

Development of SCADA using a RTU based on IoT controller.

Karens Medrano, Denis Altuve, Kelman Belloso, Carlos Bran

Abstract—The use of SCADA systems in modern industrial processes represents a high cost to the industrial sector due to licensing payments, difficulty in connecting to RTUs from different manufacturers, support only for industrial communication protocols and limited scalability when using a structured database. In this work, a low cost SCADA system was developed, with the possibility of connecting to an RTU based on IoT technology that makes universal communication with field devices through TCP / IP and supported on a NoSQL database. We also evaluate its functionality on a traffic management process incorporating as semaphore field device, which demonstrates the versatility of the solution with response times comparable to those of any commercial alternative.

keywords—*Big Data; Human Machine Interface (HMI); Internet of Things (IoT); Remote Terminal Unit (RTU); Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA);*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector industrial se ve forzado a tomar decisiones orientadas al incremento de su productividad y flexibilidad. Para esto se hace necesario la supervisión y control de dispositivos desde un terminal remoto. En la actualidad una serie de factores están impulsando a que la industria adquiera un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition system). La adquisición de este software facilita en gran medida las labores de operación y mantenimiento, permitiendo mejoras en el rendimiento de la producción y por ende en gastos de mantenimiento.

La necesidad de un SCADA en las industrias no se discute, pero el principal inconveniente de este software es el alto costo de su licencia, mantenimiento, modificación de las pantallas de visualización y actualización. De esta forma se limita el acceso del software a compañías con un poder adquisitivo alto, esto se agrava debido a la adquisición de

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por USAID, bajo el proyecto de educación superior para el crecimiento económico bajo el convenio de donación No. 0214405-G-2018-002-00.

Karens Medrano, está en la Facultad de Estudios Tecnológicos, Universidad Don Bosco, San Salvador, El Salvador (e-mail: karens.medrano@udb.edu.sv).

Denis Altuve, está en el Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica, Universidad Don Bosco, San Salvador, El Salvador (e-mail: denis.altuve@udb.edu.sv).

Kelman Belloso, está en el Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica, Universidad Don Bosco, San Salvador, El Salvador (e-mail: luis.belloso@udb.edu.sv).

Carlos Bran, está en el Instituto de Investigación e Innovación en Electrónica, Universidad Don Bosco, San Salvador, El Salvador (e-mail: cbran@udb.edu.sv).

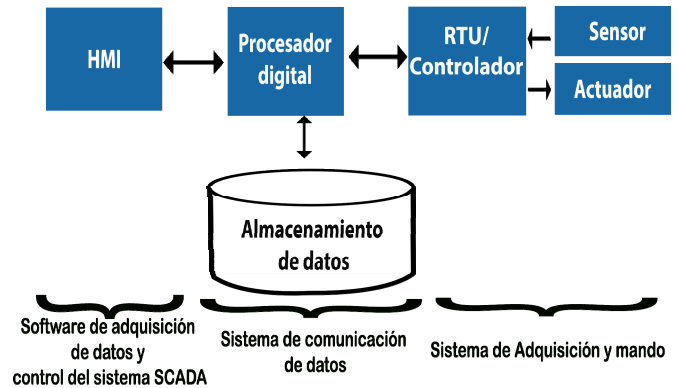


Fig. 1. Diagrama básico de un sistema SCADA.

otros elementos de fábrica del mismo proveedor cuyos costos también son elevados [1].

El software se instala en una computadora que sirve como una interfaz entre el proceso y el operador, este software es un elemento dentro de la arquitectura de un sistema SCADA. El esquema de un sistema SCADA actual contiene:

- Sistema de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de comunicación de datos.
- Software de adquisición de datos y control del sistema SCADA.

En la Fig. 1, se muestra el diagrama básico de un sistema SCADA, con sus diferentes componentes. Los sistemas SCADA sirven para monitorear el estado de las variables de un proceso (temperatura, presión, etc.) y controlar los actuadores (bombas, pistones, etc.) de forma remota [2]. Estos sirven para controlar los procesos de forma automática desde la pantalla de un ordenador que es configurado por el usuario y puede ser modificado con facilidad [3].

