

Un nuevo sistema de realidad aumentada para la supervisión in situ de maquinaria con sistema SCADA

A new augmented reality system for the in situ supervision of SCADA-based machinery



Jesús Gimeno¹, Sergio Casas¹, Cristina Portalés² y Marcos Fernández¹

Universitat de València. Departamento de Informática¹ e IRTIC² (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8738>

El acrónimo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) define un protocolo software que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia, siendo ampliamente utilizado en distintos entornos como en industrias cementeras [1], petrolíferas [2], textiles [3], centrales térmicas [4], etc. Este protocolo está pensado para facilitar la retroalimentación en tiempo real con sensores y actuadores, de forma que el proceso se pueda controlar automáticamente. SCADA recoge toda la información que se genera en el proceso productivo y la almacena en un servidor central, permitiendo su gestión e intervención. Adicionalmente, para permitir que la información sea accesible a los operarios y otros actores *in situ*, el servidor puede enviarla a una web o incluso a dispositivos móviles.

Los beneficios de utilizar SCADA son múltiples. Por ejemplo, permite obtener una retroalimentación en tiempo real, contribuye a la automatización del control de los procesos, permite la detección precoz de errores y permite hacer diagnósticos del estado de las máquinas y los procesos. Todo ello ayuda a mejorar la productividad y la eficiencia de los procesos industriales.

En cuanto al proceso de control y supervisión *in situ*, existen diversas limitaciones que dificultan dichos procesos, con la consiguiente pérdida económica asociada, tanto por incrementar el tiempo que los operarios dedican al proceso, como por reducir la productividad ante posibles fallos del sistema. Estas limitaciones se deben principalmente a una fal-

ta de relación directa entre el elemento del entorno real (sensor, actuador, etc.) y su representación/indicador en el dispositivo móvil que visualice los datos SCADA, en caso de que exista. De este modo, por ejemplo, el operario debe primero identificar la zona donde se ha producido una alarma, a continuación identificar el sensor o actuador que ha propiciado dicha alarma, para finalmente identificar el elemento defectuoso.

Para subsanar esta carencia, presentamos una aplicación novedosa para el control y supervisión *in situ* de procesos industriales, permitiendo la carga y visualización de datos sobre elementos reales mediante la tecnología de Realidad Aumentada (RA). La RA es una tecnología transversal ya que es aplicable en múltiples áreas de conocimiento, incluyendo la educación/docencia, entretenimiento, patrimonio cultural, turismo, medicina/salud, ingeniería, etc. El término RA fue acuñado por Caudell y Mizell [5] para describir una pantalla utilizada por técnicos electricistas de aviones que mezclaba gráficos virtuales con la realidad física. Actualmente, se sigue la definición de Azuma [6], que identifica los sistemas de RA como aquellos que simultáneamente: 1) combinan objetos reales y virtuales; 2) son interactivos en tiempo real y 3) están registrados en 3D.

Pese a las múltiples aplicaciones de RA encontradas para procesos industriales (ver material suplementario), el uso de éstas en combinación con sistemas SCADA no se ha explorado lo suficiente, existiendo muy pocos ejemplos de éxito. Por ejemplo, Soete [7] explora las oportunidades de complementar los sistemas SCADA con sistemas de realidad mezclada. Se basa en un sistema de visualización SCADA mejorado y una herramienta de supervisión basada en RA. En este caso, los mismos autores apuntan la necesidad de mejorar su sistema mediante el uso de dispositi-

vos móviles. Antonijević [8] describe un sistema de RA para la automatización de subestaciones utilizando la comunicación IEC-61850, el cual muestra datos aportados por un sistema SCADA. Para cargar los datos se utilizan códigos QR (*Quick Response Code*). Sin embargo, estos códigos se utilizan también para el registro 3D del usuario en tiempo real mediante las bibliotecas ARToolKit. Aunque los autores prefieren esta solución porque los códigos QR pueden embeber más información que los marcadores tradicionales, el uso de estos códigos también introduce limitaciones en cuanto al registro. Dado que los códigos QR son más detallados que los marcadores de RA, para que el registro 3D se realice de forma adecuada los códigos QR deben ser lo suficientemente grandes, limitando el rango y el campo de visión de la aplicación. Otros trabajos apuntan a la posibilidad de integrar sistemas de mantenimiento o supervisión *in situ* de RA con SCADA, pero sin aportar una herramienta finalizada [9,10].

