

# Desarrollo de una solución IoT para el monitoreo en tiempo real de variables ambientales en el laboratorio de mecatrónica utilizando Raspberry Pi y MQTT.

Ian Gabriel Cañas Fernández<sup>1</sup>,

Área de ingenierías, Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC)  
Santo Domingo, D.N. República Dominicana

<sup>1</sup>1092228@est.intec.edu.do.

**Resumen**— El presente trabajo presenta una solución IoT para el monitoreo en tiempo real de variables ambientales en un laboratorio. El sistema utiliza un dispositivo Raspberry Pi como nodo central que recopila y procesa los datos provenientes de distintos sensores. Se implementó una base de datos para el almacenamiento de los datos históricos, así como un servidor MQTT para la transmisión de estos. Además, se desarrolló una interfaz web que permite la visualización y descarga de los datos en tiempo real. Se utilizó Python como lenguaje de programación y distintas librerías para el manejo de los datos y la comunicación MQTT, las mediciones fueron tomadas mediante Arduino. La solución propuesta resulta escalable y fácilmente adaptable a diferentes aplicaciones, siendo adecuada para el monitoreo y control en sistemas inmótico y otros entornos similares.

Palabras clave – Internet de las cosas, Raspberry Pi, MQTT, sensores, domótica, inmótica, control, monitoreo.

**Abstract**— This paper presents an IoT solution for real-time monitoring of environmental variables in a laboratory. The system uses a Raspberry Pi device as a central node that collects and processes data from different sensors. A database was implemented for storing historical data, as well as an MQTT server for transmitting it. In addition, a web interface was developed that allows real-time data visualization and download. Python was used as the programming language, and various libraries were used for data handling and MQTT communication, while measurements were taken using Arduino. The proposed solution is scalable and easily adaptable to different applications, making it suitable for monitoring and control in inmotics systems and other similar environments.

Keywords – Internet of things, Raspberry Pi, MQTT, sensors, domotics, inmotics, control, monitoring.

**Resumo**— La ĉi tajpiĝo prezentas IoT-solucio por realtempa monitro de ambiencaj variabloj en laboratorio. La sistemo uzas Raspberry Pi-komputilon kiel centran nodon, kiu kolektas kaj prilaboras datumojn el diversaj sensiloj. Estas kreita datumbazo por la enkonserado de historiaj datumoj kaj MQTT-servilo por la transsendo de tiuj. Plue, estas evoluigita reteja interfaco, kiu permesas realtempa vizualigo kaj elŝuto de datumoj. Por la programado, ni uzis Python kaj diversajn bibliotekojn por la prilaborado de datumoj kaj MQTT-komunikado, dum la mezuradoj estis prenitaj per Arduino. La proponita solvo estas ŝalustebla kaj facile adaptebla por diversaj aplikoj, estante taŭga por monitro kaj kontrolo en imotikaj sistemoj kaj similaj medioj.

Ŝlosilvortoj – Interreto de aferoj, Raspberry Pi, MQTT, sensiloj, domotiko, imotiko, kontrolo, monitro.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la monitorización de la calidad del aire y de las condiciones ambientales en diferentes lugares es una tarea cada vez más importante debido a los riesgos para la salud, el bienestar de los usuarios de una edificación y el medio ambiente que puede suponer una mala calidad del aire o unas condiciones inadecuadas. En este contexto, la utilización de dispositivos IoT se ha convertido en una herramienta muy útil para la monitorización de estas condiciones, permitiendo la toma de medidas para prevenir problemas de salud y mejorar la calidad de vida de las personas.

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo implementar un sistema de monitoreo y control de la calidad del aire en un laboratorio de mecatrónica de una universidad, utilizando una Raspberry Pi y un protocolo de mensajería (MQTT). El sistema permite la medición en tiempo real de la calidad del aire, temperatura, humedad y luminosidad, y su registro en un archivo CSV accesible desde cualquier dispositivo conectado a la red.

El proyecto es de especial importancia ya que contribuye al área de la domótica e inmótica, y se enmarca en la necesidad de contar con sistemas que permitan el monitoreo y control de la calidad del aire en diferentes espacios cerrados, especialmente en entornos donde se realizan actividades que pueden comprometer la salud de las personas, como es el caso de un laboratorio. Además, el proyecto se enfoca en el uso de tecnologías de bajo costo y de fácil implementación, lo que permite su replicabilidad y aplicabilidad en diferentes contextos.

## II. MARCO TEÓRICO

En primer lugar, es importante entender qué es IoT (Internet de las cosas). IoT es una tecnología emergente que permite la interconexión de dispositivos físicos, como sensores, actuadores, cámaras, entre otros, a través de internet. El objetivo de IoT es recopilar y analizar datos en tiempo real para mejorar la eficiencia de los sistemas y proporcionar una mejor calidad de vida a las personas.

