

ARTÍCULO ORIGINAL



Sistema IoT para el control del nivel de tanques en Aguas de La Habana

*IoT System for Tank Level Control
in Aguas de La Habana*



Randy Plasencia Herrera

rplasenciah09@gmail.com • <https://orcid.org/0000-0002-4462-614X>

Norma Elena Perryman Jones

perryman@ahabana.co.cu • <https://orcid.org/0000-0003-1747-9559>

María de los Ángeles Rabanillo Santana

maruchy@ahabana.co.cu • <https://orcid.org/0000-0002-8434-4526>

EMPRESA AGUAS DE LA HABANA, CUBA

Recibido: 2019-11-20 • Aceptado: 2020-03-16

RESUMEN

Los costos de los controladores lógicos programables encargados del control de los procesos de producción, purificación y traslado de agua potable son altos, además de las dificultades existentes en su adquisición. Se pretende complementar el telecontrol basado en controladores lógicos programables por una solución desarrollada sobre arduinos, económica, que se conecta por GPRS, utilizando Transporte de telemetría de mensajes en cola (MQTT, *Message Queing Telemetry Transport*) como protocolo de comunicación máquina-máquina (M2M) a través de un servidor *Mosquitto*, con un Arduino con *Shield GSM 2.0*. La solución cuenta con un sensor de ultrasonidos HC-SR04 el cual mide la distancia al agua. Presenta una salida en los dispositivos móviles a través de una aplicación en *Android*, para directivos, y puede visualizarse además en el Sistema de Adquisición de datos y control supervisado (*SCADA*) del puesto de mando. Se utiliza la metodología de desarrollo de *software* denominada *Programación extrema XP* y desarrollo en capas. Se obtiene como resultado una disminución de los costos de implantación del control automatizado para el nivel de tanques al reemplazar/complementar los Programadores lógicos programables por arduinos. Estos dispositivos no presentan problemas para su adquisición por Aguas de La Habana. Permiten, además, el envío de órdenes, las cuales son la línea de proyección futura de la empresa. Este *hardware*



abierto, formado por una placa base con un microcontrolador y un entorno de desarrollo propio, es una tendencia tecnológica actual. Es, por excelencia, la alternativa más sólida al desarrollado bajo patente en la actualidad. Cuba por sus características, y Aguas de La Habana particularmente, están apostando al uso de estas tecnologías por sus bajos costes e impacto demostrado en la solución de problemas y automatización de procesos.

PALABRAS CLAVE: Arduino; IoT; MQTT; SCADA; Sensores.

ABSTRACT

The costs of the PLCs in charge of the control of the production processes, purification, and transfer of drinking water are high, in addition to the difficulties in their acquisition. It is intended to complement the PLC-based remote control by an economical solution developed on Arduino, which is connected by GPRS, using MQTT as an M2M communication protocol through a Mosquitto server, with an Arduino with Shield GSM 2.0. The solution has an ultrasonic sensor HC-SR04 which measures the distance to the water.

It presents an output on mobile devices through an Android application for managers, and can also be viewed in the SCADA of the command post. XP methodology and layered development are used. It results in a decrease in the costs of implementing automated control for the tank level by replacing/complementing the PLCs with Arduinos. These devices do not present any problem for their acquisition by Aguas de La Habana. They also allow orders to be sent, which are the company's future projection line.

This open hardware, consisting of a motherboard with a microcontroller and its development environment, is a current technological trend. It is the open hardware par excellence and the strongest alternative to the one currently development under patent. Cuba, due to its characteristics, and Aguas de La Habana, in particular, are betting on these technologies due to their low costs and proven impact on problem-solving and process automation.

KEYWORDS: Arduino; IoT; MQTT; SCADA; Sensors.

INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones constituye un proceso imprescindible para el adecuado y acertado funcionamiento de una organización. En este sentido, muchos estudiosos, afirman que el des-

empeño organizacional satisfactorio requiere una toma de decisiones eficiente y una efectiva implementación. Precisamente esta eficiente y efectiva implementación recae en manos de aquellos individuos que tienen la responsabilidad de tomar decisiones, es decir, los directivos de las organizaciones (Rodríguez, Y. & Pinto M., 2014).

En la actualidad las empresas se ven regidas por el ambiente global en el que se desempeñan, el cual es altamente competitivo y exige una constante toma de decisiones estratégicas si se busca permanecer en el mercado de manera exitosa y rentable. Esta situación lleva a las organizaciones a enfrentar los mercados con cautela al optimizar sus recursos. La importancia de la información para las organizaciones radica en que es un recurso esencial. Es en este momento que las herramientas tecnológicas juegan un papel muy importante al integrar los datos y aumentar el valor que aportan los mismos para la Empresa (Castro, 2015).

El impetuoso desarrollo tecnológico genera un gran impacto en todos los ámbitos y niveles de la sociedad actual y condiciona las relaciones que establecen los seres humanos entre ellos. Cada día se evidencia más la dependencia de las Tecnologías de la Información (TI) en las organizaciones para lograr mejorar su funcionamiento y evolución de sus procesos de negocio, así como la información que necesitan para tomar todas sus decisiones operacionales, tácticas y estratégicas (Santos, 2009).

El *software* ha constituido una herramienta decisiva para ello, contribuyendo al aumento de la productividad de muchas empresas en medio de una economía global cada vez más dependiente del conocimiento (Santos, 2009), incorporando soluciones para los diferentes tipos de problemas. La producción de *software* y la prestación de servicios asociados se han convertido en actividades económicas muy importantes, capaces de crear ganancias por intermedio de las exportaciones de productos y servicios, incluso a distancia.

El poderoso auge de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) ha cambiado los paradigmas y estrategias reconocidas y establecidas por muchos años como válidas. Dentro de las TIC, la industria del *software* alcanza una posición relevante, por su característica de controlar o hacer accesible, en la mayoría de los casos, los adelantos electrónicos. Estos dispositivos requieren de un *software* que proporcione la interfaz que las personas necesitan para entender los datos ofrecidos por el sistema (Santos, 2009).

Con el objetivo de facilitar las tareas de los operarios en las empresas, en cuanto a supervisión y control de los procesos es que surge la supervisión con ordenador que permitió el surgimiento de los sistemas de control y adquisición de datos (*SCADA*), conectados a través de uno a varios Programadores lógicos programables (PLC).

El *SCADA* es una aplicación de *software*, con acceso a una planta mediante comunicación digital con los instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica del alto nivel con el usuario. Este nuevo enfoque propone la evolución del control y supervisión hacia sistemas basados en ordenadores. Esto proporciona que los ordenadores realicen diferentes tareas tales como: gestión de datos, visualización de la información, intercambio de información a través de la red de ordenadores, entre otros (Vilanova, 2007), (Pérez, 2015).

Las empresas para insertarse en este mundo tan competitivo necesitan modernizarse, utilizando para sí los adelantos que ofrecen los nuevos descubrimientos y aplicarlos para lograr ventajas estratégicas.

En este mismo sentido surgen los arduinos, los cuales son herramientas que vinieron a cambiar el modo de aplicar la tecnología embebida. Su facilidad de uso, así como su costo accesible y sobre todo la gran comunidad de desarrolladores ha permitido una revolución tecnológica en el campo de los sistemas embebidos. Arduino permitió crear un sin fin de aplicaciones de forma económica y rápida (Estrada, 2017).

