


CONESCAPANHONDURAS2025paper120.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477758041

Submission Date

Jul 31, 2025, 10:30 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 6:26 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper120.pdf

File Size

752.2 KB

6 Pages




3,115 Words

17,194 Characters

11% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 11%  Internet sources
- 4%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 11%  Internet sources
- 4%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	repositorio.utm.edu.ec:3000	1%
2	Internet	www.researchgate.net	1%
3	Internet	hdl.handle.net	1%
4	Internet	repository.uaeh.edu.mx	1%
5	Internet	revista.cnic.cu	1%
6	Internet	elib.spbstu.ru	<1%
7	Internet	www.coursehero.com	<1%
8	Internet	feltran.kpi.ua	<1%
9	Internet	rodin.uca.es	<1%
10	Internet	repositorio.ulvr.edu.ec	<1%
11	Internet	mail.ues.edu.sv	<1%

12	Internet	apktume.com	<1%
13	Internet	repository.unad.edu.co	<1%
14	Internet	www.jove.com	<1%
15	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
16	Internet	gold4you.biz	<1%
17	Internet	repository.javeriana.edu.co	<1%
18	Internet	www.elfaromx.com	<1%

Monitoreo Remoto en Tiempo Real de Agentes Corrosivos para Comparación de Datos según Zonas Específicas de El Salvador a través de dos Prototipos con Microcontrolador: MACA y MALLU

Resumen – En el presente artículo se detalla el proceso de diseño y construcción de dos prototipos monitoreo remoto: uno destinado al sensado de agentes corrosivos atmosféricos y el otro a la medición en tiempo real del pH de la lluvia. Así como también la implementación de la plataforma de IoT Blynk para la recolección y presentación de datos. Ambos prototipos han sido diseñados con la finalidad de relacionar las variables sensadas con la corrosión de estructuras metálicas en distintas zonas de El Salvador.

Índice de Términos – Agentes corrosivos, pH, monitoreo remoto, IoT.

I. INTRODUCCIÓN

El reciente crecimiento poblacional en la zona costera, así como el desarrollo del sector turístico, ha ocasionado un notable incremento en la infraestructura en el área y sus alrededores. Como es bien sabido, que gran parte de la infraestructura es elaborada con componentes metálicos que, al estar en un ambiente atmosférico salino, son susceptibles a experimentar problemas de corrosión en diferentes grados. [1]

El fenómeno de la corrosión presenta también un grado de afectación grande en ambientes catalogados como no salinos. Existen múltiples agentes corrosivos presentes en la atmósfera que interactúan con las estructuras metálicas y que contribuyen a que se produzca el proceso de corrosión.

Los profesionales involucrados en el análisis de los materiales metálicos presentes en la infraestructura civil están al tanto de las implicaciones negativas de la corrosión en la vida útil del material, sin embargo, los métodos para combatir dicho problema en su mayoría son correctivos, es decir, mediante algún método que permita detener el daño una vez ya ha comenzado a producirse o anticipándose con algún

sistema de prevención contra la corrosión como algunos recubrimientos o tratamientos químicos. [2]

Hoy en día no existe mucho interés por relacionar las implicaciones directas e individuales de las concentraciones en tiempo real de los agentes corrosivos presentes en la atmósfera con el deterioro de estructuras metálicas. Al profundizar en el campo investigativo disponible en la actualidad, fácilmente puede notarse una falta de exploración en lo que respecta al monitoreo en tiempo real de agentes corrosivos atmosféricos. [3]

Es por ello que surge la necesidad del monitoreo de las distintas atmósferas y su categorización por nivel de corrosividad, con el afán de conocer a qué tipo de atmósfera se exponen las estructuras metálicas y tomar decisiones con esta información.