En el contexto de este proyecto, MQTT es un protocolo de mensajería utilizado para la comunicación entre dispositivos IoT. MQTT utiliza un modelo de publicación y suscripción, donde los dispositivos publican mensajes en un tema (tópico) y otros

dispositivos se suscriben a ese tópico para recibir los mensajes.

En cuanto a los brókeres MQTT, estos son servidores que actúan como intermediarios entre los dispositivos que publican y los que reciben los mensajes. Los brókeres son responsables de enrutar los mensajes a los dispositivos correctos y garantizar la seguridad y confiabilidad de las comunicaciones.

En el caso de la conversión de los datos de Excel a CSV, es importante entender que ambos son formatos de archivo que se utilizan comúnmente para almacenar datos. Sin embargo, el formato CSV es más ligero y fácil de manipular que el formato Excel, por lo que es una opción popular para el intercambio de datos entre aplicaciones.

Por último, el concepto de la domótica e inmótica se refiere al uso de tecnología para controlar y automatizar diferentes aspectos de una vivienda o edificio, como la iluminación, la climatización, la seguridad, entre otros. El proyecto de tomar mediciones y monitorear el ambiente en un laboratorio de mecatrónica se enmarca en esta área de la tecnología, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la calidad de vida en los espacios controlados.

### III. METODOLOGÍA

- **Análisis y configuración del sistema:** En esta etapa se analizó el sistema existente en la Raspberry Pi y se configuró el código para tomar mediciones de la calidad del aire, temperatura, humedad y LDR cada 15 minutos. Además, se programó el envío de estas mediciones a través de correo electrónico.
- **Implementación del protocolo MQTT:** En esta etapa se investigó sobre el protocolo MQTT y se implementó su uso para la comunicación de los datos de las mediciones. Se utilizó un bróker (o agente) público para el envío y recepción de los datos.
- **Conversión de Excel a CSV:** En esta etapa se investigó sobre la conversión de Excel a CSV y se utilizó una función de Python para realizar esta tarea. Los datos fueron enviados en formato CSV para su posterior registro y análisis.
- **Acceso remoto y registro de datos:** En esta etapa se buscó una forma de acceder a la Raspberry Pi desde dispositivos móviles y computadoras. Además, se implementó un registro de datos en tiempo real a través de CSV para su análisis posterior.

### IV. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto fue desarrollar un sistema de monitoreo y registro de variables ambientales en tiempo real en un laboratorio de mecatrónica utilizando una Raspberry Pi, y convertirlo en un sistema IoT utilizando el protocolo de mensajería MQTT. Además, se buscó establecer una conexión remota a la Raspberry Pi para visualizar el historial de mediciones y poder detener temporalmente el envío de datos.

Los objetivos específicos que se persiguieron para cumplir con el objetivo general fueron:

1. Configurar la Raspberry Pi para que adquiriera las mediciones de la calidad del aire en PPM, la temperatura en °C, la humedad en porcentaje y el nivel de luminosidad mediante un sensor LDR.
2. Implementar el protocolo MQTT para que la Raspberry Pi pudiera enviar los datos de las mediciones a un bróker público con tópicos específicos para cada variable.
3. Desarrollar un script en Python para convertir los datos de las mediciones que se almacenaban en un archivo Excel a formato CSV.
4. Habilitar la opción de pausar temporalmente el envío de datos al bróker mediante una petición al sistema.
5. Configurar un servidor web y una base de datos para almacenar los datos del historial de mediciones en formato CSV y poder acceder a ellos de manera remota.

Con la consecución de estos objetivos se logró el desarrollo del sistema de monitoreo y registro de variables ambientales en tiempo real y su conversión en un sistema IoT, permitiendo su acceso remoto y la visualización del historial de mediciones.

### V. RESULTADOS E IMPLEMENTACIÓN

[En esta sección, se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, así como también se describen los pasos llevados a cabo para su implementación. Se incluyen imágenes, gráficas y extractos de código para ilustrar el funcionamiento del sistema.]

Para la implementación del sistema de monitoreo de la calidad del aire y la temperatura, se utilizó una Raspberry Pi con sistema operativo Debian comunicado directamente con un Arduino Mega ver Ilustración 1, que tiene la comunicación directa con los sensores y hace el muestreo en un tiempo determinado. Se programó un script en Python (ver Ilustración 2) para que cada vez que llegue una nueva medición del Arduino, almacenarla en un archivo de Excel.



*Ilustración 1. Configuración del hardware.*

Además, se logró configurar la Raspberry Pi para poder conectarse a través de la red local y desde cualquier dispositivo con acceso a Internet. Esto permite monitorear las mediciones desde cualquier lugar y en cualquier momento (ver Ilustración 2).

