de la secuencia e instrumentos, y, por otra parte, se realizó el diseño experimental de un método electroanalítico de síntesis, en este caso de películas anticorrosivas de polipirrol a partir de la voltametría cíclica.

#### 6.3.1.1 Desarrollo experimental de un método electroanalítico.

Esta parte de la metodología consistió en la utilización de la voltametría cíclica como técnica electroquímica para la síntesis de polipirrol sobre láminas de acero 1020, para la protección de la corrosión de metales. Este trabajo experimental permitió a los investigadores conocer a profundidad el componente teórico de la corrosión y de un método de protección de metales, como lo son los recubrimientos. Además, se tenía como finalidad conocer la técnica de síntesis, tanto a nivel conceptual como procedimental, y de allí retomar componentes teóricos que se propendía utilizar en la SEA.

#### • Reactivos

El pirrol (Merck®) fue purificado por medio de destilación, y se mantuvo almacenado en un ambiente inerte de N<sub>2</sub>, sin contacto con la luz y en refrigeración. Ácido oxálico dihidrato (Merck®) puro. Acetonitrilo (ACN) grado HPLC con un porcentaje de pureza del 98 % y secado en tamiz molecular. Agua extra pura.

#### • Instrumentos

Las voltametrías cíclicas fueron realizadas en un potenciostato marca Autolab junto con su interfaz Nova. Para las técnicas de caracterización de las películas (Tafel y espectroscopía de impedancia), se utilizó un potenciostato Gamry. La celda electrolítica consistía en tres electrodos; un contraelectrodo en espiral de platino con un área mayor a 1cm<sup>2</sup>; un electrodo de referencia de Ag/AgCl en una solución de KCl; y un electrodo de trabajo que consistió en una lámina de acero 1020 con 1cm<sup>2</sup> de área, cuya composición química se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero 1020. Tomado de: Compañía General de Aceros S.A (2007).

Composición Química	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.18 – 0.23	0.3 – 0.6	0.04	0.05	0.15 – 0.3

Para la elaboración del electrodo de trabajo, se pulió una lámina de acero 1020, seguido de esto, se realizó un contacto con alambre de cobre por medio de una capa de esmalte de plata, y para finalizar, se hizo un recubrimiento con resina epóxica dejando solo una cara al descubierto. Cabe aclarar que, para dejar el electrodo en óptimas condiciones, fue necesario realizar el procedimiento que se enuncia a continuación hasta obtener una superficie homogénea libre de rayas y acabado espejo.

- **Preparación del electrodo de trabajo**

Antes de realizar la síntesis electroquímica de la película, se requirió una adecuada preparación de la superficie del electrodo de trabajo, con el fin de lograr una buena adherencia de la película sobre el electrodo. Para ello, se pulió utilizando una serie de 7 lijas de agua por 60 segundos cada una, con granos que oscilaron desde 400 (fino) hasta 2500 (extra fino). Posterior a este procedimiento, se realizó un micropulido con alúminas de 1.0, 0.3 y 0.05  $\mu\text{m}$  haciendo uso de un pad (almohadilla). Finalmente, para limpiar el electrodo de residuos de alúmina, éste se llevó a un baño de ultrasonido en etanol por 5 minutos y se secó con corriente de nitrógeno.

- **Preparación de la celda electroquímica**

En una celda de vidrio se adicionó 30 mL ACN (90% v/v de ACN con 10% de agua extra pura) que actúa como solvente, y Ácido Oxálico (electrolito soporte) obteniendo una disolución 0,3 M. Se llevó al ultrasonido hasta dilución total, y posteriormente se agregó pirrol, para obtener una disolución 0,15M de pirrol en ACN. Se tapó la celda, se insertaron los electrodos en sus debidas posiciones y se conectaron al potencióstato, acomodando la celda dentro de la caja de Faraday, finalmente la disolución se sometió a una corriente de  $\text{N}_2$  por 7 minutos para eliminar posibles agentes oxidantes antes de realizar la síntesis. Asimismo, se mantuvo la corriente de  $\text{N}_2$  durante la síntesis y caracterización de la película.

*Ilustración 4. Montaje de la celda electroquímica empleada para la síntesis y caracterización de películas de polipirrol sobre acero 1020.*



- **Electroquímica**

Las voltametrías cíclicas se realizaron según los parámetros especificados en la Tabla 2.

*Tabla 2. Parámetros específicos para la síntesis electroquímica durante la investigación.*

Electrodo de trabajo	Acero 1020
[Pirrol][Surfactante]	Pirrol 0,15M y Ácido Oxálico 0,3M

Velocidad de Barrido	50 mV·s <sup>-1</sup> 0,05 V·s <sup>-1</sup>
Ventana de potencial	0,3 a 0,9 V
Número de ciclos	Se especifica en los resultados de cada síntesis.

- **Técnicas de caracterización**

La caracterización electroquímica de las películas de polipirrol se realizó por medio de dos métodos: Tafel y Espectroscopía de Impedancia. Ambas en una dsIn al 3% m/v de NaCl.

### 6.3.2 Diseño de la secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) e instrumentos de evaluación

La SEA se elaboró con el apoyo de la revisión de antecedentes recopilados en la primera etapa de investigación, el marco teórico sobre NdCyT, el pensamiento crítico, la habilidad de toma de decisiones y el ciclo de aprendizaje 7E, siendo este último la estructura didáctica de trabajo de investigación, además del soporte teórico brindado por el desarrollo de la actividad experimental de síntesis electroquímica llevado a cabo. La secuencia de enseñanza-aprendizaje se desarrolló en torno a las principales características de corrosión y algunas técnicas de protección de corrosión en metales; temáticas articuladas mediante actividades que involucran la naturaleza de la ciencia, tecnología y sociedad, siendo éste un problema a solucionar debido a los daños que ocasiona en diversos equipos, herramientas y estructuras que se componen principalmente de metales como el acero, y ocasionando diferentes afectaciones. Muestra de ello es el desastre de Bhopal, en donde un descuido en el mantenimiento de la maquinaria para evitar el proceso de corrosión provocó una tragedia. La anterior temática permite desplegar cada una de las actividades de manera secuencial sin perder el hilo conductor y posibilitar el alcance de los objetivos propuestos de la SEA. A continuación, se describe cada una de las actividades de la SEA diseñadas según la estructura didáctica del ciclo de aprendizaje 7E.

**Extraer.** El objetivo de esta actividad fue reconocer los conocimientos que poseen los estudiantes acerca del fenómeno de la corrosión, sus causas y los posibles factores que detengan el proceso electroquímico. Para ello, el instrumento buscaba identificar esos conocimientos a partir de la selección de opciones de respuesta y toma de decisiones, basándose de dos fotografías que muestran el proceso corrosivo en la fábrica de Bhopal, para evidenciar de una manera contextualizada el problema. Se plantearon 4 numerales en la actividad ( Véase Anexo C), los cuales se describen a continuación:

- ¿Cuál es el fenómeno químico observado en las tuberías y los tanques contenedores utilizados en la fábrica?

Se busca identificar si los estudiantes reconocen el fenómeno de la corrosión en un contexto real, sin que éste sea nombrado explícitamente en la pregunta o en el texto introductorio.

- Seleccione con una X los materiales que considera pueden tener el mismo cambio que se observa en las ilustraciones.

<input type="checkbox"/>	Madera
<input type="checkbox"/>	Láminas de oro
<input type="checkbox"/>	Plástico
<input type="checkbox"/>	Acero
<input type="checkbox"/>	Láminas de platino
<input type="checkbox"/>	Aluminio
<input type="checkbox"/>	Acero inoxidable
<input type="checkbox"/>	Láminas de plata

En este numeral dos se pretende evidenciar a partir de la escogencia por decisión de los estudiantes, cuáles materiales son propensos a sufrir un proceso corrosivo. Se espera la selección de los materiales metálicos propensos a sufrir este proceso, representados por las opciones:

- Acero
  - Aluminio
  - Acero inoxidable
  - Plata
- Lea detenidamente las siguientes afirmaciones. Marque con una X cada una de las opciones que considere que podrían haber contribuido a generar el cambio en la tubería y en los tanques contenedores de la fábrica.

Se les preguntó a los estudiantes que escogieran cuáles son las condiciones que deben presentarse para que haya un proceso de corrosión. Es decir, se esperaba que ellos determinaran las posibles razones por las cuales se presentó corrosión en la maquinaria de la fábrica, evidenciada en las imágenes iniciales. En esta cuestión, se estimaba obtener todas las opciones seleccionadas como respuesta, ya que todas son posibles generadoras de corrosión, si se presentan condiciones específicas.

- Si usted como asesor de la fábrica tuviera que tomar una decisión acerca de la maquinaria que presenta esta condición, ¿qué decisión o decisiones tomaría para frenar este cambio? Más abajo encontrará enumeradas algunas opciones de decisión que puede tomar. Valore la importancia de cada una de las posibilidades, según su criterio científico. Utilice la siguiente escala de 5 puntos para categorizar sus opciones de decisión.

Decisión totalmente inoportuna	Decisión poco oportuna	Decisión algo oportuna	Decisión moderadamente oportuna	Decisión totalmente oportuna
1	2	3	4	5

Valoración	Decisión
	Ubicar la maquinaria en un ambiente inerte
	Reemplazar esa maquinaria por otra de diferente material, preferiblemente no metálica
	Revestir la maquinaria con recubrimientos o películas adheridas a la superficie del metal
	Pulir la superficie de las máquinas
	Seguir utilizando la maquinaria en el estado en el cual se encuentra

En este numeral se solicitó a los estudiantes que tomaran decisiones de acuerdo a sus conocimientos, actuando como asesores de una fábrica, sobre cómo se podía proteger el metal de la maquinaria que está sometido a las condiciones de corrosión severa. Aquí, los estudiantes debían categorizar un listado de opciones de protección a metales, de acuerdo a una escala de valoración tipo Likert, y así se recomendarían las más indicadas y las menos indicadas para la fábrica, según su criterio.

En este caso se esperaba que los estudiantes hubieran contestado según la Tabla 3.

*Tabla 3. Respuestas al numeral 4 del Test de identificación de ideas previas.*

Valoración	Decisión
1 o 2	Ubicar la maquinaria en un ambiente inerte
1 o 2	Reemplazar esa maquinaria por otra de diferente material, preferiblemente no metálica
4 o 5	Revestir la maquinaria con recubrimientos o películas adheridas a la superficie del metal
2 o 3	Pulir la superficie de las máquinas
1 o 2	Seguir utilizando la maquinaria en el estado en el cual se encuentra

**Envolver.** En esta parte de la SEA ( Véase Anexo D), se propende atraer la atención de los estudiantes a la temática de la corrosión, a través de la lectura “Accidentes en Plantas Químicas” del capítulo 6º (Grandes fracasos que fueron noticia) del libro “La Corrosión. El peor de los villanos cuando dominan los metales”, escrito por Marcela Vázquez. Allí, se describe un problema social, generado por un descuido en el estado de la planta que se inició por la corrosión de las paredes de los tanques de almacenamiento del metilsiocianato por falta de mantenimiento.

**Explorar.** Este punto de la secuencia (*Véase Anexo E*), buscó que los estudiantes en grupos de trabajo, resolvieran unas preguntas derivadas de la lectura, las cuales indagaban por la temática de corrosión de metales de manera exploratoria y sobre las implicaciones de la ciencia y la tecnología en la sociedad. La actividad se realizó de manera oral para agilizar la actividad y para que entre los estudiantes intercambiaran ideas sobre las preguntas realizadas.

**Explicar.** Partiendo de una revisión a las respuestas de la actividad anterior, y consolidando la información brindada por los estudiantes, con el fin de generar una mayor familiarización e interacción con la temática, se realizó una exposición sobre lo qué es la corrosión, los tipos de corrosión que se presentan y los métodos de prevención de la corrosión, por medio de una presentación de diapositivas (*véase Anexo F*).

**Elaborar.** Se buscaba que los estudiantes tomaran una decisión con relación a una situación problema que ocurre en un contexto cercano. Por ello, se plantearon tres situaciones diferentes donde se evidenciaba un problema de corrosión, que les podría llegar a ser familiar (*Véase Anexo G*), y cómo podrían solucionarlo.

**Extender.** Para esta parte de la SEA (*Véase Anexo H*), se presentó una lectura que exponía la problemática de la corrosión en una hidroeléctrica en particular, y se pretendía que los estudiantes asumieran su rol de profesionales como asesores del Ministerio de Minas y Energía. Además, con las herramientas brindadas en la actividad, más lo aprendido hasta este punto de la secuencia, decidieran de manera adecuada y argumentada cuál sería la mejor elección de tratamiento anticorrosivo para dar solución al problema planteado. Se buscó con ello envolver al estudiante en la actividad y en la temática, asignándole el rol de experto y, así evidenciara el rol protagónico de la ciencia en la sociedad. Cabe aclarar que, para determinar la viabilidad de las opciones, se debía tener en cuenta las condiciones de la hidroeléctrica, por consiguiente, no todas las opciones viables. De acuerdo a esas condiciones, el orden de respuesta esperado por parte de los estudiantes era:

- 1 Recubrimiento con polímeros resistentes a degradación
- 4 Protección catódica o ánodo de sacrificio
- 5 Protección anódica
- 2 Galvanoplastia o electroplating
- 3 Inhibidor anódico

**Evaluar.** Para la fase de evaluación, se aplicó nuevamente las cuestiones elegidas del COCTS (post-test), para identificar el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones, comparándose con los resultados obtenidos al principio de la secuencia (pre-test). Además, se elaboró una rúbrica de evaluación, para valorar varias actividades de la secuencia, la cual da cuenta de los principales aspectos que fueron objetivos de la realización de la SEA. Esta rúbrica está diseñada a partir de las

categorías de análisis presentadas en la Tabla 4, categorías fundamentadas en la NdCyT y en los temas del COCTS.

