

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño y construcción de un prototipo de potencióstato portátil que
permita medir el nivel de oxidación del hierro

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Kevin Eduardo Chica Orellana

Oscar Andres Guapi Mora

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a todos quienes han depositado su confianza en mí a lo largo de mi vida académica, sobre todo a mis padres Susana Orellana, Wilson Chica y personas más allegadas, entre ellas mi compañera de vida, Pamela Ch.

Kevin Chica Orellana.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia quienes me ayudan a seguir adelante. Iniciando por mis padres Magdalena Mora y Juan Carlos Guapi, quienes me han formado con bases sólidas y apoyado desde un principio en cada reto que me propongo.

A mi mamita Genoveva, quien ha sido como una segunda madre siempre aconsejándome y animándome.

A mi tío Pedro Mora, ejemplo para mí y quien siempre esta presto ayudarme.

A mis profesores, por la predisposición y tiempo invertido en nuestro crecimiento profesional y personal.

Andres Guapi

AGRADECIMIENTOS

Eternamente agradecido con mis padres Susana y Wilson por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

Con cada uno de los docentes, muy en especial con MSc. Bryan Puruncajas y MSc. Efraín Terán, pilares fundamentales de la carrera. Y con nuestro tutor de tesis, PhD. Victor Asanza, quien no solo supo guiar de la mejor manera la realización del proyecto, fue también quien me ha ayudado en mi desarrollo personal y profesional.

A mi pareja sentimental Pamela Ch, quien siempre ha estado para mi apoyándome y dándome ánimos.

A mi abuelita Rosa, quien me apoyó en esta travesía desde un comienzo y estoy seguro de que estuviese muy contenta al ver que he llegado a esta etapa de mi vida.

También a mi compañero de tesis Oscar Guapi, con quien he podido formar una amistad a lo largo de la materia integradora.

Finalmente, a mi buen amigo José Tello, quien siempre estuvo para mi en cada etapa de mi vida universitaria.

Kevin Chica Orellana.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la protección y por las bendiciones que me ha dado.

A mi familia por ser la fortaleza y guía de mi vida, que me ayudan a perseverar y siempre puestos apoyarme incondicionalmente.

A los docentes que han estado durante mi formación, en especial al MSc. Bryan Puruncajas y al MSc. Efraín Terán, por los consejos y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A mi compañero Kevin Chica, con quien he podido llevar a cabo el proyecto de la mejor manera.

A mis amigos y compañeros, que me han aconsejado y con quienes he compartido buenos momentos en mi vida universitaria.

Andres Guapi

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kevin Eduardo Chica Orellana y Oscar Andres Guapi Mora damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Kevin Eduardo Chica
Orellana



Oscar Andres Guapi
Mora

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**VICTOR MANUEL
ASANZA ARMIJOS**

Bryan Puruncajas, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Víctor Asanza, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La corrosión ha sido una de las grandes problemáticas para el hombre desde que empezó a trabajar los metales. Según la NACE, genera pérdidas mundiales entre 2.2 a 2.5 billones de dólares por año. Por esta razón, el estudio de la corrosión toma vital importancia y equipos como los potenciostatos permiten esta labor. Pese a esto, muchos laboratorios universitarios no tienen uno en óptimas condiciones, limitando a los estudiantes no aplicar conocimientos teóricos y se desfavorece la comprensión de la corrosión. Por lo cual, este proyecto se plantea el diseño de un prototipo de potenciostato que permita el uso de electrodos comerciales para realizar análisis de corrosión en el hierro.

Al prototipo implementado se le diseñó su propia PCB y estuche de protección. La técnica utilizada en la prueba de corrosión fue la del barrido lineal y la solución partió de la recolección de datos de voltaje con ayuda de OPAMs, después estos datos se enviaron a la base de datos en tiempo real de Firebase. El microcontrolador seleccionado para el prototipo fue el ESP32. Por otro lado, en Python usando la librería Streamlit, se desarrolló una aplicación web que se conecta a la base de datos para que el usuario del potenciostato pueda ver de forma fácil los datos recolectados y que posteriormente sean tratados.

Con el prototipo diseñado se alcanzó un potencial de corrosión de $-0.64V$ y una corriente de corrosión de $0.547mA/cm^2$ para la muestra analizada, además, el costo es 15 veces menor que uno comercial.

Palabras Clave: Potenciostato, OPAMP, corrosión, aplicación web.

ABSTRACT

Corrosion has been one of the major problems for mankind since it began to work with metals. According to the NACE, it generates worldwide losses of between 2.2 and 2.5 billion dollars per year. For this reason, the study of corrosion is of vital importance and equipment such as potentiostats allow this task. In spite of this, many university laboratories do not have one in optimal conditions, limiting the students to not apply theoretical knowledge and the understanding of corrosion is not favored. Therefore, this project proposes the design of a potentiostat prototype that allows the use of commercial electrodes to perform corrosion analysis in iron.

The implemented prototype was designed with its own PCB and protection case. The technique used in the corrosion test was the linear sweep and solution started from the collection of voltage data with the help of OPAMPs, then these data were sent to the Firebase real-time database. The microcontroller selected for the prototype was the ESP32. On the other hand, in Python using the Streamlit library, a web application was developed that connects to the database so that the user of the potentiostat can easily view the data collected and then be processed.

With the prototype designed, a corrosion potential of -0.64V and a corrosion current of 0.547mA/cm² of the analyzed sample were achieved and its cost is 15 times lower than a commercial one.

Keywords: Potentiostat, OPAMP, corrosion, web application.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	7
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS	X
Plano.....	X
CAPÍTULO 1	11
1. Introducción	11
1.1 Descripción del problema	11
1.2 Justificación del problema.....	12
1.3 Objetivos.....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos	14
1.4 Marco teórico	15
Electroquímica.....	15
Tipos de análisis electroquímicos.....	15
Potenciostato.....	17
Amplificadores Operacionales	17
CAPÍTULO 2.....	20
2. Metodología	20
2.1 Antecedentes del diseño.....	20

2.2	Requerimientos del diseño	21
2.3	Selección de alternativa de solución.....	21
2.4	Proceso de diseño	23
2.5	Parámetros del diseño electrónico.....	24
	Fuente simétrica dual	24
	Fuente reguladora de voltaje	25
	Circuito de adquisición.....	25
	Diseño de la PCB	30
2.6	Parámetros del diseño de control	30
	Definición de parámetros de monitoreo y control	30
	Diseño y arquitectura de comunicación	31
	Selección y programación del controlador	31
2.7	Parámetros del diseño mecánico.....	34
2.8	Tratamiento de los datos	35
CAPÍTULO 3.....		36
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	36
3.1	Diseño mecánico	36
3.2	Diseño electrónico	37
	Diseño del circuito	37
3.3	Aplicación web.....	38
3.4	Análisis de corrosión.....	40
3.5	Análisis de costos	41
CAPÍTULO 4.....		42
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	42
4.1	Conclusiones	42
4.2	Recomendaciones	43

BIBLIOGRAFÍA.....	44
APÉNDICES.....	46
APÉNDICE A.....	46
APÉNDICE B.....	47
APÉNDICE C.....	49

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
LEMAT	Laboratorio de Evaluación de Materiales
DAQ	Data Acquisition
OCP	Open Circuit Potential
OPAMP	Operational Amplifier
DAC	Digital to Analogue Converter
ADC	Analogue to Digital Converter
NACE	Asociación de ingenieros de Corrosión
PIB	Producto Interno Bruto
PCB	Printed Circuit Board

SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltios
mA	Miliamperios
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Caso de estudio del análisis electroquímico.	15
Figura 1.2 I vs t en potenciostatos.	16
Figura 1.3 Esquema básico del potenciostato.	17
Figura 1.4 Estructura interna OPAMP.	18
Figura 1.5 Amplificador Inversor.	18
Figura 1.6 Amplificador no inversor.	19
Figura 1.7 Seguidor de voltaje.	19
Figura 2.1 Celda electroquímica.	20
Figura 2.2 Metodología del proceso de diseño.	23
Figura 2.3 Fuente simétrica dual.	25
Figura 2.4 regulador de voltaje a +5V.	25
Figura 2.5 Circuito de adquisición.	26
Figura 2.6 Divisor de tensión.	27
Figura 2.7 Cambiador de nivel.	27
Figura 2.8 Conexión del AD620.	29
Figura 2.9 Convertidor de corriente a voltaje.	30
Figura 2.10 Esquema general de funcionamiento.	31
Figura 2.11 Placa ESP32.	32
Figura 2.12 Esquema general.	33
Figura 2.13 Bosquejo del case protector.	35
Figura 3.1 Carcasa de protección.	36
Figura 3.2 Diagrama esquemático.	37
Figura 3.3 Placa PCB.	38
Figura 3.4 Inicio de sesión.	38
Figura 3.5 Ventana principal.	39
Figura 3.6 Ingreso a la aplicación web desde un celular.	40
Figura 3.7 Curva generada con los datos recolectados.	41
Figura 5.1 Repositorio en GitHub.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Criterios de selección.....	22
Tabla 2.2 Tabla de conclusiones.	23
Tabla 2.3 Especificaciones del ESP32.	32
Tabla 2.4 Ponderaciones para escoger el microcontrolador.....	33
Tabla 2.5 Valores de cada criterio para los microcontroladores considerados.	33
Tabla 2.6 Criterios de evaluación para lenguaje de programación.	34
Tabla 2.7 Matriz de decisión para escoger el lenguaje de programación a usar.	34
Tabla 3.1 Costos para la elaboración del prototipo.....	41

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Base de carcasa

PLANO 2 Tapa de carcasa

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión ha sido una de las grandes problemáticas que el hombre ha afrontado desde que empezó a trabajar los metales. Hoy en día tiene repercusiones a nivel industrial, según la NACE Internacional, este fenómeno de degradación genera pérdidas económicas que suponen el 3% del PIB mundial, que serían aproximadamente de 2.2 a 2.5 billones de dólares anuales. Dicha problemática destruye cada año el 25% del acero mundial a una tasa de 5 toneladas por segundo [1], es por esa razón que su estudio es de vital importancia.

Siendo así, la electroquímica una de las principales y más potentes herramientas cuyos fundamentos aplicados en equipos como el potenciostato permiten realizar diversas experimentaciones y analizar la corrosión de los materiales sometidos a ciertas condiciones ambientales cuyos resultados se obtienen de una manera rápida y eficiente, en comparación a métodos convencionales [2].

En ESPOL, dentro de uno de los laboratorios de la FIMCP, LEMAT posee un antiguo potenciostato. Sin embargo, ya no se lo usa por falta de mantenimiento y además no posee una tecnología de vanguardia, lo que imposibilita realizar estudios de corrosión dentro del laboratorio. Por lo antes expuesto, en el presente proyecto se busca diseñar y construir un potenciostato de bajo costo que sea capaz de realizar estudios de corrosión en aleaciones de hierro y que sea este una alternativa no comercial competitiva de potenciostato.