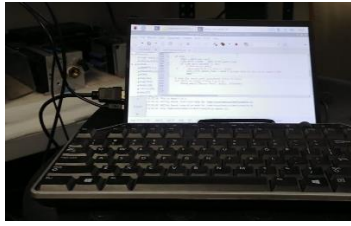


Ilustración 2. Configuración física para programar el sistema.

A pesar de que no se logró la implementación de Home Assistant, se logró obtener un sistema funcional de monitoreo IoT con la utilización de MQTT. Se lograron los objetivos específicos de implementar un protocolo de mensajería y de obtener un historial de las mediciones, así como el objetivo general de convertir el sistema en un sistema IoT.

Al implementar un protocolo de mensajería MQTT para convertir el sistema en un sistema IoT. Se utilizó un bróker público, en este caso el test.mosquitto.org, esto se debe a las dificultades encontradas a la hora de crear un bróker.

Sin embargo, hay varios servicios pagos en línea que lo permiten, el crear un bróker local, sin estos servicios, no se pudo del todo porque la internet de la institución fue configurada para no permitir acceso remoto a los dispositivos.

Para enviar los datos de las mediciones a través de distintos tópicos con nombres únicos. Además, se agregó la posibilidad de pausar el envío de mediciones por medio de un comando (ver Ilustración 3).

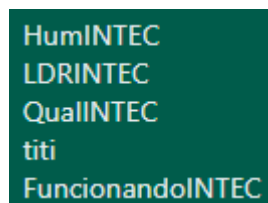


Ilustración 3. Tópicos del bróker.



Ilustración 4. Monitoreo y control desde un aplicativo móvil (pt. 1).



Ilustración 5. Monitoreo y control desde un aplicativo móvil (pt. 2).

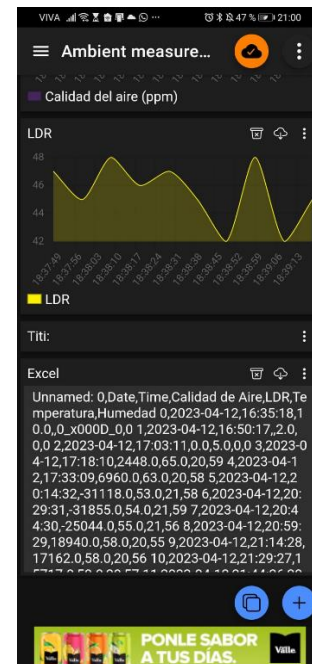


Ilustración 6. Monitoreo y control desde un aplicativo móvil (pt. 3).

Se desarrolló un script en Python para convertir los datos almacenados en el archivo de Excel a formato CSV y así poder enviarlos como texto plano a través del protocolo MQTT (ver Ilustración 6). De esta manera, se puede obtener un historial de las mediciones en tiempo real y visualizarlos en una hoja de cálculo.

Entre las alternativas para lograr esto, se encontró el encriptar el archivo Excel a base 64, y que el receptor, al recibirlo mediante un tópicos lo desencripte, otra alternativa fue la de usar servicios en línea para cargar los archivos y que la Raspberry envíe un enlace de acceso al Excel, sin embargo, esto genera dependencia a los servicios específicos. Se ha optado, por lo tanto, a la ya mencionada conversión a CSV y envío por un tópicos, así se garantiza el mismo historial para todo receptor. Código 1, se presenta un extracto de código ejemplo que se encarga de esta conversión y publicación.