Tabla 4. Categorías de evaluación de la SEA.

Categoría	Definición
Influencia de Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad	La ciencia y la tecnología no son dos ámbitos aislados del mundo real, y todas sus actuaciones tienen consecuencias y repercusiones tanto éticas, ambientales y culturales en la sociedad; además, los desarrollos científicos y tecnológicos tienen antecedentes sociales, es decir, estos no son de origen espontáneo, sino responden a unos contextos sociales específicos.

Basado en la tabla anterior, se construyó la rúbrica para evaluar las actividades de la SEA, en donde se incluyen las categorías definidas por el COCTS es la siguiente:

Tabla 5. Rúbrica de evaluación de las actividades de la SEA.

Categoría	Descriptor de Evaluación
Influencia de Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad	Reconoce el problema de la corrosión en su entorno y en contextos alejados, por lo que articula un asunto científico con su cotidianidad usando sus conocimientos científicos
	Evalúa la importancia de solucionar el problema de la corrosión en las diferentes situaciones planteadas
	Establece juicios hacia las diferentes opciones de decisión planteadas para elegir la solución adecuada en cada situación problema
	Toma decisiones adecuadas con relación a las posibles soluciones del problema de la corrosión en los diferentes contextos planteados, usando los métodos de protección ante la corrosión

### 6.3.2 Ejecución y evaluación de la secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA) sobre electroquímica

Se realiza la implementación de la SEA según las especificaciones del Anexo A: *Descripción de la SEA “Corrosión de metales e implicaciones en la sociedad”* y la aplicación de los instrumentos y actividades de la SEA con la muestra poblacional descrita anteriormente, para hacer el respectivo análisis de los datos obtenidos y así dar respuesta al problema de investigación formulado.

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la síntesis y caracterización de películas de polipirrol sobre acero 1020, el cual hace parte del componente conceptual de la SEA.

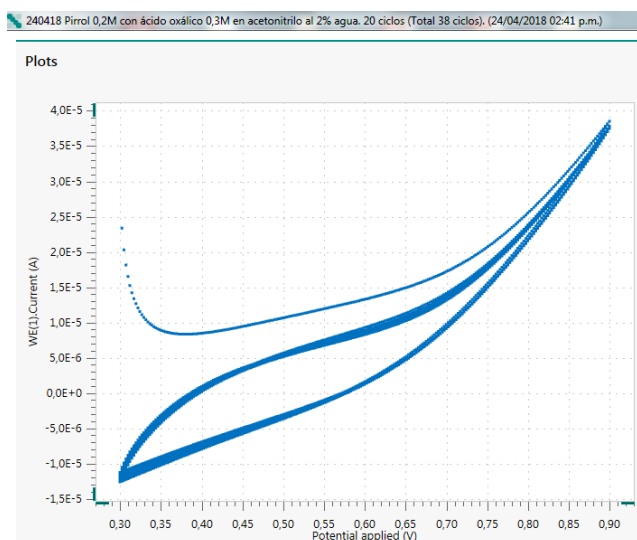
Por otra parte, el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones fue valorado por medio de la evaluación del desempeño de la SEA y la aplicación pre-test y post-test del COCTS para la muestra de investigación.

### 7.1 TRABAJO EXPERIMENTAL

#### 7.1.1 Síntesis de polipirrol con ácido oxálico como electrolito soporte y acetonitrilo como solvente.

En esta primera síntesis se determinaba si el polipirrol se podía electrodepositar en el electrodo de acero 1020 a partir de la solución electrolítica de acetonitrilo al 98% (2% de agua) como solvente, oxalato [0,3 M] como dopante y el pirrol [0,2M] como monómero, con una velocidad de barrido de  $50 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ , 20 ciclos. Esto debido a que las primeras pruebas de síntesis se realizaron utilizando el ion polifosfato como dopante, sin embargo, por su insolubilidad en el solvente, no se obtuvo el polímero, ya que, no habían iones disponibles en la solución para la transferencia de carga, y se obtuvo un voltograma resistivo.

Gráfica 1. Síntesis de polipirrol en acero 1020 por voltimetría cíclica con oxálico como surfactante y acetonitrilo como solvente.

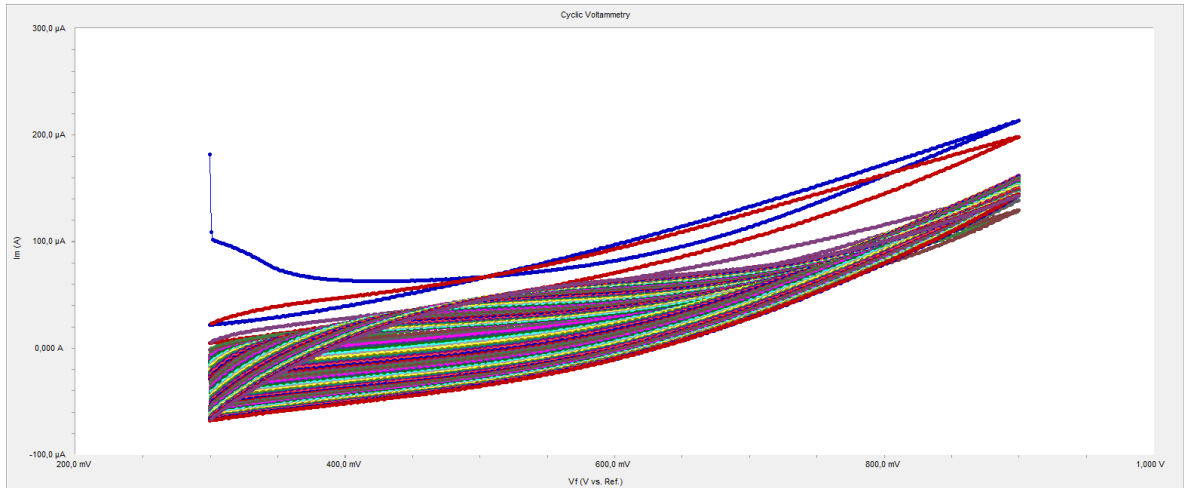


En la Gráfica 1, se observa el comportamiento típico de un voltograma de síntesis electroquímica de polipirrol, el cual muestra la intensidad de corriente (A) en función del potencial aplicado (V), con su pico de oxidación a los 0,9 V y de reducción a los

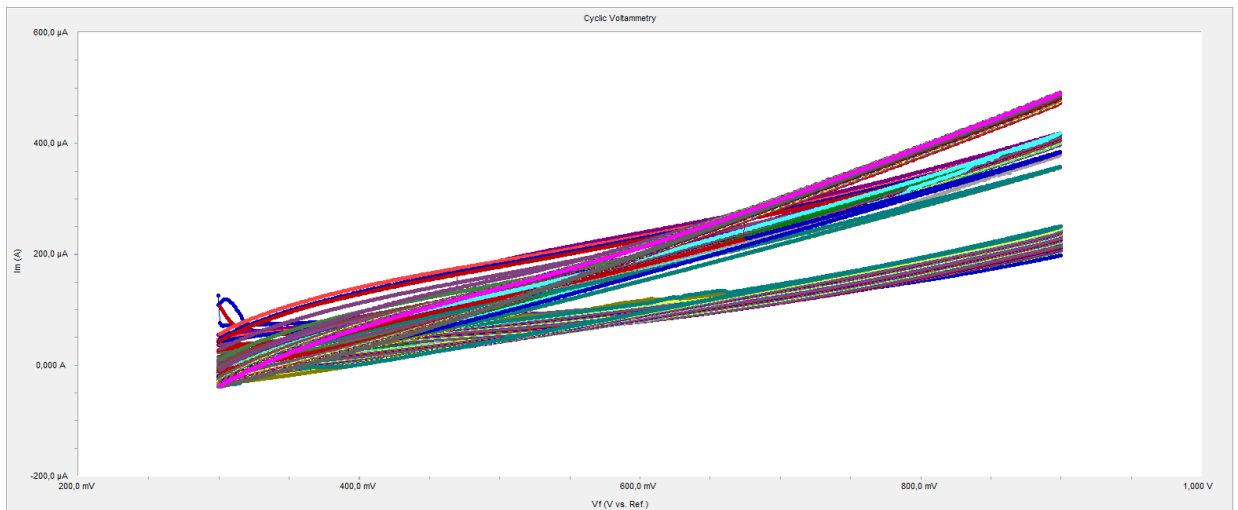
0,3 V. El perfil observado se debe a la poca cantidad de ciclos aplicados en el experimento. El pico de oxidación se encuentra en el potencial aplicado más altos, mientras que el pico de reducción se encuentra en los potenciales más bajos.

### 7.1.2 Síntesis por voltametría cíclica (CV) de películas de polipirrol sobre acero 1020

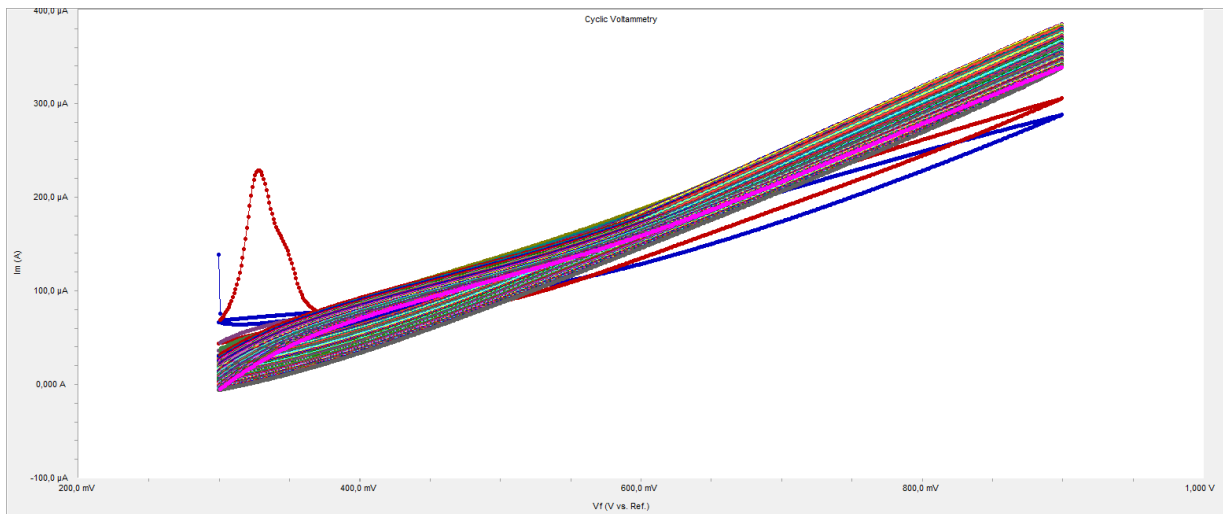
Gráfica 2. Voltametría Cíclica (CV). Síntesis de polipirrol sobre electrodo trabajo (acero 1020), 50 ciclos.



Gráfica 3. Voltametría Cíclica (CV). Síntesis de polipirrol sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos.



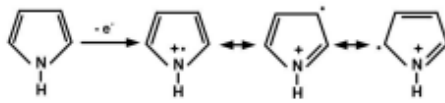
Gráfica 4. Voltametría Cíclica (CV). Síntesis de polipirrol sobre electrodo W (acero 1020), 150 ciclos.



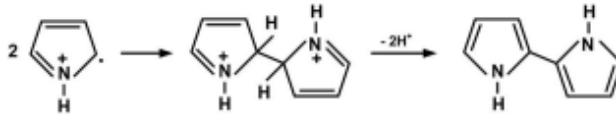
En las gráficas 2, 3 y 4 se muestran los voltagramas cíclicos arrojados durante la síntesis de polipirrol, observándose un proceso irreversible, con un pico de oxidación máximo a 0,90 V, y a 0,3 V aparece el pico de reducción. Además, como se puede apreciar, el número de ciclos no afecta el comportamiento de la síntesis del polímero, aunque se puede apreciar un aumento en los potenciales de oxidación en la síntesis representada por el voltagrama de la gráfica 3, sin embargo, debe resaltarse que en este experimento, el electrodo había sido pasivado anteriormente (formación de una película relativamente inerte sobre la superficie de un material, que lo enmascara en contra de la acción de agentes externos) con iones oxalato en un procedimiento de voltametría de barrido lineal.

Para explicar cómo se da síntesis del polipirrol y sus propiedades como conductor de la electricidad, debe resaltarse su estructura, la cual posee un sistema de electrones  $\pi$  conjugados, extendido a lo largo de la columna vertebral del polímero (Mollahosseini & Noroozian, 2009), y que la conductividad eléctrica y su estabilidad química se originan precisamente en ese enlace  $\pi$  heteroatómico y conjugado. Sin embargo, esta estructura no es suficiente por sí misma para conducir electricidad, esta conductividad es lograda con el dopaje realizado durante la síntesis con el oxalato, el cual actúa como dopante y como electrolito soporte (Gnozdenovic *et al.*, 2014). En la Ilustración 5 se observa el mecanismo de formación del polímero, en donde se evidencia como ocurre el proceso oxidativo desde la aplicación de corriente eléctrica al monómero hasta llegar al polímero cargado positivamente, cuya carga es balanceada con el contraión del dopante.