En este artículo, por un lado, presentamos una herramienta de edición para crear paneles virtuales genéricos asociados a maquinaria; por otro lado, presentamos una aplicación móvil basada en un sistema dual de visión por computador (carga de información y registro 3D en tiempo real) para realizar el trabajo *in situ*. Como caso de uso, mostramos su aplicabilidad en una estación depuradora de aguas residuales. Nuestro desarrollo elimina por completo las limitaciones encontradas en los procesos de control y supervisión *in situ* mediante aplicaciones más convencionales, debido a las múltiples ventajas que la RA proporciona, principalmente, una alta vinculación del entorno virtual con el real.

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La aplicación aquí presentada constituye un caso de éxito para la reparación y supervisión de maquinaria con sistema SCADA. Presentamos tanto la implementación de una herramienta de edición que permite crear paneles virtuales genéricos asociados a maquinaria SCADA, como la implementación de una aplicación móvil para realizar el trabajo de inspección o mantenimiento *in situ* de una o varias máquinas SCADA concretas, con dos tipos de

marcadores diferentes: código QR y marcador de RA, ver Fig. (1). La aplicación móvil hace uso de los paneles virtuales creados desde la herramienta de edición, de forma que es capaz de mostrar mediante RA esos paneles virtuales (con información real proporcionada por el sistema SCADA) sobre las propias máquinas reales, que habitualmente carecen de indicadores, para conocer y controlar su estado.

En la Fig. (1) se muestra un esquema que relaciona ambos desarrollos, donde se distinguen cuatro elementos: máquina SCADA (a supervisar), dispositivo móvil cliente, servidor y editor. El editor es el encargado de crear los paneles virtuales y relacionarlos con las señales SCADA, por medio de la herramienta de edición propuesta. Los paneles creados se almacenan en el servidor que, por medio de servicios web, gestiona la información de dichos paneles y el acceso al sistema SCADA, de forma que el cliente móvil obtiene tanto la definición de los paneles, como los valores generados por el sistema SCADA, de dicho servidor. Cada máquina supervisable incorpora dispositivos OPC (OLE for Process Control) encargados de generar las señales SCADA. Cuando un usuario se encuentra frente a una máquina real, puede observar el panel virtual simplemente apuntando a los marcadores y ver la traducción de dichas señales a un panel con diversos tipos de indicadores (agujas, niveles, etc.).

El servicio web se ha implementado en Visual Studio .NET 2014 (C#, ASPX). Los datos de configuración residen en una base de datos que contiene, entre otros elementos, información sobre las variables a supervisar y el tiempo de sondeo (polling) de cada una de las señales (tiempo

