VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Plataforma IoT para el monitoreo y supervisión de un sistema inteligente para reutilizar aguas grises

Edgar Emilio Maldonado Rámirez[1], Irving Willihado Reyes Buenfil[1], Osvaldo Rodríguez Villalón[1], José Merced Lozano García[1], Xiomara González Ramírez y Alejandro Pizano Martínez[1]

[1]Departamento de Ingeniería Eléctrica, División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato
[ee.maldonadoramirez, iw.reyes, jm.lozano, x.gonzalez, apizano]@ugto.mx.mx

Resumen

En el presente artículo se expone el diseño e implementación de una plataforma de Internet de las cosas (IoT) definida para obtener el monitoreo y supervisión remota de un sistema inteligente de aprovechamiento de agua residual de lavadoras en el entorno residencial, donde el sistema esta centralizado en la supervisión de los estados y la conmutación de los actuadores de forma autónoma a través de un controlador lógico programable (PLC), el cual también es el encargado de la gestión del suministro hacia un inodoro, así como también del bombeo de dichas aguas residuales.

El enfoque principal radica en el desarrollo de la interfaz de supervisión utilizando el servidor en la nube Adafruit IO y el protocolo de comunicación ligero MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). A través de este canal, el PLC transmite y recibe variables analógicas (niveles de los tanques) y digitales (estados de actuadores). La metodología se dividió en cuatro etapas secuenciales: integración de hardware, diseño de la arquitectura IoT, alojamiento web y pruebas de operación. Los resultados demostraron una sincronización de datos con una latencia inferior a 500 ms, validando la viabilidad, flexibilidad y robustez de la interfaz para promover el ahorro de agua potable mediante tecnologías accesibles de telemetría.

Palabras clave: protocolo MQTT, IoT, Siemens Logo! v8.4, Adafruit IO, Aguas grises, Supervisión remota.

Introducción

Actualmente, la escasez de agua dulce y el estrés hídrico se han consolidado como unos de los desafíos ambientales y socioeconómicos más críticos a nivel global. El crecimiento demográfico acelerado, la urbanización desmedida y los efectos del cambio climático han presionado los mantos acuíferos más allá de sus capacidades de recarga natural. Dentro del entorno doméstico, el consumo de agua potable presenta una distribución ineficiente, donde un alto porcentaje del recurso con calidad de ingesta se destina a fines que no requieren dicha pureza, tales como la descarga de inodoros. El agua residual proveniente de las lavadoras de ropa de uso residencial constituye una fuente masiva y constante de aguas grises. La reutilización directa de este efluente previo filtraje básico para el llenado de cisternas de inodoros representa una alternativa de alto impacto capaz de reducir hasta en un 30% el consumo global de agua potable en una vivienda residencial [2].

A pesar de los beneficios evidentes de los sistemas mecánicos y electromecánicos de reciclaje de agua, los modelos tradicionales comúnmente operan de forma aislada o como "cajas negras" para el usuario final. La falta de visibilidad sobre los volúmenes recuperados, los estados de los actuadores y las fallas potenciales limita la adopción masiva y la eficiencia de estas tecnologías. En este escenario, la integración de una interfaz de supervisión basada en el Internet de las Cosas (IoT) aporta una capa de inteligencia digital indispensable [1]. Al vincular el entorno físico de control hídrico inteligente con una plataforma en la nube, se transforma un proceso automatizado cerrado en un sistema interactivo, transparente y auditable que permite la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

La flexibilidad que ofrece una interfaz IoT estructurada bajo protocolos estandarizados es una de sus mayores virtudes en la ingeniería moderna. Permitiendo centralizar de manera homogénea información de diferente naturaleza, procesando tanto señales discretas (estados de operación, alarmas de rebose) como variables

continuas o analógicas (lecturas volumétricas de tanques). Esta adaptabilidad garantiza que el sistema del software pueda ser reconfigurado, escalado o modificado visualmente sin necesidad de intervenir el cableado físico ni detener la operación del controlador local en el sitio, reduciendo costos de mantenimiento y tiempos de inactividad [4].

Hoy en día, la convergencia entre la domótica, la gestión ambiental y la telemetría ya no es un lujo tecnológico, sino una necesidad imperativa; lo cual lleva a la sociedad contemporánea a exigir herramientas digitales que fomenten una cultura de consumo responsable a través de la retroalimentación visual inmediata. Disponer de gráficos de tendencias e indicadores de nivel en dispositivos móviles empodera al usuario y valida los esfuerzos de conservación hídrica.

A futuro, el alcance de esta plataforma se proyecta hacia la integración en redes macroeconómicas de infraestructura inteligente (Smart Cities), ofreciéndose la capacidad de interconectar miles de estos nodos domésticos descentralizados, lo que permitiría a los organismos operadores de agua, monitorear patrones de consumo a gran escala. Asimismo, la disponibilidad de estos datos históricos en servidores web abriría la puerta a la incorporación de algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) para predecir la generación de aguas residuales en función de los hábitos de lavado de los usuarios, optimizando de manera autónoma y predictiva los ciclos de conmutación hidráulica y maximizando el ahorro del recurso vital [5].