Según Guerra, Castañeda y Howland, (2016) “Precisamente, como herramienta fundamental que permite prever el deterioro anticipado están los estudios basados en la evaluación de la agresividad corrosiva de la atmósfera, o lo que es lo mismo, la evaluación del impacto del ambiente agresivo sobre las estructuras.” [4]

Es debido a todo lo expuesto con anterioridad, que en la presente investigación se plantea el diseño y construcción de dos prototipos de monitoreo remoto para distintos agentes que intervienen directamente en el proceso de corrosión.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

- Construir dos prototipos robustos para la medición de parámetros físicos que influyen directa o indirectamente en la corrosión de estructuras, especialmente de instalaciones eléctricas y en diferentes zonas del país (costeras, lacustres, rurales y urbanas), que sea capaz de transmitir información en tiempo real mediante herramientas de internet, para determinar la viabilidad de su construcción.

B. Objetivo específico

- Explorar el fenómeno de corrosión en diferentes zonas del país y su relación con el clima, tipo de atmósfera y la presencia o no de diferentes elementos corrosivos y contaminantes del aire del lugar.
- Fabricar, mediante manufactura aditiva, el prototipo de un dispositivo captador capaz de percibir y tratar varias señales a la vez, y transmitirlos en tiempo real a una interfaz web que permita observar históricos, gráficos y otros elementos visuales de información relevante del lugar donde se encuentre instalado.
- Comparar la información obtenida en diferentes zonas del país (costa marítima, lago, ciudad o área rural) para ayudar a determinar las recomendaciones necesarias que conlleve realizar instalaciones eléctricas en ellas.

III. DESARROLLO

A. Descripción del proyecto.

Como se mencionó con anterioridad, el presente trabajo se realizó para investigar el impacto de distintos agentes corrosivos en las estructuras metálicas, para cumplir con dicho objetivo se diseñó y construyó dos prototipos para el monitoreo remoto y en tiempo real de agentes corrosivos atmosféricos y pH de la lluvia. A continuación, se detallan las características principales de cada uno de los prototipos.

▪ Prototipo MACA (Monitor de agentes corrosivos atmosféricos)

El prototipo MACA es un dispositivo de monitoreo remoto y está diseñado para el sensado de nueve agentes corrosivos atmosféricos presentes en el aire que se indican a continuación junto a su respectivo sensor: Monóxido de Carbono y Metano, por medio de un sensor MQ-9; Dióxido de Carbono, mediante un sensor MQ-135; Ácido Sulhídrico, utilizando un sensor MQ-136; Oxígeno, con el sensor Grove material particulado de 2.5 μm de diámetro y material particulado de 10 μm de diámetro, humedad relativa y temperatura. Añadido a los agentes

anteriormente mencionados, el prototipo posee un módulo GPS integrado para la recopilación de datos de posición en tiempo real.

▪ Prototipo MALLU (Monitor de acidez de la lluvia)

El prototipo MALLU también está enfocado al monitoreo remoto en tiempo real, sin embargo, este está diseñado para captar lluvia y medir su acidez. La medición se realiza por medio de un sensor electroquímico de Ph que consta de dos partes, una sonda de electrodo de pH tipo BNC y un módulo de detección de valor para poder transmitir los datos hacia un ESP32.

Para la construcción de ambos prototipos se utilizó un ESP32 como microcontrolador para todos los sensores y dispositivos electrónicos utilizados. El ESP32 es un microcontrolador System on Chip (SoC) de 32 bits equipado con una red inalámbrica o WiFi y BLE. Se seleccionó debido a la cantidad de pines de lectura analógica que posee, la conectividad vía Wifi y la cantidad de bits de procesamiento con las que trabaja. [5]

De la misma manera, los datos para ambos prototipos se recopilaban mediante la plataforma Blynk. Por medio de esta herramienta se diseñaron dos dashboards referentes a cada uno de los prototipos con diversos widgets para cada una de las variables sensadas. En la figura 1 y 2, se muestra el dashboard para el prototipo MACA y MALLU respectivamente.