*Código 1. Extracto de código Python para conversión de XLSX a CVS para envío como string.*

```
import pandas as pd

# Read the Excel file into a pandas dataframe
df = pd.read_excel('example.xlsx')

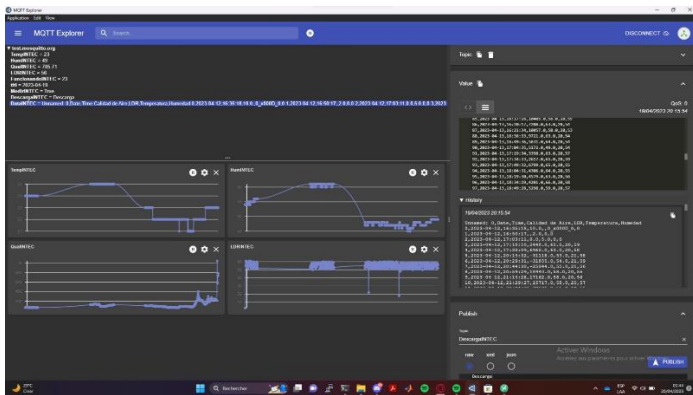
# Convert the dataframe to CSV format
csv_data = df.to_csv(index=False)

# Publish the CSV data as an MQTT message
import paho.mqtt.client as mqtt

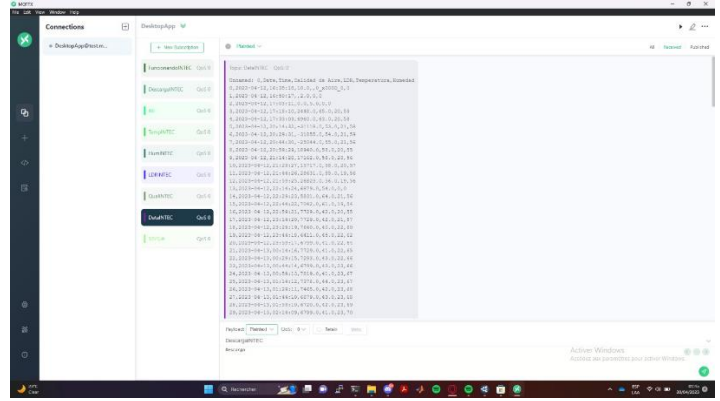
client = mqtt.Client()
client.connect("mqtt.broker.com", 1883)

client.publish("csv_topic", csv_data)
```

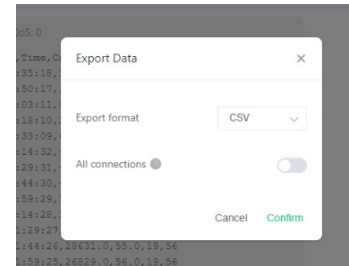
Finalmente, se ha culminado con lo buscado mediante el monitoreo y control remoto desde un computador de la misma manera, ver interfaz en Ilustración 7, Ilustración 8 Ilustración 9.



*Ilustración 7. Interfaz desde MQTT explorer.*



*Ilustración 8. Interfaz desde MQTTX.*



*Ilustración 9. Exportación de data de un tópicos desde MQTTX.*

Unnamed: 0	Date	Time	Calidad de Aire	LDR	Temperatura	Humedad
0	12/04/2023	16:35:18	10.0	0	0	0
1	12/04/2023	16:50:17		2.0	0	0
2	12/04/2023	17:03:11	0.0	5.0	0	0
3	12/04/2023	17:18:10	2448.0	65.0	20	59
4	12/04/2023	17:33:09	6960.0	63.0	20	58
5	12/04/2023	20:14:32	-31118.0	53.0	21	58
6	12/04/2023	20:29:31	-31855.0	54.0	21	59
7	12/04/2023	20:44:30	-25044.0	55.0	21	56
8	12/04/2023	20:59:29	18940.0	58.0	20	55
9	12/04/2023	21:14:28	17162.0	58.0	20	56
10	12/04/2023	21:29:27	15717.0	58.0	20	57
11	12/04/2023	21:44:26	28631.0	55.0	19	56
12	12/04/2023	21:59:25	26829.0	56.0	19	56
13	12/04/2023	22:14:24	6879.0	54.0	0	0
14	12/04/2023	22:29:23	5831.0	64.0	21	56
15	12/04/2023	22:44:22	7042.0	61.0	19	54
16	12/04/2023	22:59:21	7729.0	42.0	20	55
17	12/04/2023	23:14:20	7729.0	42.0	21	57
18	12/04/2023	23:29:19	7640.0	40.0	22	60
19	12/04/2023	23:44:18	6411.0	45.0	22	62
20	12/04/2023	23:59:17	6799.0	41.0	22	64
21	13/04/2023	00:14:16	7729.0	41.0	22	65
22	13/04/2023	00:29:15	7293.0	43.0	22	66
23	13/04/2023	00:44:14	6799.0	43.0	23	66
24	13/04/2023	00:59:13	7819.0	41.0	23	67
25	13/04/2023	01:14:12	7378.0	44.0	23	67
26	13/04/2023	01:29:11	7465.0	42.0	23	68
27	13/04/2023	01:44:10	6879.0	43.0	23	68
28	13/04/2023	01:59:10	6720.0	42.0	23	69
29	13/04/2023	02:14:09	6799.0	41.0	23	70
30	13/04/2023	02:29:08	9395.0	42.0	23	70
31	13/04/2023	02:44:07	9395.0	42.0	23	71
32	13/04/2023	02:59:06	9502.0	41.0	23	72
33	13/04/2023	03:14:05	9502.0	41.0	23	72
34	13/04/2023	03:29:04	9502.0	41.0	23	72
35	13/04/2023	03:44:03	9395.0	40.0	23	73

*Ilustración 10. Datos importados en Excel.*

En general, se logró implementar un sistema de monitoreo IoT funcional y accesible desde cualquier dispositivo con acceso a Internet. Los resultados obtenidos cumplen con los objetivos específicos y generales del proyecto.