Arduino se puede aplicar a prácticamente cualquier proceso que quiera ser automatizado. Desde controlar un invernadero, prender las luces de una casa automáticamente por *Wifi* o incluso leer la computadora de un vehículo. Se puede usar para aplicaciones caseras o incluso en ambientes industriales. El uso del procesador que tiene para la creación de aplicaciones que resuelvan problemas. Se pueden crear aplicaciones en domótica, leer *tags* de credenciales, etc. (Estrada, 2017). A estos dispositivos se le pueden conectar infinidad de sensores para medir temperatura, sonido, movimiento, magnético, humedad, proximidad, golpes, fotorresistencia, inclinación entre otros. Por otra parte, también se le pueden acoplar una serie de actuadores como pueden ser electrónicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos, motores y bombas. (Crespo, 2017).

Existen varios casos internacionalmente donde se utilizan los arduinos como complemento de los PLC, tal es el caso de las soluciones desarrolladas en España, en la Universidad Pública de Navarra, (Rivero, 2015) donde se hace un extenso trabajo sobre varios tipos de arduinos y su programación para entornos industriales. Otro ejemplo se encuentra en El Salvador, donde se desarrolló una solución sobre arduinos para el control del sistema eléctrico (Quintanilla & Roberto, 2017). En el Perú también hay soluciones, como el caso del diseño de un sistema que lee códigos de barras en los supermercados (Uculmana, 2018). En Colombia también hay soluciones sobre estas tecnologías, tal es el caso del desarrollo de un entorno de aprendizaje controlado por Arduino (Vega *et al.*, 2017). En Cuba se desarrolló una solución parecida, pero sin llegar a vincularlo con un sistema *SCADA* (Quiala *et al.*, 2019).

Aguas de La Habana no es la excepción, ya que cuenta con un gran número de procesos que pueden ser automatizados. Cuenta con un *SCADA* para la gestión, vía Paquete General de Servicio de Radio (GPRS), de los datos del proceso de producción y traslado de agua potable, el cual tiene un puesto de mando en el edificio central de la Empresa. En la práctica, los directivos y decisores tienen desconocimiento de cómo y dónde se pueden aplicar ya que desconocen todas las potencialidades de estos equipos.

La Empresa tiene problemas por los elevados costos de los PLC encargados del control de los procesos de producción, purificación y traslado de agua potable, además de las dificultades existentes en su adquisición. En el almacén de Aguas de la Habana hay cierta cantidad de arduinos con sensores de temperatura, movimiento, ultrasonidos, resistencias y algunos leds, que fueron comprados como parte de un proceso inversionista. Se desea darles un uso adecuado y que al mismo tiempo facilite o mejore los procesos en los cuales se apliquen.

Con el desarrollo una aplicación económica sobre arduinos, que se conecte por GPRS, utilizando Transporte de Telemetría de la Cola de Mensajes (MQTT) como protocolo de comunicación máquina- máquina (M2M) a través de un servidor *Mosquitto*, con un *Shield GSM 2.0* y tarjeta GPRS, al *SCADA* de la Empresa, se disminuirán los costos de implantación de PLC en los procesos donde se ubiquen y se facilitará la reposición de los mismos.

METODOLOGÍA

La Internet de las cosas (IoT) es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora. Tiene su base teórica en la adición de sensores y conectividad a cualquier objeto y, eventualmente, también puede contar con capacidades de procesamiento propias (Guillen, 2016).

La solución desarrollada tiene como enfoque central este concepto ya que vincula varios dispositivos los cuales intercambian información entre sí. Para ello se utilizó Programación extrema (XP) como metodología de desarrollo Ágil, la cual se caracteriza por tener pocos artefactos generados, el modelado es prescindible y los modelos son desechables. La programación es intensiva que se le presenta al cliente en ciclos o iteraciones donde se les va dando solución a sus historias de usuario. Se utilizó principalmente porque se busca simplificar el proceso de desarrollo de *software*, además es la utilizada en la empresa y no es factible introducir nuevas metodologías de desarrollo en un equipo que ya domina esta (Pérez *et al.*, 2008) (McDonald, 2017). El ciclo de vida ideal de XP consta de 4 fases: planificación, diseño, codificación y pruebas. Ver figura 1 (Palacios *et al.*, 2010).