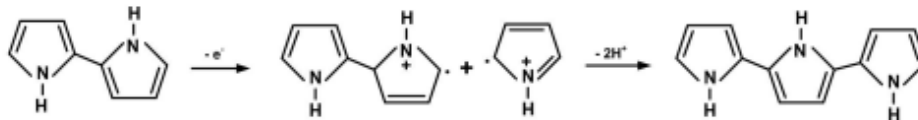
#### Pyrrole oxidation



#### Formation of dimer



#### Oxidation, coupling and rearomatization



#### Chain propagation

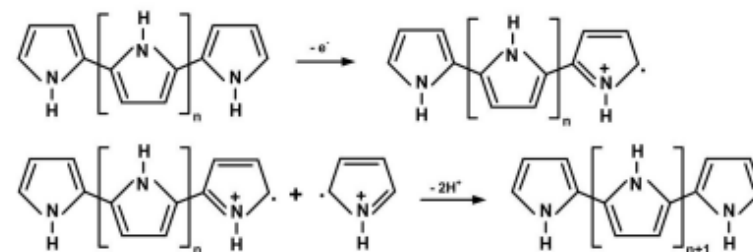


Ilustración 5. Mecanismo síntesis electroquímica de polipirrol. Tomado de: Gnozdenovic et al. (2014)

### 7.1.3 Caracterización por Tafel de películas de polipirrol sobre acero 1020 sintetizadas por voltametría cíclica (CV)

Gráfica 5. Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos.

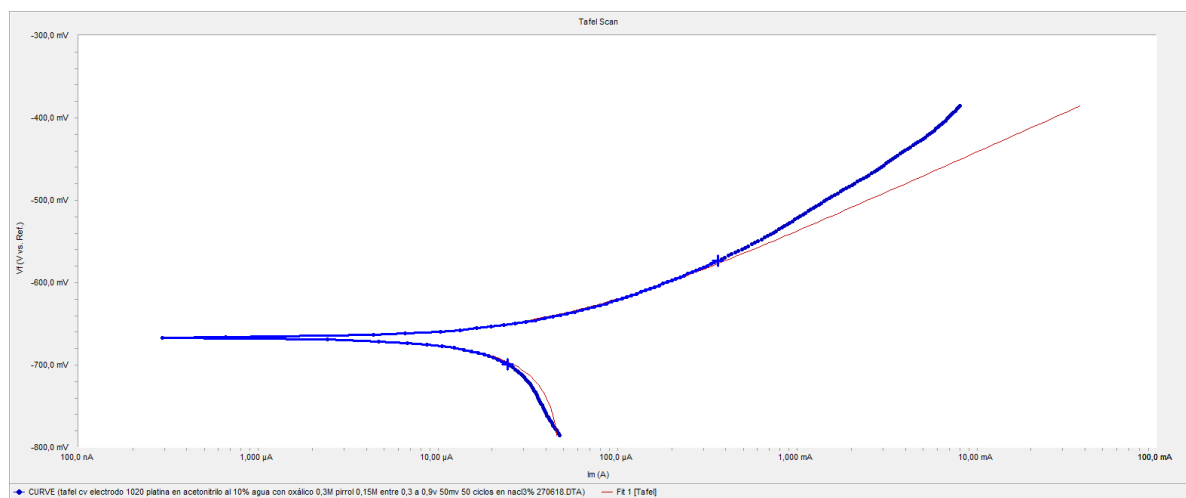


Tabla 6. Resultados Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos.

PARÁMETRO	VALOR	BLANCO PLATINA 1020
Beta A	97,60e-3 V/decade	80,20e-3 V/decade
Beta C	1,000e15 V/decade	1,153 V/decade
Icorr (densidad de corrosión)	49,00 $\mu\text{A}$	14,70 $\mu\text{A}$
Ecorr (potencial de corrosión)	-667,0 mV	-691,0 mV
Corrosion Rate	22,37 mpy <sup>1</sup>	6,700 mpy
Chi Squared	9,83E-01	8,83E-02

Gráfica 6. Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos.

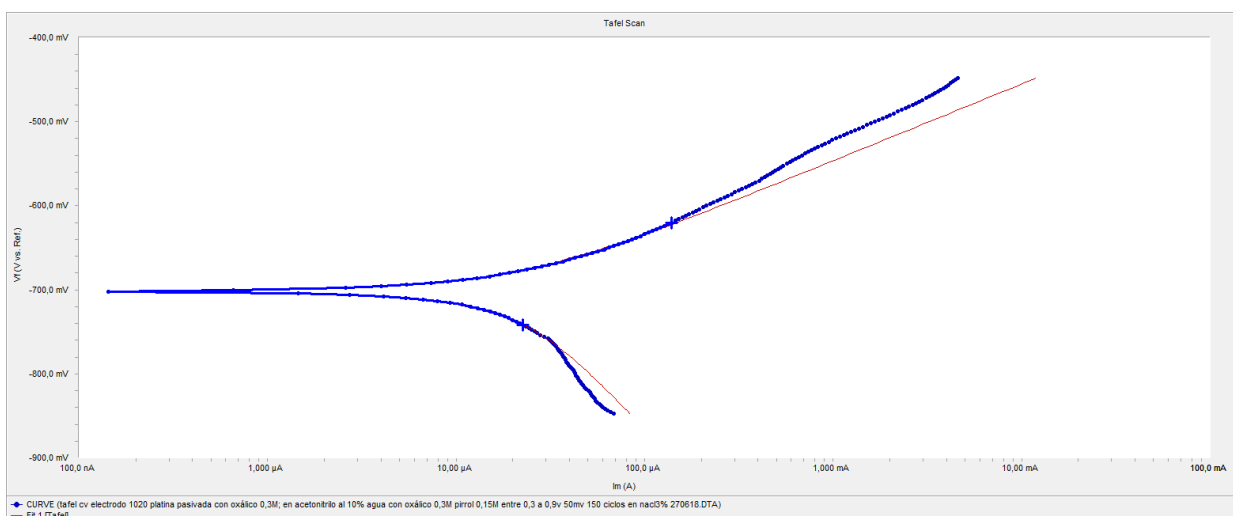


Tabla 7. Resultados Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos

PARÁMETRO	VALOR	BLANCO PLATINA 1020
Beta A	91,50e-3 V/decade	80,20e-3 V/decade
Beta C	235,2e-3 V/decade	1,153 V/decade
Icorr	20,20 $\mu\text{A}$	14,70 $\mu\text{A}$
Ecorr	-702,0 mV	-691,0 mV
Corrosion Rate	9,210 mpy	6,700 mpy
Chi Squared	2,92E-01	8,83E-02

<sup>1</sup> mpy. Milipulgada por año.

Gráfica 7. Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos.

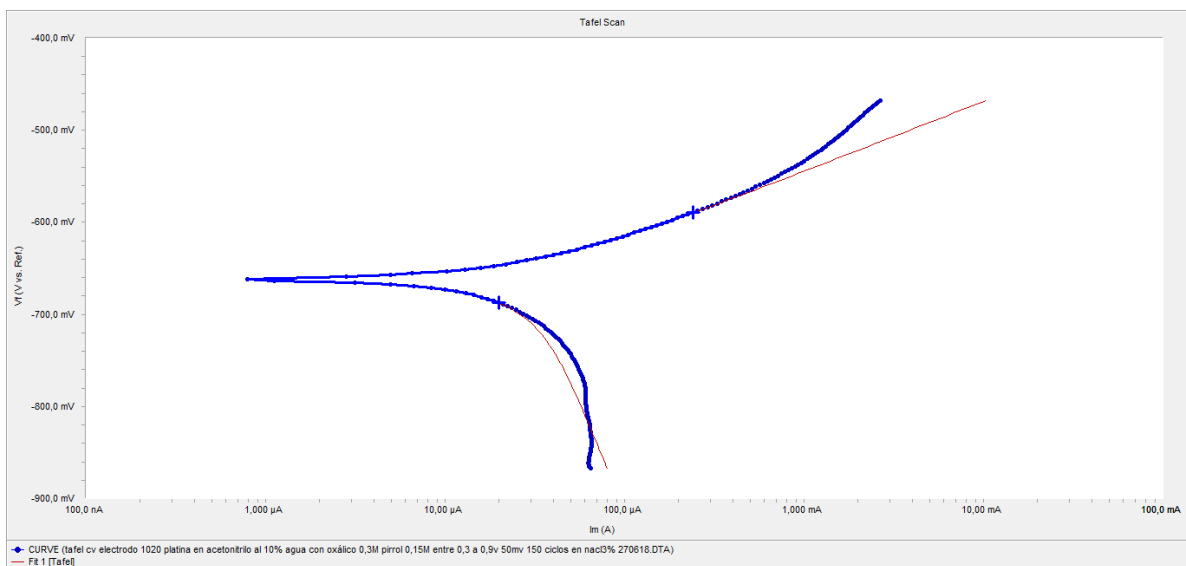


Tabla 8. Resultados de Tafel de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos.

PARÁMETRO	VALOR	BLANCO PLATINA 1020
Beta A	67,10e-3 V/decade	80,20e-3 V/decade
Beta C	229,0e-3 V/decade	1,153 V/decade
Icorr	23,00 $\mu$ A	14,70 $\mu$ A
Ecorr	-662,0 mV	-691,0 mV
Corrosion Rate	10,53 mpy	6,700 mpy
Chi Squared	1,32E-02	8,83E-02

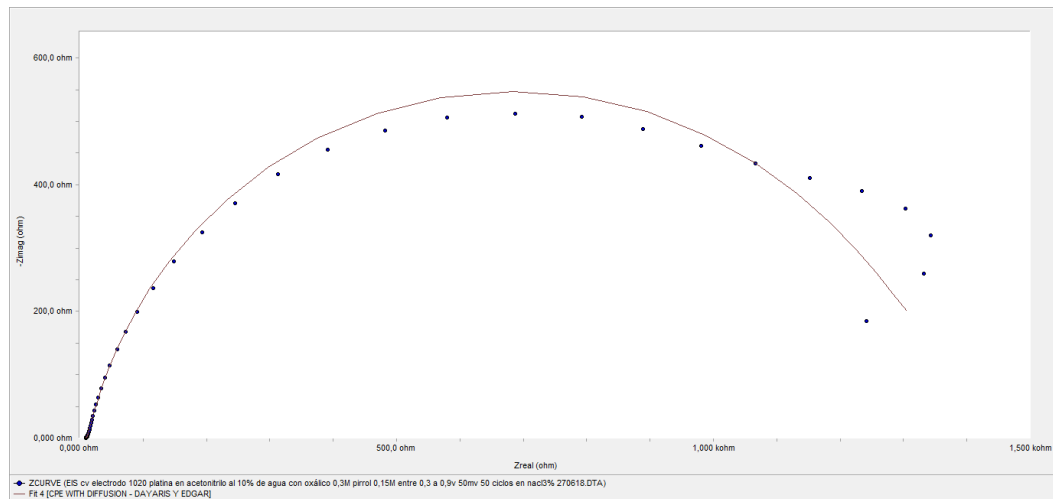
Teóricamente, la variación entre potencial-densidad de corriente ( $E_{corr}/I_{corr}$ ) en las curvas anódicas y catódicas debería ser lineal, y deberían intersectarse. Sin embargo, hay desviaciones de la linealidad en las proximidades del  $E_{corr}$ . No obstante, las curvas anódicas y catódicas poseen regiones en las que se cumple una proporción lineal, y por ello deben linealizarse, y es lo que se denomina regiones de Tafel, las cuales están representadas por las líneas rojas en las gráficas.

En las extrapolaciones de Tafel se puede observar que las betas catódicas son superiores a las betas anódicas, lo que permite afirmar que hay un proceso corrosivo durante la caracterización, lo cual se corrobora con las velocidades de corrosión, en donde se evidencia una desmejora en los tiempos. Esto denota que las películas de polipirrol electrodepositadas no cumplen con su labor a cabalidad. Una posible explicación a esta situación es que la síntesis electroquímica del polipirrol en metales activos se enfrenta a los problemas esperados de la disolución

del sustrato debido al alto potencial requerido para la oxidación del monómero (Gnozdenovic *et al.*, 2014) y pudo alterar la superficie metálica, generando que en la electrosíntesis no se logró una buena adherencia del polímero, quedando desprotegida ante agentes de corrosión, y por consiguiente al iniciar la técnica de Tafel, por el flujo de electrones de los iones cloruro, se produjo el proceso de corrosión. Sin embargo, los potenciales de corrosión ( $E_{corr}$ ) que se encuentran en las tablas 5 y 7 al ser mayores al del metal descubierto, hace constatar la existencia de alguna protección ante la corrosión.

### 7.1.4 Caracterización por Espectroscopia de Impedancia de películas de polipirrol sobre acero 1020 sintetizadas por voltametría cíclica (CV)

Gráfica 8. Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos.



Gráfica 9. Bode, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos.