## VI. DISCUSIÓN

En este proyecto, se logró desarrollar un sistema de monitoreo de calidad de aire y ambiente, basado en una Raspberry Pi y utilizando el protocolo MQTT para la comunicación y transferencia de datos.

El sistema desarrollado permitió la toma de mediciones de calidad del aire, temperatura, humedad y LDR de forma continua y automática, con una frecuencia de muestreo de 15 minutos, posteriormente configurado a cada 10 segundos. Además, se logró la implementación de un sistema de comunicación con un bróker público que permitió la transmisión de los datos en tiempo real y su visualización desde cualquier dispositivo conectado a la red.

Aunque en un principio se tenía como objetivo la implementación de Home Assistant para el monitoreo remoto, se encontraron limitaciones en la configuración y se optó por la implementación de un protocolo de mensajería. Esto permitió la comunicación y transferencia de datos de forma eficiente y a través de un bróker público, lo que redujo la complejidad del sistema y facilitó su implementación.

Además, se implementó la conversión de los datos de las mediciones a formato CSV con el fin de permitir su envío en tiempo real a través de un tópico en el protocolo MQTT. Esta funcionalidad permitió que los usuarios puedan descargar el histórico de mediciones desde cualquier cliente MQTT, lo que aumentó la accesibilidad de los datos y su capacidad para ser utilizados en aplicaciones de monitoreo y análisis.

En cuanto a la evaluación del sistema, se pudo comprobar que las mediciones obtenidas correspondían a valores esperados en un ambiente de laboratorio, lo que indica la fiabilidad y precisión del sistema. Además, se logró la implementación de un sistema de pausa para las mediciones, lo que permite la detención temporal del monitoreo sin afectar la funcionalidad del sistema.

Tómese en cuenta que las tecnologías utilizadas abren la posibilidad de la implementación de estos sistemas disminuyendo al máximo la dependencia de servicios en línea o contratados, como por ejemplo una base de datos externa al sistema o uso de brókeres contratados, puesto que cada quién puede configurar el suyo.

En futuros proyectos se puede desarrollar sus propios brókeres, siempre que el dispositivo encargado de la transacción de mensajes MQTT se encuentre en una red que lo permita. Y para evitar la posibilidad de perder los datos, se puede generar regularmente un respaldo de estos en varios dispositivos del sistema paralelamente.

En conclusión, se logró el desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire y ambiente basado en una Raspberry Pi, utilizando el protocolo MQTT para la comunicación y transferencia de datos. Se encontraron limitaciones en la implementación de Home Assistant, pero se logró una solución eficiente mediante la implementación de un protocolo de mensajería. Los resultados obtenidos fueron precisos y confiables, lo que demuestra la viabilidad del sistema desarrollado para el

monitoreo de ambientes en diferentes aplicaciones.

## VII. CONCLUSIÓN

En este proyecto se implementó un sistema de monitoreo y control de variables ambientales en un laboratorio de mecatrónica utilizando una Raspberry Pi y tecnologías IoT. El sistema permitió tomar mediciones de la calidad del aire en PPM, la temperatura en °C, la humedad en porcentaje y la intensidad lumínica LDR.

El objetivo general del proyecto fue convertir el sistema en un sistema IoT para mejorar su eficiencia y permitir su acceso remoto. Para lograrlo, se utilizó el protocolo MQTT para la comunicación de los dispositivos, lo que permitió la integración de la Raspberry Pi con otros dispositivos IoT y el envío de datos en tiempo real.

Además, se establecieron objetivos específicos que incluyeron la implementación de un sistema de monitoreo remoto y la instalación de Home Assistant, sin embargo, debido a las limitaciones de tiempo y recursos, se optó por la utilización de un bróker público y la conversión de los datos en formato CSV para su envío y visualización.

En la sección de discusión se evaluaron los resultados obtenidos y se concluyó que la implementación del sistema IoT permitió una mejora en la eficiencia del monitoreo y la facilidad de acceso a los datos, lo que podría ser de gran utilidad en aplicaciones industriales y de investigación. Se destacó también la importancia de la elección adecuada del bróker MQTT y la importancia de la seguridad en la comunicación de dispositivos IoT.

En conclusión, este proyecto permitió la implementación de un sistema IoT para el monitoreo y control de variables ambientales en un laboratorio de mecatrónica, utilizando tecnologías como la Raspberry Pi, el protocolo MQTT. Se alcanzaron los objetivos específicos y se demostró la utilidad de estas tecnologías en aplicaciones de monitoreo remoto. Se identificaron oportunidades de mejora para futuros trabajos, como la integración de Home Assistant y la utilización de brókeres privados para aumentar la seguridad del sistema.