El surgimiento de nuevas tecnologías, ha obligado a que los sistemas SCADA clásicos incorporen, dispositivos IoT, Big Data y servicios en la nube [4]. Esto ha provocado su evolución para obtener sistemas que logren reducir costos en su infraestructura [5]. A estos sistemas se les conoce como SCADA de cuarta generación [6], los cuales vienen a incrementar la accesibilidad, eficiencia en los costos, flexibilidad, escalabilidad y disponibilidad del sistema. La incorporación de la tecnología IoT en un sistema SCADA convencional permite complementar el enfoque de monitoreo y el control de datos. El enfoque de IoT está firmemente centrado en el análisis de datos de la máquina para mejorar su productividad e impactar su línea superior.

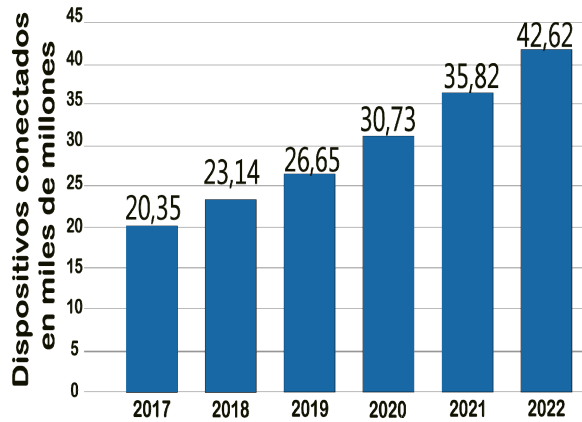


Fig. 2. Proyección en el uso de los dispositivos IoT a nivel mundial. Gráfica tomada de portal de estadística Statista.

Actualmente se necesita que los RTU tengan la capacidad de comunicación con tecnologías inalámbricas como el wifi y redes celulares de segunda, tercera y cuarta generación. Estas tecnologías las incorporan diferentes dispositivos IoT. Adicionalmente, a nivel mundial se está incrementando la cantidad de dispositivos conectados a Internet [7]. En la Fig. 2, se muestra que en la actualidad se disponen de 23.14 billones de dispositivos conectados.

En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema utilizando dispositivos IoT como unidades de adquisición y control remoto, lo cual implica que los dispositivos IoT tendrán la función de un RTU. Nuestro sistema en desarrollo permitirá adaptarse a un proceso industrial [8], domótica, sistemas de seguridad contra incendio, gestión de tráfico por medio de la implementación de semáforos inteligentes, etc. Se pretende que nuestro sistema sea una alternativa de bajo costo que pueda coexistir o funcionar de manera independiente en un proceso utilizando los controladores propuestos en este trabajo.

Los sistemas comerciales que utilizan dispositivos IoT tienen el inconveniente de generar una inversión anual significativa para las industrias que los utilizan en concepto de licencias o renovación de las mismas.

En América Latina se han realizado investigaciones similares al desarrollo de nuestro sistema, enfocadas a las redes de sensores. Ejemplos de ellos son el monitoreo de caudales en canales usando redes de sensores inalámbricos realizado en Chile [9] y el desarrollo de una red de sensores y control de un sistema de generación de vapor solar térmico en Argentina [10]. En Europa, e.j. Grecia, se han realizado investigaciones sobre la arquitectura y el desarrollo de la Internet Industrial de las Cosas (IIoT del inglés Industrial Internet of Things) [11]. Sin embargo, estos trabajos se aplican al monitoreo de procesos específicos. Es importante destacar que lo innovador de nuestra propuesta, es la capacidad de adaptarse a diversos tipos de procesos por medio del software desarrollado por nosotros.

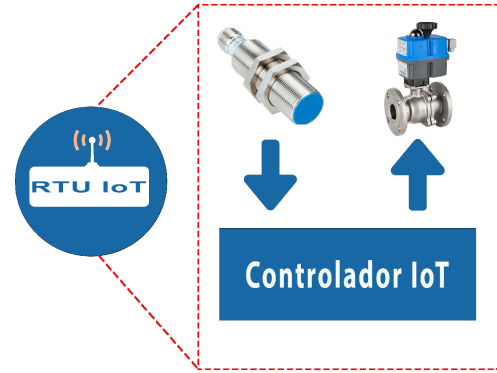


Fig. 3. Representación de los RTU inalámbricos conteniendo un controlador IoT y su conexión con sensores y actuadores.