Desarrollo.

Para la realización del presente proyecto, se partió del diseño arquitectónico de un sistema híbrido de aprovechamiento de aguas residuales previamente ya diseñado en veranos pasados, donde su innovación actual residirá en la transición de un control mecánico aislado hacia una infraestructura inteligente y remota. Para lograr este objetivo, se implementó una capa de supervisión digital basada en el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), el cual actúa como el puente de comunicación bidireccional entre el entorno de control físico del sistema y la nube, permitiendo la telemetría en tiempo real y el mando a distancia, tal como se detalla en el esquema general de la Figura 1.

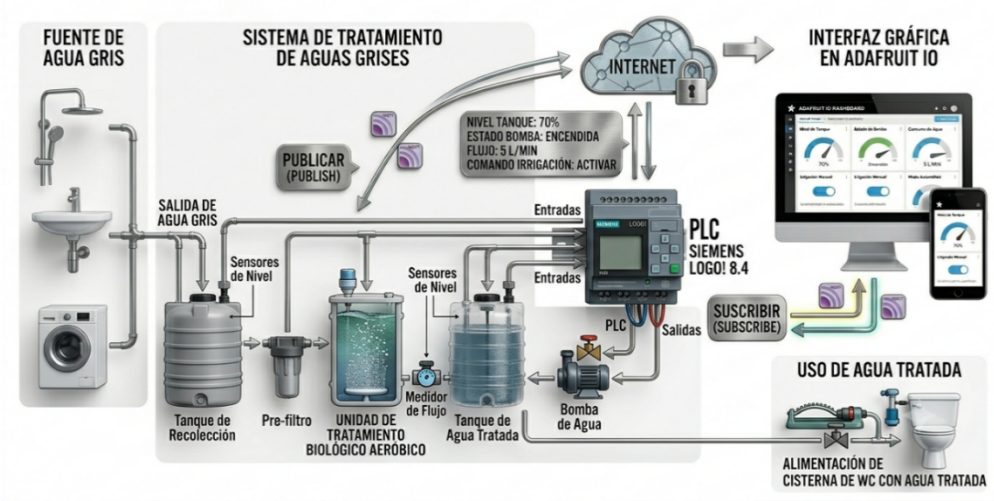

Figura 1. Esquema general del sistema.

Para la integración de la plataforma IoT y la interfaz gráfica de supervisión, se propuso una metodología dividida en tres fases secuenciales y un lazo de retroalimentación, que permita garantizar la correcta comunicación entre el entorno físico del sistema de agua gris a través del plc y los servicios en la nube a implementarse mediante Adafruit IO , tal como se describe en la Figura 2.

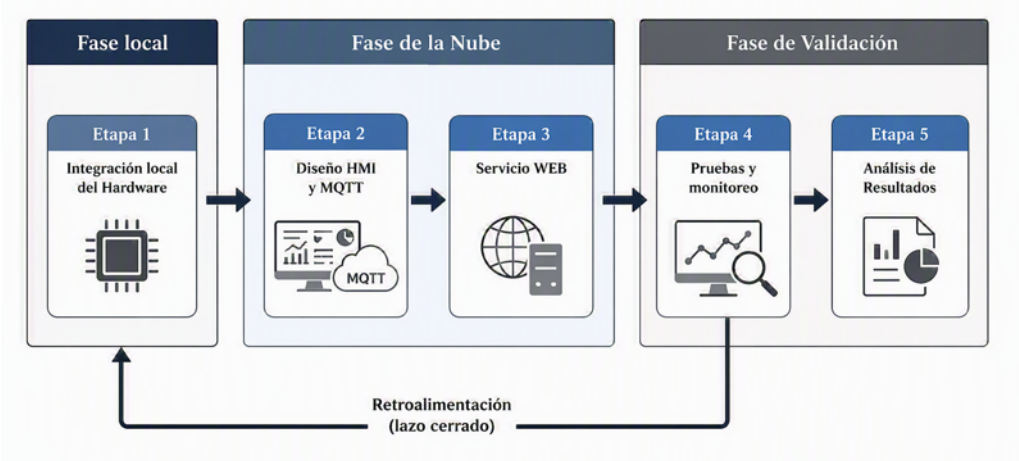

Figura 2. Modelo metodológico de las etapas del proyecto.

En el modelo metodológico se incorporó un lazo cerrado de retroalimentación que conecta directamente la Etapa 4 (Pruebas y monitoreo) con la Fase Local, con la finalidad de que realicen ajuste en el plc en caso de detectar desfases temporales o rebotes en las lecturas de los niveles de agua durante las pruebas iniciales, así como también el prevenir de la saturación de publicaciones de los mensajes hacia el broker de Adafruit IO, lo cual permita optimizar el comportamiento general del sistema automatizado antes de la obtención de los resultados finales.