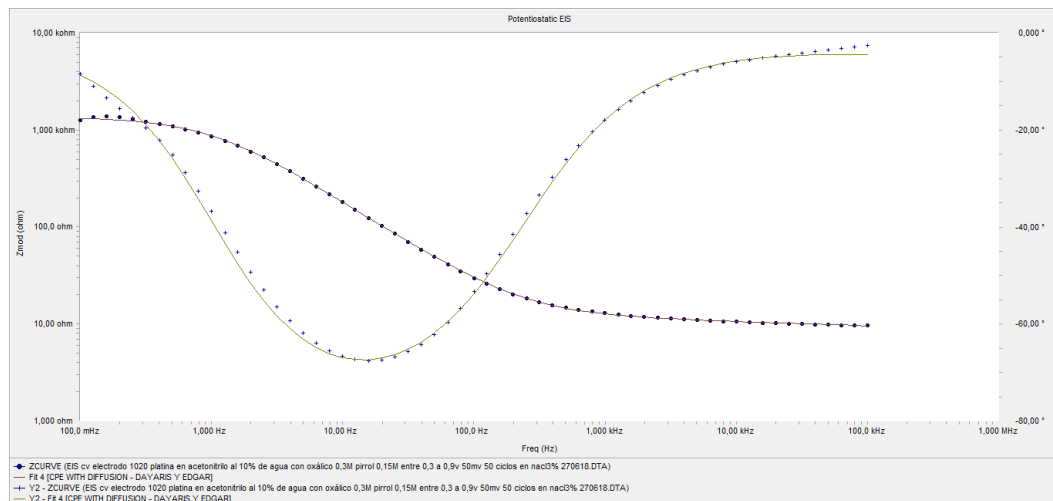
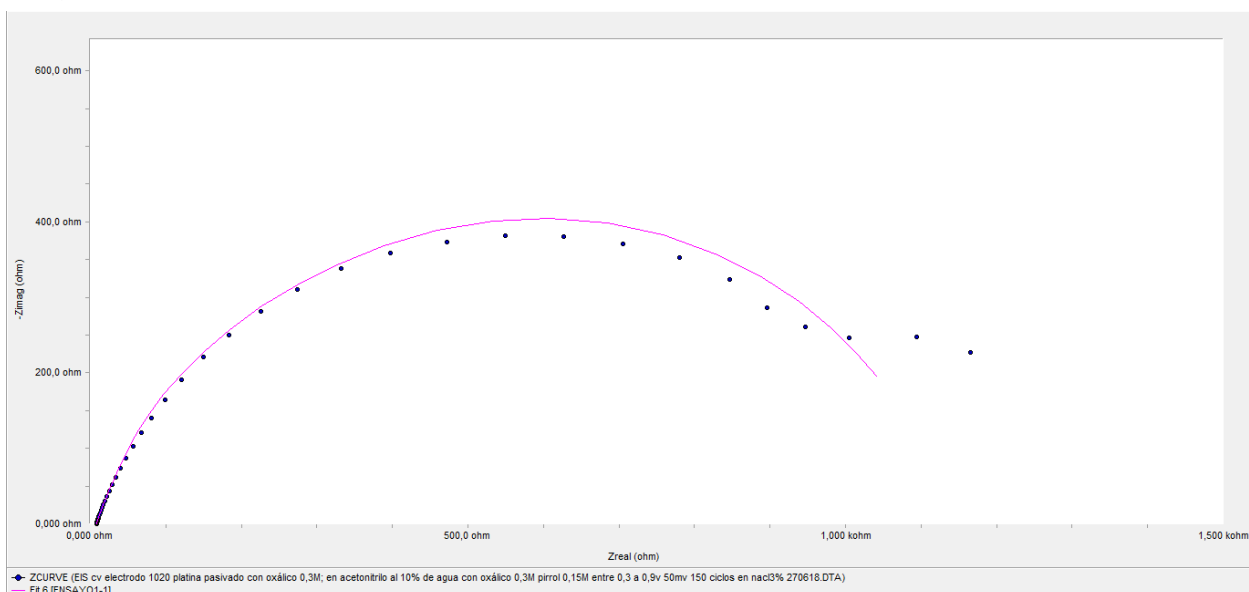


Tabla 9. Resultados de Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 50 ciclos.

PARÁMETRO	VALOR	±ERROR	UNIDADES
Ru	1,31E+03	57,29	ohm
Wd	1,68E-02	1,70E-02	S*s <sup>1/2</sup>
Rp	14,17	4,064	ohm
Yo5	5,90E-03	9,98E-03	S*s <sup>a</sup>
a6	1,33E-01	8,59E-02	
Yo6	1,52E-04	3,51E-06	S*s <sup>a</sup>
a7	8,76E-01	1,24E-02	
Goodness of Fit	7,02E-04		

Gráfica 10. Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos.



Gráfica 11. Bode, Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos.

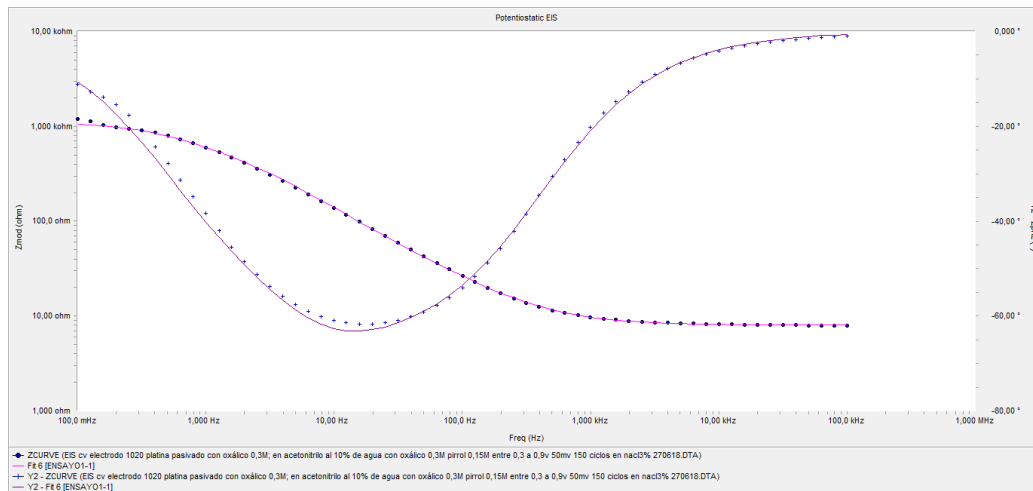
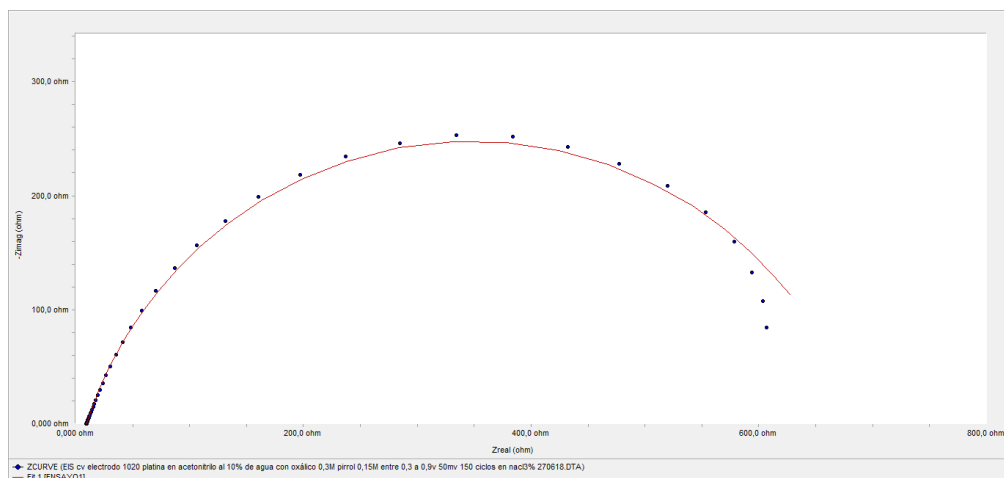


Tabla 10. Resultados de Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre electrodo de trabajo pasivado con oxálico 0.3M, 150 ciclos.

PARÁMETRO	VALOR	±ERROR	UNIDADES
RS	7,97	0	ohm
RCTOX	973,3	0	ohm
CPE	3,54E-04	0	S*s^a
n	8,28E-01	0	
Yo9	1,55E-03	0	S*s^(1/2)
B10	2,48E-01	0	sec^(1/2)
Goodness of Fit	7,47E-04		

Gráfica 12. Nyquist, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos.



Gráfica 13. Bode, Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos.

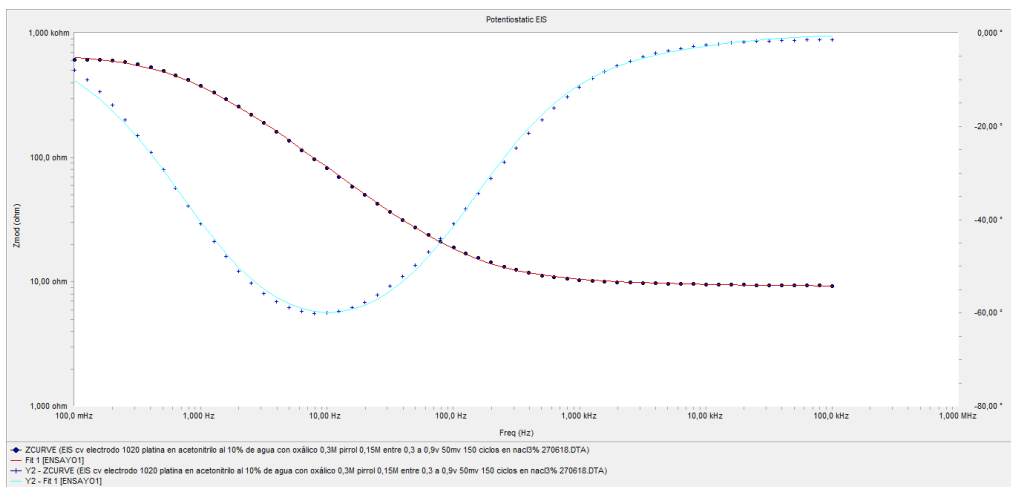


Tabla 11. Resultados de Espectroscopia de Impedancia de película de polipirrol sintetizada por CV sobre acero 1020, 150 ciclos.

PARÁMETRO	VALOR	±ERROR	UNIDADES
RS	9,265	6,91E-02	ohm
RCTOX	677,5	8,939	ohm
CPE	4,34E-04	7,71E-06	S*s <sup>a</sup>
n	8,05E-01	4,00E-03	
RCTM	4,86E-01	1,39E-01	ohm
Goodness of Fit	3,59E-04		

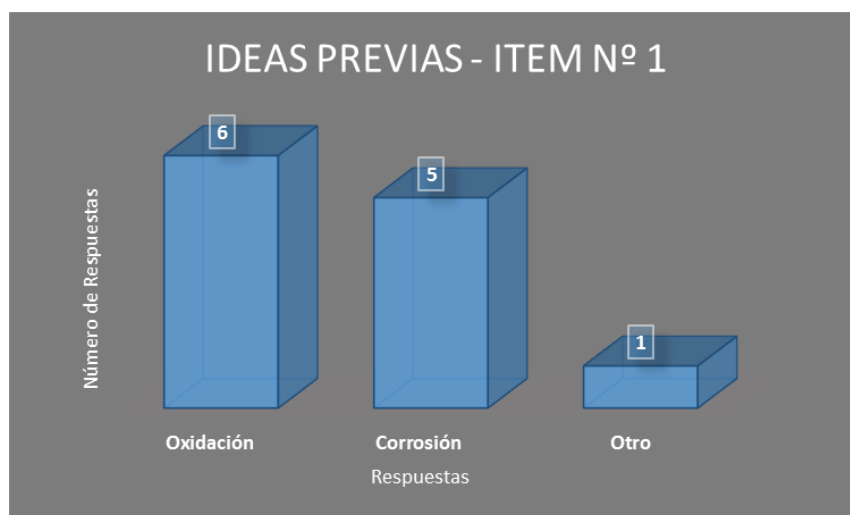
En las espectroscopías de impedancia, se reconoce un proceso de difusión de los iones cloruro que generan corrosión en la superficie metálica del electrodo. Estos procesos de difusión, se infieren de la figura de domo típica representada en las gráficas Nyquist. Esto coincide con lo observado en las gráficas de Tafel, en donde hubo también difusión de iones salinos, y por consiguiente corrosión del electrodo.

De la actividad experimental realizada, se identificó que los metales pueden ser protegidos por métodos electroquímicos para prevenir la corrosión, aparte de las diversas técnicas ya conocidas, es decir, que existen diversos métodos de protección contra la corrosión, y estos métodos no son los más adecuados en todos los casos, además de corroborarse, que existen metales más propensos a sufrir este problema, como lo es el acero al carbón, en relación a metales nobles como lo son el oro y el platino.

