

**Título del Proyecto de Investigación
al que corresponde el Reporte Técnico:**

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN POTENCIOSTATO DE BAJO COSTO
PARA ESTUDIOS DE CORROSIÓN

Tipo de financiamiento

Sin financiamiento

Fecha de Inicio: 20/enero/2020
Fecha de Término: 31/diciembre/2021

Tipo de Reporte

Parcial

Final

Autor (es) del reporte técnico:

Christian Marisol Clemente Mirafuentes
Arturo Paz Pérez
Yahir de Jesús Mariaca Beltrán

ÍNDICE

1	Introducción	4
2	Planteamiento del Problema	5
2.1	Antecedentes	5
2.2	Marco Teórico.....	7
2.2.1	Señales analógicas y digitales	7
2.2.2	Convertidor análogo digital ADC	7
2.3.3	Amplificadores operacionales.....	8
2.2.4	Potenciostato	9
2.2.5	Técnicas electroquímicas	9
2.2.6	Ruido electroquímico.....	10
3	Objetivos	10
3.1	Objetivo general.....	10
3.2	Objetivos particulares	10
4	Metodología	11
5	Resultados	12
5.1	Comparación de los resultados	13
6	Productos Generados	16
7	Conclusiones	16
8	Contribución e impacto del proyecto.....	16
9	Impacto económico social y/o ambiental en la región.....	16
10	Referencias.....	17
11	Anexo	19
11.1	taxonomía de los roles colaborativos con las actividades logradas	21
11.2	estudiantes participantes en el proyecto.....	21

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN POTENCIOSTATO DE BAJO COSTO PARA ESTUDIOS DE CORROSIÓN

Resumen: En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un potenciostato de bajo costo para la medición y adquisición de variables en estudios de corrosión, para la medición de señales de ruido electroquímico (RE) en corriente (EC) y potencial (EP), y curvas de polarización. Estas señales permiten estimar la velocidad de corrosión e índice de localización (LI). Dado que las señales son en orden de nano o mili, se diseñó un circuito electrónico para medir las variables de corriente y potencial. El circuito integra dos rectificadores de señal, filtros para reducir ruido y un convertidor analógico digital (ADC) como componentes principales. Para comprobar la eficacia del potenciostato, se realizaron pruebas experimentales en un acero inoxidable AISI 410, con temperaturas de operación de 25 y 50 °C en concentraciones de NaCl al 1%, 3% y 5%. Los resultados obtenidos fueron comprobados con un potenciostato comercial, mostrando la eficacia del dispositivo desarrollado en este trabajo.

Palabras clave: Potenciostato, corrosión, ruido electroquímico.

Abstract: This work presents the design and development of a low-cost potentiostat for the measurement and acquisition of variables in corrosion studies, for the measurement of electrochemical noise (ER) signals in current (EC) and potential (EP), and polarization curves. using these signals allow estimating the corrosion rate and location index (LI). Since the signals are in order of nano or milli, an electronic circuit was designed to measure the current and potential variables. The circuit integrates two signal rectifiers, filters to reduce noise, and an analog to digital converter (ADC) as main components. In order to, verify the effectiveness of the potentiostat, experimental tests were carried out in AISI 410 stainless steel, with operating temperatures of 25 and 50 °C in concentrations of NaCl at 1%, 3% and 5%. The results obtained were verified with a commercial potentiostat, showing the efficiency of the device developed in this work.

Keyword: Potentiostat, corrosion, electrochemical noise.

Usuarios potenciales

El presente proyecto de investigación tuvo como finalidad aportar el fortalecimiento de las redes de trabajo con investigadores del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, quienes estuvieron colaborando en esta investigación. Sin embargo, desde el punto de vista académico la incidencia de este proyecto ha tenido impacto en los estudiantes del Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, mediante el aprendizaje de la metodología abordada

en este proyecto, siendo aplicada y desarrollada para la elaboración de proyectos y tesis. Finalmente, los resultados obtenidos de este proyecto impactarán en el área académica y de investigación.

Reconocimientos

Al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (Universidad Autónoma del Estado de Morelos).

Al estudiante Luis Daniel Ramos Tejada de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

1 Introducción

Los aceros con aplicaciones ingenieriles representan un área estratégica en el crecimiento económico, tecnológico y científico. Sin embargo, la utilización de los aceros tiene un precio elevado que se traduce en problemas de corrosión a causa de la combinación de ambientes agresivos y cargas mecánicas ligados directamente al daño provocado sobre la estructura del material por reacciones electroquímicas y químicas que afectan directamente la reducción de la vida útil del acero. En la actualidad, la presencia de corrosión tiene serias consecuencias a nivel mundial debido a las pérdidas económicas que genera este problema. En estados unidos, donde se realizó un estudio sobre el impacto económico de la corrosión del año 2010 a 2015 tuvo un total anual de costos directos de aproximadamente 276 mil millones de dólares. En Perú, en el año 2016 las pérdidas por corrosión fueron aproximadamente de 1200 millones de dólares. En México no se han realizado estudios para estimar los gastos que representan las pérdidas por corrosión, pese a este desconocimiento se entiende los problemas por este fenómeno. Con base en esto, las técnicas electroquímicas han demostrado ser una herramienta útil para el monitoreo del fenómeno de corrosión, la cual se válida con el uso de equipos sofisticados como el potencióstato y galvanostato, instrumentos que sirven en el ámbito científico debido a que permiten realizar diferentes pruebas experimentales para el estudio del fenómeno de la corrosión en aceros y aleaciones aplicando una diferencia de potencial controlada y sensado la corriente que circula a través de la celda electroquímica. Si bien los costos y las pérdidas causadas por el fenómeno de corrosión y la búsqueda de medidas contra ella fueron el principal motivo para el desarrollo de un potencióstato de bajo costo y funcionamiento simple, el cual consiste en un circuito que se compone de: un convertidor analógico digital, una fuente de variable, un arreglo de transimpedancia y un Arduino para el control del sistema. Todos estos componentes permitirán realizar estudios electroquímicos en el laboratorio de mecánica para la evaluación de aceros y aleaciones con aplicación ingenieril.