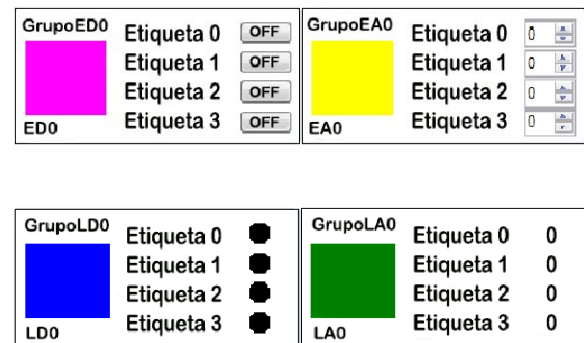


Fig. 4. Esquema de objetos de escritura, lectura digital y analógica de sistema SCADA.

II. DISEÑO DE CONCEPTO Y MODELO FUNCIONAL

A. Hardware de la solución propuesta

El circuito desarrollado para la comunicación con el SCADA comprende el uso de controladores con acceso a telefonía celular y/o conexión Wi-Fi bajo el protocolo TCP/IP [12]. Los datos adquiridos por los sensores se envían a través de una red inalámbrica hacia el SCADA. Se ha utilizado el proceso en capas de seguridad propias de la tecnología en uso. Adicionalmente existen circuitos que permiten adaptar los niveles de energía de la señal medida para evitar dañar el controlador. En la Fig. 3, se muestra un esquema de sensor y actuador conectados a un controlador IoT que funciona como RTU inalámbrico en nuestro sistema.

B. Software desarrollado en la solución

Nuestro software viene a cubrir un hueco entre los terminales HMI propietarios y las costosas soluciones de licencia SCADA, ofreciendo una experiencia más intuitiva al usuario, reduciendo errores en tiempo de ejecución y mejorando los tiempos de respuesta ante eventos inesperados e incidentes.

Nuestro software desarrollado en esta investigación, puede adquirir datos, desde la lectura de señales analógicas y digitales, provenientes de los sensores y almacenar los datos en la base de datos de tipo Big Data [13]. Nuestro software se encarga de interactuar con el usuario para crear, modificar y administrar los objetos por medio de variables analógicas y digitales para lectura y escritura. En la Fig. 4 se muestran los



Fig. 5. Ventana para configurar el controlador dentro del sistema.

objetos a configurar en el sistema para interactuar con los sensores y controladores. El usuario puede configurar estos objetos, reemplazando los componentes de colores por una imagen del controlador o sensor del dispositivo con el cual se va trabajar.

La forma de trabajo de los objetos dependerá del tipo de señal, al mismo tiempo podrá personalizar los nombres de controles y cambiar las etiquetas por un nombre más significativo para el trabajo que está realizando. En la Fig. 5 se ilustra la ventana de configuración del dispositivo en el software. Se requiere tener un ID y un Token proveniente del dispositivo IoT, además del ingreso de las variables utilizadas para visualización o control dentro del mismo.

La implementación de un sistema con controladores IoT, nos brinda un método para mejorar la interconectividad entre elementos de campo y aplicaciones. Minimiza la enorme variedad de protocolos de accesos (controladores o drivers de comunicación), creando un nuevo estándar orientado al modo de intercambio de datos, independientes de la tecnología utilizada para hacerlo. Esto permite una reducción de costos, debido a que cada driver se deberá escribir de una sola vez en el sistema. Además nos permitirá monitorear de forma local y remota los procesos, que son monitoreados y administrados desde cualquier computadora que tenga instalado el sistema y tenga una conexión a internet, permitiendo a las personas trabajar en una emergencia de forma remota.

En la parte de seguridad y administración se contará con niveles de acceso. Sólo los usuarios registrados podrán ingresar al proyecto creado.