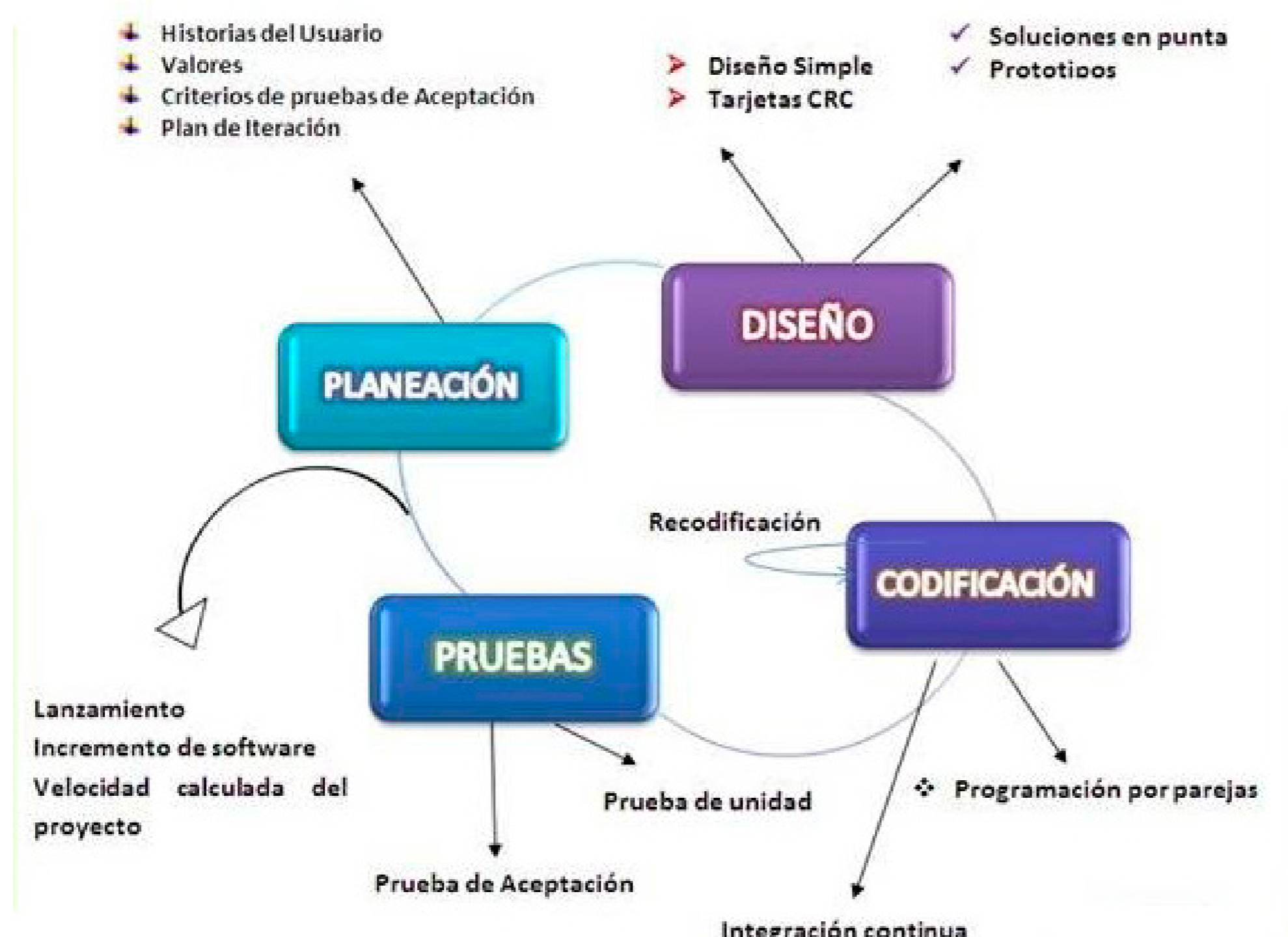


Figura 1. Metodología XP desarrollada. Fuente: (Palacios, *et al.*, 2010).

Historias de usuario: Se definen las historias de usuario que son el punto de entrada para el desarrollo de la aplicación, la solución se basa en ellas para tratar de darle solución siguiendo cierto orden lógico. Para identificarlas se realizaron reuniones de trabajo con los principales especialistas, directivos y decisores. En resumen, se reunió un equipo interdisciplinario integrado por informáticos, automáticos y directivos.

Diseño: La metodología XP sugiere que hay que conseguir diseños simples y sencillos. Hay que procurar hacerlo todo lo menos complicado posible para conseguir un diseño que sea fácil de entender e implementar que a la larga costará menos tiempo y esfuerzo desarrollar.

Se utilizó una arquitectura por niveles (Gerber, 2017). Ver figura 2.

Los componentes de la capa de dispositivos (que se muestran en la parte inferior, figura 2) incluyen sensores físicos y actuadores que están conectados a dispositivos de IoT y los propios dispositivos de IoT. Los sensores y los actuadores normalmente no se consideran por sí mismos dispositivos “inteligentes”, pero los sensores y los actuadores a menudo se conectan directamente o de forma inalámbrica, a través de tecnologías como *Bluetooth LE* o *ZigBee*, a dispositivos de IoT que tienen más capacidades de procesamiento.

La capa *Edge* (se muestra como el nivel medio figura 2) se relaciona con servicios de analítica y de preprocesado que se ubican en el límite de la red. La analítica *Edge* ocurre en tiempo real (o casi en tiempo real) al procesar el flujo de datos en el punto en el que los datos se recopilan según llegan desde los sensores. Las tareas básicas de preprocesamiento, como el filtrado y la agregación de datos, se ejecutan en el límite y luego los datos principales preprocesados se transfieren en sentido ascendente hacia los servicios y aplicaciones de la Nube para procesarlos y analizarlos.

Las aplicaciones en la Nube (como se muestra en el nivel superior de figura 2), que realizan el procesamiento de datos, a menudo se complementan con aplicaciones móviles y con aplicaciones de clientes basadas en la *Web*, que presentan los datos a los usuarios finales que brindan acceso a herramientas para explorar y analizar más a fondo, a través de paneles de instrumentos y de visualizaciones. De forma general se utilizaron estos medios y herramientas en la solución:

- **Android Studio:** es un IDE oficial para el desarrollo de aplicaciones para *Android*.
- **Java:** el entorno de ejecución *Java* se ha convertido en un componente habitual en los computadores de usuario de los sistemas operativos más usados en el mundo (Rodríguez, 2015).

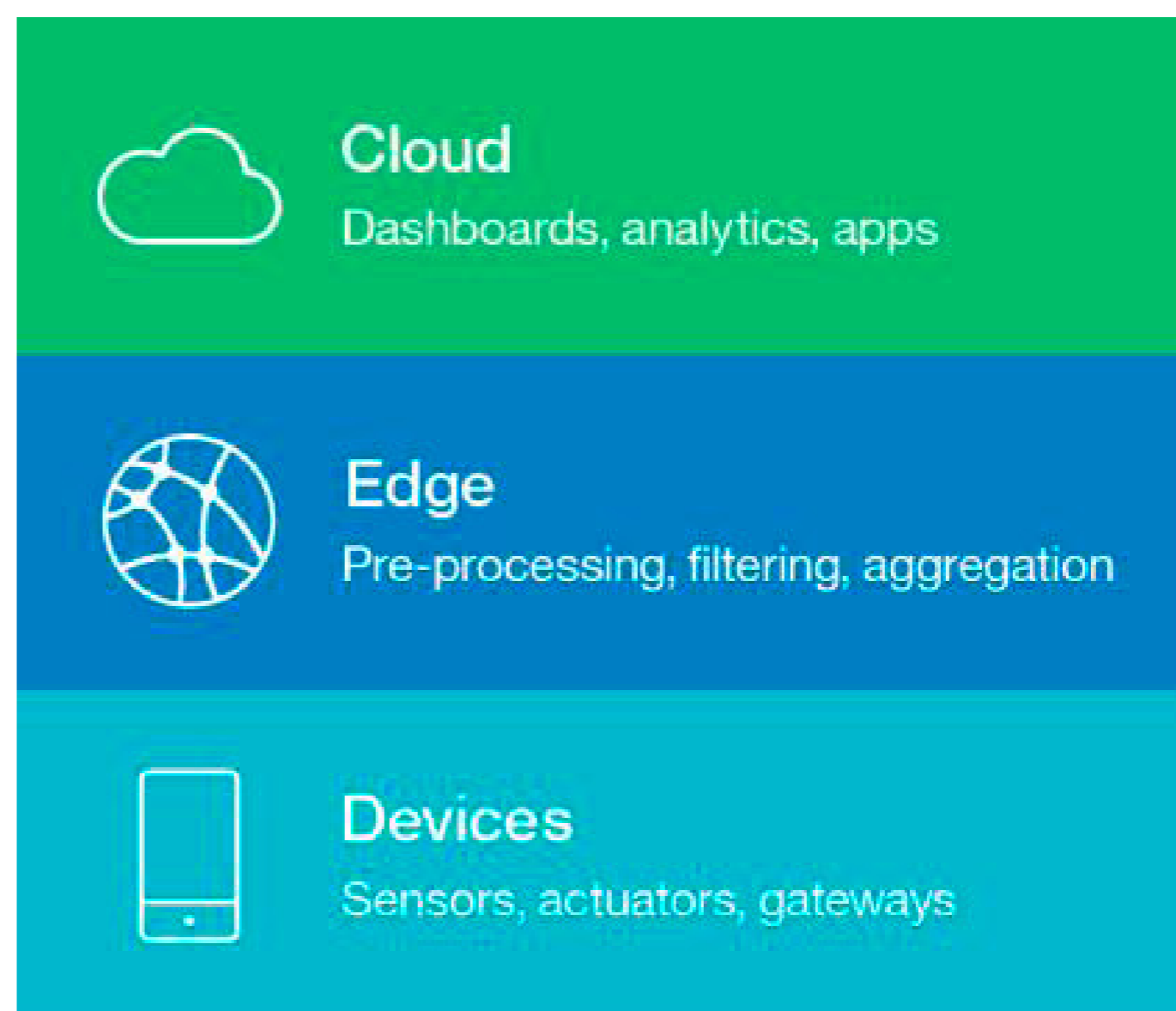


Figura 2. Arquitectura por niveles.