2 Planteamiento del Problema

El conocimiento de los fenómenos de corrosión y la búsqueda de medidas eficaces contra ella es una exigencia económica mundial como consecuencia del enorme consumo de los materiales metálicos utilizados en la actualidad. Pese a que se toman todas las previsiones posibles, no se puede impedir completamente las pérdidas de metales por corrosión, pero si lograr una disminución en la magnitud de los daños a través de la evaluación experimental de los aceros y aleaciones de uso ingenieril, mediante el uso de las técnicas electroquímicas para su monitoreo. El potencióstato es una parte integral en el uso de las técnicas electroquímicas debido a su aplicación en el estudio de la corrosión de metales para estudiar los mecanismos electroquímicos, con el fin de analizar la dispersión de la corrosión. Sin embargo, el costo comercial disponible en México es alto, en comparación con el desarrollo de un potencióstato de bajo costo y funcionamiento simple. La construcción de este potencióstato de bajo costo presenta una doble finalidad, por una parte, que los alumnos de ingeniería puedan entender el funcionamiento del equipo a través de prácticas experimentales. Y, por otra que permita realizar estudios con mecanismos combinados como corrosión bajo tensión (SSC) y fatiga por corrosión (CF), para la evaluación de diferentes aceros y aleaciones.

2.1 Antecedentes

El potencióstato es un equipo requerido para la adquisición de datos electroquímicos para aplicaciones en el sector industrial y de investigación, su importancia radica en el uso de control y monitoreo de los procesos de medición en corriente y potencial. Sin embargo, el costo comercial es alto en comparación con el desarrollo y diseño del potencióstato, por lo cual, muchos ingenieros e investigadores han optado por desarrollar potencióstatos de bajo costo.

García et al., (1997) diseñaron un potencióstato multifuncional con la principal característica de controlar una fuente de voltaje y corriente que cumpliera con periodos de funcionamiento establecidos por el usuario. El diseño constaba de un módulo encargado de automatizar microcontroladores programables desde una PC compatible a través del puerto serie. La programación involucró información sobre el tipo y el tiempo de variación de voltaje sin lograr el almacenamiento de datos únicamente su visualización para pruebas de polarización.

Barrero y Amaya (2004) diseñaron un galvanostato, cuya función es similar a la del potencióstato en la que contralaron la corriente de la celda y no el voltaje, lo cual les permitió mantener la corriente constante en forma definida sin importar la variación en el voltaje, temperatura u otras fluctuaciones. Por otra parte, pudieron monitorear el potencial

del electrodo de trabajo con respecto al electrodo de referencia utilizando un amplificador de control y de potencia. La adquisición de datos se realizó a través de un programa desarrollado en Labview y una tarjeta de adquisición de National Instruments PCI-1200.

Sánchez (2004) diseñó un potenciostato implementando el uso de amplificadores operacionales para mantener el voltaje de salida de un potenciómetro, este arreglo se le conoce como seguidor de tensión. El uso de este arreglo es necesario debido a una única fuente, el potenciómetro determina la salida de voltaje por la ley de ohm, por lo cual cuando varía la resistencia entre los electrodos a los cuales se les colocó la tensión eléctrica el voltaje cambia.

Blanco et al., (2006) desarrollaron un instrumento portable de bajo costo para biosensores amperométricos para la medición de corrientes faradaicas originadas por los intercambios electrónicos entre una sustancia y un sistema de reconocimiento biológico. El desarrollo del dispositivo se construyó con microcontroladores y amplificadores para la adquisición de datos, como interfaz fue utilizado el programa de Labview. Este dispositivo fue evaluado comparando las curvas de calibración de biosensores de glucosa, etanol y colesterol con obtenidas del potenciostato comercial.

Gómez et al., (2011) diseñaron y desarrollaron un potenciostato para el estudio de síntesis de materiales para procesos de electro-deposición, procesos de corrosión y voltimetría, utilizando amplificadores operacionales y tarjetas de adquisición de datos D/A, y A/D (digital/analógica), acompañado de un tablero de conexiones SCB para la interfaz de señales. Los datos fueron adquiridos a través de un código de MATLAB, el código fue estructurado en dos partes: La primera, para realizar la llamada de diferentes funciones y la segunda un conjunto de funciones que permitían realizar tareas concretas y ofrecer mayor orden en la estructura del programa.