III. SISTEMA DE COMUNICACIÓN CON RTU

El sistema incluye elementos de comunicación entre las estaciones de monitoreo y los controladores/actuadores

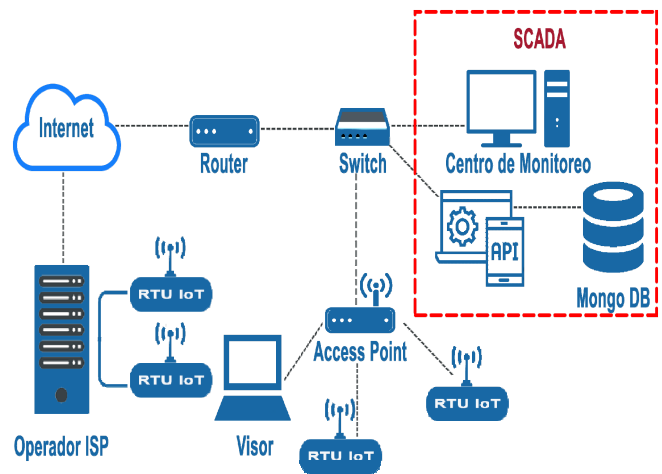


Fig. 6. Modelo de comunicación del software SCADA con los RTU.

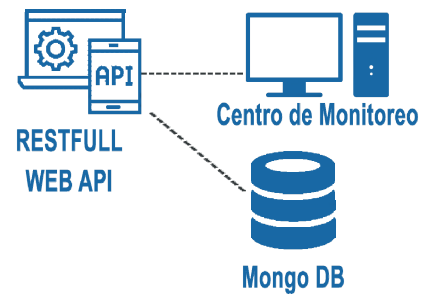


Fig. 7. Esquema del modelo de almacenamiento en la base de datos.

instalados en los equipo. Usualmente este enlace se compone de elementos de hardware y software, los cuales nos permiten tener una conexión inalámbrica a través de protocolos. En la Fig. 6 se muestra el modelo de comunicación de SCADA con los RTU.

IV. BASE DE DATOS

El sistema se encarga de almacenar la información de los procesos productivos en una base de datos tipo Big Data. Esto permite una gestión e intervención eficaz con un tiempo de respuesta rápida, dando una posibilidad de almacenar una gran cantidad de datos y conectarse con miles de sensores.

La obtención y almacenamiento de una gran cantidad de información brindada por los sensores a través de los RTU, permiten realizar el análisis de datos, observar el funcionamiento de los procesos y tomar decisiones que permitan optimizar el proceso en ejecución.

El sistema envía datos de los sensores y actuadores a una base de datos NoSQL a través de una Restful Web API [14]. En la Fig. 7 se muestra el esquema del modelo del almacenamiento de información en la base de datos.

Nuestro sistema, al ser implementado con un módulo de almacenamiento de datos con Big Data le dará a las industrias múltiples beneficios por ejemplo se podrá realizar una integración con módulos de Business Intelligence [15].



Fig. 8. Esquema de semáforo inteligente conectado con SCADA.

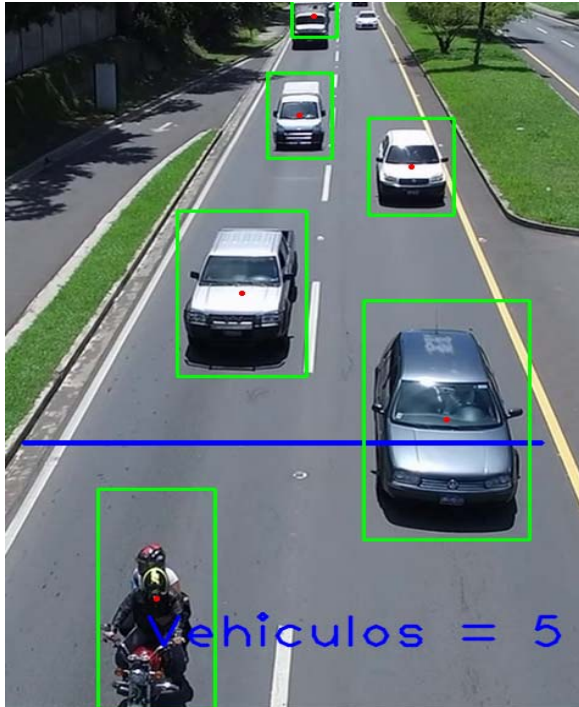


Fig. 9. Conteo de vehículos a través del algoritmo, analizando imagen captada por el sensor de visión, prueba realizada en Autopista Este Oeste (Carretera de Oro).

