

# Control remoto de estaciones de bombeo y cisternas de agua potable utilizando Internet de las Cosas

## Drinking Water Pumping Station and Cisterns Remote Control Using Internet of Things

Presentación: 26 y 27 de octubre de 2022

### **Leonardo Depetris**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco. San Francisco, Córdoba. Argentina.  
leodepetris@gmail.com

### **Damián Romani**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
dromani@coopmorteros.coop

### **Joaquín González**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
jgonzalezi@coopmorteros.coop

### **Claudio Bottero**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
cbottero@coopmorteros.coop

### **Lorenzo Depetris**

Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda. Morteros, Córdoba. Argentina  
ljdepetris@coopmorteros.coop

## **Resumen**

Este proyecto se centra en el desarrollo de un conjunto de dispositivos que permitan el telemonitoreo y telecontrol de la estación de cisternas y de bombeo de agua potable, en la ciudad de Morteros (Córdoba), con el objetivo de agilizar la operación y toma de decisiones ante emergencias.

Se plantea realizar un ecosistema de IoT para la lectura remota de caudal de ingreso y nivel de cisterna, adaptando las comunicaciones con los equipos existentes y con el controlador PID que maneja las bombas presurizadoras. Adicionalmente, incluir equipos y sensores capaces de determinar las magnitudes de presión de ingreso, caudal de salida, dosificación y cantidad de cloro y alertar fugas de agua en las fosas que se encuentran bajo el nivel del suelo. Tras varios meses de su implementación, se concluye favorablemente ya que se logró una mejor administración de la planta y una reducción en las fallas.

**Palabras clave:** Internet de las Cosas, Protocolo MQTT, Agua Potable, Telecontrol

## Abstract

This project focuses on the development of a set of devices that allow telemonitoring and remote control of the drinking water cistern and pumping station in the city of Morteros (Córdoba), with the aim of improving operation and decision-making before emergencies.

It is proposed to create an IoT ecosystem for remote reading of the inlet flow and tank level, adapting communications with existing equipment and with the PID controller that manages the pressurizing pumps. Additionally, include equipment and sensors capable of determining the magnitudes of inlet pressure, outlet flow, dosage and quantity of chlorine and alert water leaks in the pumping chambers below ground level. After several months of its implementation, a favorable conclusion can be stated since a better management of the plant and a reduction in failures were achieved.

**Keywords:** Internet Of Things, MQTT Protocol, Drinking Water, Remote Control

## Introducción

Como es sabido, una pequeña porción del agua disponible en el planeta es apta para el consumo humano. Menos del tres por ciento del agua del planeta existe como agua dulce y, de hecho, más de dos tercios de esta no se encuentra siquiera en estado líquido, sino que se encuentra congelada en glaciares en sitios como las capas de hielo en Antártica y Groenlandia. Tal y como puede deducirse, la distribución de agua dulce en el planeta no es equitativa y aunque muchas regiones cuenten aún con agua suficiente para cubrir las necesidades de cada individuo, se requiere que ésta sea administrada adecuadamente.

Históricamente, el agua tiene su propia dinámica en el denominado ciclo hidrológico; a medida que el hombre ha intervenido el ciclo natural para poder utilizar el agua para su provecho, se han generado diferentes ciclos artificiales que no sólo modifican su circulación, sino que implican una alteración de sus características, ya que en estos nuevos ciclos el agua ve alterada su calidad. La contaminación generada por efectos antrópicos agudiza su escasez (Fernández Cirelli and Du Mortier, 2005). El impacto sobre los recursos hídricos se enmarca en el contexto de una creciente demanda de agua, tanto para las actividades económicas como para la población, lo que intensificará la demanda sobre el recurso. Garantizar la calidad y cantidad de la reserva de agua disponible es por lo tanto una tarea de gran importancia para la protección del ambiente (Cossavella, 2019).

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el fin de mejorar la vida de todos. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen, entre otros, erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. Dentro del listado de ODS, se especifica el objetivo N°6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Si bien, se ha conseguido progresar de manera sustancial a la hora de ampliar el acceso a agua potable y saneamiento, existen miles de millones de personas (principalmente en áreas rurales) que aún carecen de estos servicios básicos. En todo el mundo, una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable salubre, dos de cada cinco personas no disponen de una instalación básica destinada a lavarse las manos con agua y jabón (Naciones Unidas, s.f.).

Puntualmente, el proyecto abordado se encuentra en la localidad de Morteros, en la provincia de Córdoba (Argentina). Ubicada a casi 20 kilómetros de la costa oriental de la laguna Mar Chiquita (o Mar de Ansenusa), y a escasos kilómetros de los límites de la provincia de Córdoba con las provincias de Santa Fe y Santiago del Estero. Su población es de 17124 habitantes, según el último censo nacional del año 2010 (Municipalidad de Morteros, s.f.); de la cual, actualmente se tiene cerca de un 75% de la misma con acceso a agua potable y saneamiento y se estima llegar a una cobertura del 100% de la población al corto plazo (Región Objetivo - Redacción, 2020).