Guillen et al., (2013) El diseño del potenciostato se centró en la creación del software NetBeans como un entorno de desarrollo mediante Java, la implementación de un entorno ADC y el uso de amplificadores para control del voltaje. Con este diseño se buscó acelerar la comunicación entre los dispositivos de medición (adquisidor de datos) para emplear múltiples comunicaciones en paralelo.

Linhardt et al., (2018) Desarrollaron una configuración de multicanales para diferentes pruebas electroquímicas simultáneas, dependiendo de la configuración de cada celda electroquímica, considerando una reserva de electrolitos para cada electrodo de trabajo (WE), modificando únicamente los electrodos de referencia (RE) y el contraelectrodo (CE). Para verificar los resultados obtenidos, se realizaron pruebas electroquímicas en potencial a una aleación de CuAl10Fe5Ni5-C expuesto a varias concentraciones de NaCl.

2.2 Marco Teórico

El monitoreo de señales eléctricas consiste en la transformación de voltaje y amperaje en una señal digital la cual es manipulable mediante convertidores analógicos digitales (ADC), como resultados se obtiene una señal digital de salida para después ser enviada a un dispositivo, por lo cual se requiere de un sistema para mostrar y almacenar los datos externos a través de un ADC, una interfaz y una computadora para que la señal sea interpretada o manipulable.

2.2.1 Señales analógicas y digitales

Una señal analógica muestra todos los cambios que presenta un sistema sin depender de la resolución. Los datos analógicos pueden ser mostrados por mecanismos como lo son los indicadores de aguja sin ser necesario que la energía o condición a medir sea una fuerza mecánica. Por otro lado, una señal digital es una señal discreta que se representa por números binarios o bits (0 y 1), al unir más bits estos pueden representar valores numéricos o datos complejos como una cadena de caracteres los cuales pueden ser textos. (Huircan, 2007).

2.2.2 Convertidor análogo digital ADC

Un convertidor analógico digital (ADC) tiene como objetivo transformar una señal eléctrica análoga a un número digital equivalente. De la misma forma que un ADC transforma un número digital a una señal eléctrica análoga mediante la codificación de valores en una configuración binaria dando como resultado el valor numérico correspondiente a la entrada dividida por la resolución de la lectura del ADC, en la figura 2.1 se muestra el comportamiento de un convertidor analógico digital ideal.



Figura 2.1 Convertidor analógico digital (Lozano, 2017)

Sin embargo, el ADC necesita una señal de referencia (voltaje o corriente), en la figura 2.2 se muestra una gráfica en función de la transferencia del ADC, donde se visualiza el cambio de valor de salida binario en función del cambio de voltaje de entrada dando como resultado una gráfica escalonada.

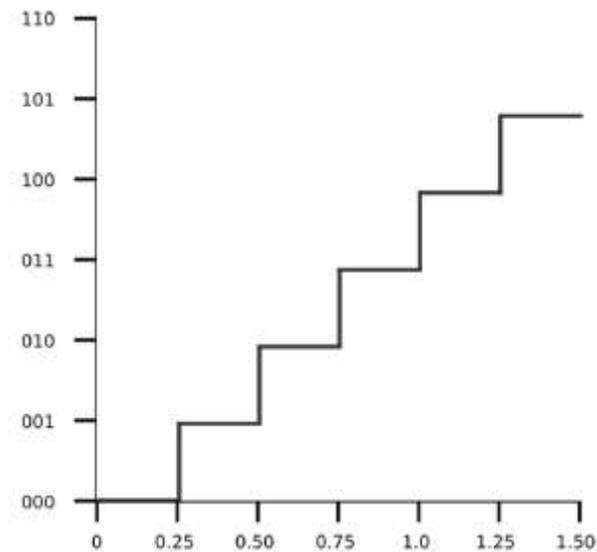


Figura 2.2 Gráfica del comportamiento de un ADC.

2.3.3 Amplificadores operacionales

Un amplificador operacional es un circuito integrado que puede ser un operador matemático dependiendo de su arreglo de resistencias, debido a que puede realizar operaciones como; suma, resta, multiplicar, dividir y crear filtros de voltaje. El circuito básico de un amplificador emplea básicamente dos resistencias, llamado amplificador inversor, el cual utiliza un voltaje de entrada (V_{in}), resistencia de entrada (R_{in}) y resistencia de referencia (R_f) logrando obtener un voltaje de salida (V_{out}) el cual se genera por una resistencia de ganancia dado por la ecuación 2.1. En la figura 2.3 se muestra la configuración del circuito del amplificador inversor.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}} \quad (2.1)$$

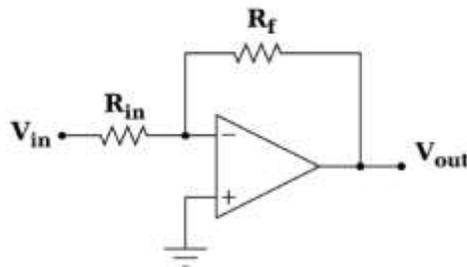


Figura 2.3 Amplificador inversor.