1.1 Descripción del problema

Pese a la gran importancia de tener un potenciostato que brinde todas las facilidades para realizar prácticas de laboratorio, LEMAT cuenta con uno ya obsoleto, que incluso ya ha sido reparado su tarjeta electrónica más de una sola vez. A más de ser un equipo robusto y pesado, no se lo puede usar fácilmente o de forma inmediata, ni mucho menos es posible conectarlo de manera directa a una computadora para hacer la adquisición de datos, siendo esta su principal limitante e inclusive presenta problemas para medir

fenómenos eléctricos o físicos, para solucionar los inconvenientes mencionados se lo tuvo que conectar a un dispositivo externo que cuesta alrededor de \$245 llamado DAQ [3].

Este proyecto se enfoca en buscar una alternativa de potencióstato comercial para reemplazar el que se tiene en LEMAT, por ende, la construcción del mismo no supera los \$500. Además, este equipo es portátil, tiene su propio case de protección para evitar cortocircuitos y daños por golpes o vibraciones, es capaz de realizar una recolección de la información conectándolo a la computadora mediante un cable USB o de manera inalámbrica por Wi Fi hacia una base de datos, es posible realizar una predicción de futuros niveles de corrosión del metal (hierro) que se utiliza, no se necesita comprar algo adicional para llevar a cabo la adquisición. Cabe recalcar que para que el equipo funcione como potencióstato, la variable de interés que se controla es el voltaje, en otras palabras, el equipo es capaz de medir y controlarlo.

1.2 Justificación del problema

En base a la introducción realizada, el presente proyecto nace de la necesidad de tener un nuevo potencióstato en LEMAT para la medición del nivel de **corrosión**, ya que esto genera disminución de costos por mantenimiento, decrecimiento de la brecha de los estudiantes en aplicar conocimientos teóricos y favorece la comprensión de conceptos de corrosión.

La medición y el conocimiento del estado de corrosión actual del material es una labor fundamental para evitar el deterioro de estructuras de la cual estos forman parte tales como edificaciones, puentes o embarcaciones [4]. El hierro al ser un material muy utilizado cobra gran importancia conocer su vida útil, comprendiendo su comportamiento ante la corrosión. Por lo tanto, el poseer un potencióstato ayuda a conocer el comportamiento de oxidación del material, con lo cual se podrá establecer mantenimientos preventivos los cuales ayudan a evitar futuros daños [5], algo que es posible con la realización de este proyecto. Asimismo, que LEMAT

cuenta con un potencióstato funcional reduce costos por mantenimiento al tratar de reparar el que ya tenían.

Cabe recalcar que, en el mundo de la educación e investigación dentro de instituciones de educación superior existe una gran barrera a la hora de llevar a la práctica el conocimiento adquirido teóricamente. Dado que, esto involucra equipos especializados que son costosos, por ejemplo, hay potencióstatos que pueden costar por encima de los \$2300 y llegar a cifras exorbitantes como \$38000 [6]; también puede darse el caso de modificar uno antiguo para adaptarlo a las necesidades actuales, lo que puede traer consigo hasta pagos de licencia por softwares externo. El contar con un potencióstato de bajo costo, open hardware, diseñado y programado con los mismos principios de código abierto, da la libertad de que cualquier persona sea capaz de realizarle mejoras futuras. LEMAT al contar con un potencióstato, los estudiantes podrán experimentar la utilización del mismo, logrando así comprender mejor como es el funcionamiento del equipo [7], lo cual sería complicada si el usuario solo es espectador de la practica por poca disponibilidad de los equipos.

Además, tener mayor disponibilidad de equipos para análisis de corrosión contribuiría la cantidad de pruebas realizadas. El uso del potencióstato proporciona el entendimiento de conceptos de corrosión y se pueden realizar mediciones cronoamperométricas, medición del potencial de corrosión y esto a bajo costo [7].

1.3 Objetivos

Objetivo General

Diseñar y elaborar un prototipo de potencióstato portátil para la medición de los niveles de oxidación del hierro, capaz de almacenar la información en una base de datos.

Objetivos Específicos

1. Diseñar e implementar un circuito electrónico basado en amplificadores operacionales (OPAMP) que permita el uso de electrodos comerciales para pruebas electroquímicas.
2. Diseñar e implementar un prototipo portátil con capacidad de conexión inalámbrica para transmitir los datos de las mediciones realizadas.
3. Diseñar una interfaz de usuario para extracción y visualización de los datos recolectados.
4. Diseñar e implementar una arquitectura definiendo como interactúan las distintas partes tanto software como hardware y así conocer las mediciones realizadas.

1.4 Marco teórico

Electroquímica

La electroquímica ha sido y es una herramienta de gran importancia contra el problema de la corrosión con el cual ha luchado el hombre desde que empezó a depender de los metales para la civilización. La electroquímica es un campo que, trata tanto las transformaciones químicas por corrientes eléctricas como las corrientes producidas por reacciones químicas. En este campo entra la corrosión la cual ocurre en presencia de un electrolito y suele presentar dos regiones identificadas anódica y catódica [2].

En la Figura 1.1 se puede apreciar un caso de estudio de corrosión electroquímica, donde tenemos una diferencia de potencial que genera una transferencia de electrones “e” por el conductor, saliendo del ánodo hacia el cátodo; teniendo una reducción en el ánodo al perder pequeñas partículas cuando sale la corriente “I” del mismo [8].

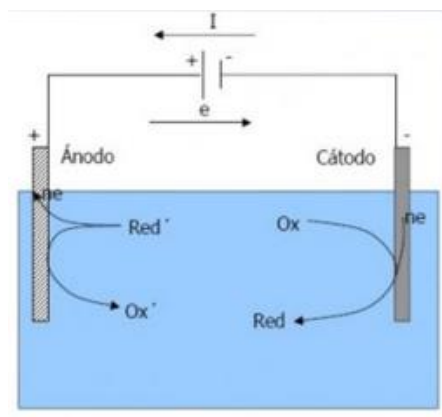


Figura 1.1 Caso de estudio del análisis electroquímico

Tipos de análisis electroquímicos

Existen varios análisis electroquímicos útiles para la evaluación de la corrosión con mediciones en el mismo instante, los cuales se presentan a continuación.

1.4.1.1 Técnicas Potenciostáticas

En este tipo de técnicas se establece potencial constante a la interfase metal-solución, a partir de esto en función del tiempo se miden comportamientos electroquímicos como coeficientes de difusión del material, velocidades de pasivación y potenciales. Comenzamos con un potencial inicial y luego de un retardo tenemos un potencial final que perdura por un tiempo establecido, la razón es por la carga de la doble capa del electrodo de trabajo lo cual ocasiona que al iniciar este método tenemos una corriente capacitiva que se agrega a la corriente de reacción. La corriente que se mide pasado cierto tiempo es la que se usa para estimar la velocidad de corrosión [8]. En la Figura 1.2 podemos apreciar mejor el comportamiento de la corriente en el tiempo en un sistema potenciostato.

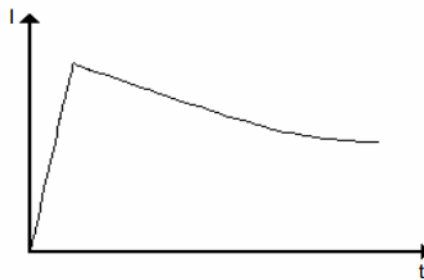


Figura 1.2 I vs t en potenciostatos [8]

1.4.1.2 Voltametría Cíclica

Esta técnica para el análisis electroquímico se utiliza en métodos como intersección y resistencia a la polarización, se basa en aplicar un proceso de carga y posterior descarga al electrodo. Esta técnica utiliza 3 electrodos: el de trabajo tiene proceso de oxidación, contraelectrodo genera la reacción redox, y el de referencia tiene potencial eléctrico constante sin polarizarse [9].

1.4.1.3 Espectroscopia de impedancia

Este tipo de técnica es cuantitativa en la cual se emplea corriente alterna, se aplica una perturbación sinusoidal de corta amplitud en el potencial del electrodo de trabajo, a medida que se cambia la frecuencia aplicada se tendrá una corriente con forma sinusoidal como respuesta. Con todo esto se puede determinar la impedancia del sistema [9].

Potenciostato

Un Potenciostato es una herramienta esencial para realizar experimentos electroquímicos [10]. Básicamente el potenciostato está compuesto por una fuente de poder, resistencias, potenciómetro, voltímetro, amperímetro y una celda electroquímica conformada por tres electrodos que son el de trabajo (WE), el de referencia (RE) y el auxiliar o contador (AE o CE). Este instrumento mantiene un voltaje entre WE y RE, además, dado que es un potenciostato este medirá la corriente que pasa entre el WE y CE. En la Figura 1.3 se puede apreciar el esquema de ubicación de los elementos que básicamente componen al potenciostato [7].

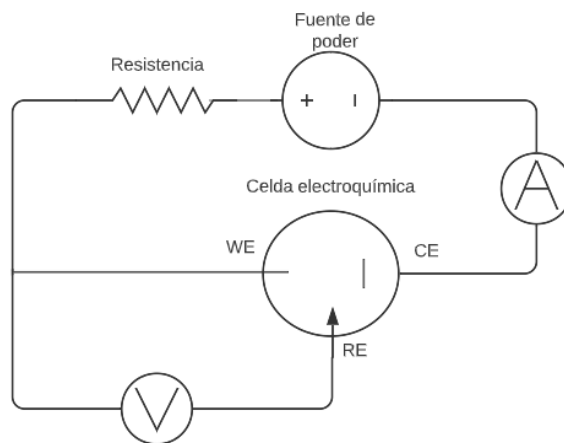


Figura 1.3 Esquema básico del potenciostato

Amplificadores Operacionales

Los amplificadores operacionales o también conocidos como OPAMP (operational amplifier) son elementos de los cuales dependen los dispositivos potenciostáticos para mantener un voltaje deseado entre el WE (electrodo de trabajo) y RE (electrodo de referencia) [11]. Los amplificadores operacionales tienen una infinidad de aplicaciones como permitirnos integrar, sumar, restar, operar, entre otros. Estos deben ser alimentados por corriente directa, en la Figura 1.4 podemos ver su estructura interna [12].