Técnicamente hablando, el suministro de agua hacia la ciudad está a cargo de la Cooperativa de Trabajo “Acueductos Centro Limitada” (Co.T.A.C.), mediante el Acueducto San Francisco – Morteros con sus localidades intermedias. Siendo la ciudad en estudio la última del ramal. Por su parte, la “Cooperativa de Servicios Públicos de Morteros Ltda.” es la empresa concesionaria del servicio dentro de la propia localidad. Cabe mencionar, que esta última empresa es quien se encarga de la operación y mantenimiento de la estación de cisternas y de bombeo, para las cuales previo a este desarrollo solo contaba con control de las bombas presurizadoras y visualización de nivel de cisterna, caudal de entrada de agua y dosificación de cloro, localmente en planta; esto generaba dificultades en la toma de decisiones y falta de respuestas rápidas, llevando a cortes del servicio, principalmente, en el periodo estival.

## Desarrollo

Debido a que las distintas magnitudes a medir se encuentran físicamente en diferentes salas, se optó por la realización de varios dispositivos, en vez de un único equipo que sea capaz de tomar lectura de los sensores y comunicarse con los diferentes equipos comerciales. Se analizó en cada caso el método de interactuar con los dispositivos existentes, con el objetivo de utilizar los equipos instalados, sin reemplazar, ni duplicar las mediciones.

Inicialmente, solo en los dispositivos de difícil acceso, se utilizaron módulos ESP32, ya que cuentan con comunicación WiFi integrada; mientras que en los restantes, se utilizaron placas Arduino Due, acopladas a un Shield Ethernet. Luego de semanas de su implementación, se optó por migrar todos los dispositivos a módulos ESP32 debido a una mejor inmunidad respecto al ruido eléctrico; acoplándoles módulos Ethernet W5100 para otorgar la posibilidad de conexión de red a todos los dispositivos. Desde un inicio se optó por lenguaje Arduino para el firmware de cada dispositivo desarrollado, principalmente por la disponibilidad de librerías y la posibilidad de optar por diferentes placas de desarrollo sin realizar grandes cambios en los scripts.

Durante la planificación y desarrollo del proyecto se siguió el concepto de Internet de las cosas (IoT), es decir, integrar a todos los sistemas de dispositivos físicos que reciben y transfieren datos a través de redes inalámbricas con poca intervención humana, independientemente de su naturaleza. Para ello, se debió utilizar un protocolo de comunicación de datos que soporte estos requisitos. Se eligió el Protocolo MQTT, debido a que es muy útil para conexiones con clientes remotos demandando muy bajo ancho de banda de internet.

MQTT utiliza el modelo cliente / servidor. Su arquitectura contiene tres componentes, estos son: Publishers, un Broker y Subscribers. Cada dispositivo está conectado a un servidor (Broker). La dirección en la que se publicó el mensaje se llama “tópico” y cada dispositivo puede suscribirse a más de un tópico y recibir todos los mensajes que se publican en estos. Las principales responsabilidades del Broker MQTT son procesar la comunicación entre los clientes MQTT y distribuir los mensajes entre ellos en función de sus tópicos de interés, pudiendo trabajar con miles de dispositivos conectados al mismo tiempo. Al recibir el mensaje, el Broker debe buscar y encontrar todos los dispositivos que poseen una suscripción a este tópico (Shankar et al., 1999). En el presente desarrollo, el Broker fue implementado utilizando Eclipse Mosquitto.

En cuanto a la base de datos, se eligió InfluxDB, no solo por ser de código abierto, sino también debido a la simplicidad de su configuración, su enfoque optimizado para el monitoreo de operaciones, métricas de aplicaciones, datos de sensores de Internet de las cosas y el análisis en tiempo real.

Teniéndose como punto de partida el desarrollo previo de un portal online de gestión, denominado Oficina Virtual, tanto de usuarios internos de la empresa como de clientes, se decidió utilizar ésta como soporte para cálculos, visualización de magnitudes instantáneas y gráficos históricos.

#### *A. Sala de tablero principal de la planta: caudalímetro de entrada a cisterna y nivel de cisterna*

Esta sala se compone por el tablero de potencia eléctrica y el tablero de control, visualización y radiocomunicación de CO.T.A.C. Haciendo foco en los parámetros de interés, en esta sala se encuentra disponible el visualizador local de nivel de cisterna y el caudalímetro de entrada a cisterna.