2.2.4 Potenciostato

El potenciostato es un dispositivo electrónico encargado de controlar el proceso de medición de un material dentro de una celda electroquímica formado por dos electrodos de trabajo y uno de referencia, que cumple con las siguientes condiciones, la fuente de potencia de corriente continua suministra corriente eléctrica que puede variar desde nano a miliamperios sin que el potencial altere su valor. Estos potenciostatos se emplean para realizar técnicas electroquímicas como: estudios de ruido electroquímico, curvas de polarización, conductimetría, impedancia, voltimetría para estudios en procesos de corrosión (Gómez et al., 2011) (Carmona et al., 2010). En la figura 2.4 se muestra el arreglo básico para un estudio de ruido electroquímico compuesto por tres electrodos dos de trabajo y uno de referencia, este arreglo conforma una celda electroquímica.

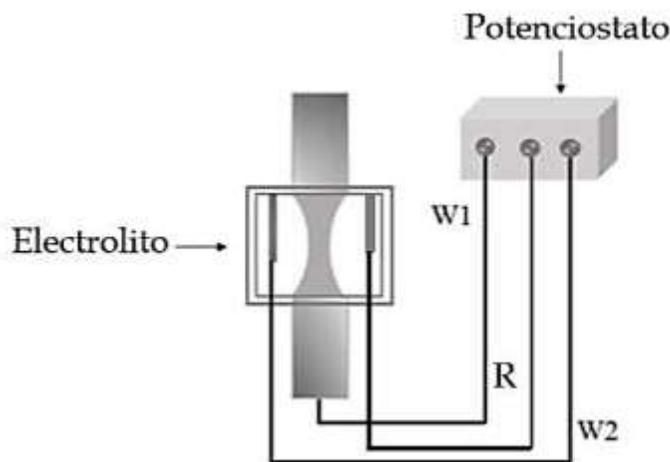


Figura 2.4 Celda electroquímica formada por tres electrodos; W1 y W2 (trabajo) y R(referencia).

2.2.5 Técnicas electroquímicas

Las técnicas electroquímicas consisten en la aplicación de señales de potencial y el registro de su respuesta en corriente, o bien la aplicación de señales de corriente y el registro de respuesta en potencial. Existen diversas técnicas electroquímicas que son eficaces para el estudio de la corrosión, entre las técnicas más comunes se encuentra el ruido electroquímico, impedancia y curva de polarización. A través de estas se pueden obtener parámetros de corrosión directamente relacionados con la cinética del proceso de corrosión.

2.2.6 Ruido electroquímico

Las técnicas de ruido electroquímico en la medición de potencial y corriente, cuyos resultados se registran mediante series de tiempo de las oscilaciones de la corriente y/o potencial que pueden ser utilizados para el monitoreo de la corrosión. El ruido electroquímico en potencial se define como oscilaciones del potencial electroquímico de un electrodo respecto a un electrodo de referencia, mientras que el ruido en corriente es la oscilación estocástica de una corriente electroquímica generada entre dos electrodos idénticos (Beturcci et al., 1997) (Clemente et al., 2012) La particularidad de esta técnica es que la exposición de los materiales en estudio es bajo corrosión libre.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y desarrollo de potenciostato de bajo costo con las adecuadas elecciones de componentes para obtener la mayor presión posible en las mediadas de estudios experimentales de corrosión a través del uso de open software y hardware para la adquisición de datos en rangos de nano a miliamperios.

3.2 Objetivos particulares

- Diseñar un potenciostato que pueda ser modificado para implementar más funciones al mismo tiempo en software y hardware.
- Almacenar cinco millones de datos para ser exportados a EXCEL.
- Generar estudios electroquímicos sin límite de tiempo.
- Autoconfiguración de comunicación entre la interfaz y el dispositivo.
- Realizar la interfaz gráfica.
- Disponibilidad del código fuente y circuitos del hardware a GitHub con el propósito de proporcionar los datos a cualquier persona que desee ver o modificar el programa.
- Validación de resultados de ruido electroquímico mediante un potenciostato comercial.

4 Metodología

Una serie de tareas fueron desarrolladas para alcanzar los objetivos deseados. Se trabajó la parte de la integración de los diferentes componentes del potencioestado a desarrollar, así como el diseño de la interfaz para fácil acceso y por último se realizarán pruebas electroquímicas para el estudio de los procesos de corrosión y validarlos a través de un potencioestado comercial. El diseño del potencioestado se analizó de forma separada, debido a que cada subcircuito es funcional de forma independiente y la integración de elementos puede tomarse como el circuito final. En la figura 4.1 se muestra el esquema de bloques para el funcionamiento del potencioestado.

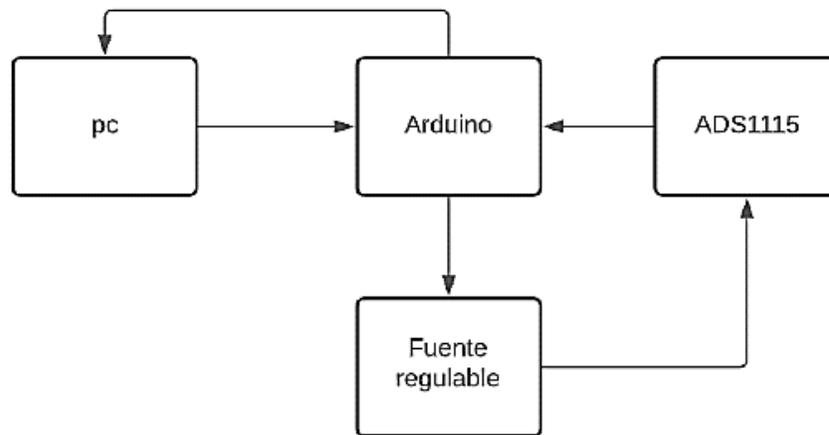


Figura 4.1 Esquema de bloques del funcionamiento del potencioestado.