Fuente: (Gerber, 2017).

- **C++:** el lenguaje de programación de Arduino está basado en C++ (Arduino, 2019).
- **Extensible Markup Language (XML):** (Lenguaje extensible de etiquetas) es un meta-lenguaje estándar y extensible de etiquetas que permite definir la gramática de lenguajes específicos (Rosso, 2016).
- **Celular Samsung Galaxy Grand Prime:** celular con sistema operativo *Android 5.1.1* (Etecsa, 2015).
- **Tarjeta Sim:** tarjeta de conexión de datos GPRS suministrada por la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (Etecsa).
- **MQTT:** es un protocolo de mensajería utilizado en IoT, que soporta la comunicación asíncrona entre las partes (Yuan, 2017).
- **Mosquitto:** *broker* o servidor muy popular que soporta el protocolo MQTT (Mosquitto, 2018).
- **Sensores:** sensor de ultrasonido HC-SR04, para la distancia, el cual es muy utilizado por su precisión y bajos costes y LM35 para la temperatura ambiente (Naylampmechatronics, 2016).
- **Microcontrolador arduino:** Arduino Uno con microcontrolador AT mega 328
- **Arduino:** IDE de desarrollo para placas Arduino.
- **Shield:** Shield GSM 2 con tarjeta GPRS, para la conexión a la Red.
- **XP:** metodología de desarrollo ágil. Se caracteriza por una programación intensiva (Pérez, *et al.*, 2008), (McDonald, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema se desarrolló siguiendo la filosofía de IoT en la comunicación M2M a través de la publicación por parte del Arduino en el *topic* “/Arduino1/Temp/” los valores de la medición de la distancia los cuales viajan utilizando el protocolo MQTT a través de GPRS en forma de JSON el cual sigue la siguiente estructura { “distancia”: “valor”, “temp”: “valor”}. El Arduino además es suscriptor al *topic* “/Actuador/Arduino1/” por donde recibe las órdenes 0 ó 1, en las cuales se pretende en un futuro acoplar un relee para la conexión de equipos de la red de 110V, permitiendo abrir y cerrar circuitos que conecten actuadores.

Este principio de *topics* con suscriptores y actuadores es el mismo principio de los *jabber* de mensajería como los de *Facebook* u otros conocidos, donde la información viaja prácticamente en tiempo real entre las personas conectadas. Al mismo tiempo pueden existir conversaciones grupales donde lo escrito por una persona es visto por varias.

Tanto el Paquete para Aplicaciones Android (APK), como el *SCADA*, son suscriptores a las publicaciones del Arduino, por lo que reciben en tiempo real los valores que este está emitiendo. El móvil, además, es capaz de enviar órdenes al *topic* “/Actuador/Arduino1/” para que el Arduino ejecute una acción, aunque como se expresó anteriormente en la solución desarrollada solo se controla hasta el momento, el envío de los valores al *SCADA* y su publicación. La figura 3 representa resumidamente el flujo de información de la solución desarrollada.

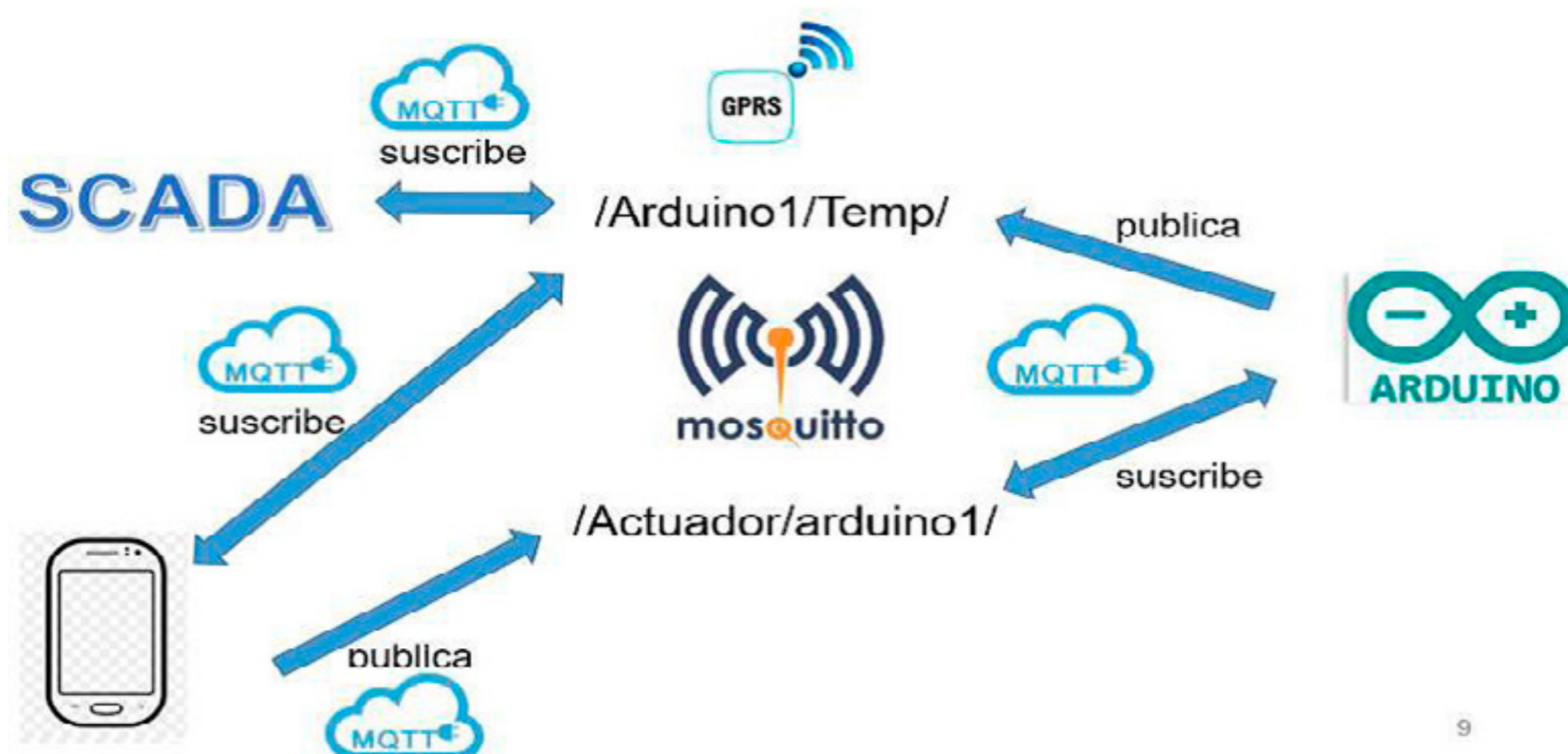


Figura 3. Diagrama simple de la solución.

Se utilizaron las clases *GSM.h*, *SPI.h*, *Ethernet.h* y *PubSubClient.h* en el IDE Arduino, así como los métodos definidos en las mismas para las publicaciones. En la figura 4 se puede observar el flujo básico de la solución.