El desarrollo de la plataforma se estructuró de manera rigurosa a través de cuatro etapas secuenciales e interdependientes, diseñadas para asegurar la robustez de la comunicación y la fidelidad de los datos presentados al usuario.

A. Integración y pruebas de comunicación entre el PLC y los actuadores.

Como primer paso se procedió a la realización de la verificación y realización de pruebas de comunicación entre el controlador lógico programable (PLC), los actuadores del sistema (Bomba y electroválvulas) y la seguridad (avisos de fallas en sensores y protección de la bomba); con la finalidad de asegurar la correcta transmisión de las señales digitales y analógicas, sus tiempos de respuesta y el funcionamiento confiable de dichos dispositivos de campo.

Partiendo de que la base del control local y de la seguridad operativa del sistema hidráulico está gobernada por un controlador lógico programable Siemens Logo! V8.4. Este dispositivo ejecuta la lógica de control cableada e interna encargada de proteger la bomba y regular el flujo a través de las electroválvulas, también incluye una HMI física encargada de monitorear los estados de cada uno de los elementos y probar de forma manual los actuadores, tal como se observa en la figura 3.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

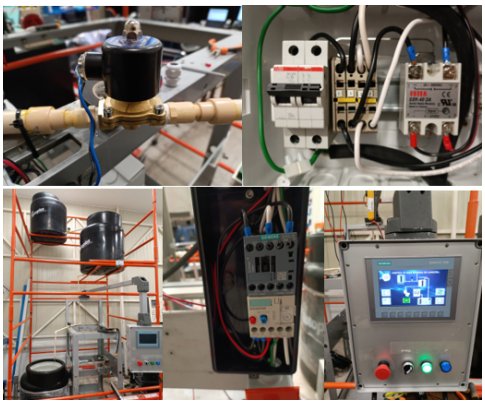

Figura 3. Pruebas del sistema físico.

Este sistema físico está compuesto por tres tanques: el tinaco principal (agua limpia), el tinaco secundario (recuperador de agua gris de la lavadora) y el tinaco que funciona como cisterna del sistema. Las variables de campo que procesa el PLC se clasifican en:

- *Señales Digitales* (Entradas/Salidas): Botón pulsador para la activación de la descarga del inodoro, contactor de activación de la hidrobomba, con un relé térmico encargado de enviar una señal digital en caso de sobrecarga y estados de apertura/cierre de las electroválvulas que deciden qué tinaco surte el inodoro en cada instante.

- *Señales Analógicas* (Entradas): Transductores de nivel de agua colocados en cada uno de los tinacos, los cuales entregan una señal física estandarizada (0-10V), mapeada internamente en el PLC en un rango numérico de 0 a 1000 unidades de escala.

Una vez que se corroboro la comunicación estable y fiable de las señales entre los actuadores y los sensores, tal como se observa en la figura 4.

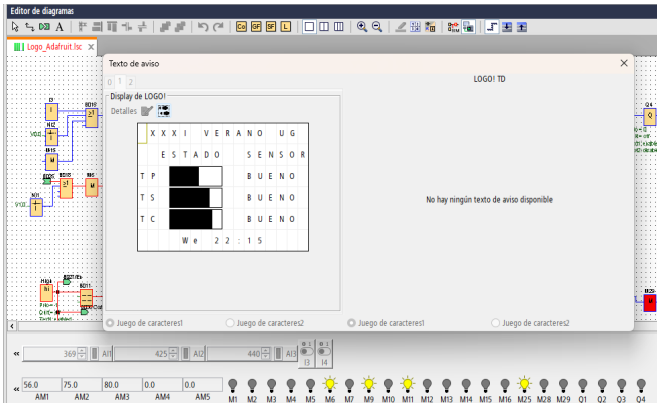

Figura 4. Comprobación de la comunicación entre el PLC y los elementos físicos del sistema.

Antes de finalizar esta etapa y continuar con la parte IoT, se acondicionó la capa física y el programa de control dentro del PLC Siemens LOGO! de la siguiente manera:

1. *Acondicionamiento y Tratamiento de Señales Analógicas*: Las señales provenientes de los transductores de nivel de los tres depósitos (Tinacos *A, B y C*) se procesaron mediante bloques de función aritmética (*B027, B031 y B033*). Estos bloques escalaron los valores de las entradas analógicas *AI* a magnitudes porcentuales o volumétricas de acuerdo con la función:

$$V_{\text{calculado}} = \frac{AI_1 - 200}{3}$$

2. *Mapeado de Memoria de Variables (VM - Variable Memory):* Para habilitar la lectura de datos por red Ethernet, se configuró la tabla de asignación de parámetros en la memoria interna VM del PLC (*Parameter VM Assignment*). Los valores numéricos calculados y los estados discretos se mapearon en registros de memoria de 16" bits" (*Word/INT*) y direcciones de salidas digitales.