Etapa 1: Se seleccionaron los parámetros, como la corriente de polarización, impedancia de entrada y amplificadores operacionales para evitar oscilaciones o inestabilidades en las mediciones, cuyo origen pueda deberse a la entrada de corriente no lineal, para ellos se utilizó un filtro para suavizar la señal de salida.

Etapa 2: Se diseñó el potencioestado formado por amplificadores para simular el comportamiento de la celda electroquímica con dos electrodos de trabajo y uno de referencia, en el cual se mantendrá el potencial constante entre el electrodo de referencia y de trabajo W1, mientras el electrodo de trabajo W2 y el de referencia se evitará que en ellos circule la corriente. Posteriormente la corriente medida será hecha mediante un convertor ADC conectado al electrodo de trabajo.

Etapa 3: Se diseñó la interfaz mediante WINDOWS FORM y VISUAL STUDIO con el fin de facilitar el manejo del equipo mediante una interfaz sencilla de operar. En la figura 4.2 se muestra la interfaz de trabajo.



Figura 4.2 Interfaz del potencióstato diseñado.

Etapa 4: Se realizaron pruebas de experimentales de corrosión para la comparación de lecturas entre el potencióstato diseñado y uno comercial, obteniendo lecturas de voltaje, corriente e impedancia, para la comparación de datos y poder estimar la incertidumbre de los resultados obtenidos.

5 Resultados

Se realizaron pruebas de corrosión mediante la técnica de ruido electroquímico en corriente y potencial para la evaluación de los procesos de corrosión del acero AISI 410 SS. Las muestras de acero fueron expuestas a corrosión libre en una solución de NaCl a 1%, 3% y 5% con temperaturas de operación de 25 °C y 50°C. Las pruebas experimentales se realizaron en el potencióstato propuesto y en el potencióstato comercial Gill AC modelo ACM, a fin de comprobar que los resultados obtenidos en corriente y potencial en las figuras 5.1 y 5.2 se muestran los entornos de las pruebas realizadas con los respectivos potencióstatos.

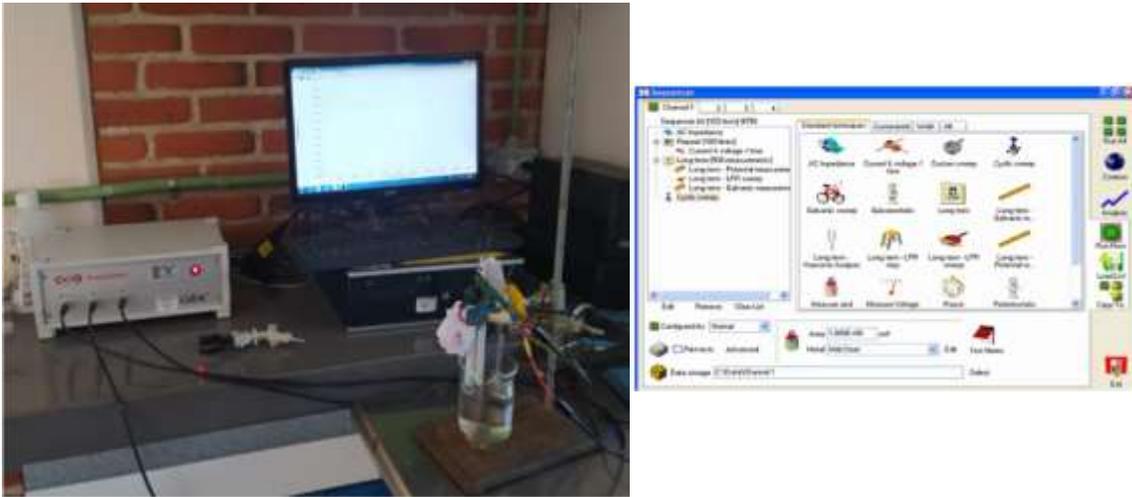


Figura 5.1 Entorno de prueba potenciostato Gill AC modelo ACM.



Figura 5.2 Entorno de prueba potenciostato diseñado.

5.1 Comparación de los resultados

La figura 5.3 corresponde al circuito del potenciostato en su configuración original, para realizar las comprobaciones fue necesario compara las mediciones con equipos externos al sistema, por lo cual fue necesario modificar el circuito antes mencionado, para generar el siguiente arreglo mostrado en la figura 5.4, el arreglo modificado consistió en abrir el contacto del electrodo auxiliar para conectar un amperímetro en la sección abierta del

circuito y colocar en paralelo un voltímetro para realizar una conexión entre el electrodo de referencia y el de trabajo.