Figura 1. Dashboard de prototipo MACA con Blynk. Fuente: [Elaboración propia]

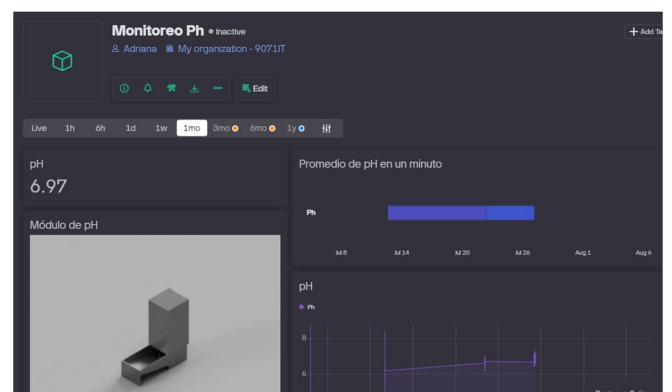


Figura 2. Dashboard de prototipo MALLU con Blynk. Fuente: [Elaboración propia]

B. Construcción física

1. Construcción física del prototipo MACA

Se realizó una búsqueda para recolectar ideas de posibles diseños. Una de las ideas más llamativas encontradas fue la fabricación del cuerpo del prototipo mediante anillos, colocando la placa con los componentes electrónicos, incluido el microprocesador, dentro de estos anillos. La implementación de los anillos permitiría la circulación del aire por la PCB, proporcionando ventilación al microprocesador gracias al espacio generado entre cada uno de los anillos.

Para cumplir con el criterio de exposición de los sensores, se diseñó una cubierta superior con una serie de orificios donde se montarán los sensores. De esta forma, los sensores podrán captar directamente el aire, proporcionando mediciones precisas.

En la figura 3. Se muestra el diseño del prototipo MACA.



Figura 3. Diseño de carcasa para prototipo MACA.
Fuente: [Elaboración propia]

Se decidió imprimir la carcasa del prototipo MACA con PETG, que posee buenas características mecánicas, resistencia al calor y además es más fácil de imprimir en comparación con otros materiales. El tiempo total de impresión de las piezas fue de aproximadamente 86 horas. Todo el trabajo de impresión 3D se realizó en los laboratorios del segundo nivel del edificio CEDITEC de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, bajo la supervisión del Ing. Edwin Isaac Rosales Molina.

Además, se incorporó un panel solar de 5V y 1A (5W) en el prototipo para aumentar la autonomía de la batería, permitiendo que el dispositivo funcione más tiempo sin necesidad de recarga eléctrica directa, siempre que haya luz solar disponible.

A continuación, en la figura 4 se muestra el resultado final de la construcción del prototipo MACA.



Figura 4. Construcción final de prototipo MACA.
Fuente: [Elaboración propia]

2. Construcción física del prototipo MALLU

Para el prototipo de monitoreo del pH de la lluvia se tenían algunos retos a superar para asegurar su correcto funcionamiento. La idea principal era realizar dos secciones por separado que fueran parte del mismo prototipo, un módulo impermeabilizado para los componentes eléctricos del prototipo y un captador plástico para conducir el agua de lluvia hasta un espacio donde la punta del sensor haga contacto con la sustancia.

En la figura 5 Se muestra el diseño del prototipo MALLU realizado mediante el software Fusion360.

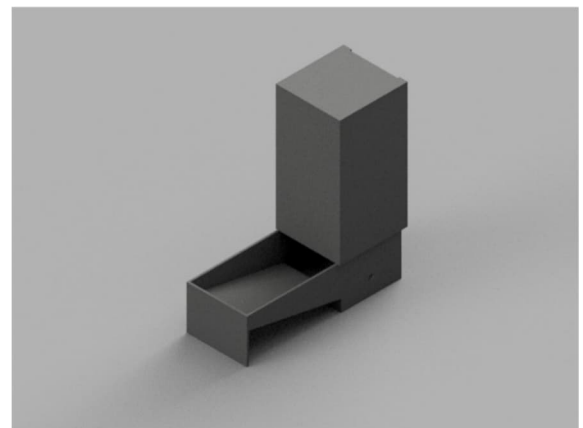


Figura 5. Diseño de carcasa para prototipo MALLU.
Fuente: [Elaboración propia]

