

# **Corrosión: Una Innovación en la enseñanza – aprendizaje**

## **Corrosion: An Innovation in teaching-learning**

Pedro Meza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Docente investigador, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena de Indias, Colombia, [pmeza@tecnocomfenalco.edu.co](mailto:pmeza@tecnocomfenalco.edu.co)

**Resumen.** El artículo muestra los avances de una investigación relacionada con una estrategia pedagógica de enseñanza-aprendizaje implementada en la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco de la ciudad de Cartagena (Colombia), la cual ha mostrado ser efectiva para generar cambios actitudinales en estudiantes del programa de formación Tecnología en Operación de Plantas sobre su rol y responsabilidad en la protección de equipos de procesos químicos construidos con materiales metálicos. Esta estrategia pedagógica se basa en cuatro etapas aplicadas dentro y fuera del aula que incluyen el uso de diferentes ambientes de aprendizaje y de herramientas relacionadas con las TICs para facilitar el entendimiento de fenómenos corrosivos y sus efectos. Los resultados de ésta metodología ha llevado a la ejecución de diferentes proyectos de aula, proyectos de investigación y proyectos de grado, en los cuales se hace uso de la biodiversidad de la región Caribe Colombiana para la prevención y control de fenómenos corrosivos.

*Palabras claves:* Corrosión, educación, análisis de fallas, estrategia pedagógica.

**Abstract.** This article shows the progress of an ongoing investigation related to pedagogical teaching-learning strategy implemented in the Technological University Foundation Comfenalco at Cartagena de Indias city (Colombia), which has shown to be effective to generate attitudinal changes in the students of the technological program in Plant Operation on their role and responsibility in protecting chemical process equipment made of metallic materials. This teaching strategy is based on the execution of four stages applied inside and outside the classroom which include the use of different learning environments and computer based tools (CBTs) to facilitate understanding of corrosive phenomena and their effects. The results of this methodology has led to the implementation of various projects of classroom, research projects and graduation projects, in which use of biodiversity of the Colombian Caribbean region for the prevention and control of corrosive phenomena is made.

*Keywords:* Corrosion, education, failure analysis, pedagogical strategy.

## **1 Introducción**

La corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su ambiente. La integridad y vida útil de los metales se ve afectada por fenómenos corrosivos los cuales tienen implicaciones económicas

asociadas a los costos para su prevención y control, estimándose inversiones anuales alrededor del 3% - 5% del PIB en países de la Unión Europea y Estados Unidos [1]. En la costa Caribe colombiana, en especial la ciudad de Cartagena, son muy comunes este tipo de fenómenos dada su ubicación geográfica y la gran cantidad de empresas del sector petroquímico-plástico ubicadas en la zona industrial de Mamonal. Es por ésta razón que se debe contar con tecnólogos con las competencias necesarias que garanticen la integridad y cuidado básico de los equipos de procesos industriales construidos en materiales metálicos sobre los cuales se desempeñan laboralmente, partiendo de la base que en un mal mantenimiento o una mala operación de estos podría desencadenar problemas de corrosión con consecuencias catastróficas [2]. A su vez, que conozcan los últimos desarrollos ambientalmente amigables empleados para la prevención y el control de la corrosión [3], así como el aporte que el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad de la región Caribe podría hacer sobre estos desarrollos.

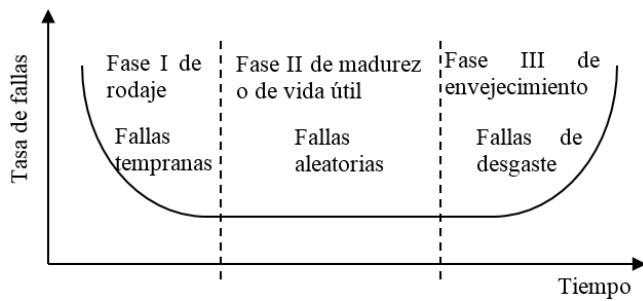
## 2 Estrategia de enseñanza-aprendizaje

La estrategia se basa en la aplicación de cuatro etapas las cuales permiten ir creando el cambio actitudinal relacionado con la responsabilidad que tienen los tecnólogos en operación de plantas sobre los equipos de proceso que van a monitorear una vez egresados de su programa de formación, haciendo énfasis en el desarrollo de la creatividad para la solución de problemas que se puedan presentar durante su desempeño laboral [4-5]. Esta estrategia es aplicada dentro del ciclo de conferencias programadas para los estudiantes del semillero de investigación de los programas petroquímico-plásticos adscritos a la facultad de ingeniería de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco.