Previamente se tenía instalado un sensor de ultrasonidos para la medición continua de nivel de cisterna, con unidad indicadora y de ajustes externa para sensores 4/20 mA, marca VEGA. Sabiendo que el nivel de cisterna se encuentra en un valor proporcional en escala 4-20 mA, se buscó un dispositivo que sea capaz de conectarse al lazo de corriente y convertir la lectura a un valor proporcional de tensión que pueda ser interpretado por un canal ADC de microcontroladores; encontrándose el conversor de corriente a tensión XY-IT0V. Una vez conectado físicamente, previo a seleccionar los rangos adecuados, se calibró el nivel de cero y pendiente de incremento. Por su parte, dentro del script se realizó el cálculo que convierte ese valor digital proveniente del ADC, pasándolo a valores de porcentaje de llenado de cisterna. La exactitud de las conversiones se fue ajustando mediante regresión lineal, obteniendo finalmente una respuesta idéntica a la observable por el visualizador local.

En el caso del valor de caudal de ingreso a cisterna también se medía previamente con el equipo Aquaflux, de KROHNE IFC 010 D. El mismo posee una salida de pulsos que no era utilizada, cuya frecuencia varía en función del caudal determinado. Utilizando una entrada por interrupciones, se procedió a contar el tiempo entre pulsos, que luego de afectarlo por una constante otorgada por la configuración se obtuvo el valor de caudal (en m<sup>3</sup>/h).

#### *B. Fosa de entrada: presión de entrada a cisterna*

Se trata de un recinto bajo el nivel del suelo, que permite maniobras directamente en el caño de ingreso de agua a cisterna. En este sector de la planta se tienen dos puntos de medida de presión, en los cuales se reemplazó un manómetro de aguja por un sensor electrónico, eligiéndose el transmisor de presión para aplicaciones generales industriales MBS 3000 de Danfoss, debido a que trabaja dentro del rango de medición estimado. La salida del mismo es mediante lazo de corriente 4-20 mA, por lo que su inserción al microcontrolador se realizó de igual manera que para el nivel de cisterna, utilizando el conversor XY-IT0V conectado a otro canal ADC, calculando dentro del script la conversión de escala digital a los bares de presión medidos.

Debido a que esta fosa de inspección está expuesta a una rápida inundación provocado por una fuga en la cañería, se colocaron sensores ultrasónicos detectando el nivel del suelo y generando una alerta si dicho nivel sube. El sensor utilizado para esta función es el JSN-SR04T, ya que resiste las condiciones de instalación por ser IP65. Posee una exactitud de 1 cm, lo que resulta aceptable, otorgando tiempo de respuesta ante una posible inundación.

#### *C. Fosa de salida de cisterna: caudalímetro a red urbana*

Al igual que en la explicada en el apartado anterior, se trata de un recinto bajo el nivel del suelo; por lo que se mantiene la consideración de utilizar el sensor JSN-SR04T con el propósito de detectar posibles pérdidas en el caño de agua. En cuanto a la medición de caudal de salida se había adquirido un caudalímetro SIEMENS SITRANS FM

MAG 5000, el cual posee dos alternativas de telelectura disponibles: por pulsos o por lazo de corriente. Por simplicidad, se utilizó lazo de corriente 4-20 mA, adaptado con el convertidor XY-IT0V, como en los casos anteriores. Al igual que se ha descrito, fue necesaria su calibración mediante regresión lineal para minimizar el error de lectura y luego realizar cálculos propios de la escala de la magnitud a medir.

#### *D. Sala de bombeo*

Compuesta por 4 bombas presurizadoras de agua, marca Grundfos, de las cuales 3 se encuentran funcionando a lazo cerrado con PID por la unidad de control CU 352, de la misma marca; mientras que la bomba restante funciona como auxilio y se controla manualmente. Previamente al desarrollo realizado, se tenía la misma situación que la ocurrida con el nivel de cisternas y caudalímetro de entrada, los datos de interés solo podían verse o modificarse de manera local (principalmente, porcentajes de funcionamiento de cada bomba, alarmas, o cambiar el valor de presión de agua de salida).

Por lo expuesto, para obtener control de acceso remoto al bombeo de agua fue necesario ahondar en las características del controlador CU 352 de Grundfos, y determinar si existe posibilidad de conexión remota. La investigación llevó a adquirir un módulo accesorio (CIM050) que permite realizar comunicación serie RS485. Una vez conectado físicamente, se procedió a decodificar el lenguaje de comunicación propio de la marca Grundfos, llamado GENIBus (Grundfos Electronics Network Intercommunications Bus, 1997); en el cual para cada dato o acción a realizar se debe solicitar una petición desde el dispositivo remoto, en nuestro caso, la Oficina Virtual.