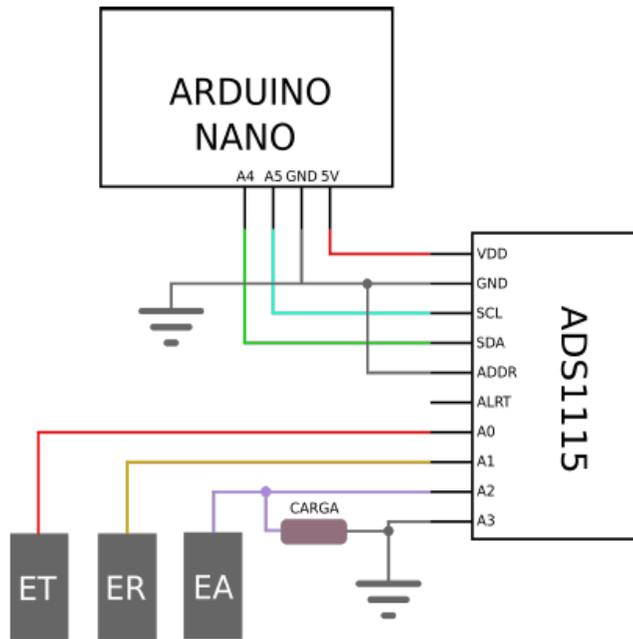


Figura 5.3 Configuración del circuito de lectura corriente y voltaje.

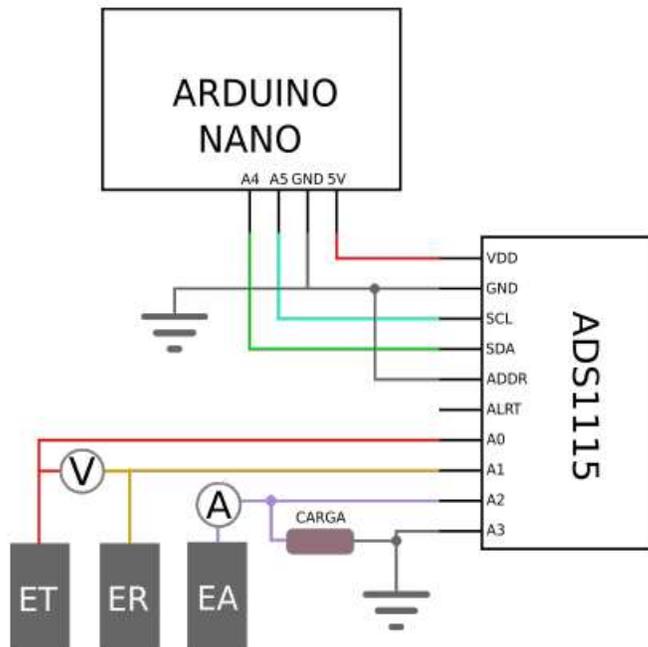


Figura 5.4 Configuración del circuito de lectura corriente y voltaje con lectura simultánea.

Una vez configurado el potenciostato Gill AC (PAMC) y el diseño propuesto (PD), se procedió a exportar las gráficas en formato .txt para comparar los resultados que se obtuvieron de las pruebas de electroquímico en corriente y potencial. Las figuras 5.5 y 5.6 muestran las series de tiempo obtenidas en corriente y potencial a 1% de NaCl a 25 °C.

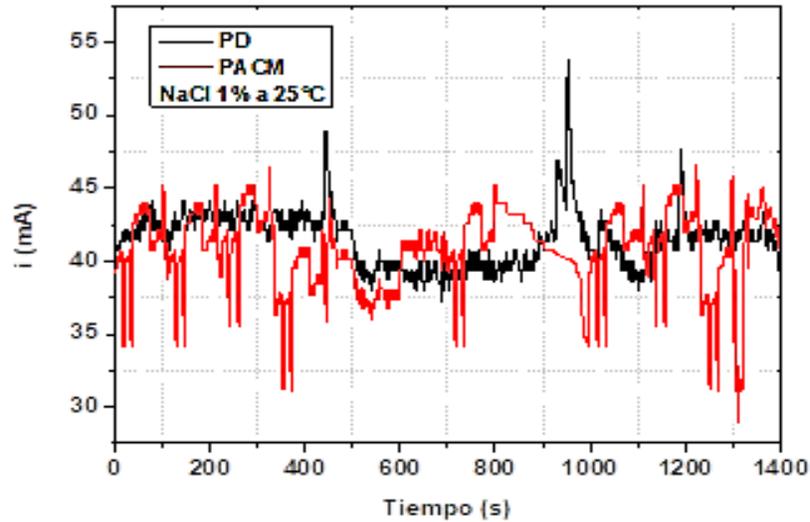


Figura 5.5 Serie de tiempo en corriente obtenidos con los potenciostatos PAMC y PD, al 1 % de NaCl a 25 °C.