## 7.2 APLICACIÓN DE LA SEA

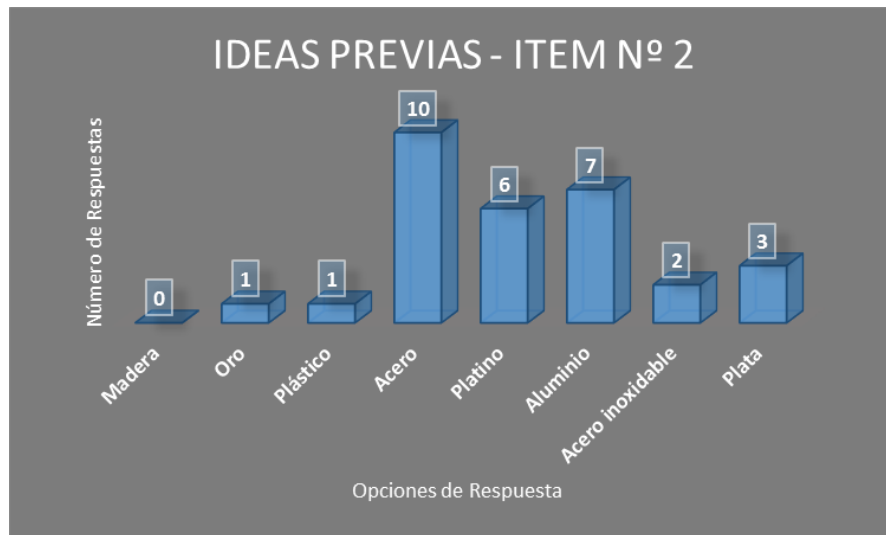
Con la intención de analizar el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones desde la perspectiva de la NdCyT a partir de la implementación de la SEA: *Corrosión de metales e implicaciones en la sociedad*, contextualizada en el ciclo de aprendizaje 7E se consideró la evaluación del desempeño de la SEA en las actividades de extraer, elaborar y extender, y la aplicación pre-test y post-test del COCTS para la realización del análisis que se presenta a continuación.

### 7.2.1 Actividad de elicitar-extraer



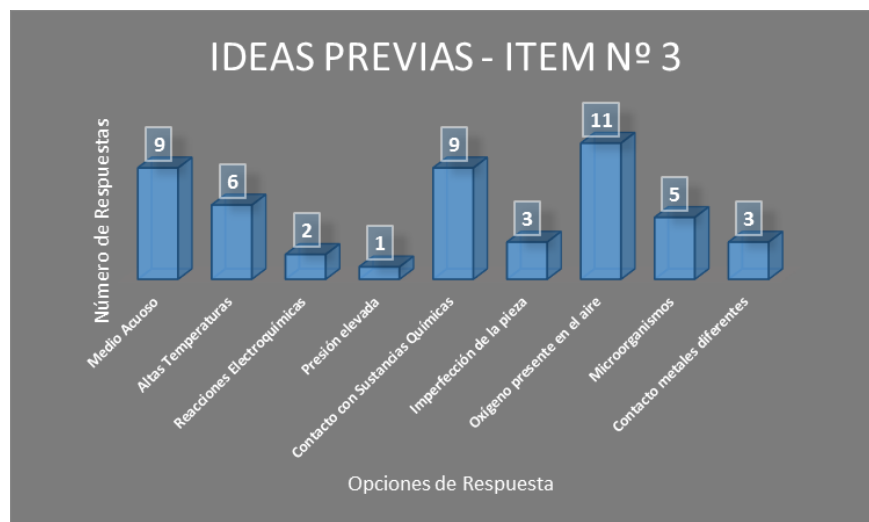
Gráfica 14. Frecuencia de Respuestas al ítem N° 1 del test de ideas previas.

En cuanto al primer numeral del test se evidenció que las respuestas escritas de los estudiantes a la pregunta: *¿Cuál es el fenómeno químico observado en las tuberías y los tanques contenedores utilizados en la fábrica?*, se clasifican en tres categorías, predominando las respuestas de *oxidación* y *corrosión* como se evidencia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, cabe destacar que la mitad de la población definió el fenómeno químico como oxidación, por lo cual se afirma que los estudiantes no realizan una adecuada distinción de estos dos términos. Se aclara que las respuestas dentro de la categoría *otros*, hacen referencia a las condiciones necesarias para que se produzca en fenómeno mas no enuncian cuál es.



Gráfica 15. Respuestas al ítem N° 2 del test de ideas previas.

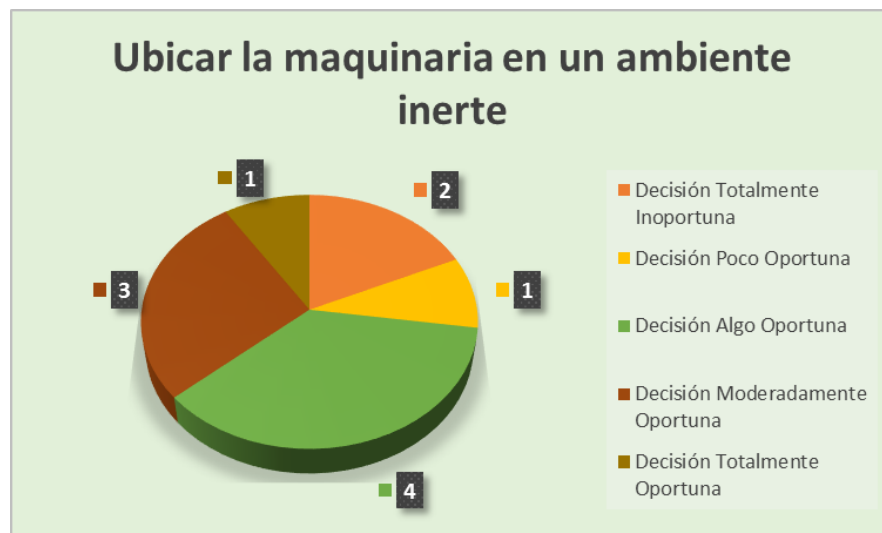
Por otra parte, las respuestas de los estudiantes en el numeral dos del test (véase Gráfica 15), demuestran por consenso que el *acero* es el material más susceptible a tener un proceso de corrosión, seguido en menor medida por el *aluminio*. Por el contrario, la mayoría de los estudiantes desconocen el proceso de corrosión en materiales como el *acero inoxidable* y la *plata*, debido a que, al tener el término “inoxidable” genera la idea que el material no puede sufrir un proceso de corrosión y confundir el material con un metal noble respectivamente. Hay que mencionar, además que la mitad de la población eligió al platino como un material que puede ser corroído, desconociendo que es un metal noble junto con el oro.



Gráfica 16. Frecuencia de Respuestas al ítem N° 3 del test de ideas previas.

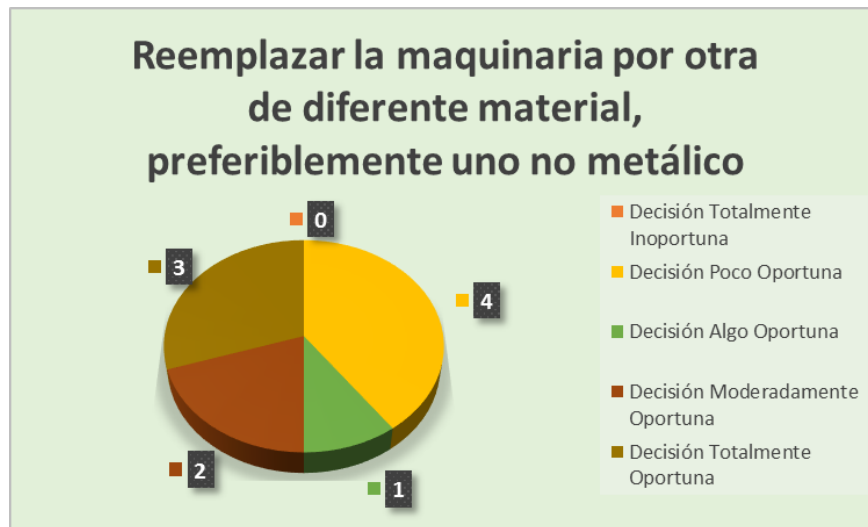
En relación con las condiciones que se deben presentar para que se genere un proceso de corrosión, la mayoría de los estudiantes identifican que la exposición a un medio acuoso, el contacto de la maquinaria con sustancias químicas y en primer lugar la exposición al oxígeno presente en el aire son las condiciones que en mayor medida provocan corrosión. A su vez, solo la mitad de la población aproximadamente reconoce que la exposición a altas temperaturas y la presencia de microorganismos son factores que pueden producir este proceso. No obstante, condiciones como reacciones electroquímicas, exposición a presiones elevadas, imperfección en la pieza y el contacto entre metales diferentes, se consideran en menor medida como opciones que contribuyen a la corrosión, como se evidencia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Para finalizar, se presentan los resultados del numeral 4 y sus respectivos análisis a continuación.



Gráfica 17. Frecuencia de Respuestas a la primera decisión del ítem N° 4.

En cuanto a los resultados de la primera decisión (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se esperó que la valoración de la misma fuera *totalmente inoportuna* o *poco oportuna* en comparación a las dos decisiones escogidas mayoritariamente por los estudiantes: *decisión algo oportuna* y *moderadamente oportuna*, así se evidencia la dificultad de ubicar la maquinaria en un ambiente inerte, es decir, un ambiente libre de humedad, presencia de oxígeno, entre otros.



Gráfica 18. Frecuencia de Respuestas a la segunda decisión del ítem N° 4.

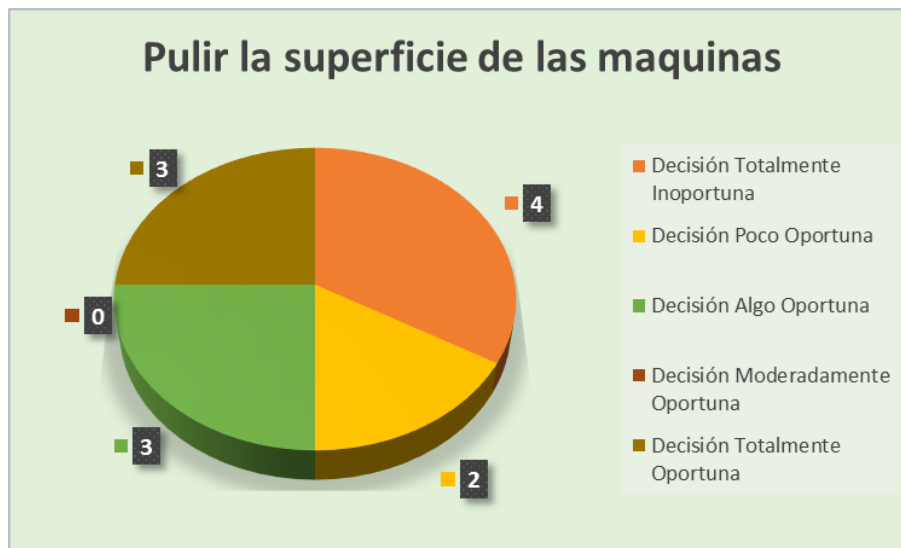
Por lo que se refiere a los resultados para la segunda decisión (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) el 40% de los participantes coincidió con la respuesta esperada: decisión *totalmente inoportuna* y *poco oportuna*, mientras la diferencia del total de la población no tuvo en cuenta para valorar la decisión, los costos para el reemplazo de la maquinaria y el desarrollo tecnológico para que la misma sea de un material diferente al metálico que susceptible a corrosión.



Gráfica 19. Frecuencia de Respuestas a la tercera decisión del ítem N° 4.

Con respecto a los resultados para la tercera decisión (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) el 80% de la población coincidió con la respuesta esperada: decisión *totalmente oportuna* y *moderadamente oportuna*, ya que al revestir la maquinaria con recubrimientos o películas adheridas a la superficie

del metal se logra aislar el metal del medio o factores que faciliten el proceso de corrosión.



Gráfica 20. Frecuencia de Respuestas a la cuarta decisión del ítem N° 4.

En cuanto a los resultados para la cuarta decisión (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), el 42% de los estudiantes considera que pulir la superficie de las maquinas (metal con afectación por la corrosión) es una decisión *poco oportuna* y *algo oportuna*, esta valoración se justifica debido a que es necesario realizar este procedimiento adecuadamente durante el mantenimiento de equipos de maquinaria afectados por este fenómeno antes de elegir un método adecuado para proteger el metal de que esta hecho la máquina ante la corrosión. En contraste con el 25% de la población que valoró la decisión como totalmente oportuna y que posiblemente no tuvo en cuenta el argumento anterior.



Gráfica 21. Frecuencia de Respuestas a la quinta decisión del ítem N° 4.

En relación con las respuestas para la quinta y última decisión (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) el 82% de los estudiantes la valoraron adecuadamente, al atribuir como *totalmente inoportuna* o *poco oportuna* la decisión de seguir utilizando una maquinaria que presenta corrosión, ya que puede generar accidentes industriales y al mismo tiempo conllevar a problemas sociales.

### 7.2.2 Actividad de elaborar

Para la evaluación de la actividad se tuvo en cuenta las respuestas grupales obtenidas por parte de los estudiantes. En esta actividad se realizó un análisis cualitativo de las respuestas obtenidas, y se buscó determinar si ellos reconocían la problemática de la corrosión en su entorno cercano, ya que las situaciones presentadas son del contexto cotidiano, y cual solución de carácter sencillo y de sentido común, basados en los conocimientos de los métodos de protección de la corrosión. Además, se buscaba que tomaran la decisión por consenso, al ser una actividad grupal y una problemática de carácter científico y tecnológico común o reconocido por ellos, emulando a un grupo social con un problema en común por solucionar, basados en sus conocimientos científicos de un problema por resolver.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidenció que ellos en términos generales identifican el problema de la corrosión en la situación brindada, ya que pueden determinar por qué ocurre el problema. Por ejemplo, en una de las respuestas a la actividad, se aporta lo siguiente:

- “El problema de herrumbre ocurre por la humedad en la zona costera y el nivel de sal”.