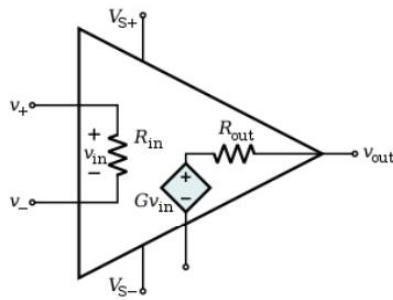


Figura 1.4 Estructura interna OPAMP [12]

Los amplificadores operacionales para su funcionamiento necesitan dos tensiones de polarización que en V_{S+} y V_{S-} , estas tensiones pueden variar entre $\pm 5V$ y $\pm 18V$.

Como se mencionó previamente, los amplificadores tienen varias configuraciones, lo cual quiere decir se tendrá distinto procesamiento de la señal de entrada dependiendo de las conexiones y el uso de elementos pasivos. Una de estas configuraciones es de amplificador inversor, en la cual se amplifica una señal, pero a su vez esta es invertida; esta configuración necesita que la tierra este conectada a la entrada no inversora como podemos ver en la siguiente figura [13].

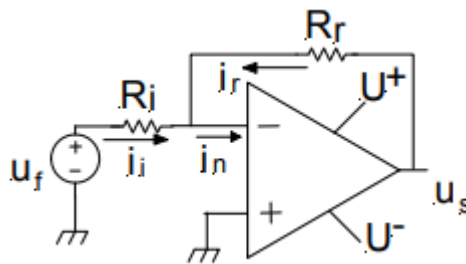


Figura 1.5 Amplificador Inversor [13]

Por el contrario, la configuración de “amplificador no inversor” amplifica la señal de entrada sin invertirla como en el caso anterior [12], teniendo ahora el voltaje inicial en la entrada no inversora, esto lo podemos apreciar en Figura 1.6.

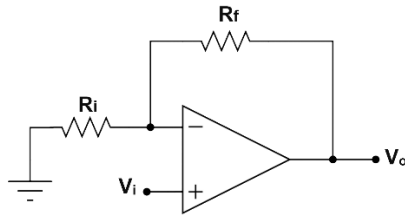


Figura 1.6 Amplificador no inversor [12]

Otra configuración importante es la de “seguidor de voltaje” la cual podemos ver en Figura 1.7, en donde el voltaje de entrada (U_e) del OPAMP es igual al de salida (U_s). Al no circular corriente en la entrada no inversora no se produce una caída de voltaje y se evita cambios en el circuito posterior [13].

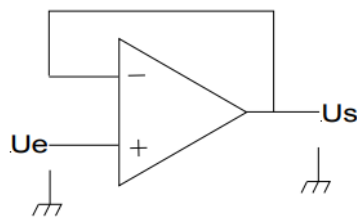


Figura 1.7 Seguidor de voltaje [13]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se da a conocer el procedimiento utilizado para cumplir con los objetivos planteados. Se detalla cada etapa del proceso de diseño, empezando por sus antecedentes y requerimientos, se explica a detalle la alternativa funcional y viable. A continuación, se da a conocer selección de cada uno de los elementos: electrónico, control, programación y su correspondiente diseño mecánico.

2.1 Antecedentes del diseño

Previo al presente proyecto, el laboratorio LEMAT ya contaba con los distintos elementos que conforman una celda electroquímica para la realización del proyecto. Entre los cuales estaban un recipiente de vidrio, su cubierta plástica, además de los electrodos de referencia como el contraelectrodo.

Esta celda cuenta con la estructura necesaria para poder colocar los distintos electrodos dentro de la solución, de tal manera que, estén cerca unos de otros, pero sin llegar a tocarse. La celda electroquímica con la solución y los electrodos se puede observar en la Figura 2.1.

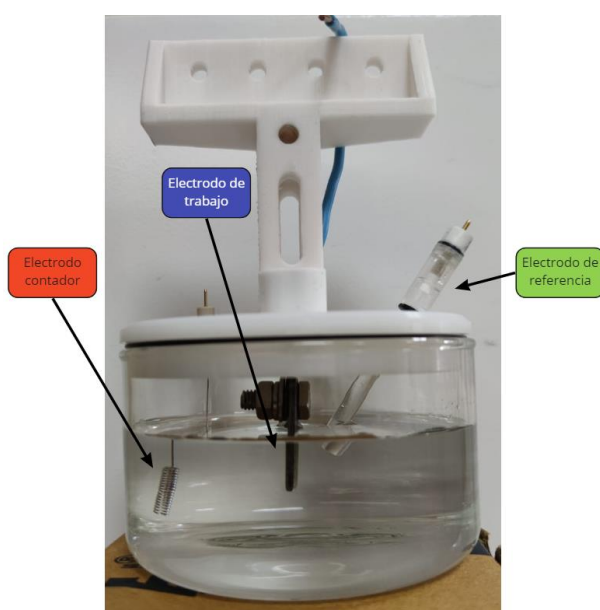


Figura 2.1 Celda electroquímica

Como pudimos apreciar la celda está conformada por un vidrio cilíndrico y una tapa plástica de color blanco. Además, el electrodo de referencia (derecha) con el cual se cuenta es uno de calomelanos saturado en cloruro de potasio. Por otra parte, el electrodo contador (izquierda) está compuesto por un material inerte como es el platino. Finalmente, el electrodo de trabajo (en medio) es una lámina de aleación de hierro unido a un alambre de cobre.

2.2 Requerimientos del diseño

Previo al diseño, se establecieron ciertos requerimientos:

- Dispositivo portátil que no posea grandes dimensiones para su fácil traslado.
- Instrumentación basada en amplificadores operacionales.
- Poseer un case de protección para evitar cortocircuitos y daños por golpes o caídas.
- Registrar la información recolectada en una base de datos.
- Suficiente almacenamiento interno para guarda la información temporalmente.
- Presupuesto no superior a \$500 (sin considerar las sondas).
- Que no necesite de un DAQ.

2.3 Selección de alternativa de solución

A partir de la problemática expuesta en el capítulo anterior, se plantearon tres alternativas de solución para el estudio de corrosión que se detalla a continuación:

- **Alternativa 1:**
Diseño y construcción de un prototipo de potencióstato que permita realizar técnicas de voltametría cíclica para luego comparar su comportamiento y estudiar la corrosión del electrodo de trabajo.
- **Alternativa 2:**
Diseño y construcción de un prototipo de potencióstato que permita aplicar un potencial lineal con respecto al potencial del circuito abierto para obtener una curva de corriente-potencial y luego estudiar la corrosión.
- **Alternativa 3:**

Diseño y construcción de un prototipo de potencioestado-galvanostato que permita realizar técnicas de cronoamperometría para luego estudiar la corrosión del electrodo de trabajo.

Para la selección de la alternativa más viable, se analizó cada una en base a los criterios que se muestran en la Tabla 2.1, los cuales indican el nivel de importancia que tienen cada uno de ellos acorde a su ponderación. A continuación, se detalla cada criterio:

- **Viabilidad:** posibilidad de construir el equipo con componentes que estén disponibles a nivel local.
- **Replicabilidad:** facilidad de ser replicado y ensamblado con la finalidad de incrementar el número de potencioestatos en el laboratorio.
- **Eficacia:** que los parámetros obtenidos sean cercanos a los de un potencioestado comercial y permitan un rápido análisis de la corrosión a partir de los datos obtenidos.
- **Grado de innovación:** que tan novedoso resulta ser el prototipo de potencioestado con respecto a los comerciales o a otros prototipos ya existentes.
- **Facilidad de uso:** facilidad de usar el potencioestado para la lectura y adquisición de datos.

Tabla 2.1 Criterios de selección

Criterio	Viabilidad	Replicabilidad	Eficacia	Innovación	Usabilidad	Σ+1	pond
Viabilidad	0	1	0	0,5	0,5	3	0,2
Replicabilidad	0	0	0	0,5	0,5	2	0,13
Eficacia	1	1	0	1	1	5	0,33
Innovación	0,5	0,5	0	0	0,5	2,5	0,17
Usabilidad	0,5	0,5	0	0,5	0	2,5	0,17
					Suma	15	1

Cada una de las respectivas alternativas fue evaluada a partir de los criterios antes mencionados. Al efectuar el análisis, se decidió escoger la alternativa 2 debido a que se consideró la más idónea debido a que permitirá los objetivos de efectuar el análisis de corrosión de una manera eficaz, siendo este el parámetro más importante que se

consideró además resultaría muy fácil realizar una producción local y a su vez una replicabilidad. En cuanto a la innovación también se destaca, debido a que dado los requerimientos sería el primer modelo que trabaje con dicha alternativa, lo que respecta a usabilidad el nivel de uso sería el mismo para cada alternativa. Todo esto se lo puede apreciar en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Tabla de conclusiones

Conclusión	Viabilidad	Replicabilidad	Eficacia	Innovación	Usabilidad	$\Sigma+1$	prioridad
Alternativa 1	0,083	0,0556	0,083	0,0278	0,056	0,306	2
Alternativa 2	0,083	0,0556	0,167	0,0833	0,056	0,444	1
Alternativa 3	0,033	0,0222	0,083	0,0556	0,056	0,25	3
						Suma	1

2.4 Proceso de diseño

Para realizar el diseño final, fue menester pasar por diversas etapas que abordaron minuciosamente cada aspecto del problema para cumplir con los requerimientos planteados por el cliente. En la Figura 2.2 se ilustra mediante un diagrama de bloques la metodología que se siguió a lo largo del diseño.

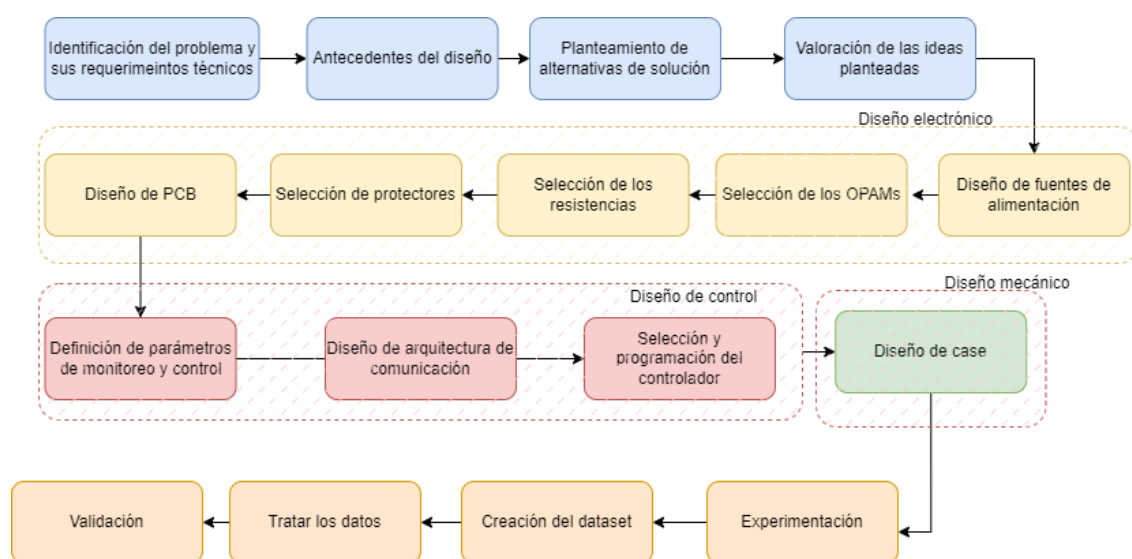


Figura 2.2 Metodología del proceso de diseño

2.5 Parámetros del diseño electrónico

A fin de cumplir con los requerimientos y en base a la alternativa seleccionada, se procedió a realizar la selección de componentes que sean de adquisición local y su respectiva configuración.