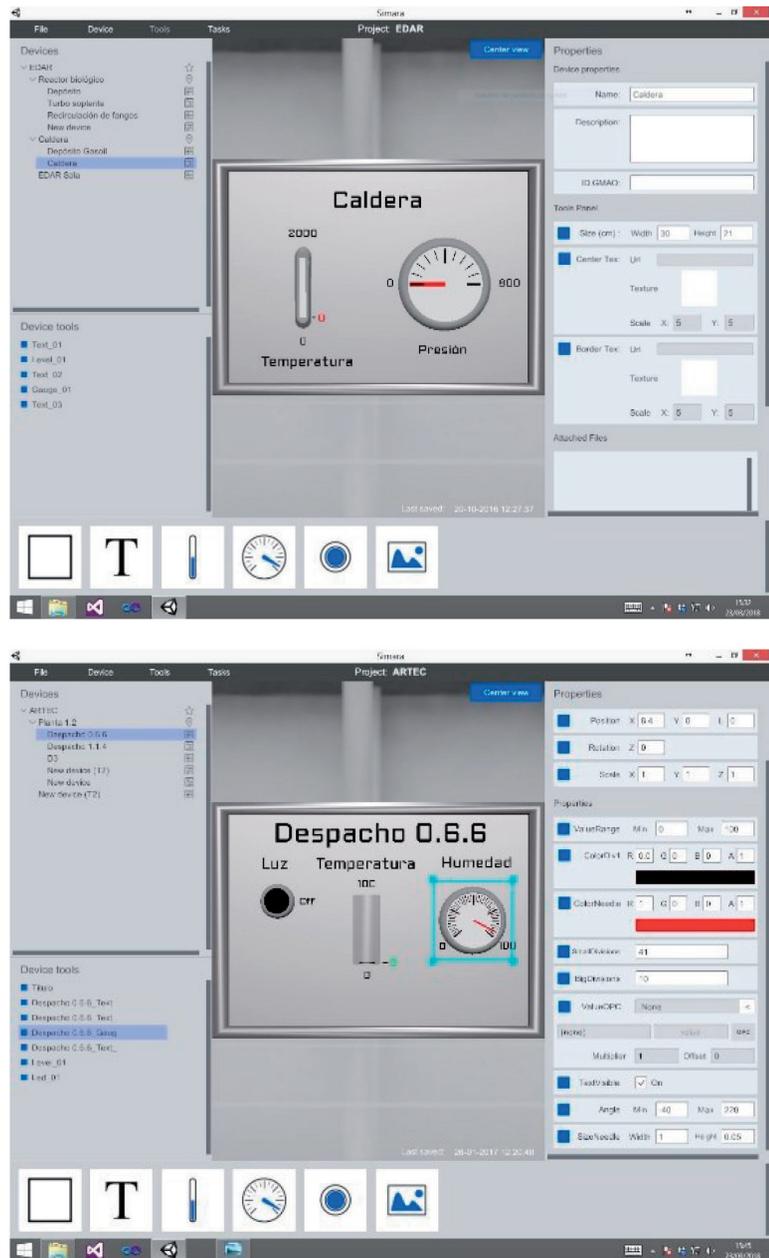


Fig. 2: Ejemplos de paneles virtuales realizados con la herramienta de edición. La imagen superior muestra un indicador de nivel para la temperatura (de 0 a 2000 °C) y un indicador de aguja para la presión. La imagen inferior muestra un botón para una luz, un indicador de nivel para la temperatura (de 0 a 100 °C) y un indicador de aguja para la humedad

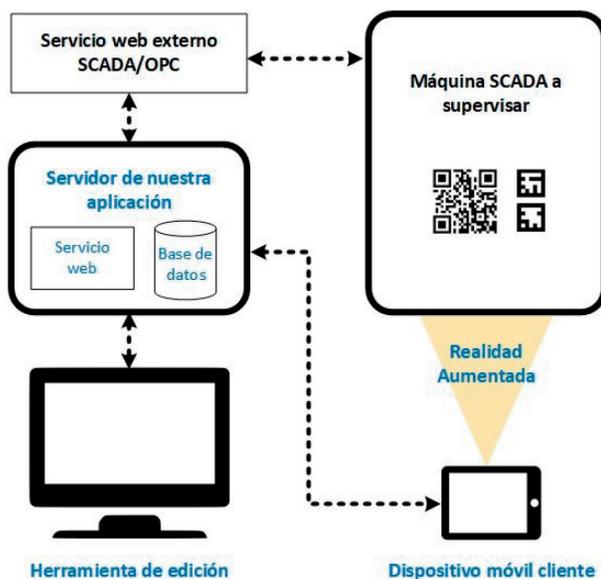


Fig. 1: Relación entre los componentes del sistema (en azul los elementos no pre-existentes aportados en este trabajo)

de refresco del valor de la señal). Cuando una aplicación móvil realiza una petición para obtener los valores de los indicadores del panel, el servicio web crea una consulta única con todas las señales presentes en el panel (dependiendo del tiempo de sondeo), de forma que se optimiza el número de peticiones al servidor SCADA. Los valores de las señales son procesados en el servicio web, actualizados en la base de datos y remitidos finalmente a la aplicación móvil. Los identificadores de cada una de las señales se almacenan en la base de datos en base a la configuración creada con la herramienta de edición.