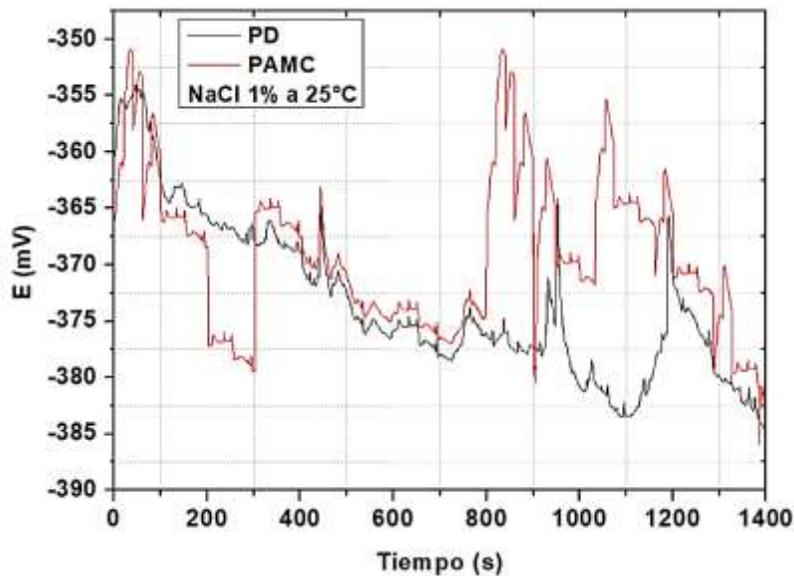


Figura 5.6 Serie de tiempo en potencial obtenidos con los potenciostatos PAMC y PD, al 1 % de NaCl a 25 °C.

6 Productos Generados

Luis Daniel Ramos Tejada (2021). Desarrollo y diseño de un potenciostato para la adquisición de señales de ruido electroquímico. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

7 Conclusiones

Se desarrollo y diseñó un potenciostato de bajo costo para la adquisición de datos de ruido electroquímico en corriente y potencial para la evaluación de la corrosión en diferentes aceros. Los resultados obtenidos muestran que los rangos de voltaje y corriente del potencial comercial de la marca Gill Ac, se encuentran en el mismo rango de medición que los obtenidos por el potenciostato propuesto en este trabajo. Sin embargo, los resultados obtenidos no son los ismos debido a que los aceros en su composición química no son homogéneos y por lo tanto las lecturas en algunos casos no tienen el mismo comportamiento, esto puede deberse a la calidad del pulido y a la rugosidad de la superficie.

8 Contribución e impacto del proyecto

Desde el punto de vista académico, el desarrollo del potenciostato permite que la ingeniería mecatrónica, mecánica y de materiales trabajen en conjunto para el diseño y desarrollo de este dispositivo, a su vez este conocimiento puede ser empleado para el aprendizaje del alumno al proponer nuevos temas de investigación para ser desarrollados por los estudiantes del Departamento de Ingeniería y Manufactura. Una aplicación de esta metodología daría paso a nuevas investigaciones y desarrollo de nuevas propuestas de investigación para realizar análisis de corrosión en distintos componentes o máquinas. En el caso de la ingeniería mecatrónica permite proponer distintos métodos para el diseño y desarrollo de dispositivos mediante la integración de componentes electrónicos e informáticos. Por otro lado, los resultados de este proyecto permitirán, que los alumnos de ingeniería mecánica puedan realizar prácticas de laboratorio para la materia de ciencia de los materiales. Y, por otra, que permita realizar estudios electroquímicos para el área de investigación, así como la difusión del método propuesto en eventos académicos.

9 Impacto económico social y/o ambiental en la región

El impacto social del desarrollo de este proyecto beneficiará a la comunidad estudiantil de la carrera de ingeniería mecánica para cubrir las necesidades en las prácticas de laboratorio con la finalidad de que el alumno aplique los conocimientos adquiridos en la materia de ciencias de los materiales y mecánica, debido a que los problemas relacionados con

corrosión, son un tipo de falla que pueden presentarse en los materiales bajo cargas mecánicas y ambientes agresivos en componentes mecánicos. Por otro lado, el desarrollo del potencióstato permitirá realizar pruebas experimentales de varios materiales bajo ciertas condiciones de operación, con la finalidad de difundir el conocimiento a través de la investigación. En el ámbito económico, debido a que no se cuenta con el presupuesto para adquirir un potencióstato comercial, se optó por el diseño y desarrollo de este dispositivo, debido a los altos costos para adquirir un potencióstato comercial.

10 Referencias

Barrero J.G., Amaya J.A., Acevedo A.R., Acevedo J.J., González G.E. & Morales L.C. (2004). Diseño y construcción de un prototipo de potencióstato galvanostato para el laboratorio de corrosión de la escuela de ingeniería metalúrgica. *Revista de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas*, 3, 29-49.

Betucci U., Gabrielli C. & Keddman M. (1997). Noise Resistance applied to corrosión measurements I. *Theoretical Analysis Electrochim Soc.*, 144, 31-37.

Blanco J.R., Ferrero F.J., Campo J.C., Antón J.C., Pingarrón J.M., Reviejo A.J. & Manso J. (2006). Design of a Low-Cost Portable Potentiostat for Amperometric Biosensors. *Instrumentation and Measurement Technology*, 1, 690-694.

Carmona A., Arroyave M. & Jaramillo J.M. (2008). Diseño e Implementación de un Convertidor DC-AC Para Excitación con Pulsos Rectangulares de un Piezoactuador de PZT. *Revista Colombiana de Física*, 40, 160-163.