El material de construcción utilizado en ambas partes que conforman al prototipo es acrílico, esto con el fin de darle una estructura más robusta y un acabado estético. Además, se aplicó un sellador de silicón en todas las uniones para lograr impermeabilizar correctamente el prototipo.

A continuación, en la figura 6 se muestra el resultado final de la construcción del prototipo MALLU.

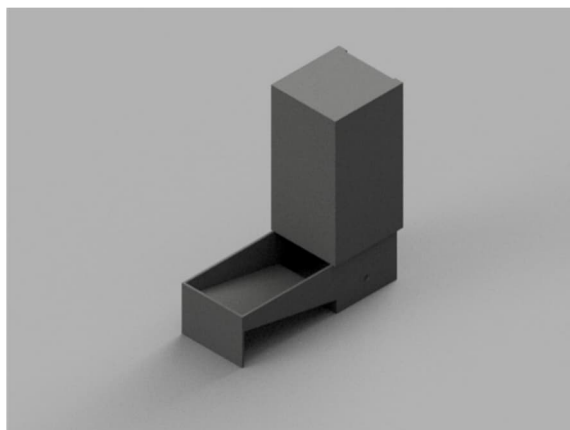


Figura 6. Construcción final de prototipo MALLU.
Fuente: [Elaboración propia]

IV. RESULTADOS

Para poder establecer puntos de comparación, se realizaron algunas delimitaciones en las tomas de datos, esto con el fin de tener un punto en común entre las distintas mediciones y posteriormente partir de ahí para analizar el contraste entre los resultados.

Se delimitó geográficamente la investigación en 4 tipos de zonas: costera, urbana, rural e industrial. En cada una de las zonas se encontraban distintas concentraciones de agentes corrosivos. Se tomó al menos una muestra en una localidad referente a cada uno de los tipos de zonas contempladas.

Además, se delimitó temporalmente la toma de datos en tres franjas horarias: matutina (6:00-12:00), vespertina (12:00-18:00) y nocturna (18:00-24:00).

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las mediciones realizadas para el prototipo MACA en las respectivas localidades y franjas horarias.

Tabla 1. Localidad y franja horaria de las mediciones realizadas con el prototipo MACA.

Zona	Localidad	Franja horaria
Costera	Playa Los Cóbano, Sonsonate	12:00-18:00
	Playa El Tunco, La Libertad	6:00-23:59
Urbana	Urbanización Jardines de Guadalupe, Antiguo Cuscatlán.	6:00-23:59
	Centro Histórico, San Salvador	6:00-23:59
Rural	Colonia María Auxiliadora, Coatepeque	6:00-18:00
Industrial	Colonia Guadalupe, Soyapango	6:00-23:59
Complementaria	Lago de Coatepeque, Coatepeque	12:00-18:00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en las figuras 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4, a manera de ejemplo, se presentan algunos de los resultados obtenidos para la zona costera del país.

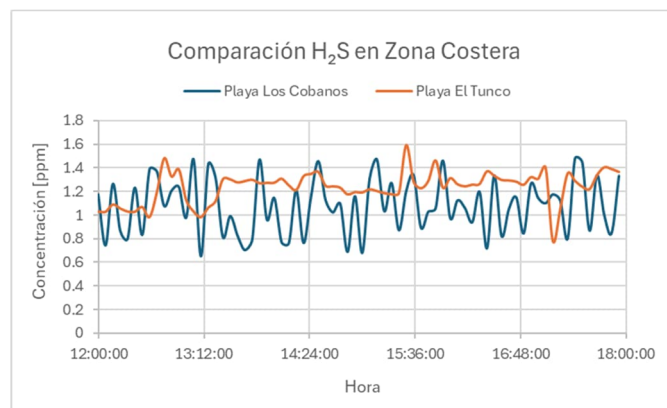


Figura 7.1 Gráfico comparativo entre las concentraciones obtenidas para el Ácido Sulhídrico en playa Los Cóbano y playa El Tunco entre las 12:00 y 18:00 horas. Fuente: [Elaboración propia].