1.1. HERRAMIENTA DE EDICIÓN

La herramienta de edición (conocidas como *authoring tools*) consiste en una

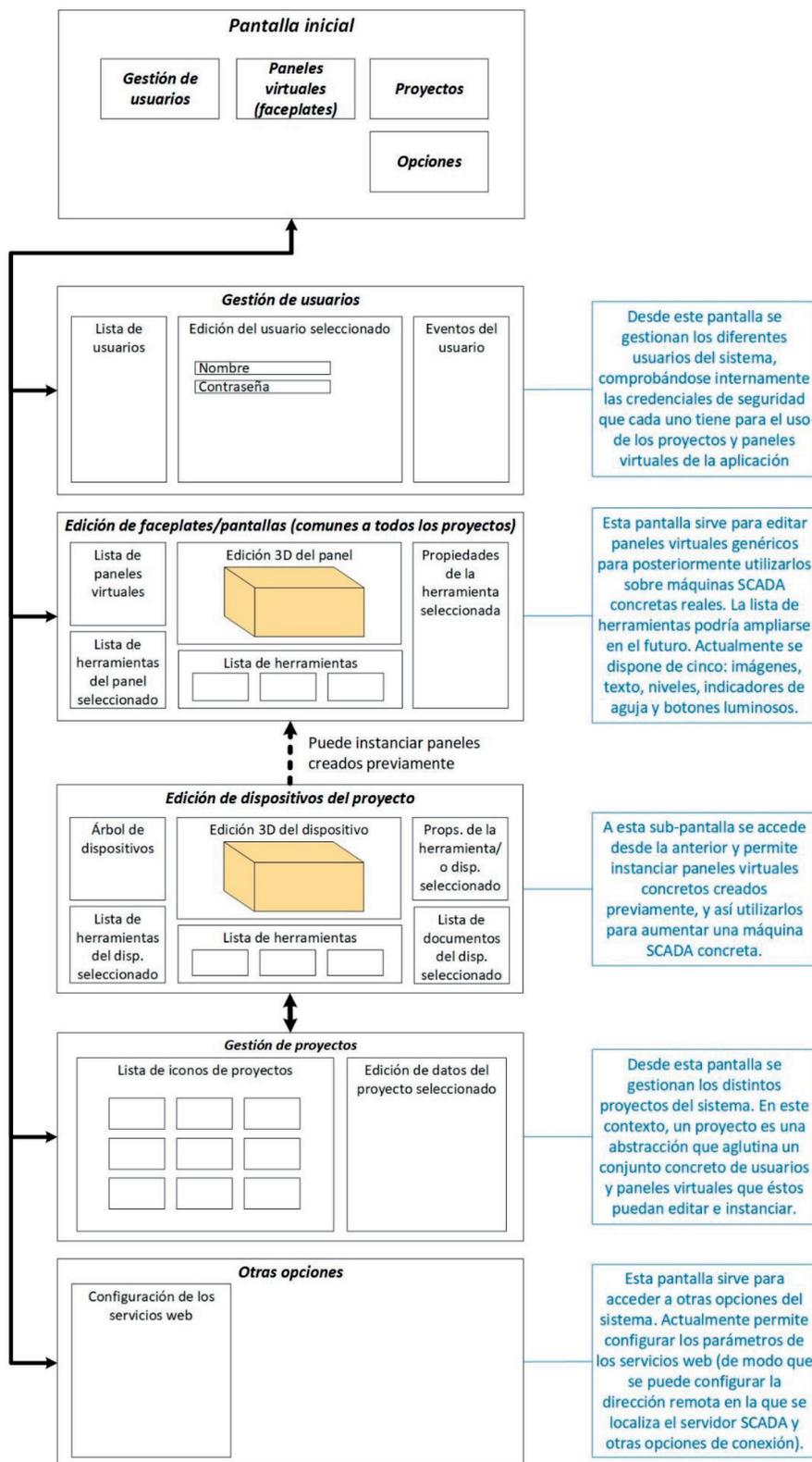


Fig. 3: Esquema básico de las pantallas disponibles en la herramienta de edición

aplicación de escritorio que permite la creación de paneles virtuales (denominados *faceplates*) asociados a maquinaria, de tal forma que el usuario pueda crear paneles sobre los que mostrar la información recogida por el sistema SCADA en tiempo real, tal y cómo la observaría en un panel de control tradicional. Por ejemplo, para una señal que indica la temperatura de 0 a 100 unidades, se puede colocar un nivel vertical que representa gráficamente

te dicho valor (Fig. (2)) de forma que el operario puede observar rápidamente el estado de la máquina.

La herramienta incorpora cinco tipos de controles: imágenes, texto, niveles, indicadores de aguja y botones luminosos. También incorpora una interfaz gráfica en la que el autor observa una representación visual del resultado final de la edición.