Fuente simétrica dual

Como requerimiento del proyecto se pide trabajar con OPAMPs y para ello se necesitan alimentarlos con una fuente simétrica dual. Para esto, se hizo uso del amplificador operacional LM358N, que según su hoja de datos soporta hasta 30V como voltaje de alimentación. La configuración que se le hizo es como seguidor de voltaje, con la finalidad de cuanto se le exija consumo de corriente, no genere caídas de tensión. Dicho esto, en la entrada no inversora se tiene la salida de un divisor de voltaje:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{(R_1 + R_2)} R_2 \quad (2.1)$$

Al ser R1 y R2 del mismo valor, el voltaje que ingresará al pin 3 del OPAMP será la mitad del voltaje de entrada. En la salida de este amplificador, se le coloca un puente de diodos y resistencias como protección y a su vez para generar la tierra virtual o un potencial de 0 en ese punto. Además, los diodos tienen como objetivo no activar a los transistores en casos donde se presente un incremento excesivo en la fuente o una caída considerable en la salida del OPAMP, a tal punto que anularía la salida de voltaje en los terminales finales. Dicho circuito se lo presenta en la Figura 2.3.

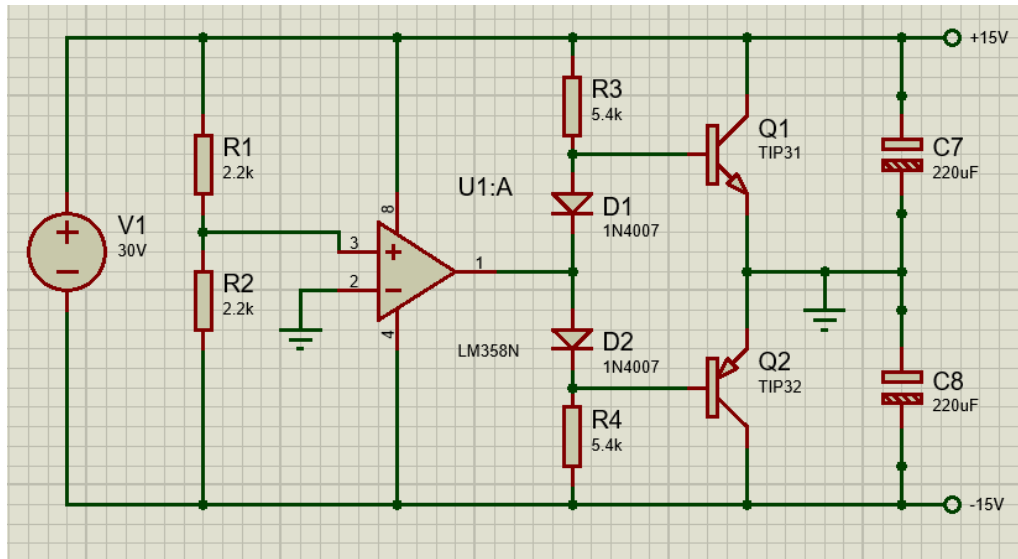


Figura 2.3 Fuente simétrica dual

Fuente reguladora de voltaje

La mayoría de los microcontroladores se los puede alimentar con +5V, para esto se puede aprovechar la salida positiva de la fuente simétrica dual y utilizar LM7805 para obtener una salida de +5V, cabe recalcar que se utilizaron capacitores en la entrada y salida del regulador a fin de proteger el circuito, los valores utilizados son los que el fabricante recomienda en la hoja de datos. El circuito se lo puede apreciar en la Figura 2.4.

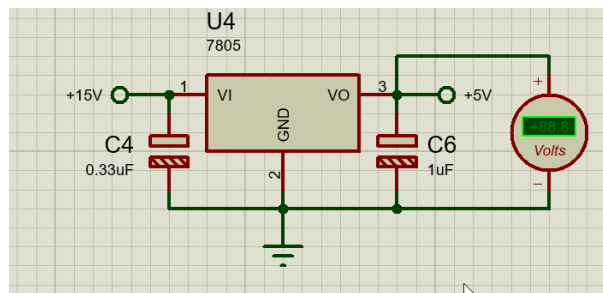


Figura 2.4 regulador de voltaje a +5V

Circuito de adquisición

Para el desarrollo del circuito que se encarga de enviar la señal a la celda electroquímica y realizar la adquisición de los datos producidos por la reacción, se empleó distintos integrados los cuales que se puede apreciar en la Figura 2.5.

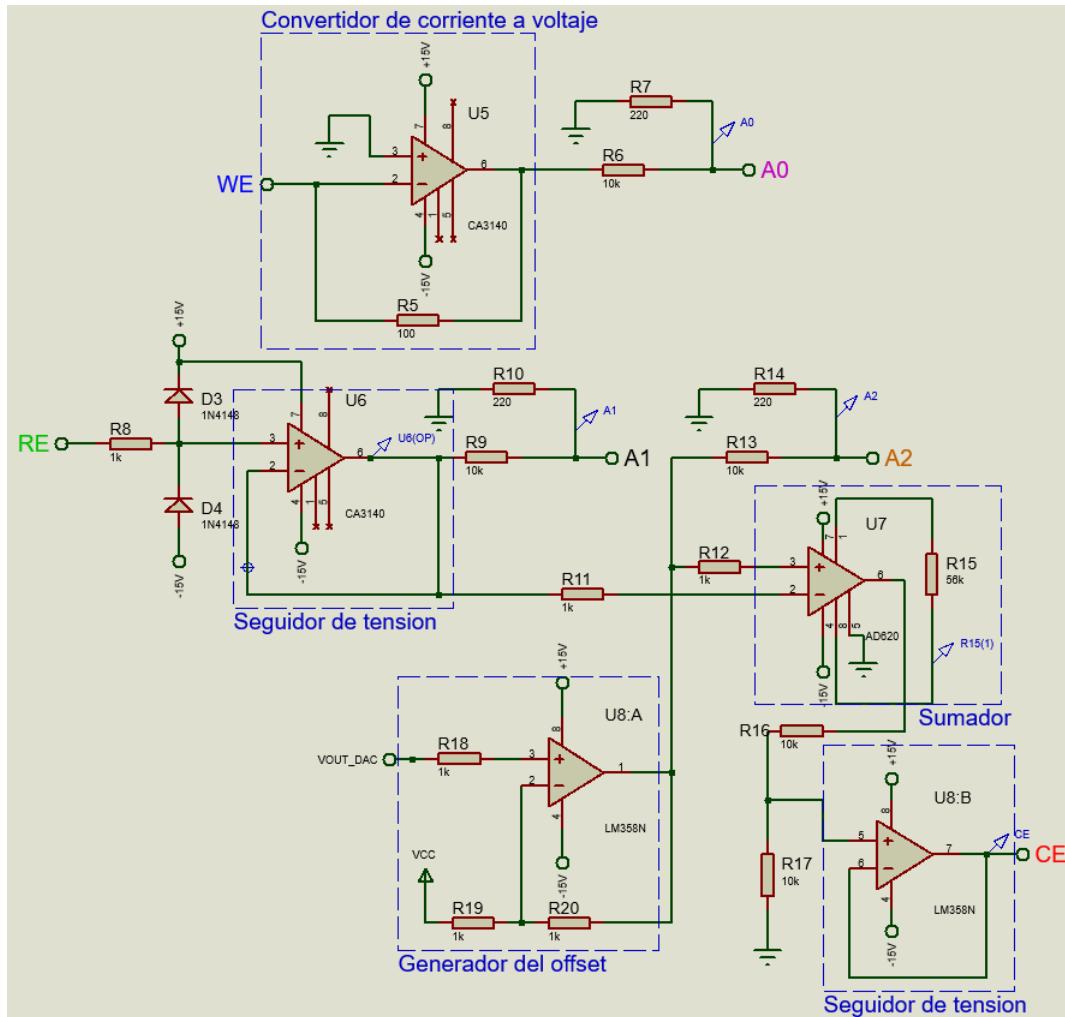


Figura 2.5 Circuito de adquisición

En la cual, el valor de V_{OUT_DAC} es una señal proveniente del controlador la cual puede variar entre 0 y +3.3 V. Los pines RE de color verde, CE de color rojo y WE de color azul en la Figura 2.5 van conectados a los electrodos de la celda electroquímica, y son electrodo de referencia, electrodo contador y electrodo de trabajo respectivamente. En cambio, los pines A_0 de color morado, A_1 de color negro y A_2 de color café van conectados al ADC del microcontrolador.

A continuación, se detallan los cálculos realizados para la determinación de las resistencias utilizadas y para la adquisición de datos.

2.5.1.1 Divisor de tensión

Para proteger el microcontrolador se procedió a colocar previo al voltaje adquirido y después del mismo dos resistencias de 10kΩ y 220Ω respectivamente para que

el voltaje disminuya. Mas abajo podemos apreciar el cálculo del voltaje final para el caso presentado en la Figura 2.6.

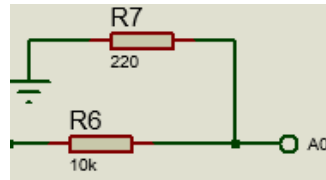


Figura 2.6 Divisor de tensión

Por la ley de ohm sabemos que la diferencia de potencial es directamente proporcional a la corriente y a la resistencia.

$$V_{in} = i(R_6 + R_7) \quad (2.2)$$

$$i = \frac{V_{in}}{(R_6 + R_7)} \quad (2.3)$$

Ahora para saber la caída del voltaje volvemos a usar la ley de ohm:

$$V_{A0} = iR_7 = \frac{V_{in}}{(R_6 + R_7)} R_7 \quad (2.4)$$

Con lo cual sabemos que el voltaje de salida depende tanto del voltaje de entrada como de las resistencias presentes.

2.5.1.2 Cambiador de nivel

Para poder realizar el barrido necesario desde un valor de voltaje negativo hacia uno positivo se necesitó usar un OPAMP en configuración de cambiador de nivel, el cual lo podremos apreciar en la Figura 2.7.