Además, evalúan la solución planteada por ellos, ya que la consideran la opción más viable de utilizar en la situación elegida, y por supuesto, toman una decisión

para solucionar el problema, tal como se presenta a continuación en las siguientes transcripciones:

- “Para hacer que la reja tenga una corrosión más lenta podemos hacer un recubrimiento de pintura anticorrosivo”.
- “Podemos dar una solución al problema de corrosión en el vehículo con un proceso de recubrimiento orgánico”.

Sin embargo, no se establecen juicios entre diferentes opciones para tomar una decisión, por lo que se evidencian desaciertos en la elección de la opción adecuada para solucionar el problema, mostrando que los estudiantes requieren en su toma de decisiones seleccionar de un listado de opciones, para que así pueden contrastar y elegir.

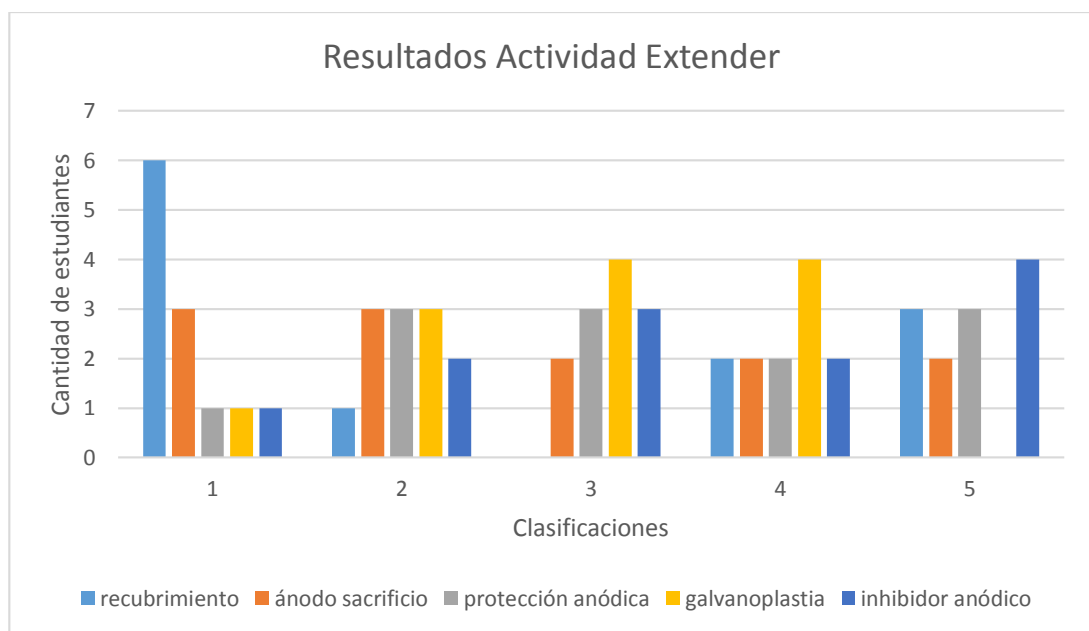
### **7.2.3 Actividad de extender**

En general, en la actividad de extender, seis de los doce estudiantes reconocen al recubrimiento con polímeros resistentes a degradación como el método más indicado para proteger la estructura metálica de la hidroeléctrica, ya que este es el que mejor se adapta a las condiciones allí presentadas, es la opción más resistente a las corrientes de agua, además, las otras opciones son específicas de otros contextos, por lo que se puede afirmar que los estudiantes al tomar esa decisión lo hicieron de manera adecuada. Esto se sustenta en afirmaciones elaboradas por los estudiantes, tales como:

- “El recubrimiento con polímeros resistentes a degradación es el más indicado puesto que una buena adherencia va a ser suficiente para proteger el metal y aún más importante que el material no va a perder sus propiedades ...”
- “Con el recubrimiento con polímeros se crean barreras que impiden la penetración de oxígeno y agua ...”

En la gráfica 22 se sintetizan las elecciones realizadas por los estudiantes:

Gráfica 22. Resultados actividad de Extender.



Además, en sus respuestas también sopesaron el contexto en el que se desarrollaba el problema, por lo que debieron determinar que cualquier opción no era viable, por lo que emitieron juicios de las diferentes opciones de respuesta, como se puede observar en las siguientes transcripciones:

- “Si se aplica otro de los métodos pueden haber consecuencias como peores daños para el material”.
- “Hay un riesgo menor en que la estructura cambie”.

A modo de conclusión, se encuentra que los seis estudiantes que eligieron el recubrimiento polímero, tomaron una decisión adecuada para solucionar el problema de corrosión en la hidroelectrica, y lo hicieron reconociendo el problema de la corrosión en ese contexto, estableciendo juicios de las posibles soluciones y evaluando las bondades de esa solución.

#### 7.2.4 COCTS

Las cuestiones utilizadas para evaluar el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones desde la perspectiva de la NdCyT, corresponden a las enlistadas en la *Tabla 12*, donde se relaciona el tema y subtema al que hace referencia cada cuestión.

Tabla 12. Relación temática y subtemática de cada código COCTS. Tomado de Vázquez & Manassero, (2013).

Cuestión COCTS	Tema	Subtema
----------------	------	---------

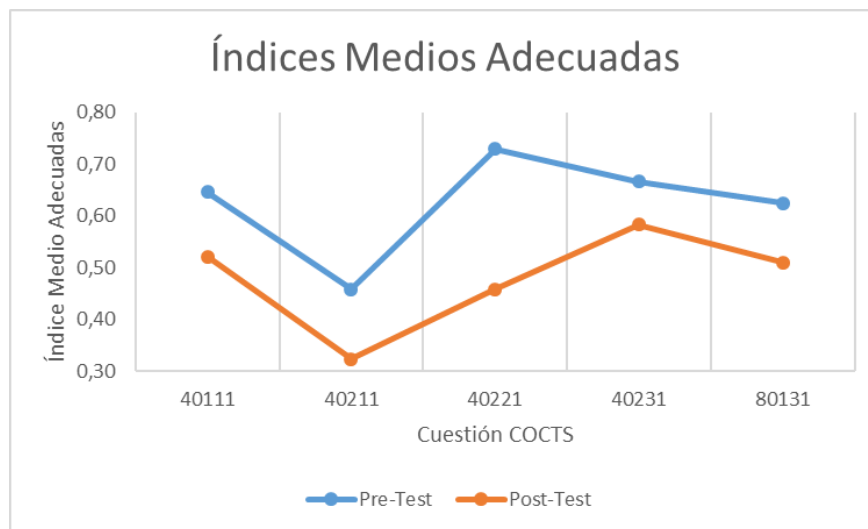
40111	Influencia de Ciencia/Tecnología sobre la Sociedad	Responsabilidad social
40211		Decisiones sociales
40221		
40231		
80131	Construcción social de la Tecnología	Decisiones tecnológicas

Para analizar por medio del COCTS si la aplicación de la SEA fomentó el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones, se utilizó la métrica de evaluación propuesta por Vázquez & Manassero para la transformación de las puntuaciones directas de acuerdo/desacuerdo dadas por los estudiantes en el instrumento en un índice normalizado en el intervalo  $[-1, +1]$ , teniendo en cuenta la categoría de cada frase (adecuada, plausible e ingenua), asignada previamente por un panel de jueces expertos; cuanto más positivo y cercano al valor máximo (+1) es un índice, la opinión se considera más adecuada e informada, y cuanto más negativo y cercano a la unidad negativa (-1) es el índice, representa una opinión más ingenua o desinformada (Vázquez & Manassero, 2013, pág. 15).

Con respecto a delimitar diferencias relevantes entre índices, Vázquez & Manassero, (2013) proponen:

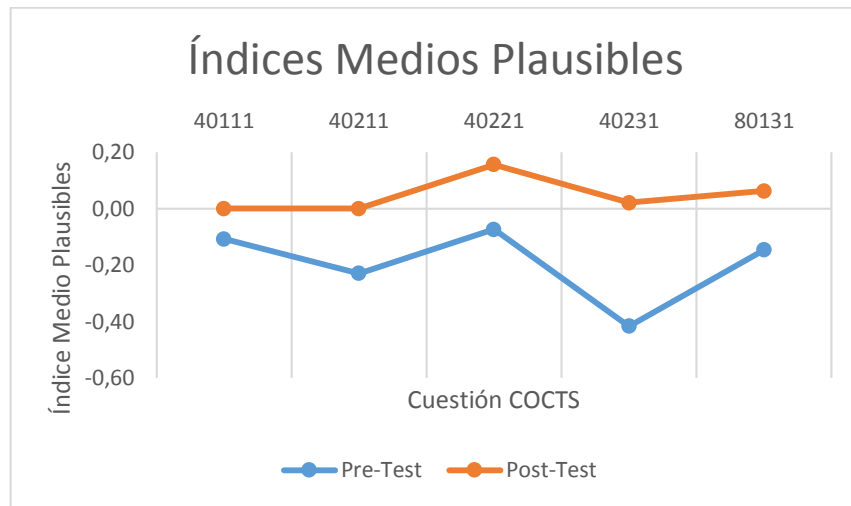
Usar como criterio general la estadística basada en el tamaño del efecto de las diferencias, que mide las diferencias entre medias en unidades de desviación estándar; se consideran irrelevantes las puntuaciones o diferencias por debajo de 0.30 unidades estándar, grandes por encima de 0.50 y casi perfectas si son superiores a la unidad (p.18-19).

Sin embargo, para el presente trabajo se consideraron relevantes las puntuaciones o diferencias desde  $\pm 0.20$  unidades estándar, grandes por encima de  $\pm 0.40$  y casi perfectas si son superiores a  $\pm 1$ ; los valores positivos y negativos demuestran el avance y retroceso respectivamente del desarrollo de la habilidad de toma de decisión. De modo que se empleó esta clasificación para el tratamiento de los datos obtenidos en la aplicación pre-test y post-test, consiguiendo como resultado general de la muestra poblacional, los índices medios para cada categoría (adecuada, plausible e ingenua) y el índice global actitud, los cuales se analizan a continuación.



Gráfica 23. Índices Medios Adecuadas por Cuestión del COCTS.

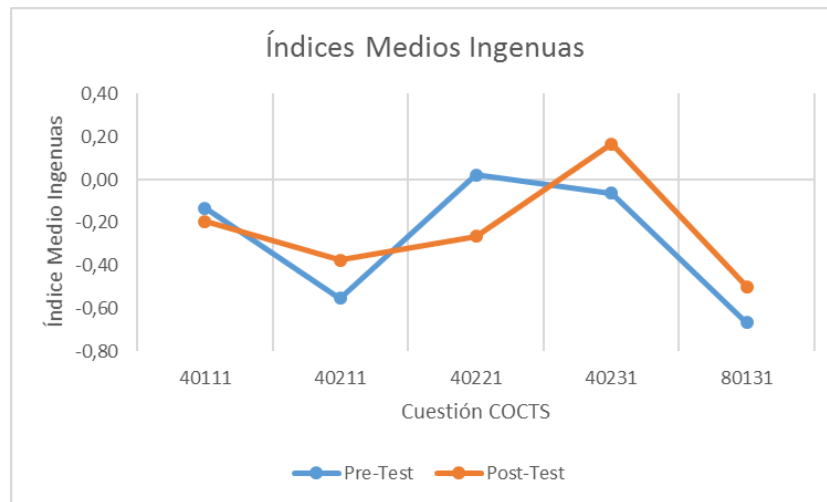
Se puede distinguir en la Gráfica 23, que los índices medios de frases adecuadas en cada una de las cuestiones del COCTS disminuyen después de aplicada la SEA. Ahora bien, la diferencia de los índices para las cuestiones 40111, 40211, 40221, 40231 y 80131 es -0.13, -0.14, -0.27, -0.08 y -0.11 respectivamente. Aunque los índices medios hayan disminuido, la diferencia entre los índices medios de frases adecuadas para cada una de las cuestiones evaluadas es irrelevante debido a que se encuentran dentro del rango -0.20 y 0.20, exceptuando la cuestión 40221, cuya diferencia es mayor a -0,2, lo que indica un desmejoramiento significativo del índice. Por lo tanto, se afirma que la SEA no produjo diferencias significativas para la mayoría de las cuestiones del COCTS en cuanto a los índices medios de frases adecuadas, al no incrementar o disminuir el índice normalizado para estas frases, las cuales expresan una opinión apropiada desde la perspectiva de los conocimientos de la naturaleza de la ciencia y tecnología.



Gráfica 24. Índices Medios Plausibles por Cuestión del COCTS.

En cuanto a la Gráfica 24 se evidencia un aumento en los índices medios para frases plausibles en la aplicación del cuestionario COCTS Post-Test. Para las cuestiones 40111, 40211, 40221, 40231 y 80131 las diferencias entre los índices Pre-Test y Post-Test son 0.11, 0.23, 0.23, 0.44 y 0.21 respectivamente. Con respecto a la cuestión 40111 la diferencia entre los índices Pre y Post-Test (0.11) es menor a 0.20 reflejando un aumento poco significativo para la cuestión.