#### *E. Sala de cloro*

En esta sala se almacena cloro líquido de alta pureza en dos estanques de 1000 litros. Si bien, se trata de agua potable que llega a la ciudad, se vuelve a clorar localmente para lograr la desinfección de bacterias y organismos patógenos que pudiera llegar a haberse generado durante el transporte por cañerías. La dosificación de cloro se realiza a través de una bomba de cloro marca Grundfos, modelo SMART Digital S – DDC, tomando al valor de caudal de agua de ingreso (proveniente del caudalímetro KROHNE, en lazo de corriente 4-20 mA) como entrada de control de la dosificación.

Dado que una adecuada clorinación es fundamental para garantizar la calidad del servicio, se monitorea dicha bomba de dosificación y nivel de cloro disponible en los estanques. Para el monitoreo de la bomba de cloro se utilizó una salida a relé presente en el dispositivo; estos pulsos de disparo son dependientes del valor de dosificación, por lo que se procedió de manera similar a la lectura de pulsos del caudalímetro de entrada, determinando la lectura mediante una entrada por interrupciones. Para determinar el porcentaje de llenado de los estanques de cloro se utilizaron sensores ultrasónicos JSN-SR04T mencionados previamente, que, mediante calibración física y cálculos dentro del programa del microcontrolador, se convierte a porcentaje de llenado.

## Conclusiones

Luego de la implementación física de cada módulo se procedió a realizar los ajustes finos de calibración y de transmisión. Una vez que se eliminaron estas fallas, se fueron desarrollando las vistas a usuario dentro de la Oficina Virtual. Cabe aclarar que todas las contrastaciones de datos fueron realizadas tomando como patrón al indicador local propio de cada máquina o equipo de medición, previamente mencionados según sea el caso.

Podemos concluir que los resultados del desarrollo han sido satisfactorios, debido a lo manifestados por el personal del área pertinente. Tras 2 años de puesta en marcha de los primeros dispositivos de medición, se evidencian mejoras en la toma de decisiones y con ello, se logró evitar realizar cortes del servicio.

Específicamente hablando, podemos cuantizar el impacto del prototipo desarrollado considerando el número de cortes del servicio o reducción de presión en horas pico debido a la alta demanda y a un manejo ineficiente de la información (principalmente el nivel de cisternas y caudales de ingreso y egreso). Si bien, no se tienen números exactos de la cantidad de cortes producidos en periodos estivales anteriores, ocurrían con una frecuencia semanal. Actualmente, gracias a la disponibilidad de información al instante, se redujo prácticamente en su totalidad el número de cortes del servicio.

Se puede considerar también como indicador de resultados el número de horas de trabajo dedicadas al mantenimiento. En la cual, previamente a la instalación del proyecto en cuestión, un operario se dirigía diariamente hacia la planta de bombeo de agua y mediante observación de los indicadores en los tableros registraba en una planilla los valores de nivel de cisterna y caudal de ingreso de agua. A su vez debía dirigirse hacia el depósito de almacenamiento de cloro y corroborar la cantidad disponible y el correcto funcionamiento del dosificador de cloro. Sumado a esto, durante el periodo comprendido entre los meses septiembre a marzo, se gestionaba una reducción de presión de agua durante la noche, en la que un operario de turno se dirigía a la planta a medianoche para modificar el parámetro de presión, y nuevamente al amanecer para reestablecer a la presión diurna. Tras el monitoreo y control por acceso remoto, todas estas tareas mencionadas fueron eliminadas completamente, debido al registro continuo de información y automatización de tareas.

Actualmente, como una segunda etapa a corto plazo, se busca realizar un mapeo de los niveles de presión en diferentes puntos de la red local, con el fin de detectar posibles pérdidas o conexiones indebidas.

## Referencias

Cossavella, A. (2019). Contaminación de agua. Maestría en Ingeniería Ambiental - Universidad Tecnológica Nacional. San Francisco.

Fernández Cirelli, A., & Du Mortier, C. (2005). Evaluación de la condición del agua. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires.

GENibus Grundfos Electronics Network Intercommunications Bus (1997).

Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Municipalidad de Morteros. (s.f.). Obtenido de <https://www.morteros.gob.ar/>

Región Objetivo (Redacción). (29 de 12 de 2020). Morteros: la red de agua potable llegará al 100% de la población. Obtenido de <https://regionobjetivo.com.ar/contenido/303/morteros-la-red-de-agua-potable-llegara-al-100-de-la-poblacion>

Shiva Shankar J; Dr.S.Palanivel; Dr.S.China Venkateswarlu; M.Sowmya. (Diciembre de 2019). MQTT in Internet of Things. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 06(12).