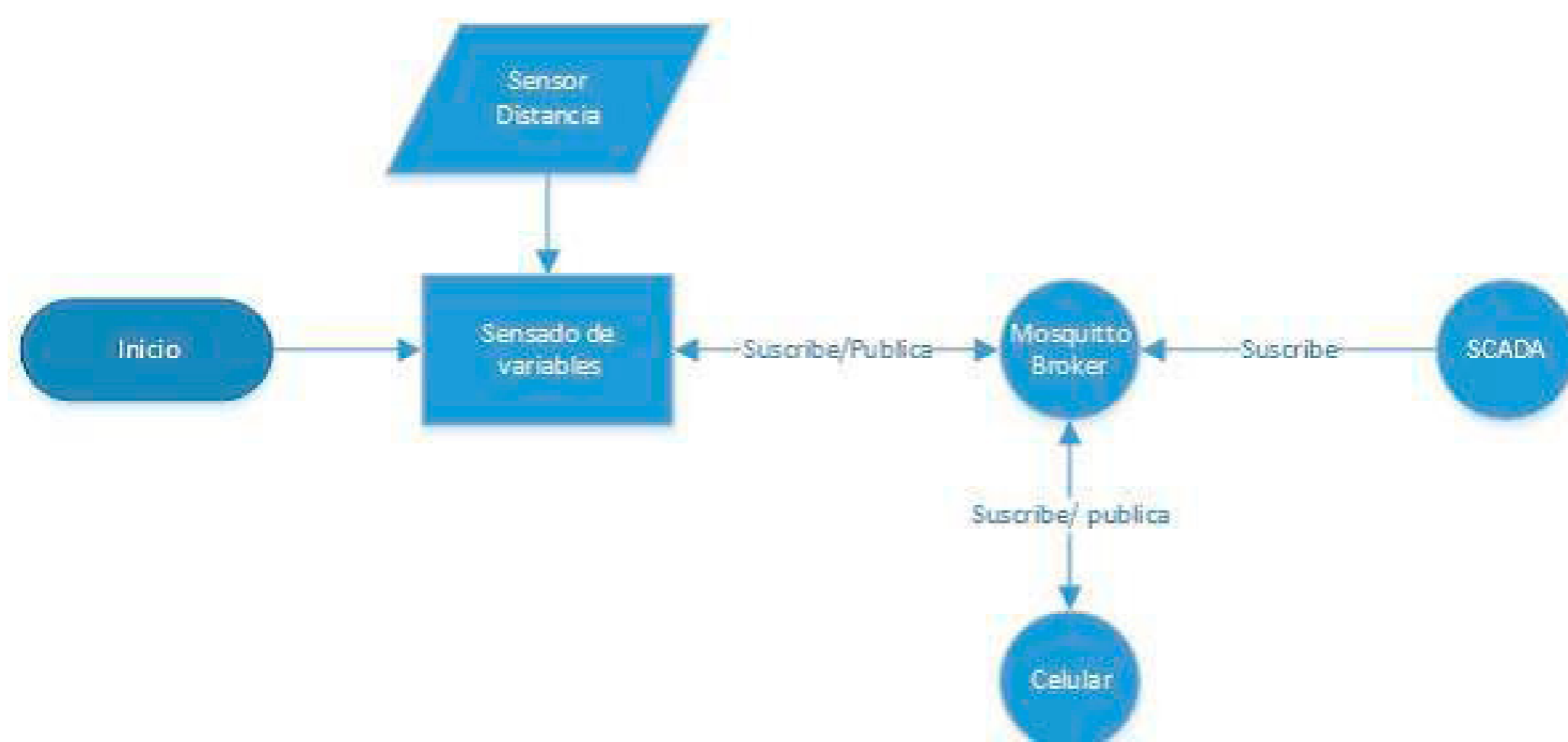


Figura 4. Diagrama de flujo.

En la figura 5 se observa cómo queda la solución implementada, dentro del flujo de información de los componentes principales del SCADA con que cuenta la Empresa. En color naranja se diferencia el flujo procedente de la solución actual del que ya existe por parte de los demás equipos.

La solución no pretende reemplazar los PLC existentes en su totalidad, sino complementar la existencia de éstos con arduinos, en los lugares donde sea factible a fin de abaratar costos y mantener los estándares de calidad e inmediatez.

El protocolo de transmisión de datos MQTT está implementado con el uso de las librerías que están publicadas online y solamente se hace uso de ellas, sin entrar en detalles de cómo se implementaron. El servidor *Mosquitto* está disponible *online* y está preparado para recibir y/o publicar las peticiones que a él llegan. Cada una de estas peticiones tiene un origen y un destino. El servidor simplemente actúa como intermediario tramitando el flujo de datos entre el origen y el destino.