V. APLICANDO EL SCADA DESARROLLADO EN LA AUTOMATIZACIÓN DE SEMÁFOROS.

Descrito el funcionamiento y configuración de nuestro sistema SCADA, se procede a realizar la implementación mediante una aplicación básica que demuestre el funcionamiento del mismo al monitorear un grupo de semáforos convencionales. La aplicación consiste en que se tienen varios dispositivos que se comunican entre sí mediante una red. Se tomó un semáforo convencional y se le incorporó una cámara de video, sensores y un controlador IoT (RTU) como elementos de hardware, obteniendo así un semáforo inteligente [16]. La Fig. 8, muestra el esquema de conexión del sistema SCADA con el semáforo y el sensor de visión, este sensor es capaz de realizar el conteo de automóviles utilizando las librerías de OpenCV [17] y enviar la información recibida a nuestro sistema SCADA.

Este sistema puede ser aplicado a semáforos de una región en una ciudad. De este modo tras conocer los datos numéricos

TABLA I
CONTEO DE VEHÍCULOS

Prueba	Tiempo de duración de prueba(s)	Número de Vehículos (Conteo manual)	Número de vehículos obtenidos por sensor de visión	Error (%)
1	26	10	10	0.0
2	29	22	19	13.64
3	33	44	18	59.09

Se compara el número de vehículos contados manualmente, contra el conteo de vehículos del sensor de visión; s = segundos, % = porcentaje de error



Fig. 10. Objeto gráfico del software SCADA para el monitoreo de luces de un semáforo.

de las calles y carreteras desde el SCADA se puede ajustar el tiempo de duración de las luces del semáforo. Facilitando de esta forma el tránsito por la zona tanto para viandantes como para automóviles.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

El software SCADA se desarrolló utilizando un lenguaje de alto nivel, capaz de detectar señales de cualquier tipo de sensores analógicos o digitales utilizando un RTU con tecnología IoT.

Para las pruebas se utilizó un semáforo al cual se le colocó una cámara como sensor de visión. A través del RTU se envía la información de forma inalámbrica a nuestro sistema, para monitorear la densidad y flujo vehicular. La Fig. 9 es una fotografía que muestra los autos contabilizados por el algoritmo desarrollado.

En la Tabla 1, se muestran los datos de conteo vehicular obtenidos en tres pruebas realizadas, con sus respectivos intervalos de tiempo. La prueba 1 se realizó con un dron a 2.7 m de altura y en un tramo de carretera donde la velocidad máxima de los vehículos era de 60 km/h. La prueba 2 se realizó con el dron a una altura de 10 metros sobre la misma carretera de la prueba 1. La prueba 3 por su parte se realizó con el dron a 2.3 m del nivel del piso en una carretera con límite de velocidad de 90 km/h donde los vehículos circulan en un rango de 70 a 90 km/h. La prueba 1 nos brindó los mejores resultados, la prueba 2 se ve afectada por la ubicación de la cámara y los resultados de la prueba 3 evidencian que la alta velocidad de los vehículos afecta la identificación de los vehículos, incrementado así el error en el conteo. Estos resultados evidencian que estos tipos de sistemas podrían tener su mejor aplicación en ciudades.

El objeto gráfico utilizado para monitorear el semáforo inteligente a través de la información enviada por el RTU hacia el software SCADA, se muestra en la Fig. 10.

La conexión ha sido todo un éxito, y logramos enviar y recibir datos de los sensores y actuadores. Estos se pueden

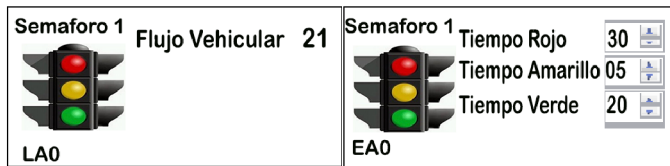


Fig. 11. Izquierda: Controlador de entrada analógica para enviar cambios de tiempo al semáforo. Derecha: Controlador de lectura analógica para mostrar datos de flujo vehicular, captados por el sensor de visión.

manipular desde nuestro software SCADA. Los datos de tiempo de las luces y conteo de vehículos del semáforo, se visualizan a través del sistema por medio de controladores, donde el tiempo de las luces de color rojo, verde y amarillo pueden ser modificadas y los datos del sensor de visión pueden ser representados. La Fig. 11 muestra los controles creados dentro del software SCADA para el control de tiempo y flujo vehicular.