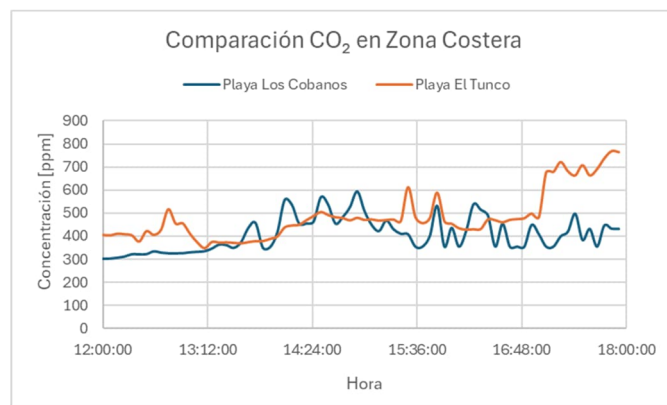


Figura 7.2 Gráfico comparativo entre las concentraciones obtenidas para Dióxido de Carbono en playa Los Cóbano y playa El Tunco entre las 12:00 y 18:00 horas. Fuente: [Elaboración propia].

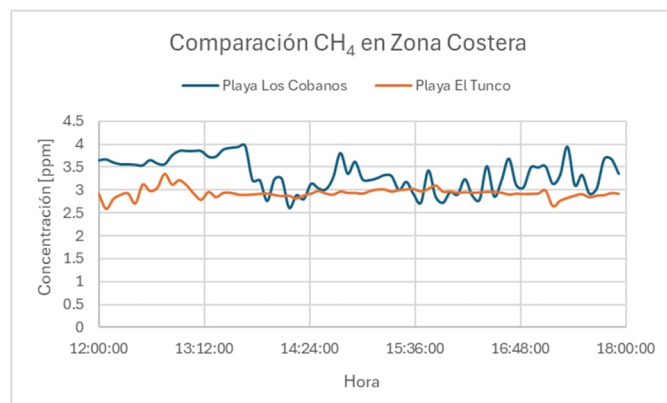


Figura 7.3 Gráfico comparativo entre las concentraciones obtenidas para Metano en playa Los Cóbano y playa El Tunco entre las 12:00 y 18:00 horas. Fuente: [Elaboración propia].

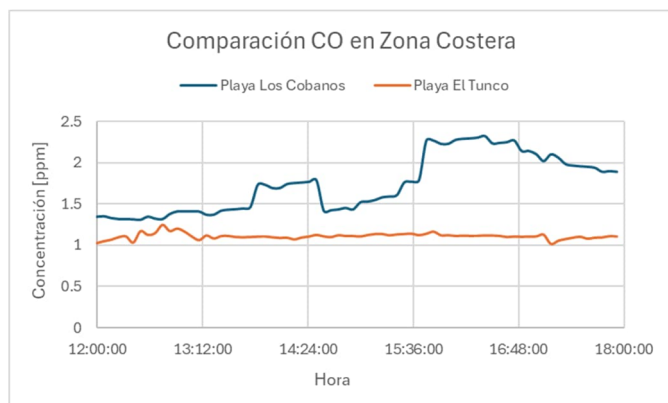


Figura 7.4 Gráfico comparativo entre las concentraciones obtenidas para Monóxido de Carbono en playa Los Cóbano y playa El Tunco entre las 12:00 y 18:00 horas. Fuente: [Elaboración propia].