3. *Configuración de Entradas de Red para Telemando*: Para el accionamiento remoto de la secuencia de descarga del inodoro, se integró un bloque de Entrada de Red (V0.0) asignado en paralelo con los botones físicos de control. En la arquitectura Siemens S7, esta variable se traduce en la dirección de bit *DB1,X0.0*, permitiendo la inyección directa de pulsos lógicos desde la red local.

Una vez terminado de configurar la capa física con los protocolos y direccionamientos de las variables de red se procede con el desarrollo de las siguientes etapas en donde se enlazará esta información al servidor de la nube mediante protocolo MQTT.

B. Diseño de la Plataforma IoT, Protocolo MQTT y Middleware.

Posteriormente para habilitar las capacidades de telemetría, se configuró el cliente nativo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) embebido en el firmware del Logo! V8.4 [3]. Las pruebas de integración consistieron en el mapeo de variables desde la memoria virtual del PLC (direcciones tipo VM) hacia la tabla de transferencia del bróker MQTT, validando que los cambios físicos en los sensores se reflejaran de manera inmediata en los registros internos destinados a la comunicación exterior, para lo cual se planteó el esquema de comunicación a utilizar, tal como se observa en la figura 5, ya que es una de las formas más comunes publicadas en diferentes sitios de internet para enlazar el plc con el bróker Adafruit IO.

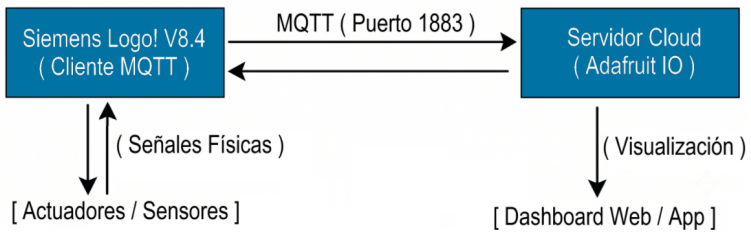

Figura 5. Esquema de comunicación PLC-Adafruit comúnmente utilizado.

Sin embargo, debido a la incompatibilidad estructural entre la gestión de tramas nativa del PLC en LOGO! Soft Comfort v8.4 y el esquema de mensajería exigido por Adafruit IO, se imposibilita la comunicación efectiva entre ellos sobre todo con la cuestión de las señales analógicas para su visualización gráfica, ya que mientras que la pila de comunicación remota del PLC procesa y empaqueta la información del proceso en bloques consolidados o arreglos (arrays) de datos dentro del mensaje, Adafruit IO requiere una arquitectura estricta de feeds atómicos e independientes, donde cada variable analógica o digital debe ser enviada de forma aislada a un tópico específico (*usuario/feeds/llave*).

Por lo tanto la integración de Node-RED como capa intermedia (middleware) resuelve esta limitación actuando como un motor de desacoplamiento e interpretación de la información: leyendo directamente la memoria de variables (VM) del PLC a través del protocolo Siemens S7, fragmentando el paquete de datos en señales numéricas y booleanas individuales, realiza la conversión de formatos correspondiente y canaliza

cada variable a su feed dedicado en la nube, obteniéndose una arquitectura de comunicación bidireccional fluida, permitiendo la actualización independiente de cada indicador a implementar en el *dashboard* de Adafruit IO y el envío de comandos de control sin comprometer la integridad ni la latencia del sistema, reestructurando con ello un esquema de comunicación mas eficiente para el presente proyecto como se ve en la figura 6.



Figura 6. Esquema de comunicación optimizado.

Tal como se observa en el esquema se integra un controlador lógico programable (PLC Siemens LOGO!) en la capa de campo, un middleware de orquestación de datos local (Node-RED) utilizando la pila de comunicación industrial Siemens S7 (S7comm sobre TCP/IP), y un broker de mensajería en la nube (Adafruit IO) basado en el protocolo MQTT para la interfaz hombre-máquina (HMI Web).

Por lo tanto en esta etapa se implementa la intermediación e interconexión de datos entre el entorno industrial (S7) y el entorno IoT (MQTT) mediante Node-RED para lo cual se desarrolla de la siguiente manera:

1. ***Configuración del End-Point S7 (Driver de Comunicación):***

Se parametrizó un cliente de comunicación S7 especificando la dirección IP local del PLC (192.168.0.25), puerto TCP 102 y selector TSAP de rack/slot (01.00/02.00), en Node-RED como se observa en la figura 7.

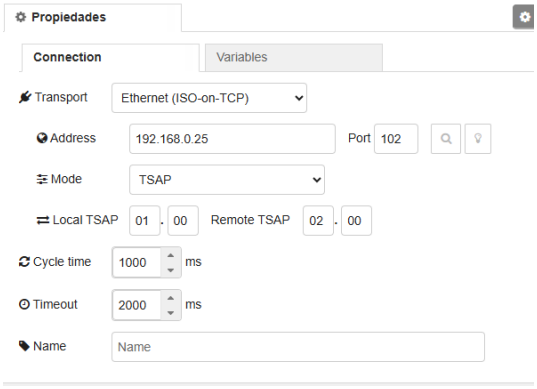

Figura 7. Parámetros de comunicación en nodos S7 de Node-RED .