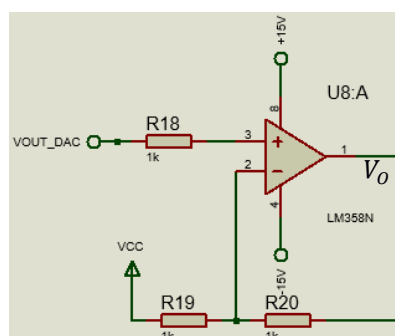


Figura 2.7 Cambiador de nivel

Para conocer el valor de las resistencias primero se determinó el mayor y el menor valor de voltaje que se desea en la salida. Con lo cual, el menor voltaje deseado será igual a:

$$V_{CC} \frac{R_{19}}{R_{20}} = V_{low} \quad (2.5)$$

Para nuestro caso, el menor valor deseado será de -3.3V y V_{CC} tiene un valor de +3.3V, con lo cual tenemos:

$$\frac{R_{19}}{R_{20}} = \frac{-3.3}{3.3} = -1 \quad (2.6)$$

$$\frac{R_{19}}{R_{20}} = 1$$

Esta relación entre las resistencias representa nuestra ganancia. Ahora para la entrada no inversora debido a la alta impedancia se debe cumplir lo siguiente:

$$V_{OUT_DAC} = V_{in} \quad (2.7)$$

Donde V_{OUT_DAC} representa el voltaje de salida de DAC, el cual tiene un rango de salida de 0 a +3.3V. Para calcular el voltaje de salida usamos lo siguiente:

$$V_o = V_{in}(1 + Gain) - V_{CC}(Gain) \quad (2.8)$$

$$V_o = V_{in}(1 + 1) - V_{CC}(1)$$

$$V_o = 2V_{in} - V_{CC}(1)$$

Con lo cual tenemos que nuestro voltaje de salida V_o será dos veces el voltaje proveniente del DAC menos el voltaje V_{CC} .

2.5.1.3 AD620

El AD620 nos ayuda a suministrar una ganancia al voltaje de salida el cual depende de los voltajes de entrada.

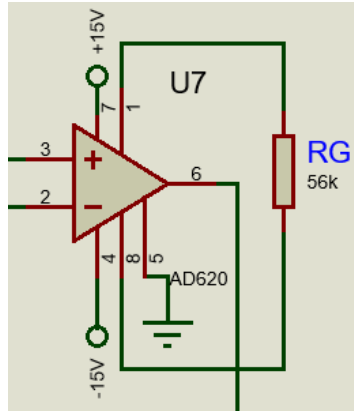


Figura 2.8 Conexión del AD620

Esta ganancia va a depender de la resistencia que se conecte entre el pin 1 y 8, el cálculo de esta resistencia se realizó a partir de la ganancia establecida por el fabricante, la cual es la siguiente.

$$G = \frac{49.4K\Omega}{R_G} + 1 \quad (2.9)$$

Se despeja R_G y calcula reemplazando la ganancia deseada, para el caso de la Figura 2.8 la ganancia deseada es de 1.882.

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{G - 1} \quad (2.10)$$

$$R_G = \frac{49.4K\Omega}{1.882 - 1} = 56K\Omega$$

Ahora para conocer el voltaje de salida en la configuración que tiene el AD620 utilizamos lo siguiente:

$$V_{U7} = GV_{in} \quad (2.11)$$

2.5.1.4 Convertidor de corriente a voltaje

Para el cumplimiento de nuestros propósitos fue necesario el uso del OPAMP en la configuración que vemos en la Figura 2.9 Convertidor de corriente a voltaje debido a que en el voltaje de la salida es proporcional a la corriente que viene por el pin WE conectado a la entrada inversora del OPAMP.

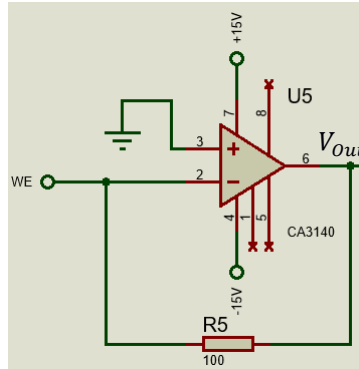


Figura 2.9 Convertidor de corriente a voltaje

En esta configuración el voltaje de salida es directamente proporcional a la resistencia en la retroalimentación y a la corriente de entrada. Para el caso presentado en la Figura 2.9 Convertidor de corriente a voltaje el voltaje de salida es igual a:

$$V_{out} = R5 (i_{we}) \quad (2.12)$$

Diseño de la PCB

Una vez que se tenga probado todo el circuito se procederá a realizar el diseño de la tarjeta electrónica en Atium Designer y posterior a ello se mandará a imprimirla localmente.

2.6 Parámetros del diseño de control

En esta sección se procedió a establecer los distintos parámetros a monitorear y la arquitectura de comunicación que tiene el prototipo.

Definición de parámetros de monitoreo y control

Los parámetros que en el proyecto se necesita monitorear son el voltaje del electrodo de trabajo con respecto al de referencia y la corriente que pasa a través del electrodo de trabajo. Por otra parte, la variable de control es el voltaje que se aplica al CE (electrodo contador), el cual se establece en un rango con respecto al voltaje obtenido en el OCP. También se debe establecer la velocidad de barrido en que se aplica el potencial antes mencionado.

Diseño y arquitectura de comunicación

La configuración de los parámetros a trabajar se logró mediante una interfaz de usuario desarrollada en Python, dada las facilidades de desarrollo que este lenguaje ofrece y porque cuenta con la librería Streamlit. Esta librería es un framework open-source pensado para crear web apps enfocadas en ciencia de datos y ML (machine learning) sin tener mucha experiencia en desarrollo front-end [14].

Cada uno de los parámetros establecidos, se los almacena de manera local. Posterior a ello, mediante una red WIFI se sube la información a la base de datos en tiempo real de Firebase, de donde se extrae la información presentada en la interfaz. A continuación, en la Figura 2.10 se presenta un esquema del funcionamiento:

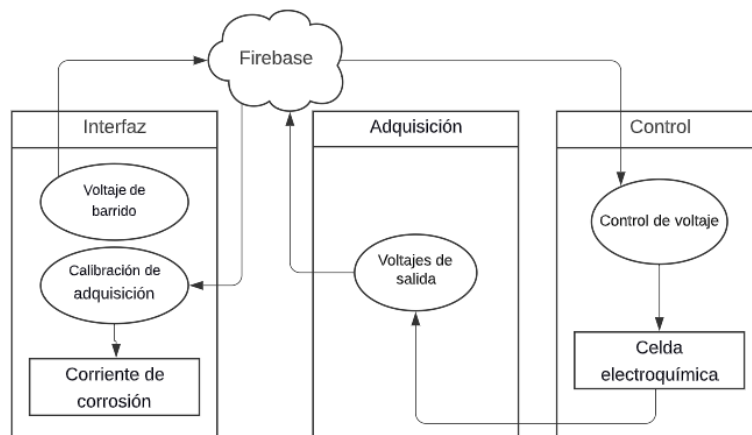


Figura 2.10 Esquema general de funcionamiento

Selección y programación del controlador

El controlador que se utilizó es el ESP32, esta placa de desarrollo es un microcontrolador muy versátil fabricado por la empresa Espressif Systems e incluye WIFI, bluetooth, ADC, entre otras grandes funciones. En la Tabla 2.3 Especificaciones del ESP32 [15] se encuentra más detalles sobre las especificaciones de la placa.

Tabla 2.3 Especificaciones del ESP32 [15]

Especificaciones de ESP32	
Característica	Especificación
MPU	Xtensa Dual Core 32-bit LX6
Conexión inalámbrica	WIFI y BLUETOOTH
Oscilador interno	8MHz
SRAM	512 KBytes
GPIO	34
DAC	2 x 8 bit
SPI/I2C/I2S/UART	4/2/2/3
ADC	12 bit
Security	Flash encryption
Temperatura de trabajo	-40 C – 125 C

Además, el microcontrolador posee un puerto micro USB, pulsador de EN, led indicador de encendido, entre otros elementos como podremos ver en la Figura 2.11.

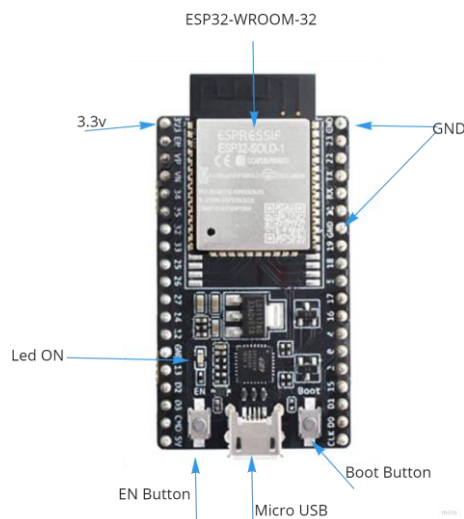


Figura 2.11 Placa ESP32

Para escoger este microcontrolador se realizó una matriz de decisión. La Tabla 2.4 Ponderaciones para escoger el microcontrolador posee las ponderaciones asignadas a cada característica para la toma de decisión y en la Tabla 2.5 se aprecia los resultados obtenidos.

Tabla 2.4 Ponderaciones para escoger el microcontrolador

Microcontrolador				
Costo	WIFI	Procesamiento	ADC y DAC	Tamaño
15%	40%	20%	10%	15%

Tabla 2.5 Valores de cada criterio para los microcontroladores considerados

	Costo	WIFI	Procesamiento	ADC y DAC	Tamaño	Total
ESP32	3.5	4	5	5	5	4.38
AtMega8	5	0	2	0	5	1.9
Raspberry Pi3	1	5	5	5	2	3.95

Como se pudo apreciar el microcontrolador ESP32 obtuvo la mejor puntuación por lo cual fue el ganador.

De modo que, el esquema de conexiones de hardware del circuito encargado de la adquisición de los datos va conectado tanto al DAC (convertidor de digital a analógico) como al ADC (convertidor de analógico a digital) del ESP32. El esquema lo podemos ver en la Figura 2.12. Para la alimentación se dispone de una fuente la cual entrega $\pm 15V$ y $+5V$.