Esta es únicamente una pequeña parte de los resultados obtenidos en la investigación. La presentación completa de resultados y su respectivo análisis se encuentra en la propia investigación homónima al presente artículo científico. [6]

Dicha presentación de resultados es parte indispensable para la correcta comprensión de las conclusiones y recomendaciones de la investigación, así como también para ahondar más en los resultados del prototipo MALLU.

V. CONCLUSIONES

Para la implementación de un sensor que pretenda medir de manera veraz cualquier tipo de variable, se debe de tener una validación de los datos entregados, contrastándolos con mediciones reales para obtener el grado de error presente en la muestra tomada. En el análisis de los resultados se observó una porción de los datos promedio obtenidos por el prototipo MACA. En dicha sección podían apreciarse las diferencias en las concentraciones de los distintos agentes corrosivos atmosféricos sensados, sin embargo, existen algunos valores cuya validez es cuestionable, como es el caso de los elevados valores de H₂S, las concentraciones de Metano en el lago de Coatepeque o de Dióxido de Carbono en la playa El Tunco. con base en estos valores puntuales, es lógico argumentar que los datos obtenidos con el prototipo MACA deben de ser evaluados y contrastados con datos reales de medición para la verificación de su correcto funcionamiento. Mientras esta validación no se haga efectiva, el prototipo MACA puede utilizarse con el propósito de comparar los niveles de presencia de los agentes corrosivos atmosféricos en distintas zonas del país, dentro del rango de valores entregados por el dispositivo.

La corrosión atmosférica es un fenómeno que depende directamente de las concentraciones de los distintos agentes corrosivos presentes en la atmósfera durante un determinado tiempo de exposición. Se realizó una definición por zonas de interés de medición para los distintos agentes corrosivos

atmosféricos contemplados en la investigación, donde, al contrastar con diversos estudios realizados, se plantean niveles de corrosividad para cada zona. Al observar los datos obtenidos para cada localidad, se puede notar claramente como las mediciones de concentraciones de agentes corrosivos realizadas en la Colonia María Auxiliadora son, para la mayoría de las variables, las más bajas obtenidas en todo el espectro de muestras recopiladas. Si se toma como premisa lo anterior, los datos obtenidos parecen sugerir que existe un menor nivel de corrosión atmosférica en la zona rural del país, para las condiciones de medición utilizadas en la investigación.

El nivel de acidez presente en la lluvia y la duración de esta, son fenómenos que funcionan como agentes corrosivos, sin embargo, el pH de la lluvia debería ser distinto para cada región, esto debido en parte a la cantidad y tipo de contaminantes normalmente presentes en la zona de medición. Para el prototipo MALLU, las mediciones fueron realizadas según disponibilidad al momento de detectar una posible lluvia. Los datos obtenidos parecen coincidir con lo planteado en la teoría, el nivel de pH más bajo se registró en la zona industrial y urbana. Con esto, puede concluirse que los datos y la teoría presentada parecen revelar la existencia de niveles mayores de corrosión por lluvia ácida en las zonas ya mencionadas. Añadido a esto, el hecho de que los datos de muestra se apeguen con los teóricamente esperados, contribuyen a validar el nivel de credibilidad del dispositivo hasta cierto punto. No obstante, al igual que con el prototipo MACA, los datos deben de ser debidamente verificados.

VI. RECOMENDACIONES

En la presentación de resultados se pudo observar algunos valores cuestionables, que generan dudas acerca de la validez de los datos obtenidos y el funcionamiento general de los prototipos. Es la conjunción entre la limitación temporal de la investigación y la falta de conocimiento en el tema, lo impidió la validación de los datos obtenidos para el presente trabajo.