En la tabla de variables del nodo endpoint se registraron formalmente los punteros de memoria (Figura 8):

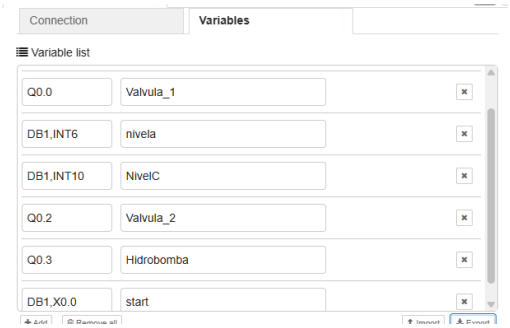

Figura 8. Punteros S7: " {"DB1,INT6" ,"DB1,INT8" ,"DB1,INT10" ,"Q0.0" ,"Q0.2" ,"Q0.3" ,"DB1,X0.0" }.

2. *Definición de la Topología de Mensajería MQTT:*

Se estableció una conexión cifrada contra el Broker MQTT de Adafruit IO (io.adafruit.com) autenticada mediante AIO Key. Se definieron las rutas de publicación (topics/feeds) utilizando la sintaxis estándar de la plataforma: usuario/feeds/llave_feed, aprovechando su infraestructura optimizada para el procesamiento de flujos de datos en tiempo real mediante tópicos MQTT [4]. El diseño se segmentó en dos fases técnicas:

1. *Arquitectura de Feeds*: Se crearon canales individuales dedicados para cada variable del sistema, empleando la estructura de tópicos requerida por el servidor (usuario/feeds/nombre-del-feed). Se configuraron canales digitales binarios (0 o 1) para supervisar el estado de la bomba y la electroválvula activa, y canales analógicos con almacenamiento flotante para registrar los niveles de volumen (Tabla 1).

Tabla 1. *Tipos de variables, feeds y acciones MQTT.*

Variable del sistema	Tipo de Dato	Dirección PLC (VM)	Tópico MQTT en Adafruit IO	Acción MQTT
Nivel Tinaco Principal.	Analógica (Word)	VM6	dieug/feeds/nivela	Publicar
Nivel Tinaco Secundario.	Analógica (Word)	VM8	dieug/feeds/nivelb	Publicar
Nivel Cisterna.	Analógica (Word)	VM10	dieug/feeds/nivelc	Publicar
Hidrobomba.	Digital (Bit)	Q3	dieug/feeds/bomba	Publicar
Botón WC	Digital (Bit)	M15	dieug/feeds/wc	Suscribir
Electroválvula A	Digital (Bit)	Q1	dieug/feeds/valvula1	Publicar
Electroválvula B	Digital (Bit)	Q2	dieug/feeds/valvula2	Publicar

2.*Construcción del Dashboard*: Se desarrolló un panel de control interactivo enfocado en la usabilidad en ingeniería, implementando componentes visuales que facilitan el diagnóstico rápido del sistema a distancia, para lo cual se definieron las variables, así como también su tipo y función en el Dashboard tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. *Definición de Variables para el dashboard de Adafruit IO.*

Componente del dashboard	Tipo de variable	Función operativa
Indicador de nivel (Gauge).	Analógica (0 a 100%)	Visualización en tiempo real del volumen de agua limpia del tinado principal.
Indicador de nivel (Gauge).	Analógica (0 a 100%)	Visualización en tiempo real del volumen de agua residual en el tinado secundario.
Indicador de nivel (Gauge).	Analógica (0 a 100%)	Visualización en tiempo real del volumen de agua residual almacenada en la cisterna.
Indicador LED (Indicator).	Digital (Binario)	Indica el estado actual (On/Off) de la electroválvula 1.
Indicador LED (Indicator).	Digital (Binario)	Indica el estado actual (On/Off) de la electroválvula 2.
Indicador LED (Indicator).	Digital (Binario)	Indica el estado actual (On/Off) de la Hidrobomba.
Pulsador (Momentary Button).	Digital (Binario)	Pulsador que permite de manera remota realizar la descarga del inodoro.

3. ***Normalización y Procesamiento de Datos en Middleware:***

Se incluyeron nodos de transformación (Change Nodes) en Node-RED para homologar las discrepancias entre los tipos de datos nativos de automatización y el motor de análisis de Adafruit IO:

- Conversión de variables discretas booleanas (true/false) a valores enteros explícitos (1/0) en las variables de las electroválvulas e hidrobomba.
- Ajuste del parámetro de Calidad de Servicio a *QoS* 0 en los nodos de suscripción MQTT para optimizar los tiempos de entrega y evitar retenciones innecesarias de paquetes en el broker.