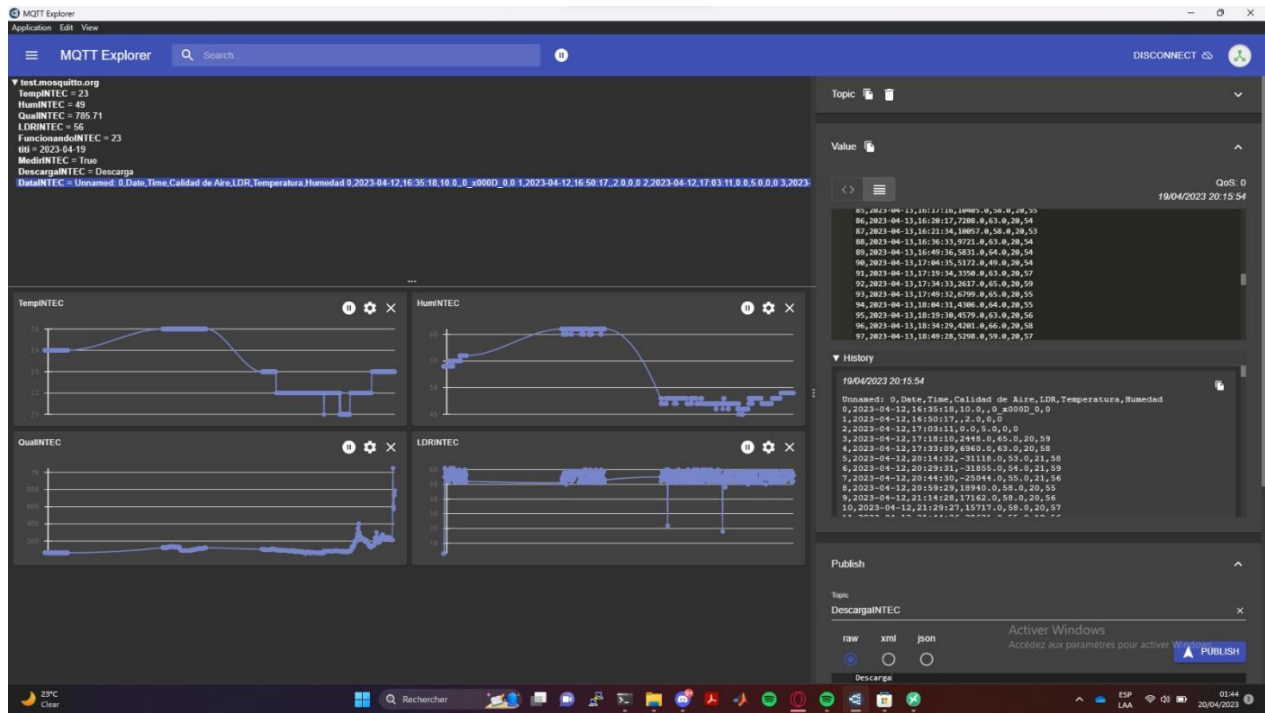
## VIII. REFERENCIAS

- H. Yu, C. Wang, Y. Xue, y C. Liu, "Design and implementation of remote monitoring system for smart home based on IOT," en 2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/ITOEC.2018.00069.
- M. Erol-Kantarci, "Challenges and opportunities in home automation research," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 62-68, May 2014. doi: 10.1109/MCOM.2014.6822592.
- J. M. Llamas-Álvarez, J. González-Castaño, y L. M. Sánchez-Rodríguez, "Home Automation System Based on MQTT Protocol and Raspberry Pi," Electronics, vol. 8, no. 3, p. 304, Mar. 2019. doi: 10.3390/electronics8030304.