Se recomienda la validación de los valores recopilados por medio de un ente o autoridad competente en la materia, que pueda dar un grado de validez a las mediciones realizadas con los prototipos. Esto, por medio de una comparativa con datos obtenidos mediante equipos de un grado de calidad sensorial superior y que se encuentren debidamente calibrados para asegurar que se compare con datos verídicos. Con la relación de cercanía entre los valores entregados por los prototipos y los valores reales de corrosividad, puede establecerse un porcentaje de error para los prototipos, que permita identificar el grado de veracidad que estos poseen.

Es debido a la limitante de tiempo de realización para el trabajo de graduación que se realizaron delimitaciones temporales y geográficas de medición. Esto con el objetivo de tener un parámetro de comparación de distintos ambientes y una estimación de su nivel de corrosividad atmosférica y

contar con rangos temporales de medición accesibles. Sin embargo, estas decisiones limitan el panorama completo de ambientes corrosivos y la profundización en el análisis del fenómeno de la corrosión. Bajo este antecedente se propone, con el fin de enriquecer la investigación, la ampliación de los tiempos de medición establecidos, así como la diversificación geográfica de las zonas de análisis

Los sensores utilizados en los prototipos diseñados para el cumplir con el propósito de la investigación son de baja calidad, utilizados principalmente por estudiantes en el desarrollo de proyectos académicos. En múltiples ocasiones, estos sensores envían datos fuera de los rangos de medición que contaminan las muestras y, por ende, su posterior análisis. Este es un punto problemático que podría mejorarse con la selección y aplicación de dispositivos de mayor calidad, que posean una mejor sensibilidad y precisión de los distintos agentes corrosivos, así como mejores materiales de construcción que conviertan los prototipos en sistemas con un grado mayor de robustez.

Es importante tener en cuenta que, muchas veces para hacer un análisis competente, los prototipos deben estar expuestos a las atmósferas de interés por periodos prolongados de tiempo. Esto conlleva un consumo energético constante en el tiempo, que debe de ser debidamente dimensionado mediante la fuente de energía que se instale en el prototipo. Para el prototipo MACA, se estimó experimentalmente un máximo de 4 horas seguidas de consumo, medidas durante la noche para excluir el aporte energético del panel solar. Esto obstaculizó el proceso de medición continuo, ya que, al descargarse la batería, se tuvo que recurrir a conectar el dispositivo directamente a un tomacorriente mediante su puerto de carga. Por lo mencionado anteriormente es recomendable utilizar una fuente de energía con un respaldo de tiempo lo suficientemente duradero para los tiempos de muestra que se pretendan medir.

REFERENCIAS

- [1] Argüello Cienfuegos, L. *Evaluación de la degradación por corrosión de la barandilla de la segunda playa del Sardinero, Santander, España, mediante lógica fuzzy*. 2021
- [2] Quraishi, M. A., Nayak, D. K., Kumar, R., & Kumar, V. *Corrosion of reinforced steel in concrete and its control: An overview*. Journal of Steel Structures & Construction. 2017, pp. 1-6.
- [3] Báez, S., Tristanchó, J. L., Peña, D. Y., Vázquez, C., & Anaya, H. A. *La espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) aplicada al estudio del mecanismo de la corrosión en caliente por sales fundidas*. Dyna. 2004, pp. 39-47.
- [4] Guerra-Mera, J. C., Castañeda-Valdés, A., & Howland-Albear, J. J. *Estudio preliminar de la agresividad corrosiva de la atmósfera en el puente de Los Caras, Manabí, Ecuador*. Revista CENIC.Ciencias Químicas. 2016, pp. 17-29.
- [5] Babiuch, M., Foltynnek, P., & Smutny, P. *Using the ESP32 microcontroller for Data Processing*. 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC). 2019, pp. 1-6.
- [6] G. Azucena, M. Cruz, J. Orellana, and J. Torres, *Monitoreo Remoto en Tiempo Real de Agentes Corrosivos para Comparación de Datos según Zonas Específicas de El Salvador a través de dos Prototipos con Microcontrolador: MACA y MALLU*. 2024, pp. 109-131.