### 2.1 Integralidad del currículo

Durante esta etapa a los estudiantes se les da a conocer la relación que existe entre las diferentes asignaturas de su plan de estudios, mostrándoles una serie de equipos de procesos industriales relacionados con su formación tecnológica como bombas, calderas intercambiadores de calor, columnas de destilación, columnas de absorción, reactores, entre otros, construidos con materiales metálicos, con el fin de generar conciencia sobre la correcta selección de dichos materiales en la construcción de los equipos, así como de los efectos de las variables de proceso flujo, temperatura, presión, composición y nivel sobre la probabilidad de ocurrencia de fallas en los equipos que puedan llevar a la generación de accidentes industriales. Lo que se busca con esta primera etapa es mostrarles a los estudiantes la relación que existe entre las diferentes asignaturas como transferencia de calor, transferencia de masa, mecánica de fluidos, termodinámica, diseño de reactores, control de procesos, diseño de procesos, con la ciencia de los materiales y el control de la corrosión. Se utilizan como ambientes de aprendizaje los laboratorios de ingeniería de procesos, el aula de clases y las visitas industriales a diferentes empresas del sector industrial de Mamonal. En esta primera etapa cumple un papel muy importante la curva de Davies o curva de la bañera (Fig. 1) en la comprensión de la importancia de la correcta

selección de los materiales y del tipo de fallas que se pueden presentar en los equipos anteriormente mencionados.



**Fig. 1.** Curva de Davies. Fuente: Adaptado de Roesch, 2012 [6]

## 2.2 Generación de impacto visual

En esta segunda etapa a los estudiantes se les da a conocer una serie de estudios de caso (The 50 Major Engineering Failures 1977-2007) en los que se documentan accidentes generados por fenómenos corrosivos en diferentes plantas de procesos químicos (Fig. 2) a través de fotografías que evidencian el impacto, no solo de tipo económico sino también de pérdida de vidas humanas por causa de la corrosión.



**Fig. 2.** Accidente industrial en una refinería de petróleo. Fuente: Pedro Meza Castellar, diapositivas de clase.

Estos estudios de caso son tomados de la página web <http://abduh137.wordpress.com>, mostrándoles entre tres y cinco casos a los estudiantes en el aula de clases para que posteriormente ellos ingresen a la página y seleccionen cuál de los otros accidentes documentados les generó mayor impacto. A su vez se les pide a los estudiantes que consulten la dirección, <http://www.youtube.com/watch?v=QiILbGbk8Qk> en la que se puede observar una animación realizada por la CSB (U.S. Chemical Safety Board)

donde se explican las causas del accidente ocurrido por la corrosión de una de las líneas de tubería en la refinería de Richmond (Fig. 3).

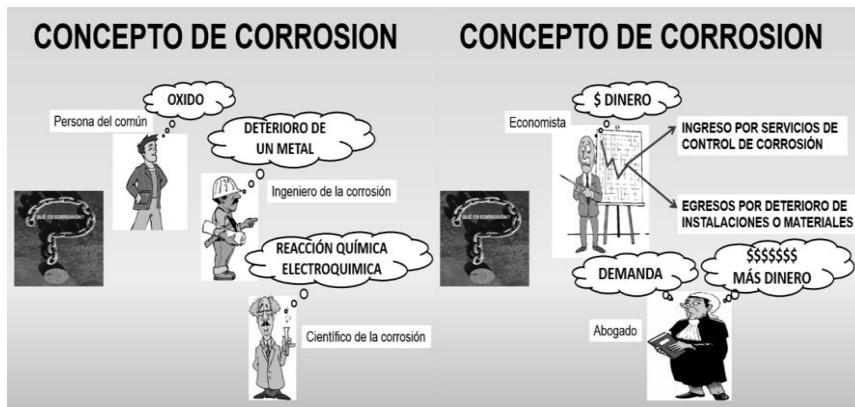


**Fig. 3.** Daño por corrosión de una tubería de proceso de la refinería de Richmond. Fuente: <http://www.youtube.com/watch?v=QiILbGbk8Qk>

Lo que se busca con esta etapa es que el estudiante tome conciencia de su papel en la prevención de accidentes industriales relacionados con corrosión y los impactos que éstos pueden generar. Esta etapa está acorde con las investigaciones realizadas por Alekseevich y Borisovna [7] sobre la importancia del componente psicológico en la educación en tecnología e ingeniería.