C. Servicio WEB e Interfaz HMI Cloud.

La interfaz gráfica desarrollada no requiere de un servidor local físico ni del mantenimiento de sistemas operativos dedicados en la planta o residencia, ya que se aloja de manera nativa en la infraestructura Cloud de Adafruit. Sin embargo, se requiere de la implementación del panel de control centralizado (Dashboard) en el servicio web de Adafruit IO, para lo cual se deben considerar los siguientes elementos :

- *Instrumentación Analógica:* Creación de bloques tipo Gauge parametrizados en rango dinámico (0-100%), como el de la figura 9, que estén enlazados directamente a los feeds de los tres tinacos (nivela, nivelb, nivelc).

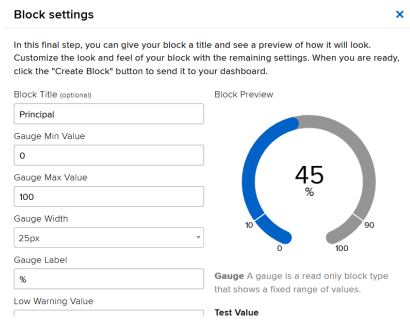

Figura 9. Configuración de bloques tipo Gauge .

- *Señalización Digital:* Configuración de bloques tipo Indicator (figura 10) para representar la luminaria de estado de los actuadores (Hidrobomba, Válvula 1 y Válvula 2). Se implementó la lógica de comparación en el motor web:
  - "Condición de Encendido: Payload "= true" ⟹ "Color Verde (ON)"
  - "Condición de Apagado: Payload "= false" ⟹ "Color Rojo (OFF)"

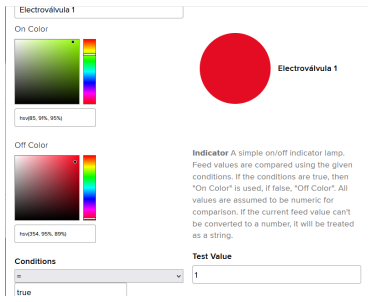

Figura 10. Configuración de bloques tipo Indicator.

- *Elemento de Mando Activo:* Creación de un bloque Push Button asociado al feed *wc*, parametrizado con pulso momentáneo ("Press Value"=1, "Release Value"=0) para simular el comportamiento de un pulsador industrial físico (figura 11).

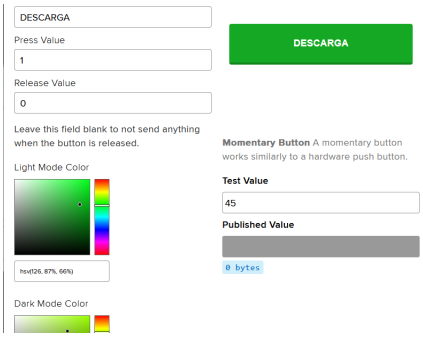

Figura 11. Configuración del bloque Push Button .

Una vez agregado los bloques necesarios para la interfaz HMI Cloud (figura 12), se conecta el PLC Siemens Logo! V8.4 a la interfaz web mediante el protocolo de transporte TCP/IP utilizando una red local con salida a internet. La seguridad y el alojamiento se gestionan mediante credenciales personalizadas compuestas por el nombre de usuario y la AIO Key (llave criptográfica única generada por la plataforma). El canal de comunicación web emplea cifrado TLS/SSL a través del puerto seguro 1883, impidiendo la interceptación o inyección maliciosa de datos en el sistema de conmutación hidráulica [1].

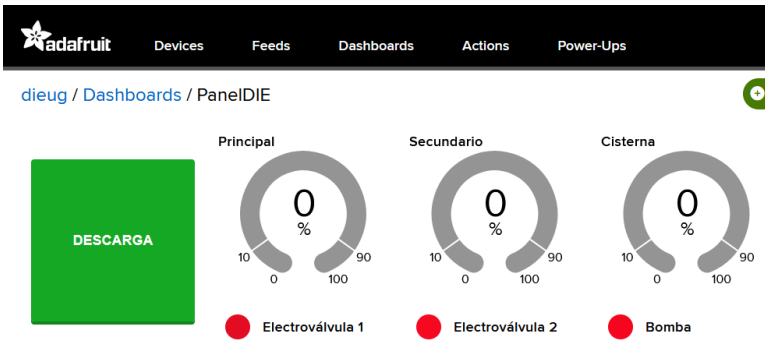

Figura 12. Interfaz HMI Cloud Implementada en Adafruit IO .

Al residir en un servidor web en la nube, el dashboard cuenta con un diseño web adaptativo (Responsive Design). Esto garantiza que la interfaz de monitoreo sea accesible globalmente desde cualquier navegador web estándar en computadoras, tabletas o smartphones, eliminando la dependencia de aplicaciones propietarias.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

D. Pruebas de operación y Monitoreo en tiempo real.

Para la realización de pruebas funcionales del sistema mediante la interfaz desarrollada, evaluamos el monitoreo en tiempo real, la supervisión de variables clave y la estabilidad de la comunicación entre el sistema físico y la plataforma Web, en las cuales el sistema se sometió a pruebas de carga de datos, verificación de estados de red y validación de respuesta dinámica de la siguiente manera:

- *Validación de Telemetría (Lectura):* Se forzaron variaciones en las entradas analógicas del PLC comprobando la actualización continua e instantánea de los indicadores de aguja en la HMI web (ejemplo: lectura del bloque B027 reflejando valor real de 57 en la memoria VW6 y en el gráfico web).