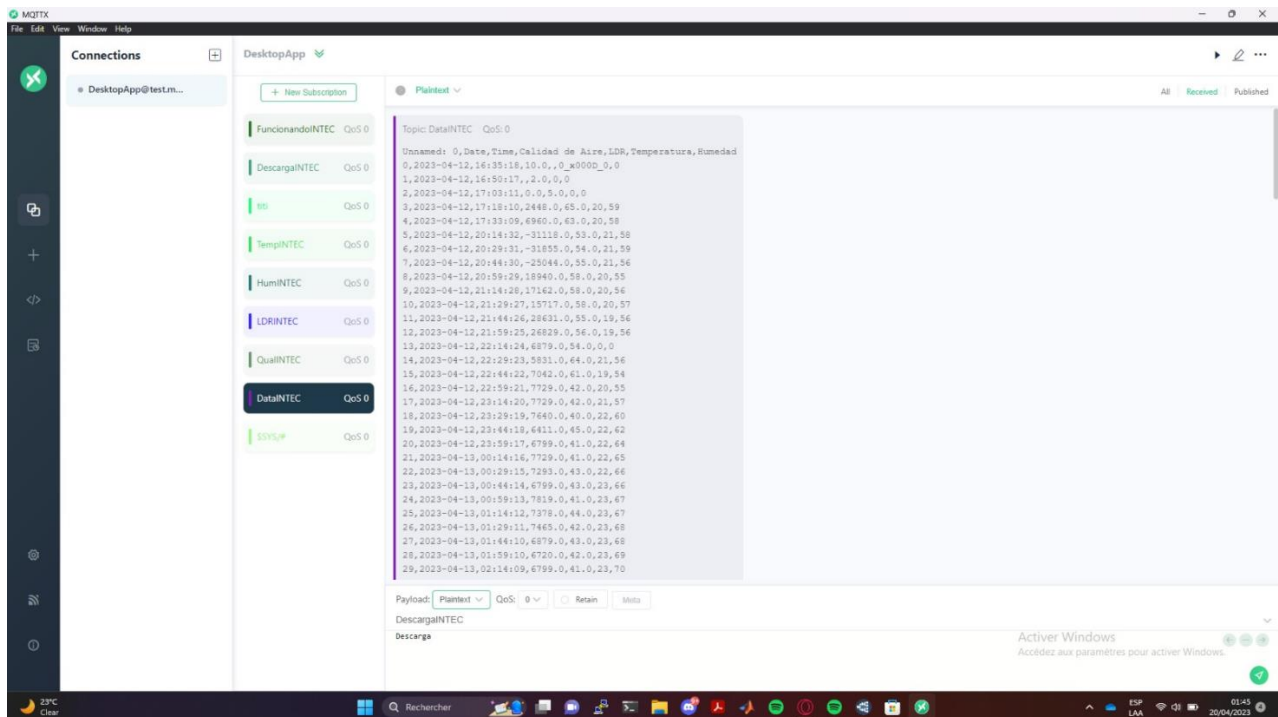
- J. R. Días-Reigosa, F. J. Acevedo-Rodríguez, y E. Garrote-Tejada, "Smart Homes and the Challenges Ahead," IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 3, no. 3, pp. 59-65, July 2014. doi: 10.1109/MCE.2014.2313819.
- A. F. A. Aziz, M. F. Yusof, A. B. Zakaria, y M. S. A. Rashid, "A review of MQTT as communication protocol in Internet of Things (IoT) for smart home," en 2017 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC), 2017, pp. 261-266. doi: 10.1109/SPC.2017.8306073.
- A. Kushwaha, N. Chawla, y N. Verma, "An efficient Internet of Things framework for smart home automation using MQTT protocol," en 2016 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT), 2016, pp. 474-478. doi: 10.1109/iCATccT.2016.7957178.
- P. Antonioli, M. E. Gursoy, y D. Sangiorgi, "IoT-Driven Home Automation with Raspberry Pi," Wireless Sensor Network, vol. 8, pp. 56-67, May 2016. doi: 10.4236/wsn.2016.84005.