Todos los controles son configurables visualmente y pueden asociarse a señales

OPC, de forma que muestren o modifiquen el valor de dicha señal. En todos ellos se pueden aplicar formulas sencillas para ajustar el rango de los valores y se pueden crear rangos para generar diferentes salidas (por ejemplo, el color de un botón luminoso que pasa de verde a naranja y finalmente a rojo). Las señales OPC se asocian a los controles utilizando el nombre de dicha señal en el servidor OPC. Toda la edición se realiza *on-line* mediante peticiones al servicio web. Por lo tanto, la herramienta de edición actúa de manipulador de la información almacenada en el servidor. Gracias a esto, varios puestos pueden trabajar conjuntamente en la creación de los paneles virtuales, aunque se ha limitado el acceso concurrente al mismo panel.

La herramienta de edición se ha realizado mediante el entorno gráfico de desarrollo Unity 3D, de forma que gran parte de la implementación es reutilizable entre el editor y la aplicación móvil cliente. En la Fig. (3) se muestra un esquema de las pantallas a las que tiene acceso el usuario durante el proceso de edición. La pantalla principal da paso a cuatro pantallas diferentes: 1) "Gestión de usuarios", donde se gestionan los usuarios que tienen acceso a la información desde las aplicaciones móviles; 2) "Edición de *faceplates*" (pantallas comunes a todos los proyectos) donde se crean los paneles virtuales (Fig. (2)); 3) "Gestión de proyectos", donde se gestionan los distintos proyectos del sistema. En este contexto, un proyecto es una abstracción que aglutina un conjunto concreto de usuarios y paneles virtuales que éstos puedan editar e instanciar. Además, existe una quinta pantalla de "Edición de dispositivos del proyecto", a la que se accede a partir de la pantalla de "Gestión de proyectos" y mediante la cual se pueden instanciar *faceplates* creadas anteriormente.

1.2. APLICACIÓN MÓVIL

La aplicación móvil implementada tiene la finalidad de permitir el control y supervisión *in situ* de procesos industriales. Esta aplicación tiene la novedad, frente a otros trabajos anteriormente citados, de utilizar un sistema dual de visión por computador. Por un lado utilizamos códigos QR para identificar la máquina, de modo que mediante servicios web se pueda cargar información en tiempo real, generada por un sistema SCADA, sobre esa máquina. Por otro lado, utilizamos marcadores tradicionales de RA para, una vez cargados los datos, mostrar la información de forma aumentada sin restringir gravemente

