

CÓDIGO 1.7.38

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA, ADQUISICIÓN DE DATOS Y DESARROLLO DE APLICACIONES DE SOFTWARE PARA LA MONITORIZACIÓN REMOTA DE PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Pereda, J.^{1*}, Vela, R.², Lombillo, I.³, Blanco, H.³, Villegas, L.³

¹ Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales.

pereda@eii.uva.es

² Grupo Codelse, Polígono Industrial Tanos-Viñoles, Parcela B4, 39300 Torrelavega (Cantabria)

r.vela@codelse.com

³ Universidad de Cantabria, Grupo I+D en Tecnología y Gestión de la Edificación (GTED-UC).

gted@unican.es

PALABRAS CLAVE: monitorización, procesos patológicos estructurales, aplicación enriquecida para visualización, sistema de adquisición de datos, arquitectura RTU.

RESUMEN

El paso inexorable del tiempo y los condicionantes ambientales contribuyen al constante deterioro de los edificios. Si se trata de patrimonio cultural, su conservación y mantenimiento adquieren un cariz más relevante si cabe. En aquellos edificios en los que no se ha realizado conservación o ésta ha sido deficiente, el deterioro de la construcción obliga a una costosa rehabilitación, con una fase previa asociada al estudio de los procesos patológicos estructurales desarrollados.

Se presenta una visión práctica sobre la integración de sistemas de instrumentación electrónica, adquisición de datos y desarrollo de software aplicados, de manera novedosa, al análisis de procesos patológicos estructurales, que permitan al investigador, entre otros:

- monitorizar de manera remota, sin necesidad de desplazarse a la localización, la evolución en tiempo real de los datos recogidos por los sensores instalados,
- realizar un histórico de los datos tomados, accesible tanto en forma de gráficas de evolución entre diferentes períodos de tiempo, como de fichero para su postprocesado.
- establecer protocolos de actuación que evalúen sistemáticamente y de forma computerizada los factores que producen el deterioro en las edificaciones, definiendo alarmas automáticas en caso de que las magnitudes controladas excedan valores límites prefijados.

Dicha integración se basa en la implantación de una arquitectura RTU sobre PC Industrial, junto a las tarjetas de adquisición de datos adecuadas al tipo de sensores dispuestos, que realiza ininterrumpidamente la recogida de los datos tomados, junto con la instalación de un servidor de aplicaciones, que periódicamente se comunica con el sistema, extrae los datos y les da persistencia en una base de datos, y finalmente un servidor web, que permite el acceso remoto a estos datos mediante una aplicación desarrollada en JavaFX que constituye una novedosa plataforma para el desarrollo de aplicaciones enriquecidas de Internet.

Como ejemplo de integración realizada, se mostrará la arquitectura de la instalación ubicada en la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas, España.

1. INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva técnica, el análisis de construcciones antiguas formula importantes desafíos dada la complejidad de su geometría, la variabilidad de las propiedades de los materiales tradicionales, las diferentes técnicas de construcción, la ausencia de conocimiento sobre los daños existentes, y de cómo afectan determinadas acciones a las construcciones a lo largo de su vida [1]. Dichos desafíos suponen que las construcciones del patrimonio arquitectónico estén sometidas a una serie de dificultades de diagnóstico y restauración. Y es por todo ello que la comprensión, el análisis y la reparación de construcciones históricas se establece como uno de los desafíos más importantes de los técnicos modernos [2].

Los sistemas de monitorización contribuyen de forma indudable al conocimiento de la evolución de determinados procesos patológicos [3]. Uno de los ejemplos más estudiados es el de las estructuras medievales de Pavia, Italia, que, tras el colapso de la Torre Cívica en 1989, la protección de la seguridad pública se basó en una constante observación y en una monitorización online [4]. Otros trabajos en esta línea pueden consultarse en [5, 6, 7, 8 y 9]. Además, una vez finalizada una intervención o en los casos que no se justifique la actuación inmediata, es importante conocer la evolución de determinados parámetros, en base a una filosofía de mantenimiento preventivo, no paliativo, para discernir con antelación suficiente la necesidad de una posible intervención futura.

En línea con lo referido, el artículo tiene como objetivo presentar una visión práctica sobre la integración de sistemas de instrumentación electrónica, adquisición de datos y desarrollo de software aplicados al seguimiento de procesos patológicos estructurales. Dicha integración se basa en la implantación de una arquitectura RTU sobre Industrial PC, junto a las tarjetas de adquisición de datos adecuadas al tipo de sensores dispuestos, que realiza ininterrumpidamente la recogida de los datos tomados, junto con la instalación de un servidor de aplicaciones, que periódicamente se comunica con el sistema, extrae los datos y les da persistencia en una base de datos, y finalmente un servidor web, que permite el acceso remoto a estos datos mediante una aplicación desarrollada en JavaFX, que constituye una novedosa plataforma para el desarrollo de aplicaciones enriquecidas de Internet.