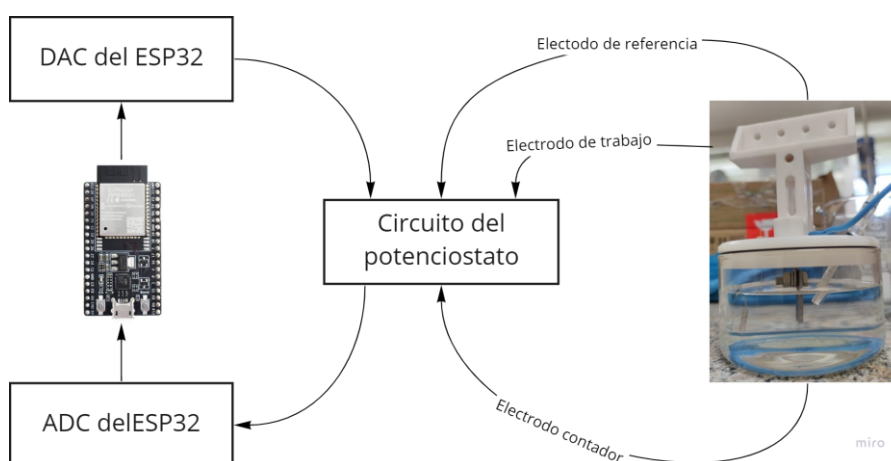


Figura 2.12 Esquema general

Por otra parte, para la programación del microcontrolador ESP32 se consideraron el lenguaje basado en C que utiliza el IDE de Arduino y MicroPython que está basado en Python. La elección fue realizada mediante la matriz de decisión en la cual se consideraron los criterios que vemos en la Tabla 2.6. Los resultados obtenidos lo podemos apreciar en la Tabla 2.7.

Tabla 2.6 Criterios de evaluación para lenguaje de programación

Lenguaje			
Experiencia	Facilidad	Computo	Documentación
30%	20%	25%	25%

Tabla 2.7 Matriz de decisión para escoger el lenguaje de programación a usar

	Experiencia	Facilidad	Computo	Documentación	Total
C/C++	4	4	3	4	3.75
MicroPython	2	4	4	5	3.65

Con lo cual, se escogió como lenguaje de programación para el microcontrolador el basado en C.

2.7 Parámetros del diseño mecánico

Para el diseño mecánico, la finalidad del mismo es proteger al circuito electrónico y evitar que se produzcan contactos con superficies metálicas o soluciones químicas que puedan generar cortocircuitos, también tiene el objetivo de protegerlo ante golpes, caídas y a su vez que permita una fácil manipulación para trasladarlo de un lugar a otro. El bosquejo de su diseño se lo muestra en la Figura 2.13, cabe recalcar que sus dimensiones dependerán del tamaño del circuito impreso.



Figura 2.13 Bosquejo del case protector

2.8 Tratamiento de los datos

Los datos recopilados serán procesados en Python, finalmente se generará un archivo de Excel para graficar los resultados con ayuda del programa Origin Pro, el cual permite realizar un análisis de corrosión denominado extrapolación de Tafel en base a datos resultados del potencial y densidad de corriente medidos en la prueba.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presenta el diseño 3D del prototipo de potencióstato, conformado por una carcasa de protección y el circuito de adquisición, con las respectivas salidas hacia la alimentación y los electrodos. Con respecto al circuito de control y adquisición, se muestra más a detalle la ubicación de los distintos elementos que la conforman.

3.1 Diseño mecánico

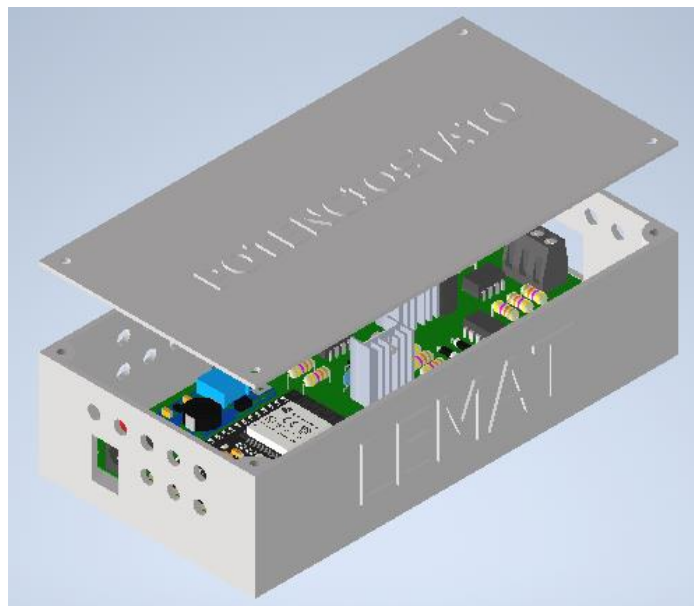


Figura 3.1 Carcasa de protección

En la Figura 3.1 se puede apreciar la carcasa de protección que protege de cualquier daño al circuito del potencióstato propuesto en el presente proyecto, la cual fue diseñada en el software Inventor. Esto permitió definir la ubicación de las distintas conexiones necesarias, como en la parte frontal la conexión de los distintos electrodos, además de en la parte trasera la conexión de la fuente de alimentación.

3.2 Diseño electrónico

En esta sección se presentan los diseños elaborados para la implementación del circuito del potenciómetro.

Diseño del circuito

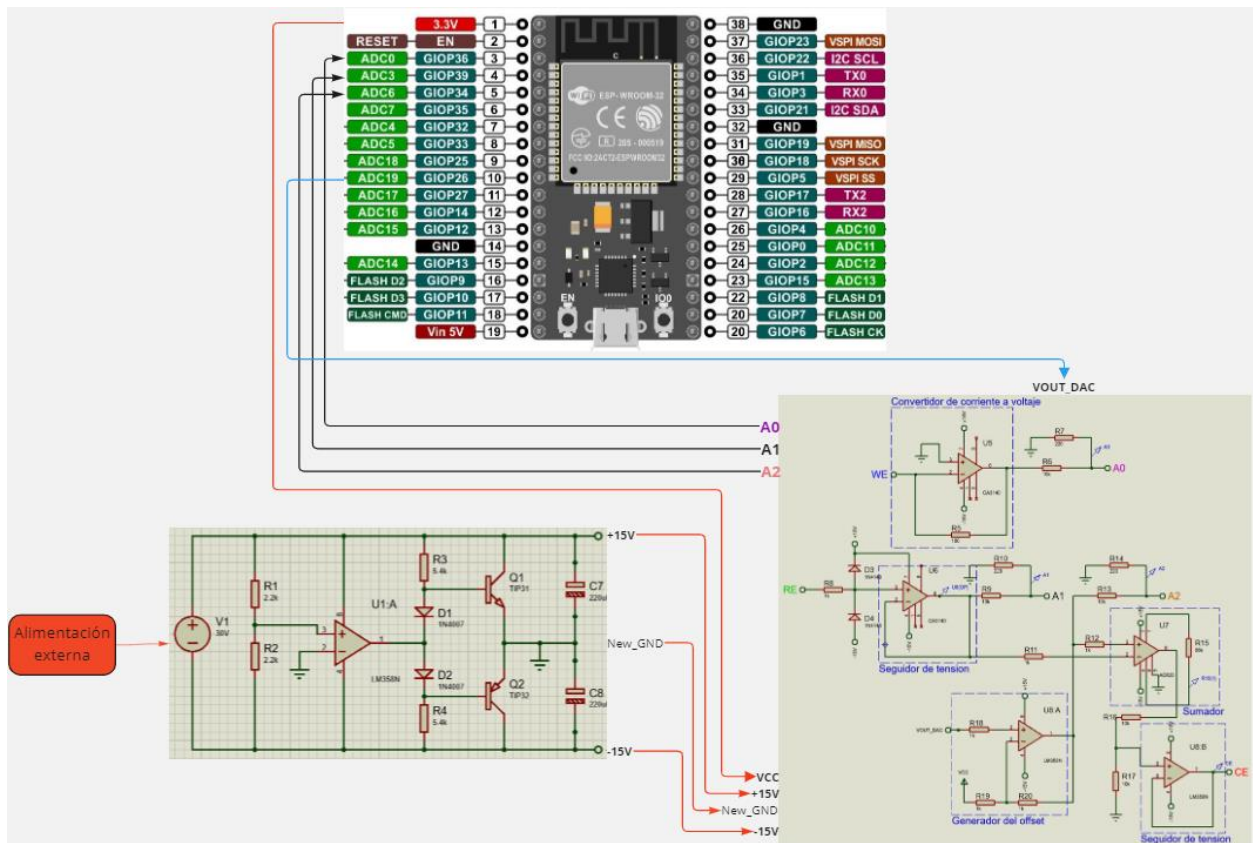


Figura 3.2 Diagrama esquemático

En la Figura 3.2 se presenta el diagrama esquemático del prototipo de potenciómetro, en el cual se puede apreciar cómo se conectan las distintas partes del mismo.

Para el diseño de la PCB se utilizó Altium Designer, se aplicaron las normativas IPC, teniendo en cuenta una distancia mínima de separación de 80mm debido a que el circuito trabaja en un rango de 30V, además el ancho de las pistas se lo hizo de 0.7mm debido a que máximo pasa 37mA por el electrodo de trabajo y el grosor escogido es a modo de protección.

Se puede apreciar en la Figura 3.3 el diseño a doble cara de la placa de circuito impreso, donde podemos ver la ubicación tanto del ESP32 como de todos los componentes del circuito.

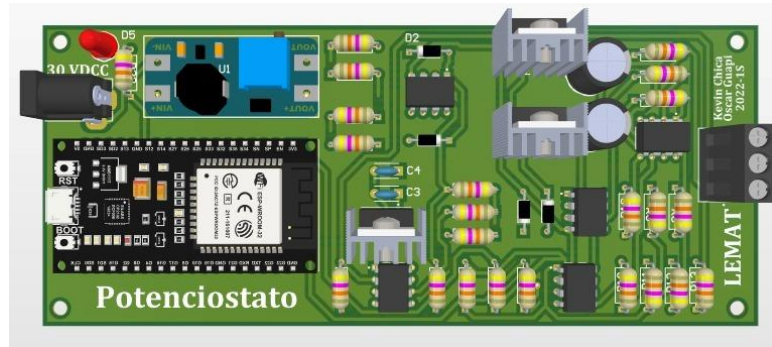


Figura 3.3 Placa PCB

3.3 Aplicación web

La aplicación web desarrollada para visualizar los datos recolectados por el prototipo tiene pocas ventanas para tener una interfaz intuitiva y fácil de usar. Inicialmente, el usuario verá el inicio de sesión como podemos apreciar en la Figura 3.4, así se logra controlar las personas que tienen acceso a la información.