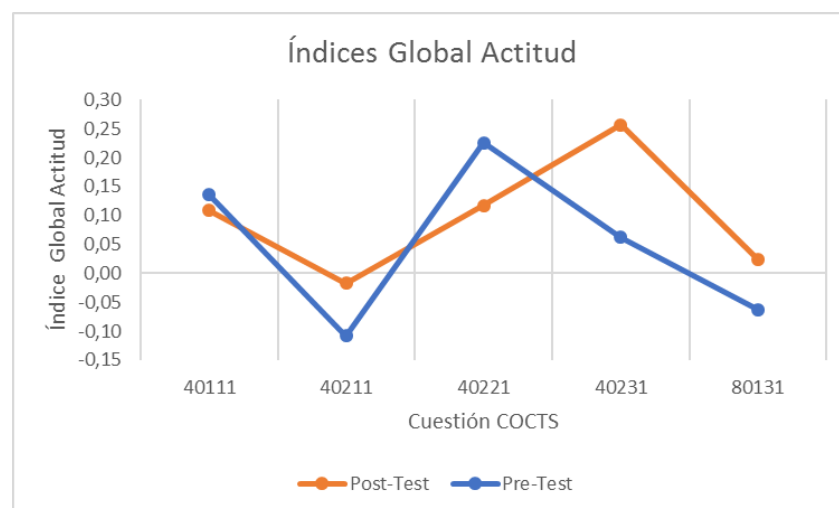
Por otra parte, hay un incremento significativo para las cuestiones 40211, 40211 y 80131 al ser valores superiores de 0.20; un incremento grande para la cuestión 40231 al ser una puntuación mayor de 0.40. Lo anterior denota mejora en el índice medio en frases plausibles para la mayoría de las cuestiones del COCTS después de aplicada la SEA.



Gráfica 25. Índices Medios Ingenuas por Cuestión del COCTS.

Así mismo, en la Gráfica 25 se observa una disminución de los índices medios para las frases ingenuas de las cuestiones 40111 y 40221 en la aplicación del cuestionario Post-Test, siendo la diferencia de los índices respectivamente -0.06 y -0.28, por lo cual el índice medio de la cuestión 40111 no generó diferencias significativas, en comparación de la cuestión 40221 en la que su índice desmejoró significativamente después de aplicada la secuencia.

Por otra parte, se demostró un aumento en los índices medios de frases ingenuas en las cuestiones 40211, 40231 y 80131, siendo la diferencia de los índices Pre-Test y Post-Test de 0.18, 0.23, 0.17 respectivamente para cada cuestión. Por tanto, solo la cuestión 40231 refleja un mejoramiento significativo del índice medio para frases inadecuadas. Cabe señalar que los índices medios de las cuestiones 40211 (0.18) y 80131 (0.17) no están lejos de considerarse mejoras significativas.



Gráfica 26. Índices Global Actitud por Cuestión del COCTS.

En segunda instancia, se obtienen los índices global actitud por cuestión del COCTS (véase Gráfica 26), donde se percibe que después de la aplicación de Post-Test una disminución de estos índices para las cuestiones 40111 y 40221. Sin embargo, hay un aumento de los índices global de actitud para las cuestiones 40211, 40231 y 80131. En cuanto a las cuestiones 40111 y 40221 la diferencia de los índices Pre-Test y Post-Test son -0.03 y -0.11 correspondientemente; por tanto, se consideran irrelevantes. En cambio, las diferencias de los índices global de actitud para las cuestiones 40211, 40231 y 80131 son 0.09, 0.19 y 0.09, de modo que, solo se puede considerar un valor relevante al del índice global actitud de la cuestión 40231 (0.19) por ser cercano a 0,20.

Cabe destacar que el índice global actitud hace referencia al promedio de los índices medios de frases adecuadas, plausibles e ingenuas analizadas anteriormente de forma individual. De manera que, los anteriores análisis permitieron examinar el desarrollo de la habilidad de toma de decisiones alcanzado en la muestra de investigación y atribuido a la SEA *Corrosión de metales e implicaciones en la sociedad*, enmarcado en la comprensión de la NdCyT.

De acuerdo con la diferencia del índice global promedio para cada categoría Pre-Test y Post-Test, se demuestra que después de la aplicación de la SEA hubo un incremento de estos índices para las cuestiones 40211, 40231 y 80131 por tanto las opiniones tomadas por los estudiantes se consideran más adecuadas e informadas que antes de la aplicación de la SEA, sin embargo, es necesario realizar ajustes a la misma para que el incremento de los índices global actitud sean considerados significativos. En cuanto a la disminución del índice global actitud para las cuestiones del COCTS 40111 y 40221 estos valores son irrelevantes indicando que la opinión por parte de los estudiantes no tuvo cambios después de la aplicación de la SEA, por lo que cabría hacer modificaciones a la SEA para desarrollar opiniones más adecuadas en los estudiantes para estas cuestiones.

En síntesis, en el análisis global de la SEA (teniendo en cuenta los índices medios para frases adecuadas, plausibles e ingenuas por separado), se deduce que la disminución en los índices medios para frases adecuadas en todas las cuestiones del COCTS, corresponde al aumento de todos los índices medios de frases plausibles y al aumento de los índices medios de frases ingenuas de las cuestiones 40211, 40231 y 80131. Cabe destacar que, es necesario revisar la SEA para considerar que aspectos mejorar de la misma, para lograr que los estudiantes tomen decisiones informadas y que correspondan a opiniones adecuadas, disminuyendo así, la elección de opiniones plausibles e ingenuas.

En conclusión, con relación a la aplicación de la SEA y del COCTS, se encuentra que ésta permitió mejorar la habilidad de toma de decisiones con respecto a cómo se encontraban antes de la aplicación, ya que los estudiantes pudieron identificar el

problema de la corrosión en los contextos planteados a lo largo de la SEA, emitieron juicios sobre la solución que eligieron, o sobre las opciones de solución que se les presentó, y por supuesto, tomaron decisiones en su mayoría acertadas sobre qué solución debía utilizarse. Sin embargo, se encontró que los estudiantes no emiten juicios sobre opciones de solución a un problema, si no se les presentan en un listado, lo cual puede limitar la toma de una buena decisión. En este mismo sentido, es importante mencionar que en las actividades planteadas les permitió a los estudiantes explicitar parcialmente la Influencia de Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad, según los resultados del COCTS, lo que influyó directamente en mantener y aumentar grados de acuerdo frente afirmaciones de tipo plausible, mantenerlos estables en las afirmaciones adecuadas y disminuirlos frente a las opciones ingenuas.

## 8. CONCLUSIONES

Por medio del diseño e implementación de la SEA “Corrosión y métodos de protección de metales” en estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Mecánica de la Universidad ECCI, se logró un aumento significativo del desarrollo de la habilidad de toma de decisiones enmarcada en el Pensamiento Crítico (PC) e impulsado por el uso de la perspectiva de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT). Este aumento del desarrollo de la habilidad de toma de decisiones se evidencia en la comparación de los resultados expuestos en las rúbricas de evaluación de la SEA para las actividades Extraer (test de identificación de ideas previas) con los resultados de las actividades Elaborar (la corrosión en la vida diaria) y Extender (Corrosión en la Central Hidroeléctrica de Caldas); y, asimismo lo corrobora el COCTS con las puntuaciones Pre-Test y Post-Test de los índices medios para las frases adecuadas, plausibles e ingenuas; e índices globales promedios de categorías.

Lo anterior permite afirmar que, al utilizar la NdCyT los estudiantes logran establecer relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad, especialmente al reflexionar sobre la ciencia y el quehacer científico en el aula de clase; de ahí su conexión con el pensamiento crítico, que los llevó a desarrollar la habilidad de toma de decisiones teniendo en cuenta cada uno de los aspectos de un contexto determinando. Además, la SEA al estar diseñada según el Ciclo de Aprendizaje 7E favorece la comprensión del estudiante en la temática escogida, colocándolo en diversos contextos mediante cada una de las actividades diseñadas.

Por otra parte, se sintetizó electroquímicamente (utilizando la técnica de voltametría cíclica) películas de polipirrol sobre electrodos de acero 1020 dopadas con aniones oxalato como surfactantes, en solución de acetonitrilo + 10wt% de agua. Sin embargo, las técnicas de caracterización (Tafel y Espectroscopia de Impedancia) en la película formada, arrojaron como resultado que, aunque los valores de los potenciales de corrosión aumentaban en limitada medida, había difusión de iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  a través de la película hacia el electrodo, favoreciendo la corrosión del metal durante la caracterización. Lo anterior se debe a que, la película de polipirrol no quedó lo suficientemente adherida a la superficie del electrodo de trabajo. Para finalizar, debe reconocerse que, a través de este trabajo experimental, los investigadores obtuvieron un buen soporte teórico de la temática para diseñar la SEA sobre corrosión y métodos de protección de metales.

## 9. RECOMENDACIONES

- Para la realización de posteriores síntesis de polipirrol sobre acero 1020 en acetonitrilo, se recomienda realizar estudios para mejorar la solubilidad del ácido oxálico en el solvente y además investigar una manera adecuada de proteger el electrodo de trabajo mediante pasivación. Asimismo, de realizar estudios de la síntesis realizada en este trabajo, en función de la cantidad de agua adiciona al solvente, la concentración de pirrol y oxalato, y por último la velocidad de barrido del potencial.
- La SEA utilizada en la presente investigación, puede ser adaptada modificando el componente teórico conceptual dependiendo del nivel de escolaridad al que se quiera aplicar, incluyendo la posibilidad de ampliar la temática de la síntesis de películas anticorrosivas en la parte de métodos de protección a metales.
- Para investigaciones que quieran aplicar la SEA “Corrosión de metales e implicaciones en la sociedad”, se sugiere extender el tiempo de aplicación de la misma, con el fin que, en cada sesión se aborde máximo dos actividades al tiempo. Igualmente, que en el aula de clase se tenga a disposición recursos bibliográficos o herramientas tecnológicas en caso de necesitar realizar consultas especializadas en el lugar. Por último, se sugiere implementar dentro de la SEA prácticas de laboratorio sobre corrosión, según la disponibilidad de los recursos necesarios para la realización de esta.

## 10. REFERENCIAS

- Duffitt, G. L., & Pickup, P. G. (1991). Permselectivity of polypyrrole in acetonitrile. *J. Phys. Chem.*, 95(24), 9634-9635. doi:10.1021/j100177a008
- Abd-El-Khalick, F., & Akerson, V. (2009). The Influence of Metacognitive Training on Preservice Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 31(16), 20161-2184.
- Acevedo Díaz, J. A., Vásquez Alonso, Á., Manassero, M. A., & Acevedo Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 42-66.
- Atienza Escarda, M. (2017). La enseñanza de la química en educación secundaria y bachillerato a través de experiencias prácticas de electroquímica. *Trabajo de maestría*. Universidad de Valladolid.
- Bedoya Lora, F. E., & Calderón Gutiérrez, J. A. (2011). Análisis de los parámetros determinados por espectroscopia de impedancia electroquímica para la evaluación del desempeño de pinturas. 1-16. (Grupo de Corrosión y Protección, Ed.) Medellín, Colombia: Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales - CIDEMAT.
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604.
- Camacho González, J. (2011). La historia de la teoría electroquímica y su contribución a la promoción de la explicación científica en la química escolar. *Revista científica*(14), 8-20.
- Chang, R. (2010). *Química*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Compañía General de Aceros S.A . (2007, Marzo). SAE 1020 Y SAE 1045. Aceros ingeniería al carbono. Bogotá D.C., Colombia. Retrieved from <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>
- De Jong, O., & Treagust, D. (2002). The Teaching and Learning of Electrochemistry. In J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. Van Driel, *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 317-337). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- De Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). Problems in Teaching the Topic of Redox Reactions: Actions and Conceptions of Chemistry Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 1097-1110.
- Downard, A., & Pletcher, D. (1986). The influence of water on the electrodeposition of polypyrrole in acetonitrile. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 206, 139-145. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-0728\(86\)90263-9](https://doi.org/10.1016/0022-0728(86)90263-9)
- Eisenkraft, A. (2003). Expanding the 5E model. *The Science Teacher*, 70(6), 56-59.
- Elgrishi, N., Rountree, K., McCarthy, B., Rountree, E., Eisenhart, T., & Dempsey, J. (2018). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 197-206. doi:10.1021/acs.jchemed.7b00361
- Ennis, R. (1991). Critical thinking: A streamlined Conception. *Teaching Philosophy*.
- Fernández Otero, T. (2003). Polímeros conductores: síntesis, propiedades y aplicaciones electroquímicas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4(4), 1-32.
- Gnozdenovic, M., Jugovic, B., Stevanovic, J., & Grgur, B. (2014). Electrochemical synthesis of electroconducting polymers. *Hemijska Industrija*, 68(6), 673-684.
- Gómez, D. (2015). Diseño, aplicación y evaluación de un programa educativo basado en la Competencia Científica para el desarrollo del Pensamiento Crítico en alumnos de Educación Secundaria. *Trabajo de Doctorado*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Jenkins, E. (1997). Scientific and Technological Literacy for Citizenship: What can we learn from the research and other evidence? In S. Sjøberg, *Science, technology and citizenship. The understanding of science and technology in Science Education and research policy* (pp. 29-50). Oslo, Norway: Norsk Institutt for studier av forskning og utdanning.
- Lara Coral, A. (2012). Desarrollo de habilidades de pensamiento y creatividad como potenciadores de aprendizaje. *Unimar*(59), 85-96.
- Lau, C.-Y., Xu, J., & Shiu, K.-K. (2012). Effects of solvent composition on the preparation and electroanalytical behaviors of polypyrrole modified electrodes. *Electrochimica Acta*, 72, 143-149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.04.027>
- Manassero-Mas, M. (2015). EDU2015-64642-R (MINECO/FEDER). *Educación de las competencias científica, tecnológica y pensamiento crítico mediante la*

*enseñanza de temas de naturaleza de ciencia y tecnología*. España: Universidad de las Islas Baleares.