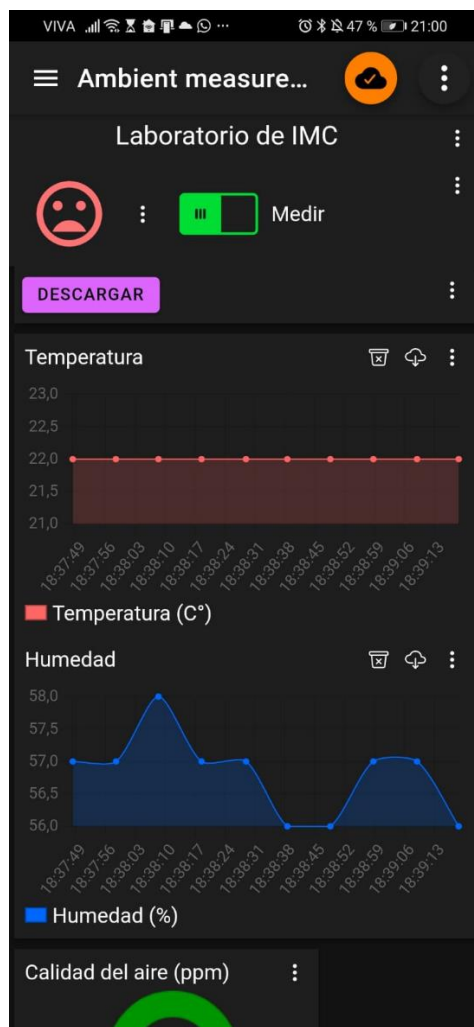
## IX. ANEXOS



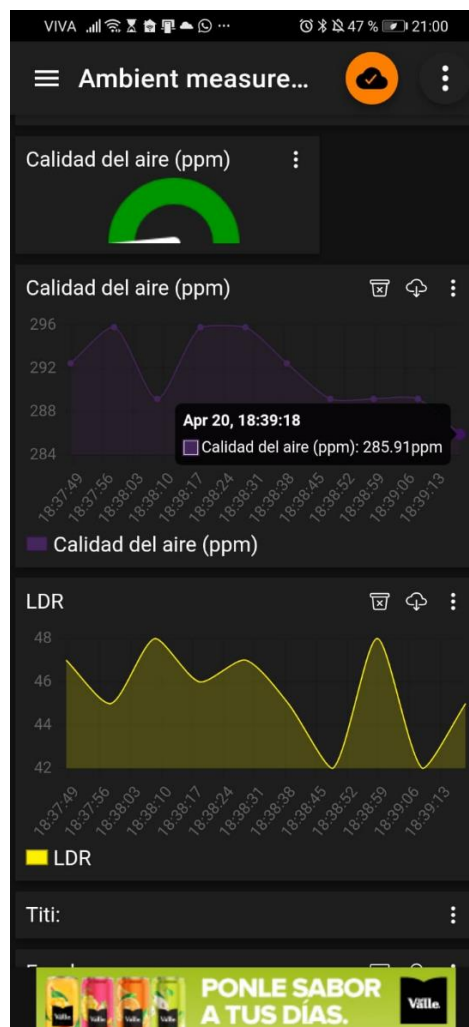
Anexo 1. Interfaz desde MQTT explorer.



Anexo 2. Interfaz desde MQTTX.

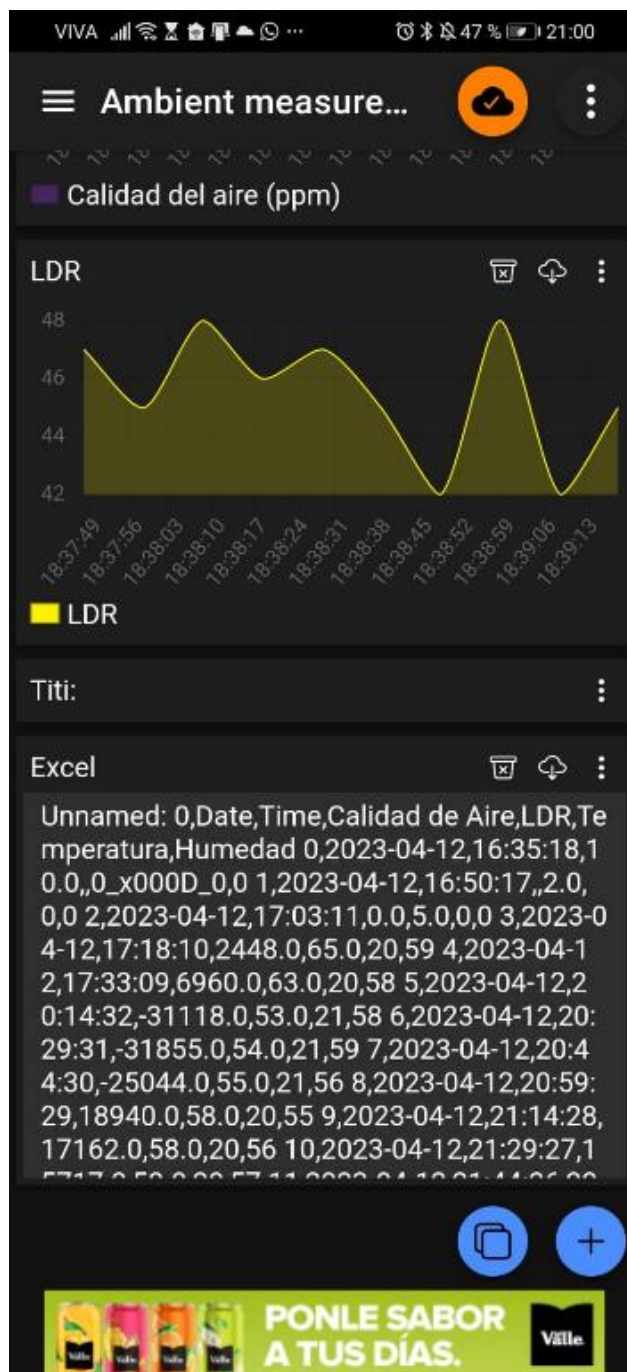


Anexo 3. Monitoreo y control desde un aplicativo móvil (pt. 1).



Anexo 4. Monitoreo y control desde un aplicativo móvil (pt. 2).





Anexo 5. Monitoreo y control desde un aplicativo móvil (pt. 3).