- *Validación de Telemando (Escritura):* Se ejecutó el disparo del botón Start desde el dashboard web, verificando la llegada del mensaje vía MQTT hacia Node-RED, la conmutación exitosa del bit DB1,X0.0 (V0.0) en el PLC y la ejecución inmediata de la secuencia de descarga.

- *Inspección de Tráfico de Red:* Monitoreo del estado de los nodos (online, conectado) en la interfaz de Node-RED para descartar saturación por consultas S7 periódicas o caídas de sockets TCP.

Resultados

La evaluación del sistema permitió validar la convergencia entre el control físico local y la supervisión en la nube, centrándose en la estabilidad de la comunicación y la precisión de la telemetría, logrando buenos resultados de comunicación, y ya para finalizar se hicieron pruebas desde la interfaz de manera remota utilizando una computado como se observa en la figura 13.

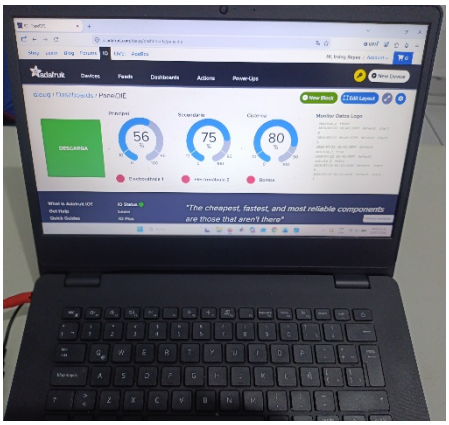

Figura 13. Interfaz HMI Cloud ejecutándose en una PC..

En donde se puede observar que se conecta al dashboard de Adafruit sin problema alguno, por lo que se procedió a la realización de las pruebas de los tres casos mas comunes que se pueden presentar en el sistema físico y se observaron los siguientes resultados.

En el primer caso, que es el que se demuestra el proceso de reúso del agua gris, es cuando los tres tinacos cuentan con agua en su interior de distintas procedencias, por lo tanto al ejecutarse una descarga del inodoro, ya sea por botón físico en el sistema o por medio de la interfaz mediante entrada de red, el sistema y la interfaz muestran como se activa solamente la electroválvula 2 que es la que representa en el diseño la descarga temporal de agua del tanque secundario hacia el inodoro, tal como se puede observar en la figura 14.

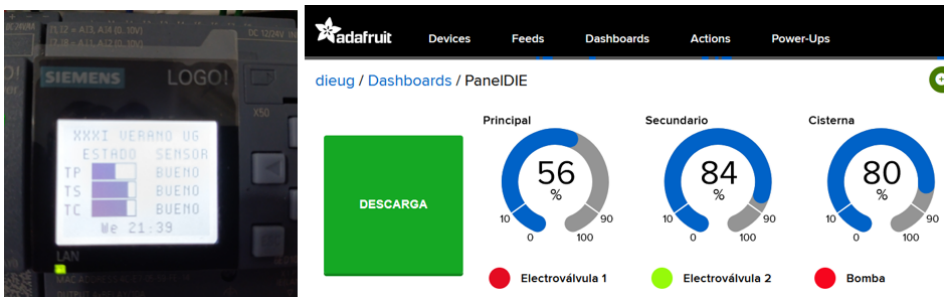

Figura 14. Monitoreo de descarga directa del tanque secundario al inodoro.

Otra prueba consistió en simular en el sistema físico el caso en el que tanto el tinaco secundario, como la cisterna, se encuentran sin agua reciclable para abastecer al inodoro, por lo que se procede a surtir agua potable del tanque principal hacia el inodoro, acción que se representa mediante la apertura de las electroválvulas 1 y 2, tal como se observa en la figura 15.

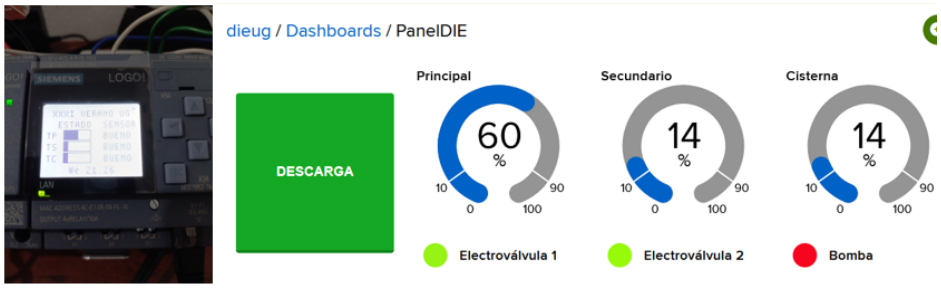

Figura 15. Monitoreo de descarga desde el tinaco principal al inodoro .