- Martínez Delgado, J. E. (2013). Propuesta metodológica para mejorar el aprendizaje del tema de electroquímica en estudiantes de 10 grado de la institución educativa cañaveral a través del estudio de sus ideas previas. *Trabajo de Maestría*. Universidad Nacional de Colombia.
- Mollahosseini, A., & Noroozian, E. (2009). Electrodeposition of a highly adherent and thermally stable polypyrrole coating on steel from aqueous polyphosphate solution. *Synthetic Metals*, 159(13), 1247-1254.
- Pérez Lemus, N. (2016). Teoría redox mediante aprendizaje basado en problemas. *Trabajo de Maestría*. Universidad de Valladolid.
- Rojas Carrillo, J. P. (2012). Estrategia basada en investigación orientada para la enseñanza del tema oxidación. *Trabajo de Maestría*. Universidad Nacional de Colombia .
- Saiz, C. (2011). *Pensamiento crítico: conceptos básicos y actividades prácticas*. Madrid: Pirámide.
- Saiz, C., & Rivas, S. (2008). Intervenir para transferir en pensamiento crítico. *Conferencia Internacional: Lógica, Argumentación y Pensamiento Crítico* (pp. 1-17). Santiago de Chile: Universidad Diego Portales.
- Suárez Herrera, M. F. (2011). *Electroquímica Física e interfacial: Una aproximación teórica*. Bogotá D.C., Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Tamayo Álzate, Ó. E., Zona López, J. R., & Loaiza Zuluaga, Y. E. (2014). *Pensamiento Crítico en el aula de ciencias*. Manizales: Universidad de Caldas.
- Tamayo, Ó. E., & Orrego, M. (2005). Aportes de la Naturaleza de la Ciencia y del Contenido Pedagógico del Conocimiento para el campo conceptual de la Educación en Ciencias. *Revista Educación y pedagogía*, 16(43), 11-25.
- Tietje-Girault, J., Ponce de León, C., & Walshb, F. (2007). Electrochemically deposited polypyrrole films and their characterization. *Surface & Coatings Technology*, 201, 6025-6034.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.11.009>
- Torres Merchán, N. Y. (2011). El abordaje de situaciones contextuales para la solución de problemas y la toma de decisiones. *Revista del Instituto de Estudios en Educación Universidad del Norte*(14), 126-141.

- Valdez Salas, B., & Schorr Wiener, M. (2013). *Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*. Barcelona, España: OmniaScience.
- Vasini, E. J., & Donato, E. R. (2001). Uso de analogías adecuadas como recurso didáctico para la comprensión de los fenómenos electroquímicos en el nivel universitario inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 471-477.
- Vásquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y la tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 2-31.
- Vásquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 2): Una revisión desde los currículos de ciencias y la competencia PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 32-53.
- Vásquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2013). *Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia Tecnología y Sociedad (COCTS)*. Palma de Mallorca, España: Universitat de les Illes Balears.
- Vásquez Alonso, Á., Manassero Mas, M., Acevedo Díaz, J., & Acevedo Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad. *Educación Química*, 18(1), 38-55.
- Vásquez Alonso, Á., Manassero Mas, M., & Bennàssar Roig, A. (2013). *Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje sobre la Naturaleza de la Ciencia y Tecnología*. Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears.
- Vassos, B., & Ewing, G. (1998). *Electroquímica Analítica*. México D.F., México: Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Vera, M. I., Montiel, G. M., Stoppello, M. G., & Giménez, L. I. (2011). Aprendiendo electroquímica. Un estudio comparativo. *Avances en ciencias e ingeniería*, 2(2), 131-139.
- Viau, L., Hihn, J., Lakard, S., Moutarlier, V., Flaud, V., & Lakard, V. (2014). Full characterization of polypyrrole thin films electrosynthesized in room temperature ionic liquids, water or acetonitrile. *Electrochimica Acta*, 137, 298-310. doi:<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.05.143>
- Vieira, R. M., Terneiro Vieira, C., & Martins, I. (2011). Critical thinking: Conceptual clarification and its importance in science education. *Science Education International*, 22(1), 43-54.

- Villalonga, M., García, R., Menéndez, A., & Falls, M. (2009). Integración de la Química General en la carrera de Ingeniería Mecánica utilizando problemas profesionales. *Educación Química*, 20(1), 83-87.
- Whitten, K., Davis, R., Peck, L., & Stanley, G. (2008). *Química. Octava Edición*. México D.F.: Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Young, D., & Tamir, P. (1977). Finding out what Students know. *The Science Teacher*(44), 27-28.
- Zhou, M., & Heinze, J. (1999). Electropolymerization of pyrrole and electrochemical study of polypyrrole. 3. Nature of "water effect" in acetonitrile. *The Journal of Physical Chemistry B*, 103(40), 8451-8457. doi:10.1021/jp990162l

## LISTADO DE ANEXOS

- A.** Descripción de la SEA “Corrosión de metales e implicaciones en la sociedad”.
- B.** Instrumento: Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS).
- C.** Actividad Extraer: Test de identificación de ideas previas.
- D.** Actividad Envolver: Lectura “Accidentes en Plantas Químicas, el Desastre de Bhopal”.
- E.** Actividad Explorar: Preguntas lectura “Accidentes en Plantas Químicas, el Desastre de Bhopal”.
- F.** Actividad Explicar: Diapositivas “Corrosión”.
- G.** Actividad Elaborar: La corrosión en la vida diaria.
- H.** Actividad Extender: Corrosión en la Central Hidroeléctrica de Caldas.
- I.** Promedio de índices de frases adecuadas (A), plausibles (P) e ingenuas (I) por cuestión del COCTS, e índice global actitud (GA). Pre-Test.
- J.** Promedio de índices de frases adecuadas (A), plausibles (P) e ingenuas (I) por cuestión del COCTS, e índice global actitud (GA). Post-Test.
- K.** Índices Medios para frases adecuadas (A), plausibles (P) e ingenuas (I) por cuestión del COCTS, e índice global actitud (GA). Pre-Test, Post-Test y diferencia (Pre-Test, Post-Test) de índices medios de cada categoría.

**Anexo I.** Promedio de índices de frases adecuadas (A), plausibles (P) e ingenuas (I) por cuestión del COCTS, e índice global actitud (GA). Pre-Test.

Cuestión	40111				40211				40221				40231				80131			
	A	P	I	GA	A	P	I	GA	A	P	I	GA	A	P	I	GA	A	P	I	GA
1	0,00	0,42	-0,17	0,08	0,75	-0,25	-0,63	-0,04	0,75	0,63	-0,25	0,38	0,75	-0,63	-0,50	-0,13	0,88	0,50	-0,75	0,21
2	1,00	-1,00	0,33	0,11	0,00	-1,00	-1,00	-0,67	1,00	-1,00	1,00	0,33	1,00	-1,00	1,00	0,33	1,00	-1,00	-1,00	-0,33
3	0,25	0,00	-0,33	-0,03	0,38	0,75	-0,63	0,17	1,00	-0,63	-0,42	-0,01	1,00	-1,00	-1,00	-0,33	0,88	0,50	-1,00	0,13
4	0,63	-0,17	-0,58	-0,04	0,00	-0,63	-1,00	-0,54	-0,25	0,38	0,25	0,13	0,25	-0,25	-0,75	-0,25	0,63	0,25	-0,50	0,13
5	0,63	0,17	-0,42	0,13	0,63	-0,25	-0,25	0,04	0,50	-0,38	-0,58	-0,15	0,75	0,13	0,00	0,29	0,63	0,25	-0,25	0,21
6	0,13	0,00	0,25	0,13	0,13	0,38	0,13	0,21	0,25	0,00	0,00	0,08	-0,50	0,00	-0,75	-0,42	-0,13	-0,25	-0,25	-0,21
7	1,00	-0,17	-0,50	0,11	0,38	-0,25	-0,75	-0,21	1,00	0,00	-0,25	0,25	1,00	-1,00	-1,00	-0,33	0,75	-1,00	-1,00	-0,42
8	0,63	0,38	0,00	0,33	0,63	0,00	-0,50	0,04	0,75	0,38	-0,17	0,32	0,25	0,00	-0,75	-0,17	0,88	-0,25	-0,25	0,13
9	0,75	-0,33	-0,25	0,06	0,38	-0,25	-1,00	-0,29	1,00	-0,38	0,00	0,21	1,00	-0,38	1,00	0,54	0,13	1,00	-1,00	0,04
10	1,00	-0,75	-0,33	-0,03	1,00	-1,00	-0,75	-0,25	1,00	-0,38	0,67	0,43	1,00	-0,25	0,75	0,50	0,50	-1,00	-0,25	-0,25
11	1,00	0,25	0,42	0,56	0,50	-0,38	-0,25	-0,04	1,00	-0,25	-0,50	0,08	1,00	-0,38	0,50	0,38	0,63	-1,00	-1,00	-0,46
12	0,75	-0,08	0,00	0,22	0,75	0,13	0,00	0,29	0,75	0,75	0,50	0,67	0,50	-0,25	0,75	0,33	0,75	0,25	-0,75	0,08

**Anexo J.** Promedio de índices de frases adecuadas (A), plausibles (P) e ingenuas (I) por cuestión del COCTS, e índice global actitud (GA). Post-Test.

Cuestión	40111				40211				40221				40231				80131			
	A	P	I	GA	A	P	I	GA	A	P	I	GA	A	P	I	GA	A	P	I	GA
1	-0,13	-0,08	-0,33	-0,18	0,38	0,25	-0,13	0,17	0,75	0,63	-0,42	0,32	0,25	0,63	-0,25	0,21	0,50	1,00	-0,25	0,42
2	0,75	0,00	-0,25	0,17	0,13	0,00	-0,38	-0,08	-0,75	0,38	-0,17	-0,18	0,75	0,75	-0,50	0,33	0,25	0,50	0,00	0,25
3	0,00	0,25	0,00	0,08	0,75	-0,25	-0,63	-0,04	1,00	-0,38	-0,33	0,10	0,75	0,25	0,00	0,33	0,25	0,50	-0,75	0,00
4	0,63	0,17	-0,58	0,07	0,25	0,63	-0,50	0,13	0,00	0,38	-0,42	-0,01	0,50	0,25	-0,50	0,08	0,88	0,25	-0,25	0,29
5	0,25	0,58	-0,17	0,22	0,63	0,38	-0,25	0,25	0,50	0,38	-0,33	0,18	0,50	0,38	0,25	0,38	0,38	0,50	-0,50	0,13
6	-0,38	0,42	0,25	0,10	-0,50	0,38	0,00	-0,04	0,00	0,50	-0,08	0,14	-0,25	0,38	0,50	0,21	0,00	0,50	0,00	0,17
7	1,00	-0,25	-0,58	0,06	0,00	-0,63	-0,50	-0,38	0,75	0,13	-0,75	0,04	1,00	-0,63	-1,00	-0,21	0,88	-0,25	-0,50	0,04
8	0,63	0,50	-0,08	0,35	0,25	-1,00	-0,63	-0,46	0,75	0,50	0,00	0,42	0,50	0,38	0,75	0,54	0,63	-0,25	-0,50	-0,04
9	1,00	-0,58	-0,33	0,03	-0,13	0,00	-0,75	-0,29	1,00	-0,38	-0,33	0,10	1,00	-1,00	1,00	0,33	0,50	-1,00	-1,00	-0,50
10	1,00	-0,33	-0,33	0,11	0,75	0,50	-0,38	0,29	0,25	-0,63	-0,42	-0,26	0,50	-1,00	1,00	0,17	0,75	-1,00	-1,00	-0,42
11	0,63	-0,58	0,33	0,13	0,88	-0,63	-0,50	-0,08	0,50	0,00	0,00	0,17	1,00	0,13	0,25	0,46	0,75	0,25	-0,50	0,17
12	0,88	-0,08	-0,25	0,18	0,50	0,38	0,13	0,33	0,75	0,38	0,08	0,40	0,50	-0,25	0,50	0,25	0,38	-0,25	-0,75	-0,21

**Anexo K.** Índices Medios para frases adecuadas (A), plausibles (P) e ingenuas (I) por cuestión del COCTS, e índice global actitud (GA). Pre-Test, Post-Test y diferencia (Pre-Test, Post-Test) de índices medios de cada categoría.

Cuestión	Pre-Test				Post-Test				Diferencia			
	A	P	I	GA	A	P	I	GA	A	P	I	GA
40111	0,65	-0,11	-0,13	0,14	0,52	0,00	-0,19	0,11	-0,13	0,11	-0,06	-0,03
40211	0,46	-0,23	-0,55	-0,11	0,32	0,00	-0,38	-0,02	-0,14	0,23	0,18	0,09
40221	0,73	-0,07	0,02	0,23	0,46	0,16	-0,26	0,12	-0,27	0,23	-0,28	-0,11
40231	0,67	-0,42	-0,06	0,06	0,58	0,02	0,17	0,26	-0,08	0,44	0,23	0,19
80131	0,63	-0,15	-0,67	-0,06	0,51	0,06	-0,50	0,02	-0,11	0,21	0,17	0,09