Las pruebas realizadas presentan un retardo en el orden de los milisegundos en la visualización de flujo vehicular y el cambio del tiempo de duración de los colores del semáforo.

La Fig. 12 muestra la ventana principal del software SCADA. Está contiene objetos gráficos para el monitoreo y control de los dispositivos remotos.

Es claro que no tiene sentido que un semáforo funcione de la misma manera todo el tiempo, ya que el tráfico nocturno no es el mismo que el diurno y tampoco es igual en verano que invierno. Tomando en cuenta estos factores el software SCADA que hemos desarrollado brinda al operario la facultad de poder ajustar los tiempos del semáforo de forma remota según las necesidades.

Nuestro sistema SCADA con IoT, permite que nuestro software no esté ligado a un hardware específico.

El almacenamiento de la data obtenida es enviado a la base de datos a través de una API-REST. Esto nos permite aumentar la escalabilidad de nuestro software, nos brinda la oportunidad de analizar los datos y saber la congestión de tráfico en las rutas de transporte. Todo es de gran ayuda para el diseño de ciudades inteligentes [18].

Al inicio de este trabajo el software SCADA se desarrolló como una aplicación para interpretarse en un navegador web, tomando un lenguaje interpretado en el cliente que permitiera obtener una respuesta rápida para el usuario. Sin embargo, se determinó que un software SCADA debe:

- Trabajar con varios escenarios simultáneamente.
- Manejar y almacenar los datos del proceso de forma externa.
- Asegurar que la data no se pierda si el sistema donde está alojado sufre algún tipo de daño quedando inoperativo el sistema.
- Permitir el ingreso de los usuarios desde cualquier máquina que tenga instalada la aplicación.

Debido a todos estos factores se tomó la decisión de migrar la aplicación web a una aplicación de Escritorio (aplicación instalable en el ordenador) que nos permitió tener un software más estable.

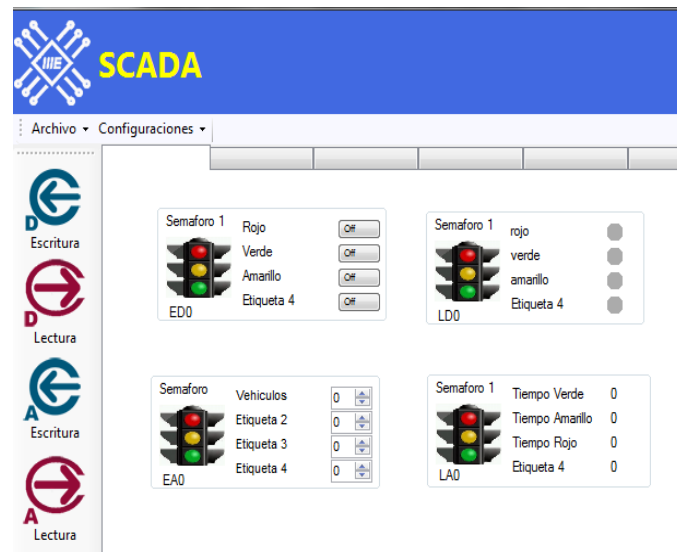


Fig. 12. Software SCADA mostrando 4 objetos para monitoreo de cambio de luces, cambio de tiempo y flujo vehicular.

VII. CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

En este trabajo se diseñó e implementó un sistema SCADA que es capaz de monitorear las cantidades de vehículos en la ubicación de los semáforos y el estado de las luces. Nuestro software permite al operario modificar el tiempo de accionamiento de las luces manualmente o de forma automática por medio de un algoritmo.

La aplicación de nuestro sistema SCADA, en semáforos inteligentes, podría mejorarse utilizando redes neuronales e inteligencia artificial introduciéndolos en el área de Machine Learning [19].

Nuestro sistema SCADA desarrollado es una solución con capacidad de comunicación estandarizada con TCP/IP, siendo una aplicación liviana de bajo costo, con gran escalabilidad al usar una base de datos NoSQL. El sistema tiene la capacidad de conexión con otras soluciones existentes para Business Intelligence, con lo que las industrias integradoras pueden expandir los servicios y prestaciones de sus soluciones.

Dada la experiencia ganada en el trabajo con un semáforo, sostenemos que puede ser factible aplicarse en otras áreas para la gestión de procesos industriales, así como gestionar parques públicos, alumbrado público, gestión de transporte, gestión de aguas, etc.