### 2.3 Familiarización con el concepto de corrosión

En la tercera etapa el estudiante empieza a comprender los saberes relacionados con el tema de la corrosión partiendo de la creación de su propio concepto, teniendo en cuenta las definiciones dadas por diferentes actores relacionados con ésta temática (Fig. 4).



**Fig. 4.** Diferentes puntos de vista y definiciones sobre la corrosión.

A su vez, se le asignan una serie de actividades para que el estudiante realice por fuera del aula de clases, entre las cuales están:

- ❖ La búsqueda del pasaje bíblico Mateo 6:19-21: “No acumulen para sí tesoros en la tierra, donde la polilla y el óxido destruyen, y donde los ladrones se meten a robar. Más bien, acumulen para sí tesoros en el cielo, donde ni la polilla ni el óxido carcomen, ni los ladrones se meten a robar. Porque donde esté tu tesoro, allí estará también tu corazón”. Con ésta lectura se les demuestra a los estudiantes que los fenómenos corrosivos se conocen desde hace mucho tiempo, y a pesar de esto, aún se siguen estudiando para desarrollar tecnologías para su prevención y control.
- ❖ Ver el documental “Infierno en Guadalajara” en el cual se muestran las causas y consecuencias, tanto económicas como humanas, sobre un problema de corrosión galvánica ocurrido en México.
- ❖ Ver la película “Erin Brockovich, una mujer audaz”, en la cual se expone un caso muy sonado sobre el uso de cromo hexavalente como inhibidor de corrosión de tuberías de aguas de enfriamiento que dio como resultado la generación de enfermedades en la población por la contaminación de las aguas de consumo por el cromo hexavalente presente en éstas. Esta película sirve como punto de partida para darles a conocer las últimas investigaciones publicadas en bases de datos como Sciedirect relacionadas con el uso de inhibidores de corrosión ambientalmente amigables obtenidos a partir de extractos vegetales [8-11].

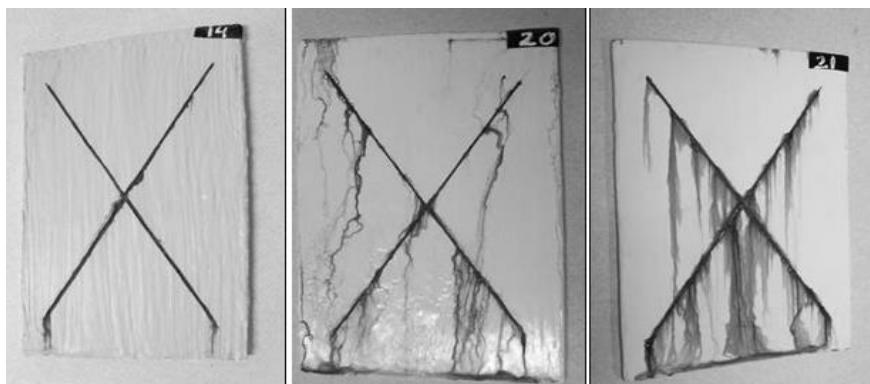
La lectura de estos artículos por parte de los estudiantes se convierte en el insumo para la realización de prácticas de laboratorio en las cuales se estudian diferentes plantas que crecen en la región Caribe Colombiana con el fin de evaluar su capacidad inhibidora de la corrosión mediante pruebas de pérdida de peso en diferentes electrolitos y metales. Estas prácticas también permiten desarrollar competencias investigativas en los estudiantes mediante la realización de diseños experimentales apoyados en análisis de varianzas (ANOVA) empleando software estadísticos como Statgraphics para identificar las variables de mayor influencia sobre la eficiencia de inhibición.

#### 2.4 Estudios de caso en el aula

En esta última etapa se revisan estudios de caso tomados de diferentes congresos, seminarios y bases de datos, en los que se tratan problemáticas reales relacionadas con la corrosión [12-5], y a través de las cuales, los estudiantes aplican las competencias desarrolladas en el análisis de las causas y consecuencias de estas, expresando sus puntos de vista para la generación de espacios de debate constructivos. Estos estudios de caso permiten que para la solución de las problemáticas planteadas los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas del currículo con el fin de contribuir con una solución integral a los problemas de corrosión [16-17].