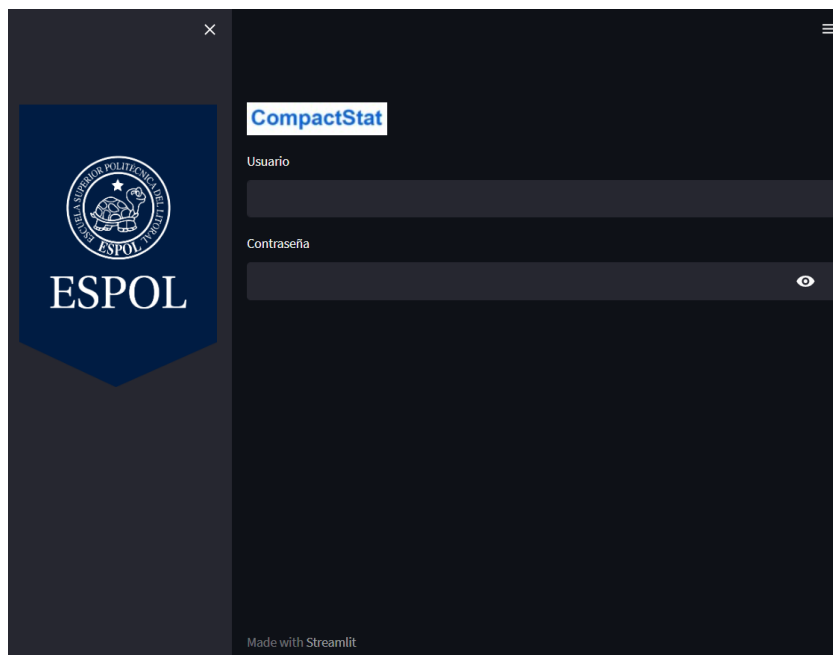


Figura 3.4 Inicio de sesión

Después de iniciada la sesión se muestra la ventana principal como podemos ver en la Figura 3.5. En la cual se puede establecer tanto valores del rango en la prueba electroquímica (barra de la izquierda desplegable), como el mostrar valores recolectados de pruebas anteriores mostrando la fecha y hora en que se las iniciaron.

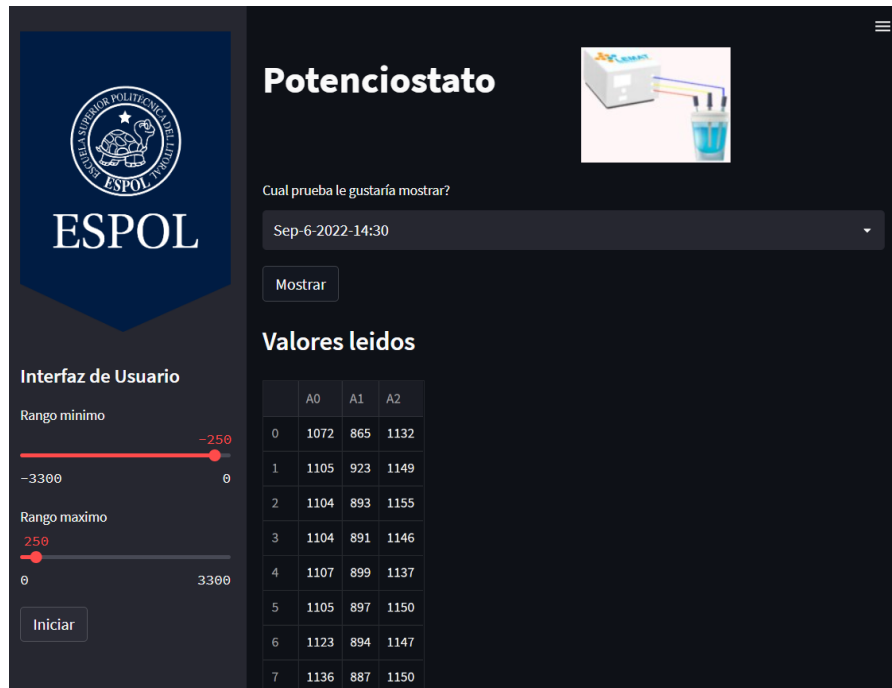


Figura 3.5 Ventana principal

Los valores que muestra la aplicación web están en el mismo orden en el cual se recolectaron, además, seguida de los valores presentados se tiene un botón de descargar para poder extraer los datos recolectados en el caso de así necesitarlo. La aplicación web puede ser accedida desde cualquier navegador, sin importar si se accede desde una computadora o desde celular, ya que esta se ajusta a las dimensiones del dispositivo desde el cual se accede como se puede apreciar en la Figura 3.6.



Figura 3.6 Ingreso a la aplicación web desde un celular

El repositorio del proyecto es el siguiente: <https://github.com/oguapi/Potenciostato-Streamlit/tree/Stream>.

3.4 Análisis de corrosión

Se alcanzó un potencial de corrosión de $-0.64V$ y una corriente de corrosión de $0.547mA/cm^2$.

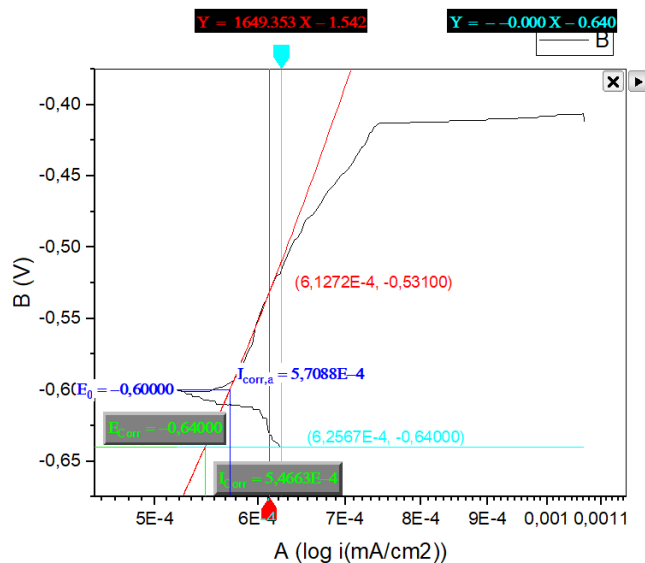


Figura 3.7 Curva generada con los datos recolectados

3.5 Análisis de costos

En la se detallan los costos involucrados para la elaboración del prototipo de potenciostato, en el cual se considera tanto los componentes electrónicos utilizados, fabricación de la PCB y fabricación de la carcasa de protección; así como también el costo de la mano de obra involucrada para la unión de todos los elementos.

Como se puede apreciar, el mayor costo sería la impresión de la PCB, en la cual el valor depende de varios factores principalmente del tamaño del mismo, de ahí la importancia de acomodar los distintos componentes electrónicos que conforman al prototipo en el menor espacio posible.

Tabla 3.1 Costos para la elaboración del prototipo

Productos	Costo
Impresión de PCB	\$50
Componentes electrónicos	\$22
Impresión de case	\$20
Mano de obra	\$30
Total	\$122

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se pudo diseñar un prototipo de potencióstato, que permite la recolección de datos en una prueba electroquímica, en la cual se implementan electrodos comerciales, usando distintos componentes electrónicos y de software, y teniendo un costo final de \$122 el cual cumple con las expectativas del cliente.

Mediante la implementación de amplificadores operacionales en distintas configuraciones se pudo elaborar un circuito electrónico de control y adquisición, a través del cual es posible hacer uso de electrodos comerciales en los cuales se quería establecer o conocer información de voltaje o corriente que tenían los mismos. Además, con esto se logró evitar perturbaciones en el circuito electrónico por parte de la celda electroquímica dada la alta impedancia de los amplificadores operacionales.

Se logro el diseño e implementación de una aplicación web que sirve como interfaz de usuario para el prototipo, en el cual se puede establecer ciertos rangos de interés, observar los datos tanto de voltaje como corriente en la celda electroquímica que han sido recolectados y seleccionar la prueba del cual quiere mostrar los datos.

Se comprobó teóricamente que el prototipo cuenta con suficiente almacenamiento interno para evitar perder información de las pruebas realizadas, ya que en promedio los datos recolectados de una prueba pesan 200kB, permitiendo realizar y almacenar internamente datos de aproximadamente 40 pruebas.

Se realizaron pruebas cuyos datos pueden ser visualizados desde la aplicación web con lo cual se comprobó que la arquitectura de interacción de las distintas partes definida es capaz de dar a conocer las mediciones realizadas. Esto se logra sin la necesidad de estar próximo al prototipo.

En base a la muestra analizada, se concluye que el prototipo arroja resultados fiables, muy cercanos al del acero al carbono [15].

4.2 Recomendaciones

Es recomendable, para tener una mayor versatilidad de la interfaz agregar una barra de selección donde se muestre distintos tipos de archivos a descargar como “.csv” o “.txt” para una mayor comodidad del usuario.

Para disminuir el tamaño de la PCB, es recomendable realizar un diseño con componentes superficiales.

Para quienes deseen realizar mejoras en la funcionalidad, puede modificar el código fuente para que el potenciómetro no trabaje solo con un potencial lineal, sino que también pueda trabajar con un voltaje constante o cíclico, y dar la posibilidad de realizar otros análisis de corrosión.

Si se desea obtener una mejor resolución en cuanto a resultados se puede optar por implementarle al circuito DAC y ADC externos, que ofrezcan la ventaja de una mayor resolución de bits.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Centro Tecnológico CTC,» 20 abril 2020. [En línea]. Available: <https://centrotecnologicoctc.com/2020/04/24/ctc-corrosion-dia-mundial/>. [Último acceso: 20 junio 2022].
- [2] G. J., P. B, A. J., P. A., A. Picon, J. J., R. A., E. G., S. G., C. L. y S. M., «DISEÑO y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE POTENCIOSTATO GALVANOSTATO PARA EL LABORATORIO DE CORROSIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA,» *Revista UIS Ingenierias*, p. 29'40, 2004.
- [3] «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/NATIONAL-INSTRUMENTS-multifunci%C3%B3n-costo-DAQ-779026-01/dp/B07SZQNYFM>. [Último acceso: 21 junio 2022].
- [4] W. Aperador Chaparro, G. Roa Rodriguez y E. Delgado Tobon, «Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 16, nº 4, pp. 565-572, 2015.
- [5] J. Muñoz y J. Serna, Implementacion de un sistema de mantenimiento preventivo para el taller industrial Mesuri, Medellín, Colombia, 2012.
- [6] «Made in China,» [En línea]. Available: https://www.made-in-china.com/products-search/hot-china-products/Potentiostat_Price.html. [Último acceso: 20 junio 2022].
- [7] M. Alfaro y I. Alfaro, «Construcción de un potenciostato de bajo costo para estudios de inhibición de corrosión de acero: determinación del potencial de corrosión y mediciones cronoamperométricas,» *Educacion Quimica*, vol. 28, nº 4, pp. 269-274, 2017.
- [8] R. Cuadrado, M. Del Valle y Y. Aramendiz, Diseño y construcción de un equipo trazador de curvas potencioestaticas y potenciodinámicas para pruebas de laboratorio que determinen el comportamiento de materiales en medios corrosivos, Cartagena de Indias: Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, 2003.