REFERENCIAS

- [1] J. Herrera, M. Barrios and S. Pérez, "Design and implementation of a wireless scada system by means of zigbee and arduino technology", *Prospect*, Vol 12, N° 2, pp. 65-72, Jul./Dec., 2014.
- [2] Stuart A. Boyer, "SCADA-Purpose, elements, and layout," in *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition*, 4th Ed., North Carolina, ISA, 2009, pp. 31-37.
- [3] Aquilino Rodríguez Penín, "Sistemas de visualización industrial" in *Sistemas SCADA*, 3th Ed., Barcelona, España: S.A. MARCOMBO, 2011, pp. 448.
- [4] Lourdes Santos Martínez and Eduardo Hanoi Otero. "Impacto De Algunas Tecnologías En El Desarrollo De Los Sistemas Scada", *Universidad, Ciencia y Tecnología*, Vol 9, N° 36, pp. 217-221, Dec., 2005.

- [5] S. S. Shah, Sanket Raut, Dipak Jagdale, Amar Khatmode and Hajrat Patil, "IoT Based Industrial SCADA System," *IRJET*, vol. 4, no. 4, pp. 2432-2435, Apr. 2017.
- [6] Koushik, Ashish and BS, Rashmi, "4th Generation SCADA Implementation for Automation," *IJARCCCE*, vol. 5, no. 3, pp. 629-631, Mar. 2016.
- [7] A. Shabani, S. P. Shariatpanahi, V. Shah-Mansouri and A. Khonsari, "Mobility increases throughput of wireless device-to-device networks with coded caching," in *2016 IEEE ICC*, Kuala Lumpur, 2016, pp. 1-6.
- [8] I. Ungurean, N. Gaitan and V. G. Gaitan, "An IoT architecture for things from industrial environment," *2014 10th COMM*, Bucharest, 2014, pp. 1-4.
- [9] C. Christian, R. Ruiz and a. D. Rivera, "Monitoreo de Caudales en Canales Usando Redes de Sensores Inalámbricas," Presented at Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático, Chillán, CHILE, Dec. 2008.
- [10] T. Moya, J. Gogolino and D. Hoyos., "Red de sensores y control inalámbrica para un sistema de generación de vapor solar térmico," *ASADES*, vol. 14, no. 8, pp. 151-157, 2010.
- [11] Kosmas Alexopoulos, Spyros Koukas, Nikoletta Boli and Dimitris Mourtzis. "Architecture and development of an Industrial Internet of Things framework for realizing services in Industrial Product Service Systems". *Procedia CIRP*. Vol. 72, pp. 880-885, Jun., 2018.
- [12] A. K. Ramesh and M. Agarwal, "Low Power Interactive Operating System and SCADA Based Universal Wireless Gateway for Automation Using Cloud Technology," *2015 2nd ICISCE*, Shanghai, 2015, pp. 791-800.
- [13] K. Holley, G. Sivakumar and K. Kannan, "Enrichment Patterns for Big Data," *2014 IEEE BigData.Congress*, Anchorage, AK, 2014, pp. 796-799.
- [14] S. Ma, H. Lin, C. Yu and C. Lee, "Web API recommendation based on service cooperative network," *2017 ICASI*, Sapporo, 2017, pp. 1922-1925.
- [15] V. Zamudio, P. Zheng and V. Callaghan, "Intelligent Business Process Engineering: An Agent Based Model for Understanding and Managing Business Change," *2012 EICIE*, Guanajuato, 2012, pp. 141-148.
- [16] Lei Chai, Guojiang Shen and Wei Ye, "The Traffic Flow Model for Single Intersection and its Traffic Light Intelligent Control Strategy," *2006 6th WCICA*, Dalian, 2006, pp. 8558-8562.
- [17] J. Howse, "Training detectors and recognizers in Python and OpenCV," *2014 IEEE ISMAR*, Munich, 2014, pp. 1-2.
- [18] E. Mardacany, "Smart cities characteristics: importance of built environments components," *IET CFIC*, London, 2014, pp. 1-6.
- [19] R. Choudhary and H. K. Gianey, "Comprehensive Review On Supervised Machine Learning Algorithms," *2017 MLDS*, Noida, 2017, pp.37-43.