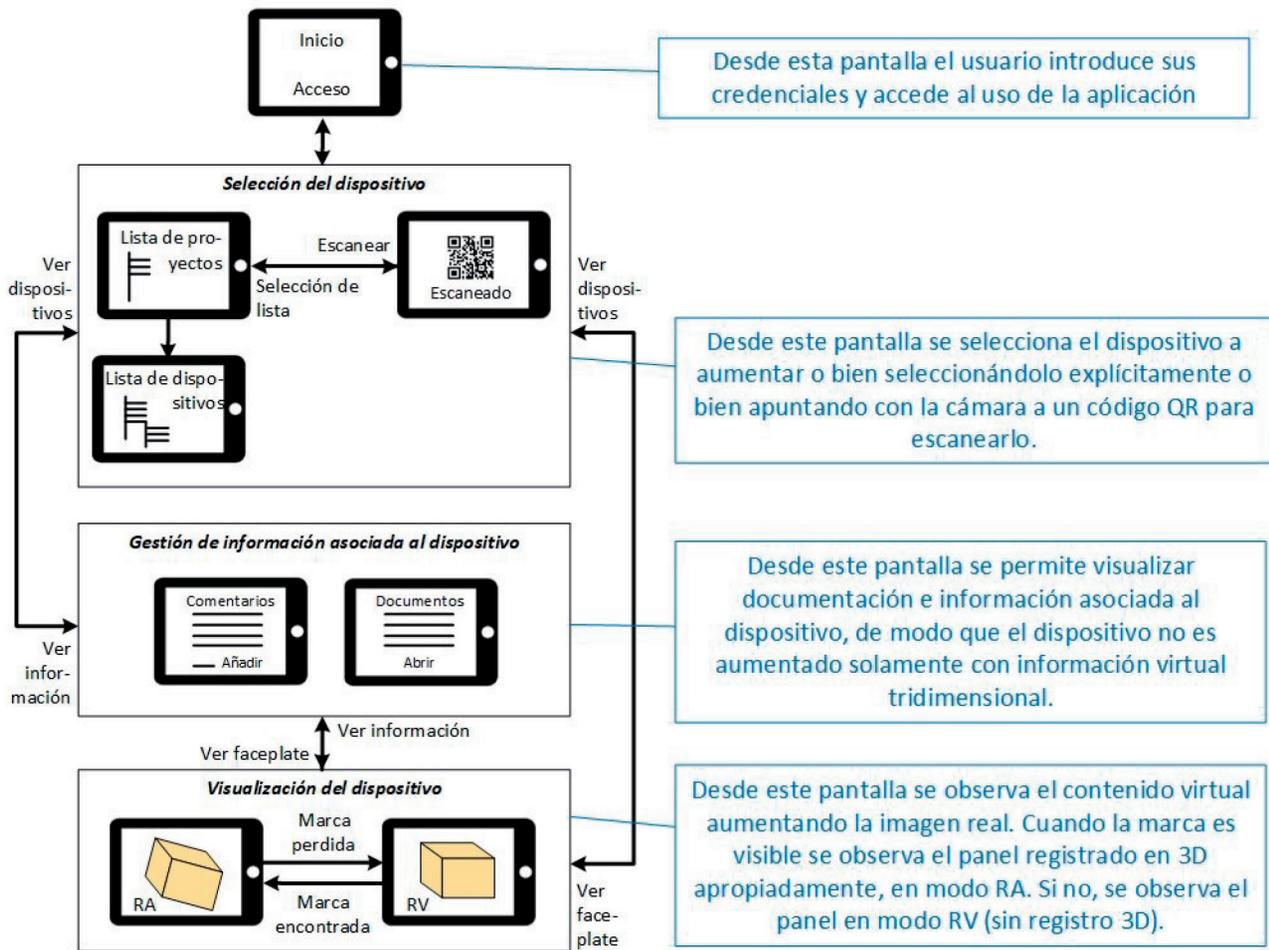


Fig. 4: Esquema básico de las pantallas disponibles en la aplicación móvil

la libertad de movimiento del usuario. De esta forma, los códigos QR pueden ser de pequeño tamaño ya que el usuario puede acercarse a ellos para leer la información. A continuación, el registro 3D se realiza con marcadores tradicionales de RA, con un tamaño incluso menor que los códigos QR sin la pérdida de registro que esto supondría en caso de utilizar dichos códigos. Además, en el proceso de control y supervisión, en caso de que se pierda momentáneamente la visión del marcador de RA, la visualización de la información no se pierde, sino que simplemente se muestra a modo de Realidad Virtual (RV), es decir, mostrando la información sin estar alineada con el mundo real, pero ofreciendo una visualización completamente entendible. En este modo de visualización el usuario puede modificar el tamaño y la posición del panel virtual utilizando la interfaz táctil como lo haría con cualquier imagen en un visor convencional, es decir usando dos dedos para hacer ampliación (zoom), uno para desplazar, etc.

En la Fig. (4) podemos ver un esquema básico de las pantallas disponibles. La primera es una pantalla de identificación en la que el usuario debe introducir

su usuario y contraseña. En función del usuario, el servicio web devuelve una lista de proyectos a los que éste tiene acceso. En cada proyecto el usuario obtiene una lista de los dispositivos virtuales, de forma que podría seleccionar manualmente un dispositivo para obtener y visualizar el panel virtual. En todo momento, tras la autenticación, se ofrece al usuario la opción de escanear un código QR y acceder directamente al panel virtual. Además, en cada panel los controles poseen un determinado nivel de acceso de forma que los usuarios con mayores privilegios pueden observar o accionar controles ocultos a los usuarios con menos privilegios. Una vez el usuario está visualizando un panel virtual, puede volver a las pantallas anteriores para seleccionar un panel diferente, o simplemente apuntar hacia un código QR, puesto que la identificación de los códigos QR se realiza continuamente. Esta detección continua tiene una doble función: facilitar el cambio entre dispositivos simplemente apuntando al código y nunca mostrar información de un panel erróneo por no haberlo seleccionado correctamente o haber olvidado el paso de escanear el código QR. Una vez identificada la máqui-

na se procede a visualizar la información o bien en modo RA si se observa la marca, o bien en modo RV si no. Además, la aplicación permite también mostrar información textual y documentos asociados a la máquina, de modo que se pueden asociar a la misma manuales, partes de mantenimiento, etc.