- [9] P. Monzon Bello, Determinación de la velocidad de corrosión en armaduras mediante técnicas cuantitativas de análisis electroquímico, Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 2012.
- [10] T. Dobbelaere, P. Vereecken y C. Detavernier, «A USB-controlled potentiostat/galvanostat for thin-film battery characterization,» *HardwareX*, vol. 2, pp. 34-49, 2017.
- [11] G. Meloni, «Building a microcontroller based potentiostat: A inexpensive and versatile platform for teaching electrochemistry and instrumentation,» *Journal of Chemical Education*, vol. 93, pp. 1320-1322, 2016.
- [12] J. H. Laimé Escalante, El amplificador operacional, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, 2018.
- [13] P. Morcelle del Valle, Amplificadores Operacionales, 2018.
- [14] Streamlit Inc., «Streamlit,» 2022. [En línea]. Available: <https://streamlit.io/>. [Último acceso: 21 8 2022].
- [15] H. R. Jassim HH, Evaluation of the, 2017.
- [16] ESPRESSIF, «ESP32 Series,» [En línea]. Available: https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. [Último acceso: 29 Julio 2022].

APÉNDICES

APÉNDICE A

Repositorio generado

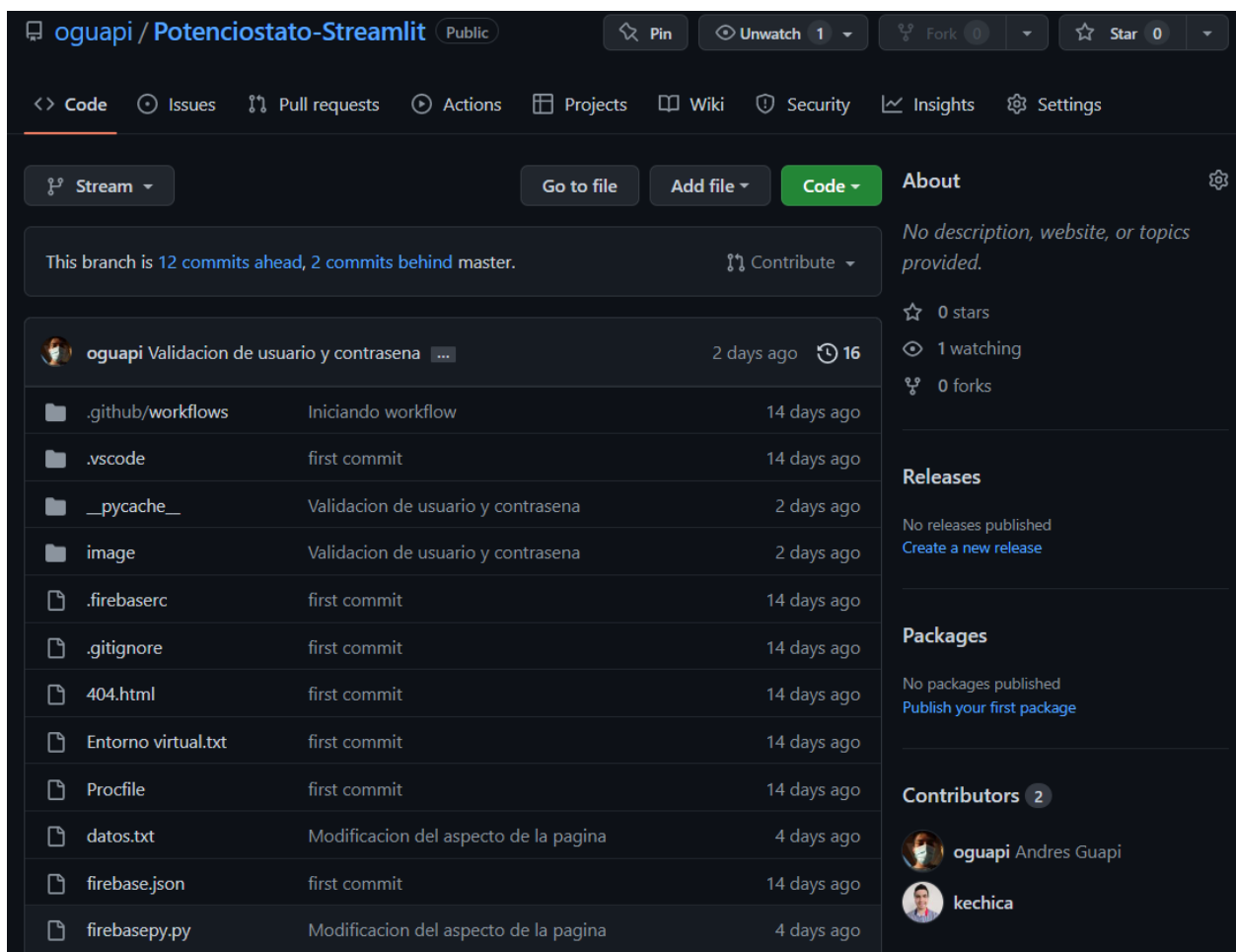


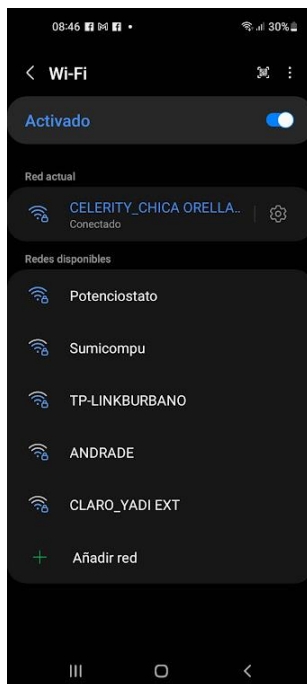
Figura 0.1 Repositorio en GitHub.

Link: <https://github.com/oguapi/Potencioestado-Streamlit/tree/Stream>

APÉNDICE B

Instructivo de uso:

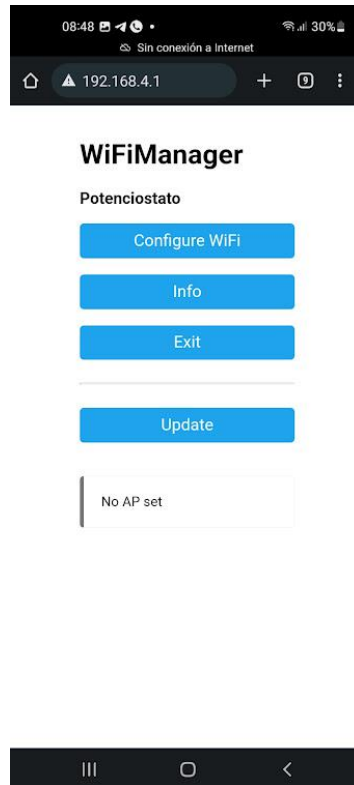
1. Energizar el potencioestado y buscar las redes Wi-Fi.



2. Seleccionar la red “Potencioestado” y escribir la contraseña “lemat_chica_guapi”.



3. En un navegador escribir “192.168.4.1” y seleccionar la opción “Configure WiFi”.



4. Seleccionar la red que desea conectarse y escribir su contraseña.

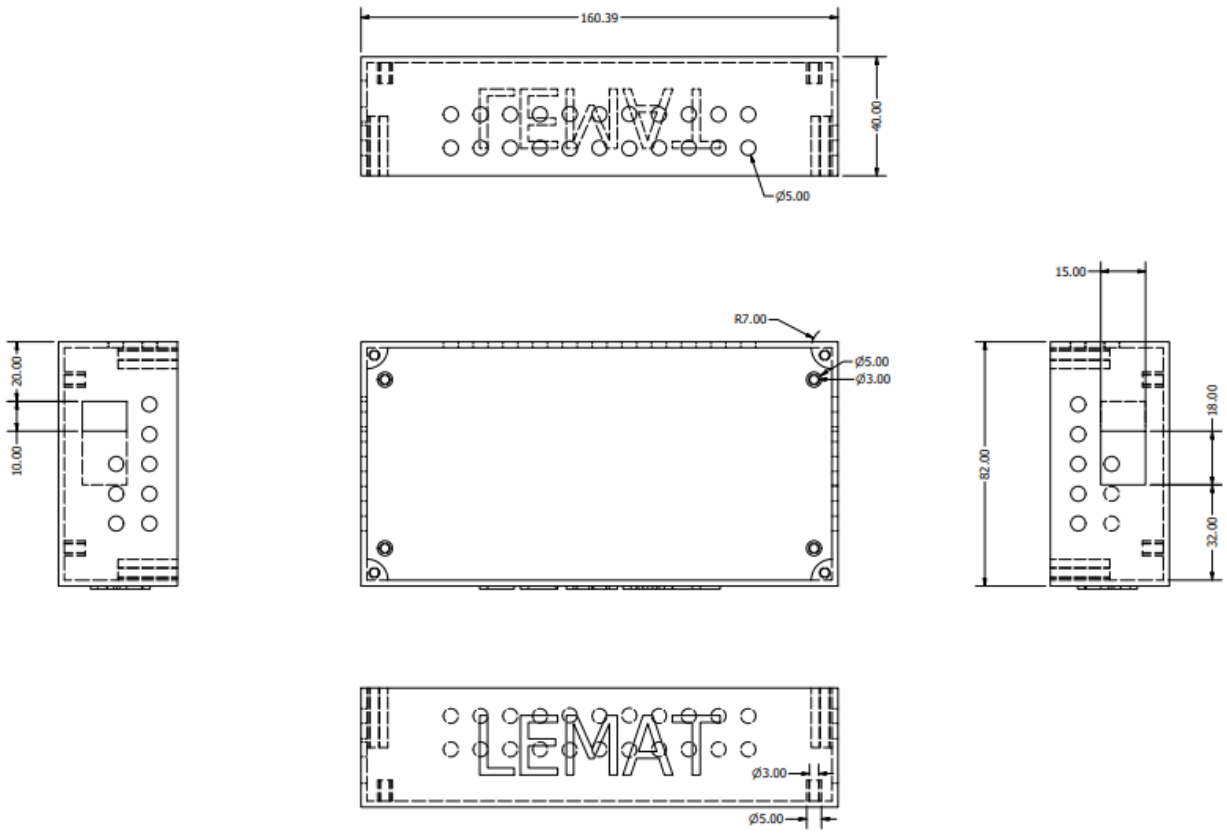


5. ¡Listo! El potenciostato ya puede usarse.

APÉNDICE C

Planos

PLANO 1 Base de carcasa



PLANO 2 Tapa de carcasa