Para ello, como ejemplo de integración realizada, se mostrará la arquitectura de la instalación ubicada en la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas, España. Se comenzará exponiendo lo relativo a la instalación, siguiendo por el servidor y terminando con la aplicación orientada al cliente.

2. EL *BACK-END*. ELEMENTOS

2.1 Autómata central y estaciones remotas

Como elemento central, se emplea un PC industrial, de la marca alemana Beckhoff [10], equipado con placa Intel® Core™2 Duo, como el de la Figura 1. Dispone de todas sus conexiones en la parte frontal, mientras que la parte trasera permite su encaje en el carril DIN. La ventilación se realiza por la parte inferior.

Se trata de una unidad compacta de procesamiento con 2 GB de RAM, 80 GB de disco duro, alimentado a 24 V en continua, con conexión de red de alta velocidad, Ethernet o EtherCAT. El software de control empleado es TwinCAT.

Dado que el armario central habitualmente no se encuentra en la ubicación de los sensores, se deben emplear estaciones intermedias en otros armarios de distribución.



Figura 1. PC industrial para armario de distribución C6920

Para ello, se disponen unidades remotas EK1100 [11], que permiten la conexión entre el PC con los terminales EtherCAT sobre los que se conectan los sensores, a través de la red EtherCAT. De este modo, se pueden poner tantas estaciones remotas como sea necesario, con distancias entre ellas no superiores a 100 m. Las conexiones entre estaciones y con el PC industrial se realizan igualmente en la red EtherCAT, tal y como se muestra en la Figura 2.

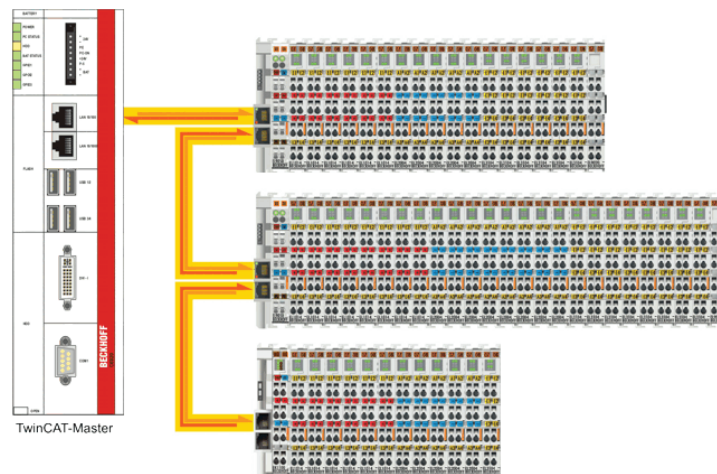


Figura 2. Conexión entre PC industrial y terminales en varias salas remotas

2.2 Tarjetas de adquisición de datos

Tal y como se muestra en la Figura 3a, la conexión con los sensores se realiza a través de diversos terminales acoplados sobre la estación uno tras otro mediante un sistema de anclaje rápido. En general se tratará de terminales de entrada analógica EL3xxx. Constan de 1, 2, 4 u 8 canales de entrada, y la señal puede ser de voltaje (con tarjetas EL3602 con rango -5V a 5V), de corriente (tarjetas EL3052 con rango de 4 a 20 mA), o de resistencia (tarjetas EL3692 con rango de 10 mΩ a 10 MΩ), con resolución en general de 24 bits.

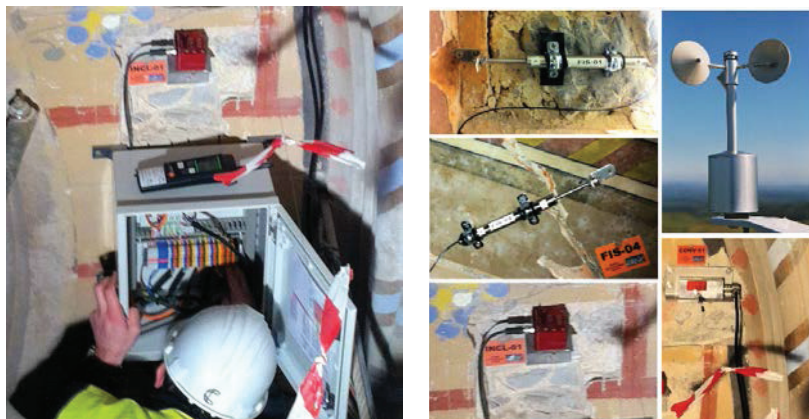


Figura 3. (a) Estación remota, terminales y (b) Algunos de los sensores instalados.