2. CASO DE USO

Aunque las herramientas implementadas son de uso genérico, con la finalidad de probarlas en un entorno real, como caso de uso se muestra una solución para una estación depuradora de aguas residuales. La configuración espacial de dicha estación es de gran dispersión ya que los diferentes elementos se encuentran separados varios metros entre sí. La oficina principal, aunque se halla dentro del recinto de la estación, no tiene visión directa de los diferentes depósitos. Por lo tanto, un operario actuando sobre un elemento de la instalación a menudo deberá consultar el estado de la maquinaria remotamente a un compañero situado en la oficina principal donde se encuentra el servidor SCADA y el puesto de control,



Fig. 5: Ejemplos de inspección *in situ*, donde se aprecian los marcadores de RA y código QR, los colectores y el dispositivo móvil mostrando los paneles virtuales, correspondientes a los colectores inspeccionados en cada caso. La imagen superior corresponde a la inspección de un colector. En la imagen inferior se observa que el sistema funciona (en modo RV) aunque no se vea la marca. En la imagen superior se observa un panel virtual en modo RA, de modo que dicho panel aparece sobre el marcador (la pared en este caso)

con la consiguiente pérdida de productividad. Con nuestra aplicación móvil este problema no se manifestará puesto que la información aparecerá de forma rápida y sencilla sobre la máquina SCADA real.

La aplicación ha sido desarrollada por un equipo multidisciplinar, incluyendo ingenieros informáticos, ingenieros en multimedia y diseñadores gráficos. Además, el caso de uso se ha diseñado e implementado en ciclos iterativos de desarrollo, contando con los usuarios finales del producto en todos ellos. De este modo, la solución proporcionada cumple con las expectativas del cliente y sirve para la la-

bor prevista, la de mejorar el proceso de inspección *in situ* de la estación depuradora, al permitir el acceso directo de los datos SCADA, que se representan distribuidos espacialmente pero alineados con el entorno real.

En cuanto al dispositivo hardware empleado para la inspección *in situ*, se ha considerado una tableta con sistema operativo Android (Fig. (5) y conexión 4G, indispensable para que se pueda establecer comunicación con el servidor de la aplicación. Este dispositivo tiene una autonomía de 8 horas, apropiada para cubrir una jornada de trabajo completa. Sus

dimensiones, 23x15 cm, son suficientes para visualizar correctamente los detalles de los datos virtuales mostrados al operario, al mismo tiempo que no excesivas, para poder ofrecer movilidad y no suponer una carga para el operario.

Tras la utilización por parte de tres operarios de la aplicación móvil desarrollada para la estación depuradora, en un proceso de inspección habitual correspondiente a una jornada completa de trabajo, se obtienen las siguientes conclusiones:

- El tiempo de aprendizaje de la aplicación móvil es mínimo. Antes de la utilización de la aplicación móvil, se les enseñó a los operarios un ejemplo de uso mediante la visualización de los datos de un colector en concreto. Con este sencillo ejemplo tuvieron suficiente para realizar el resto de la inspección sin problemas.
- Mediante la aplicación móvil es posible reducir el tiempo de inspección. En este sentido, aunque no se compararon de manera estadística tiempos de inspección con respecto al sistema tradicional, los operarios señalaron que les resultaba mucho más sencilla e inmediata la identificación de los colectores con los datos proporcionados por la herramienta.
- La solución cumple con las expectativas iniciales. En particular, los operarios resaltaron la ventaja que supone, respecto al sistema tradicional de inspección *in situ*, el acceso a la información virtual de forma especializada y en tiempo real.