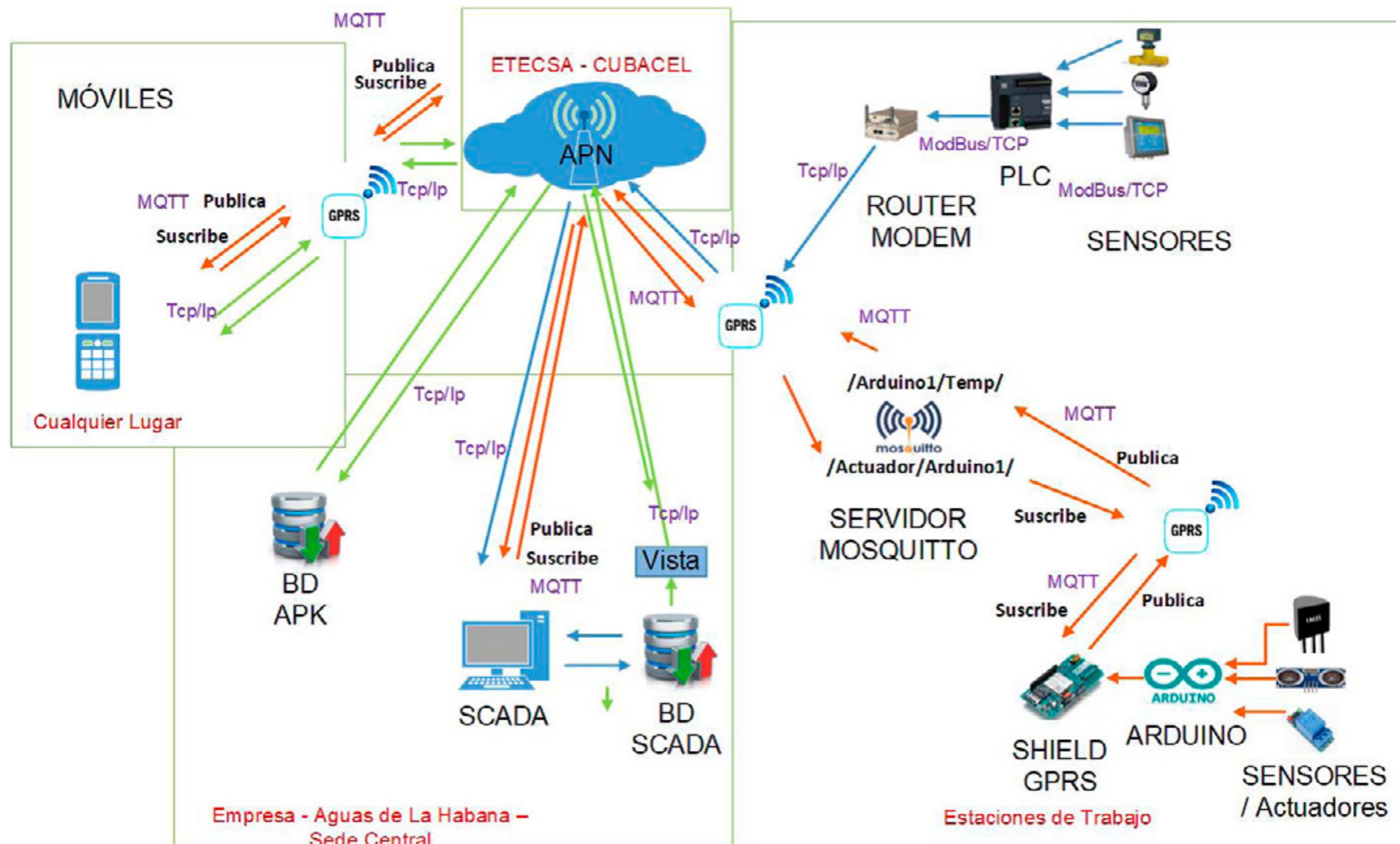


Figura 5. Solución dentro del diagrama del SCADA con sus otros procesos.

En la etapa de desarrollo se acopló un rele marca SR1y para el control de actuadores. Ver figura 6.

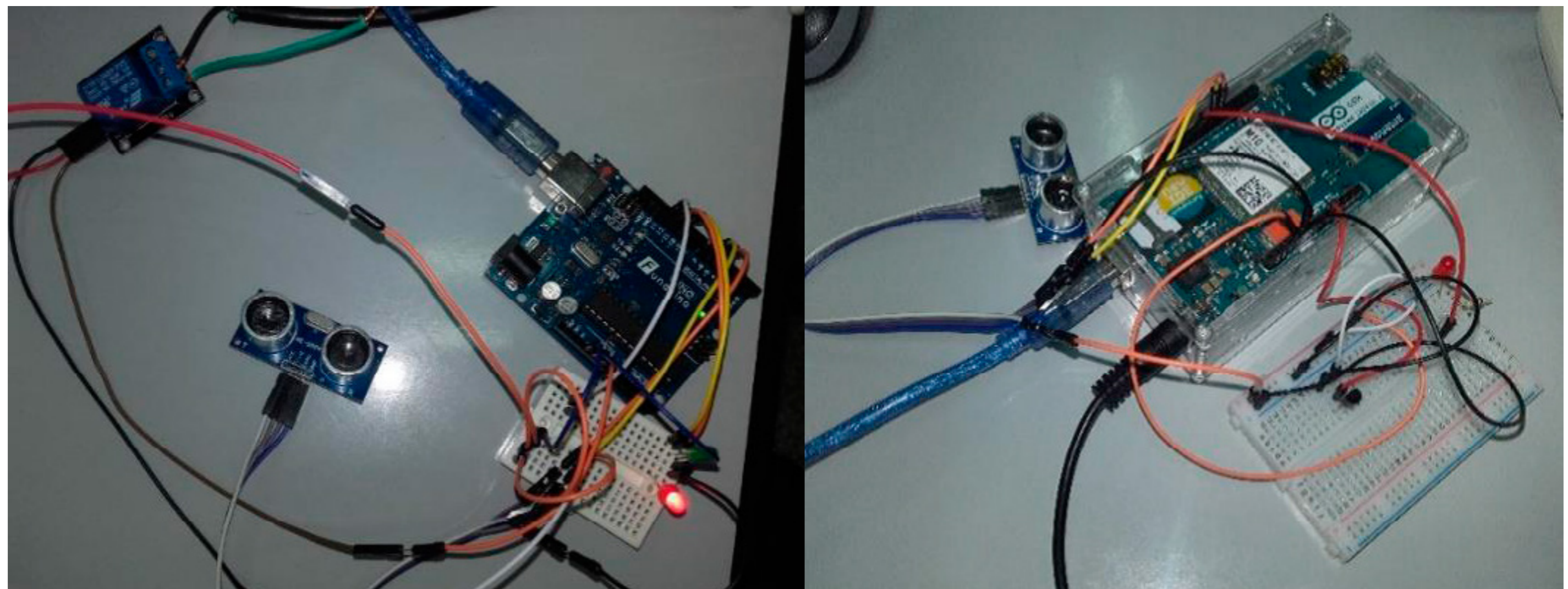


Figura 6. Etapas de desarrollo.

Se obtuvo un sistema funcional en tiempo real que recibe los valores de a qué distancia está el agua de la piscina, y la temperatura ambiente. El dato de la distancia a la que se encuentra el agua es mostrado en el SCADA de la Empresa a través de una configuración presente en el mismo el cual permite configurar un cliente MQTT. Esto se logra con el uso de un server *INTOUCH* conectado al SCADA. Además, la información del sensor se puede visualizar desde el móvil. Ver figura 7 y 8.



Figura 7.
Pantalla de control
del móvil.



Figura 8.
Pantalla de
Configuración.

En los celulares por su parte, además de recibir esta información también en tiempo real, se pueden enviar órdenes de encendido y apagado.

El sistema en funcionamiento se puede ver en las figuras 9 y 10. En la imagen se puede apreciar cómo se colocó el sensor dentro de un tubo de dos pulgadas, el cual se ubicó en una esquina de las piscinas de Palatino.



Figura 9. Sistema en funcionamiento.

En la pantalla del *SCADA* ubicado en el puesto de mando se puede visualizar la información procedente tanto de los PLC como del Arduino. En la figura 10, la cisterna Oeste está monitorizada por este tipo de placa. Vale aclarar que la solución desarrollada no pretende reemplazar los PLC que tributan información al *SCADA*, la idea del trabajo es ir reemplazándolos, en los lugares que las condiciones lo permitan por arduinos, que económicamente son más baratos, siempre y cuando se mantenga la calidad e inmediatez en la entrega de la información. Es por eso que en la pantalla del *SCADA*, se visualiza tanto la información procedente de otras mediciones como son caudal, presión etc., (que si llegan por los PLC), como la procedente del Arduino, con la medición del nivel de tanques en Palatino.