### 3 Resultados

La aplicación de la anterior metodología ha permitido que los estudiantes del programa Tecnología en Operación de Plantas desarrollen competencias relacionadas con la prevención y control de la corrosión, lo que se evidencia en la realización de proyectos de semilleros de investigación, proyectos de aula y proyectos de grado que han arrojado resultados como el mostrado en la Fig. 5, en el cual se desarrolló un aditivo de origen natural para la formulación de recubrimientos anticorrosivos.



**Fig. 5.** Resultados comparativos de la incorporación de aditivos naturales en la formulación de recubrimientos anticorrosivos: formulación con aditivo de origen natural, recubrimiento epoxipoliamídico comercial y recubrimiento alquídico anticorrosivo comercial.

Estos resultados parciales muestran la efectividad de dicho aditivo, el cual en la actualidad se encuentra en etapa de perfeccionamiento de la formulación con fines de lograr su patentabilidad.

### 4 Conclusiones

La anterior metodología de enseñanza-aprendizaje de fenómenos corrosivos puede ser replicada en otras instituciones de educación superior aprovechando la gran biodiversidad que ofrece Colombia y los excelentes resultados que ha demostrado en el tiempo que lleva de implementación.

El componente psicológico es primordial con el fin de lograr el cambio actitudinal de los estudiantes sobre su rol en el cuidado básico de equipos de proceso.

### Referencias

1. Revie, R., Uhlig, H.: Corrosion and Corrosion Control. John Wiley & Sons Inc, New Jersey (2008).
2. Shallcross, D.: Safety shares in the chemical engineering classroom. Education for Chemical Engineers, 9, (2014) e94 – e105

3. Chen, G., Zhang, M., Pang, M., Hou, X., Su, H., Zhang, J.: Extracts of Punica granatum Linne husk as Green and eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in oil fields. *Res Chem Intermed*, 39(8), (2013), 3545–3552
4. Kirillov, N. P., Fadeeva, V. N.: Methodological foundations of engineering education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 166, (2015) 356 – 359
5. Alekseevich, S., Alexandrovich, S., Ivanovich, P., Stanislavovich, P.: Engineering Education Technique based on Professional Activity Imitation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 55, (2012) 707 – 709
6. Roesch, W.: Using a new bathtub curve to correlate quality and reliability. *Microelectronics Reliability*, 52, (2012) 2864–2869
7. Alekseevich, S., Borisovna, V.: Role of psychological factors in new technology of design engineer education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 128, (2014) 469 – 474
8. Sharma, S.: *Green Corrosion Chemistry and Engineering: Opportunities and Challenges*. Wiley-VCH, Weinheim (2012)
9. Ramdea, T., Rossi, S., Zanella, C.: Inhibition of the Cu65/Zn35 brass corrosion by natural extract of Camellia sinensis. *Applied Surface Science*, 307, (2014) 209–216
10. Soltani, N., Tavakkoli, N., Khayat Kashani, M., Mosavizadeh, A., Oguzie, E.E., Jalali, M.R.: Silybum marianum extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 1.0 M HCl. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, (2014) 3217–3227
11. Al-Otaibi, M.S., Al-Mayouf, A.M., Khan, M., Mousa, A.A., Al-Mazroa, S.A., Alkhathlan, H.Z.: Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. *Arabian Journal of Chemistry*, 7, (2014) 340–346
12. Geary, W., Hobbs, J.: Catastrophic failure of a carbon steel storage tank due to internal corrosion. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 1, (2013) 257–264
13. Peltola, H., Lindgren, M.: Failure analysis of a copper tube in a finned heat exchanger. *Engineering Failure Analysis*, 51, (2015) 83–97
14. Xu, S., Wang, Ch., Wang, W: Failure analysis of stress corrosion cracking in heat exchanger tubes during start-up operation. *Engineering Failure Analysis*, 51, (2015) 1–8
15. Cheng-hong, P., Zheng-yi, L., Xing-zhao, W.: Failure analysis of a steel tube joint perforated by corrosion in a well-drilling pipe. *Engineering Failure Analysis*, 25, (2012) 13–28
16. Kumar Parashara, A., Parashar, R.: Innovations and Curriculum Development for Engineering Education and Research in India. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56, (2012) 685 – 690
17. Favre, E., Falk, V., Roizard, C., Schaer, E.: Trends in chemical engineering education: Process, product and sustainable chemical engineering challenges. *Education for Chemical Engineers*, 3, (2008) e22–e27