Clemente C.M, Artega C., Rodriguez J.A. & Castrejón C. (2011). Efecto de la corrosión en la propagación de grieta en un acero inoxidable AISI 410 expuesta en agua de mar. *Memoria del Congreso Internacional SOMIM*.

García, E., Salazar, S., Aguilar, A., & Koo, M. L. (1997). Las pruebas electroquímicas y el potencióstato autónomo programable. *Publicación del Instituto Investigaciones Tecnológicas México*.

Guillén-Rodríguez, J., Zapata-Navarro, A., Zapata-Torres, M., & Márquez-Herrera, A. (2009). Desarrollo de un sistema para obtener ciclos de histéresis de materiales ferroeléctricos utilizando un potencióstato. *Superficies y vacío*, 22(4), 1-5.

Gómez D. F., Rosales R.A & Gómez P.A. (2011). Design and construction of a potentiostat for materials synthesis process using chemical electrodeposition. *Revista de Física*, 43, 68.

Huircán, J. I. (2007). Conversores Análogo-Digital y Digital-Análogo: Conceptos Básicos.

Linhardt, P., Kühner, S., Ball, G., & Biezma, M. V. (2018). Design of a multichannel potentiostat and its application to corrosion testing of a nickel-aluminum bronze. *Materials and Corrosion*, 69(3), 358-364.

Lozano Fernández, D. (2017). Estudio de convertidor ADC para aplicaciones de espectrometría de bioimpedancias.

Sánchez, J. L. C. (2004). Realización de un potenciostato. Ingeniería Técnica Industrial. Especialidad en Electrónica Industrial, Universitat Rovira i Virgil.

Sánchez García, A. (2009). Montaje y puesta a punta de un potenciostato comercial para llevar a cabo medidas de corrosión electroquímica (Bachelor's thesis).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MANUFACTURA



**DESARROLLO Y DISEÑO DE UN POTENCIOSTATO PARA LA
ADQUISICIÓN DE SEÑALES DE RUIDO ELECTROQUÍMICO**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN MECATRÓNICA

AUTOR

LUIS DANIEL RAMOS TEJADA

ASESOR

DRA. CHISTIAN MARISOL CLEMENTE MIRAFUENTES

CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

MAYO/2021



Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Instituto de Ingeniería y Tecnología
Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

Acta de examen de proyecto titulación

Ciudad Juárez, Chihuahua a los 31 días del mes de mayo del 2021, siendo las 21:00 horas, se reúnen de manera virtual mediante la plataforma MS Teams los integrantes del Jurado

Presidente: Dra. Christian Marisol Clemente Mirafuentes
Sinodal (1): Dr. Yahir Mariaca Beltrán
Sinodal (2): MC. Luis Ricardo Vidal Portilla

Se procede a efectuar la evaluación del proyecto de titulación que presenta el C. Luis Daniel Ramos Tejada con matrícula 137509, alumno del programa de ingeniería en mecatrónica.

Tomando en cuenta los miembros del jurado el contenido del proyecto cuyo tema es: "DESARROLLO Y DISEÑO DE UN POTENCIOSTATO PARA LA ADQUISICION DE SEÑALES DE RUIDO ELECTROQUÍMICO," dirigido por la Dra. Christian Marisol Clemente Mirafuentes enfocando a personal y la réplica del mismo dictamina que es:

El presidente del jurado hace saber al sustentante el resultado obtenido.

Se da por terminado el acto siendo las __21:58__ horas, y una vez escrita, leída y aprobada la firman para dar constancia, las personas que en el acto intervienen.


Dra. Christian Marisol Clemente
Mirafuentes

Asesor Técnico


Dr. Angel Flores Abad
Lector de tesis


Dr. Yahir Mariaca Beltrán
Sinodal (1)


MC. Luis Ricardo Vidal Portilla
Sinodal (2)


M.C. Miguel Angel Garcia Terán

Coordinador de la Academia de Ingeniería
en Mecatrónica


Dr. Angel Flores Abad
Profesor de la asignatura



11.1 taxonomía de los roles colaborativos con las actividades logradas

Roles	Definición de los roles	Nombre de él(la) investigador (a)	Figura	Grado de contribución	Actividades logradas durante el proyecto	Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto
Responsable del proyecto	Diseño y análisis experimental. Elaboración del análisis formal de la investigación	Christian Marisol Clemente Mirafuentes	Diseño del potencióstato, desarrollo experimental	Principal	Desarrollo y diseño del potencióstato	10 horas
Diseño de circuitos	Diseño y programación de circuitos e interfaz	Yahir de Jesús Mariaca Beltrán	Apoyo en el diseño de circuitos	Secundario	Programación	10 horas
Análisis de datos experimentales	Apoyo en el análisis experimental	Arturo Paz Pérez	Apoyo en desarrollo experimental	Secundario	Pruebas experimentales	10 horas

11.2 estudiantes participantes en el proyecto

Nombre de estudiante(s)	Matrícula	Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto	Actividades logradas en la ejecución del proyecto
Luis Daniel Ramos Tejada	137509	10 horas	Diseño de circuitos Programación en Arduino Diseño y desarrollo de interfaz Pruebas experimentales