Como se ha mencionado anteriormente, la aplicación desarrollada se utiliza en procesos de inspección *in situ* en la estación depuradora, por lo que podemos afirmar que nuestra aplicación constituye un caso de éxito. Este caso, además, puede servir como estación piloto para mostrar las bondades de la aplicación a otros clientes interesados en combinar las tecnologías de SCADA y de RA. Puesto que se ha desarrollado una herramienta de edición, la utilización del presente desarrollo en otros ámbitos industriales sería perfectamente factible. La aplicación y la herramienta de edición son válidas para cualquier sistema SCADA sin necesidad de realizar ninguna modificación, más allá de la definición, por parte del usuario (mediante la herramienta de edición), de paneles virtuales que deben estar convenientemente enlazados con las señales SCADA concretas que se deseen tratar.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se ha presentado un caso de éxito de combinación de sistemas SCADA y la tecnología de RA. Para ello, hemos implementado una herramienta genérica de edición de paneles virtuales y una aplicación móvil. Además, mostramos un caso de uso para el control *in situ* de una estación depuradora de aguas residuales. Tanto el diseño como el desarrollo del software se han realizado mediante un equipo multidisciplinar, contando, para el caso de uso, con la intervención del usuario final en los ciclos de desarrollo del mismo. Esta forma de trabajo ha permitido que el producto final se ajuste a las expectativas y necesidades del cliente, como se ha podido desprender tras la utilización de la herramienta en un proceso habitual de inspección.

Como peculiaridad, nuestro sistema se basa, por un lado, en reconocer códigos QR para la identificación de dispositivos físicos y, por otro lado, en reconocer marcadores de RA para la localización del usuario en tiempo real. Una vez los dispositivos físicos son identificados por el sistema, la aplicación, mediante servicios web, recaba información proporcionada por el sistema SCADA en tiempo real, que será mostrada al inspector por medio de la tecnología de RA mediante la fusión de datos virtuales y reales.

Pese a que la tecnología de RA se ha utilizado en diversos ámbitos del conocimiento, incluyendo diversos procesos industriales, su combinación con sistemas SCADA resulta aún bastante novedosa,

encontrándose muy pocos casos descritos por la comunidad científica. Aunque el trabajo presentado en el presente artículo muestra las ventajas de la combinación de estas dos tecnologías en un caso concreto, consideramos que se puede perfectamente extender a otros procesos industriales, ya que en el diseño del sistema no se ha incluido ninguna restricción o característica específica del caso de uso escogido. Es por ello que esperamos que el presente artículo sirva para impulsar nuevas investigaciones en esta línea.

En este sentido, como trabajo futuro nos planteamos la validación cuantitativa estadística de la aplicación desarrollada mediante pruebas de usuarios. También sería interesante realizar pruebas en otros entornos industriales para poder validar su generalización con diversos grupos de usuarios y diversas casuísticas.

REFERENCIAS

- [1] Harchandani R, Bindu R, "Automation of Mill Drive in Cement Industry using PLC and SCADA". proceedings of International Journal of Engineering Research Et Technology (IJERT) Vol, vol. 3, 2014.
- [2] Parvez B, Ali J, Ahmed U, Farhan M. "Framework for implementation of AGA 12 for secured SCADA operation in Oil and Gas Industry". in Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2015 2nd International Conference on, 2015, pp. 1281-1284.
- [3] Teraiya MD, Solanki MB, Raval MR. "DESIGN OF TEXTILES INDUSTRIES BATCH MANGEMENT USING PLC AND SCADA". Development, vol. 3, 2016.
- [4] Yuvaraj D, Ranjith SM, Kumar JN, et al. "Design and Simulation of Thermal Power Plant Using PLC and SCADA". Programmable Device Circuits and Systems, vol. 8, pp. 228-232, 2016.
- [5] Caudell TP, Mizell DW. "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes". in System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on, 1992, pp. 659-669.
- [6] Azuma RT. "A survey of augmented reality". Presence: Teleoperators and virtual environments, vol. 6, pp. 355-385, 1997. DOI:10.1162/pres.1997.6.4.355
- [7] Soete N, Claeys A, Hoedt S, et al. "Towards Mixed Reality in SCADA Applications". IFAC-PapersOnLine, vol. 48, pp. 2417-2422, 2015.
- [8] Antonijević M, Sučić S, Keserica H. "Augmented reality for substation automation by utilizing IEC 61850 communication". in Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2016 39th International Convention on, 2016, pp. 316-320.
- [9] Kranzer S, Prill D, Aghajanzpour D, et al. "An intelligent maintenance planning framework prototype for production systems". in Industrial Technology (ICIT), 2017 IEEE International Conference on, 2017, pp. 1124-1129.
- [10] Oprüş I, Costinaş S, Ionescu CS, et al. "Towards augmented reality in power engineering". in Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2017 10th International Symposium on, 2017, pp. 39-44.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs_adic/8738-1.pdf