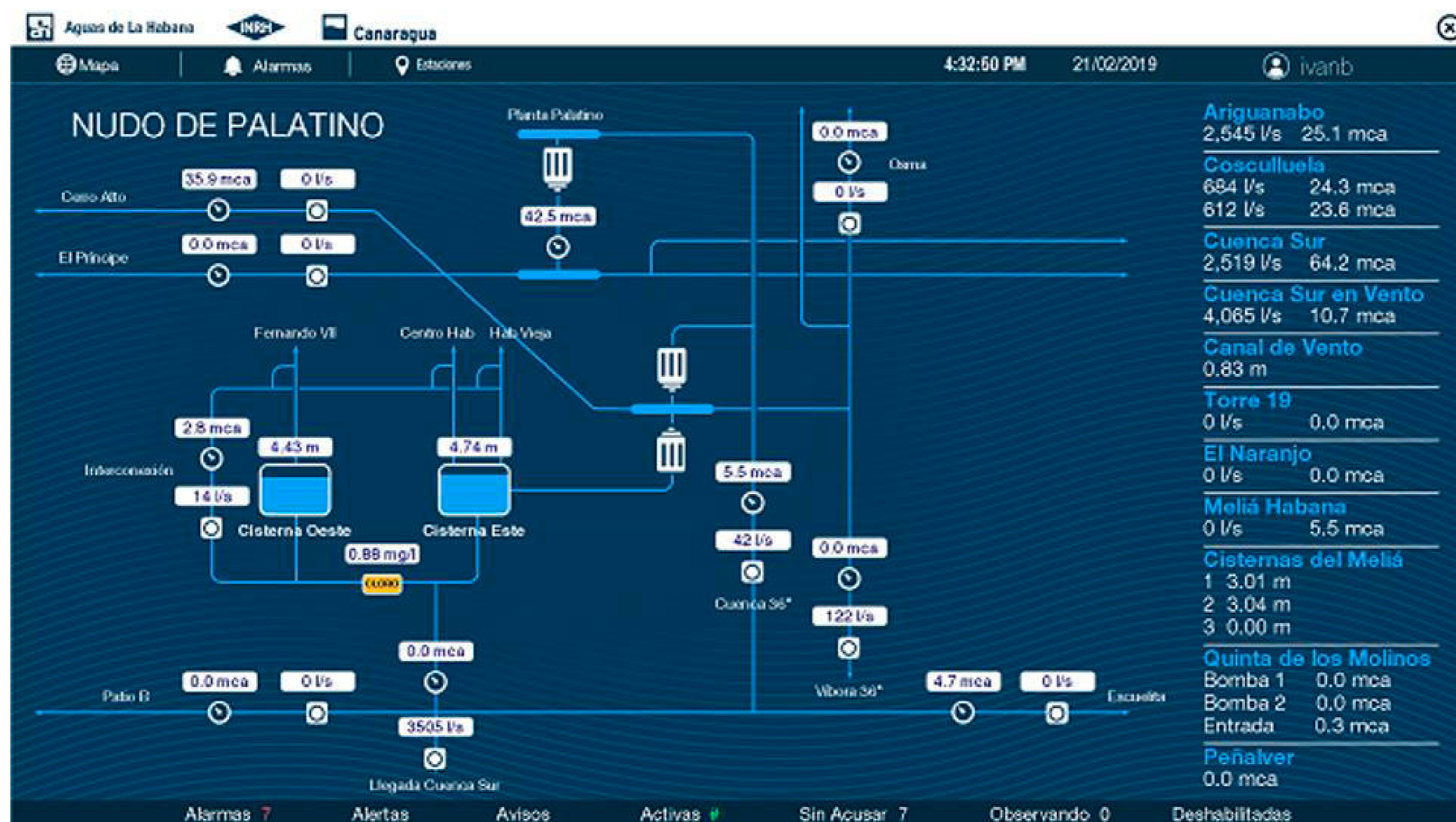


Figura 10. Sistema en funcionamiento, Scada.

Para obtener el valor del sensor HC-SR04 se utilizó la documentación disponible del mismo. Al valor obtenido hay que realizarle ajustes, ya que lo que se obtiene es la distancia a la que está el agua, no el valor de llenado directamente, pero como se conoce la altura a la que está suspendido el sensor, se puede calcular el nivel del agua. La fórmula empleada (ver fórmula 1) para la medición del sensor es:

$$Nt = 6-d$$

Fórmula 1. Fórmula para calcular el nivel del agua empleada. Fuente: Desarrollo propio.

Donde:

- Nt : nivel de tanque, representado en metros.
- 6 : constante que representa la altura a la que está ubicado el sensor, siendo esta al mismo tiempo el borde superior del tanque o piscina. 6 representa el llenado máximo que puede tener el tanque.
- d : distancia que marca el sensor. Representa la distancia entre el sensor y el agua.

Para el caso de la distancia (d) (ver fórmula 2) se obtiene de la emisión de un pulso infrarrojo y el tiempo de demora en que retorna al sensor. Vale aclarar que esta fórmula es exclusivamente para este tipo de sensores. En este caso la fórmula sería:

$$d = ((duración / 2) / 29) / 100$$

Fórmula 2. Fórmula para calcular la distancia a la que se encuentra el agua.

Para el cálculo de la temperatura ambiente se utiliza el sensor LM35, donde a través del *pin* de salida (*pin*, en la fórmula) se puede determinar su conversión a grados Celsius. Es importante señalar que esta fórmula solo es aplicable a este tipo de sensores. Ver fórmula 3.

$$T = (5.0 * pin * 100.0) / 1024.0$$

Fórmula 3. Fórmula para calcular la temperatura ambiente.

ACTUALIDAD Y NOVEDAD

La solución desarrollada se considera muy novedosa, ya que este tipo de soluciones sobre IoT y comunicación M2M, son novedosos internacionalmente, más aún en Cuba, que por sus condiciones no cuenta con muchas soluciones en este sentido y las pocas que puedan existir son compradas y desarrolladas en el exterior. Solo en el ámbito de las universidades con grupos de investigación, se logra tener algunas soluciones similares, pero el grueso de las empresas no cuenta con soluciones desarrolladas sobre arduinos, sensores, ni automatización de procesos con estos dispositivos. El uso del GPRS como vía de comunicación también es novedoso ya que en Cuba muy pocas empresas cuentan con este.

Solamente el concepto IoT surge entre los años 2008 y 2009 internacionalmente (Cendón, 2017). La empresa Aguas de La Habana está en la vanguardia en su uso. Soluciones de este tipo, para controlar el nivel de tanque con arduinos como complemento a PLC, vinculados con sistemas SCADA, que convivan al mismo tiempo arduinos y PLC, no se encontraron desarrolladas en Cuba.

VALORACIÓN ECONÓMICA

Disminución de los costos de implantación de Controladores: Actualmente los costos de adquisición de PLC para el control automatizado de los procesos en la empresa varían en función de sus características. Pueden llegar desde los 200 y tantos dólares como mínimo para modelos antiguos hasta los miles de dólares para modelos modernos de altas prestaciones.

La solución desarrollada, basada en Arduino, tiene un costo muy inferior como se puede apreciar a continuación:

Placa Arduino Uno: 7 dólares + Sensor HC-SR04: 5 dólares. + GSM GPRS Shield: 30 dólares.

Se realizó un estudio de factibilidad, donde se determinó, de forma resumida:

- **¿La solución es técnicamente factible?** Sí es técnicamente factible, ya que se cuenta con todos los recursos necesarios para su realización en la Empresa.
- **¿Es factible para el costo estimado?** Se considera que sí, ya que tiene muy bajos costos comparado con los precios de los PLC.
- **¿La solución será rentable?** Aquí se tomaron en cuenta varios factores ya que los PLC aunque son más costosos, son más robustos y tienen una vida útil larga. Los arduinos vienen preparados para durar hasta 100000 ciclos de escritura (@jecrespom, 2016), lo que escribiendo en esta memoria una vez cada minuto duraría casi 70 años. Por otra parte, sí son

más susceptibles a las fluctuaciones del voltaje, pero la empresa donde se ubicó, tiene protectores contra los mismos y la línea de alimentación del Arduino está protegida. Sumado a esto, las condiciones de aislamiento donde está ubicado hacen que resulte muy difícil su deterioro. Por las condiciones antes expuestas, entre otras, se decide utilizarlo ya que aun en el peor escenario donde el Arduino solo durara uno o dos años, aun así, daría resultados relacionados con costo/ beneficio. En la actualidad ya lleva operativo diez meses.