Por ultimo se hizo la prueba de la activación de la hidrobomba encargada de llevar el agua gris de la lavadora de la cisterna al tinaco secundario, para ello se descargo solo el tinaco secundario en el sistema fisico, para que la hidrobomba se active y se pueda observar su estado en tiempo real en la interfaz, tal como se observa en la figura 16.

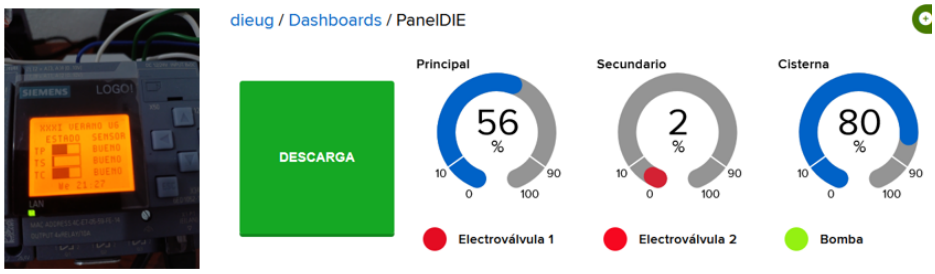

Figura 16. Monitoreo de activación de la Hidrobomba .

Las pruebas de estrés telemático demostraron que la arquitectura basada en el protocolo MQTT es altamente eficiente para entornos residenciales. Se registró una latencia media de 380 ms en la sincronización de datos entre el PLC Siemens LOGO! V8.4 y el bróker de Adafruit IO; este tiempo de respuesta, inferior al umbral de 500 ms definido como óptimo para aplicaciones de monitoreo en tiempo real, garantiza que el usuario

visualice los cambios de nivel y estado de los actuadores de manera casi instantánea. La tasa de éxito en la transmisión fue del 100%, sin reportes de pérdida de paquetes (packet loss) ni corrupción de datos en el histórico de las variables analógicas

Conclusiones

La integración nativa de MQTT en el PLC Logo! V8.4 simplifico radicalmente las arquitecturas IoT en este proyecto, debido a que la plataforma Adafruit IO demostró ser una solución robusta y de baja latencia para el monitoreo de variables analógicas y control de señales digitales, prescindiendo de servidores locales costosos. Esto proporciono una capa de supervisión indispensable para el monitoreo de los recursos hídricos del sistema, permitiendo no solo cuantificar el ahorro, sino también realizar una detección temprana de posibles fallas en el sistema hidráulico antes de que comprometan el suministro. Al convertir un proceso automatizado cerrado en un sistema remoto, el usuario puede tomar decisiones informadas basadas en datos obtenidos en tiempo real.

Uno de los posibles planes a futuro, es la integración de estos sistemas en redes de infraestructura inteligente o Smart Cities, lo que permitiría interconectar miles de nodos domésticos descentralizados. Esta capacidad de conexión masiva ofrecería a los organismos operadores de agua la posibilidad de monitorear patrones de consumo a gran escala y gestionar de manera más eficiente la demanda urbana.

Asimismo, la acumulación de datos históricos en servidores web abre la posibilidad de incorporar algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) para analizar los hábitos de los usuarios. Estos algoritmos podrían predecir la generación de aguas residuales y optimizar de forma autónoma los ciclos de conmutación de las bombas, maximizando la eficiencia del reciclaje de agua sin intervención humana.

Finalmente, el proyecto destaca cómo la retroalimentación visual inmediata a través de interfaces móviles fomentando una cultura de consumo responsable en la sociedad contemporánea. Al utilizar tecnologías de telemetría accesibles y protocolos estandarizados, se demuestra que es posible implementar soluciones de domótica avanzada que sean económicamente viables y técnicamente robustas para el entorno residencial.

Bibliografía/Referencias

- [1] Al-Khafaji, H. M., & Al-Maliki, A. (2022). Implementation of MQTT protocol for real-time industrial automation monitoring using programmable logic controllers. International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE), 18(4), 45-58.
- [2] Boyd, C., & Green, M. (2023). Greywater recycling systems in residential buildings: A review of automation and control strategies for water conservation. Journal of Cleaner Production, 385, 135-147.
- [3] Siemens AG. (2024). LOGO! manual de sistema y actualizaciones de conectividad cloud en la versión V8.4. Siemens Industrial Automation Systems.
- [4] Susanto, F., Juansah, A., & Rani, R. (2021). Web-based monitoring and control system using Adafruit IO cloud platform for smart home applications. IEEE International Conference on Computing, Engineering, and Design (ICCED), 1-6.
- [5] Viesca, J. R., & Martínez, L. E. (2025). Integración de tecnologías IoT en la gestión de recursos hídricos urbanos mediante micro-controladores y PLC de bajo costo. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 22(2), 112-123.