Con la instalación de placas Arduino como reemplazo de los PLC se ahorra mínimamente por cada uno \$160.00 USD. Esta cifra es para los modelos más antiguos y baratos, llegando para los más modernos a números alrededor de los \$1000.00 USD.

- **Fácil adquisición:** por sus bajos costes, la ausencia de leyes que prohíban su importación, tanto internas como externas, es muy fácil adquirirlas en el mercado internacional. Esto no ocurre con los PLC ya que el Bloqueo al que está expuesto nuestro país hace que sea muy difícil adquirirlos internacionalmente.
- **Ventajas:** al desarrollar y aplicar la solución planteada se obtiene una serie de ventajas importantes para la Empresa, las cuales la ubican en una mejor posición para brindar su servicio. Las ventajas más importantes son:
 - Independencia tecnológica: la solución desarrollada no depende de terceros.
 - Mayor adaptabilidad: la solución se hace justo a la medida de las necesidades.
 - Más económico: se reduce el costo del monitoreo del tanque -piscina en tiempo real.
 - Conocimiento generado al equipo de desarrollo: queda un conocimiento generado para futuras soluciones.
 - Gestión más eficiente de los recursos: hay ahorro de recursos por concepto de abaratar los costes de adquisición de controladores, reemplazando PLC por arduinos.

CONCLUSIONES

Se obtuvo una disminución de los costos de la implantación de un Arduino para el control del llenado de los tanques contra la vía que existía previamente de introducir un PLC, además de hacer muy fácil su sostenibilidad en el tiempo.

El *hardware* abierto, formado por una placa base con un microcontrolador y un entorno de desarrollo propio, es una tendencia tecnológica actual con varios sistemas desarrollados internacionalmente.

La solución basada en Arduino y protocolo de comunicación MQTT, convive con otros PLC y suministra información al SCADA de la Empresa, abaratando el costo de recibir esta información, con una durabilidad aceptable.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Aguas de la Habana, al colectivo de trabajadores tanto informáticos como automáticos que estuvieron presente en la realización de la solución.

REFERENCIAS

- Naylampmechatronics. (2016). Sensor Ultrasonido HC-SR04. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>
- Arduino. (2019). Language Reference. Recuperado de <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- Mosquitto. (2018). Mosquitto. Recuperado de <https://mosquitto.org/>
- Castro, J. (2015). La importancia de la información para la toma de decisiones en la empresa. Enero 16, 2017, de *Blog Corponet*. Recuperado de <http://blog.corponet.com.mx/la-importancia-de-la-informacion-para-la-toma-de-decisiones-en-la-empresa>
- Cendón, B. (2017). El origen del IoT. *Pensamientos y tecnología*. Recuperado de <http://www.bcendon.com/el-origen-del-iot/>
- Crespo, E. (2017) Aprendiendo Arduino. Sensores. Recuperado de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/sensores/>
- Estrada R. (2017) Qué es Arduino. Su historia e importancia. Recuperado de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/que-es-arduino/>
- Etecsa. (2015). Equipos que se comercializan. Telefonía móvil. Recuperado de http://www.etcসা. cu/telefonía_movil/equipos_que_se_comercializan/
- Gerber A. (2017) “Simplifique el desarrollo de sus soluciones de IoT con arquitecturas de IoT”.IBM. Recuperado de <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-lp201-iot-architectures/index.html>
- Guillen, A. (2016). Definición de IoT. DefiniciónABC. Recuperado de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/iot.php>
- Mcdonald, K. (2017). Extreme Programming. Agile Alliance. Recuperado de <https://www.agilealliance.org/glossary/xp/>
- Pérez E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*. vol. 28 no. 4. Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n4/0379-3982-tem-28-04-00003.pdf>
- Pérez, D., Guntin, Y., Alonso, Y., & Coello, J. (2008). METODOLOGÍAS ÁGILES.¿CÓMO DESARROLLO UTILIZANDO XP? *V Simposio de Ingeniería Industrial y Afines*. Facultad de Ingeniería Industrial, CUJAE. p.1-5. Recuperado de <http://ccia.cujae.edu.cu/index.php/siia/siia2008/paper/view/1174/246>
- Quiala R. Hernández F. & Perez A. (2019). “Liquid Level Monitoring System in Big Deposits”, *Ingeniería*, vol. 24, no.1, Jan. -Apr. 2019. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Ailen_Perez_Molinet/publication/331735312_Liquid_Level_Monitoring_System_in_Big_Deposits/links/5c8a498245851564fadd21c2/Liquid-Level-Monitoring-System-in-Big-Deposits.pdf
- Quintanilla, G. & Roberto Carlos. (2015). *Sistema digital para el control central del sistema eléctrico utilizando tecnologías Arduino y Android*. Tesis investigativa, ITCA-FEPADE CENTRO REGIONAL SANMIGUEL. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10972/3053>
- Santos, V. (2009). La industria del software. Estudio a nivel global y América Latina.

- Observatorio de la Economía Latinoamericana*. Recuperado de <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/la/09/vsh.htm>
- Rivero Leo, R. (2015) *Diseño de un PLC industrial usando hardware libre*. Tesis Ingeniería Industrial. Universidad Pública de Navarra.
Recuperado de <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/18085>
- Rodríguez, T. (2015). 20 años de Java. ¿En qué quedó el sueño de programar una vez, ejecutar en cualquier lugar? *XATACA*. Recuperado de <https://www.xataka.com/aplicaciones/20-anos-de-java-celebramos-su-tremenda-influencia-en-el-mundo-del-software-y-la-programacion>
- Rodríguez, Y & Pinto, M. (2014). *Modelo de uso de información para la toma de decisiones estratégicas en organizaciones de información cubanas*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España.
- Rosso, R. (2016). Android Studio. Uptodown.
Recuperado de <https://android-studio.uptodown.com/windows>
- Uculmana Matias, J. (2018) *Diseño de un sistema inteligente para optimizar el proceso de transacción con tecnología RFID en supermercados*. Tesis de Maestría, Universidad nacional del Callao, Perú. Recuperado de http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3922/Uculmana%20Matias_titulo%20maestria%20electronica_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vega, J., Martínez, L., Fernández, F., Duarte J., Caballero, F. & Gutierrez, G. (2018), Entorno de aprendizaje para la enseñanza de programación en Arduino mediado por una mano robótica didáctica. ISSN 0798 1015. Revista *ESPACIOS*.
Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a17v38n60/17386023.html>
- Vilanova, R. (2007). Sistemas SCADA. Dept. Telecommunication & Systems Engineering. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la UAB.
Recuperado de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/SAF/PDF/2007%20Sistemas%20SCADA.pdf>
- Yuan, M. (2017). Conozca MQTT. IBM. Recuperado de <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>
- @Jecrespom. (2016). Aprendiendo Arduino.
Recuperado de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/09/eeprom/>