2.3 Sensores

Para la monitorización de los parámetros estructurales se emplearon los siguientes tipos de sensores, Figura 3b: Inclinómetros, fisurómetros, cintas de convergencia, termohigrómetros, anemómetro y veleta. En la Tabla 1 siguiente se relacionan los sensores instalados.

Tabla 1: Sensores instalados

Sensor	Modelo	Fabricante	Abreviatura
Inclinómetros	Servo-inclinometer SX41100	Sensorex	<i>INCL</i>
Fisurómetros	LVDT V02505SAN3	Solartrom Metrology	<i>FIS</i>
Cinta de convergencia	WS10-50-R1K-L10-SB0-D8-HG	ASM GmbH	<i>CONV</i>
Termohigrómetro	P18	PCE-Ibérica	<i>THG</i>
Anemómetro	Modelo 3R KYWS	Darrera	<i>ANEM</i>
Veleta	3R KYWD	Darrera	<i>VEL</i>

La Figura 4 muestra el caso concreto de la instalación realizada en la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas, con la disposición de diversos sensores en tres áreas diferentes con sus correspondientes estaciones remotas.

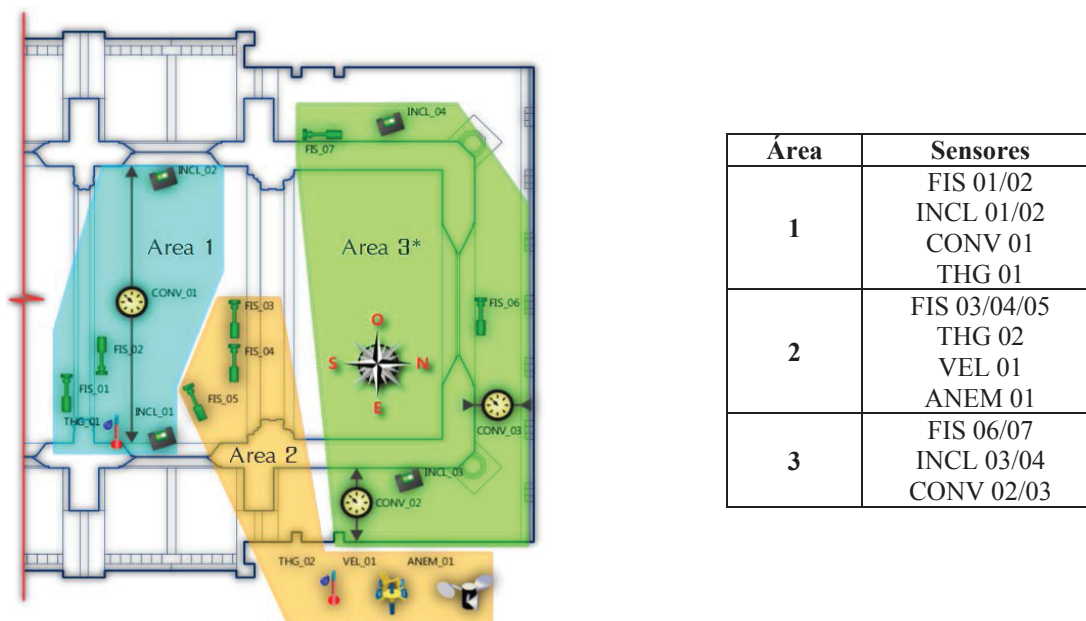


Figura 4. Disposición de sensores en diferentes zonas a monitorizar, junto con leyenda de sensores empleados

3. SERVIDOR

3.1 PC Industrial

Junto al PC de Beckhoff se instala un segundo PC industrial convencional, con Windows XP/7 como sistema operativo, más tamaño de disco duro y memoria, y posibilidad de acceso remoto, en el que instalar un servidor Java.

De este modo, se disponen de manera desacoplada el servidor del autómatas, lo que permite modularidad, facilidad de remplazo y separación real de componentes de software.

El conjunto de ambos PCs tiene alimentación de respaldo gracias a la instalación de baterías auxiliares (autonomía de una semana).

3.2 Servidor de Aplicaciones

El servidor Java se articula conforme al paradigma clásico Modelo-Controlador-Vista MVC/2 [12]. Como se indica en la Figura 5, la capa de negocio se encarga fundamentalmente de la comunicación con el autómatas, a través del protocolo Automation Device Specification (ADS), propietario de Beckhoff, que permite a través de una librería dinámica la conexión desde el servidor con las variables internas definidas en el autómatas, de modo que en una única llamada realizada en cualquier instante, o de forma periódica, se devuelva el valor en ese instante de todas las variables monitorizadas.

La Figura 6 muestra un detalle de la comunicación entre ambas plataformas.

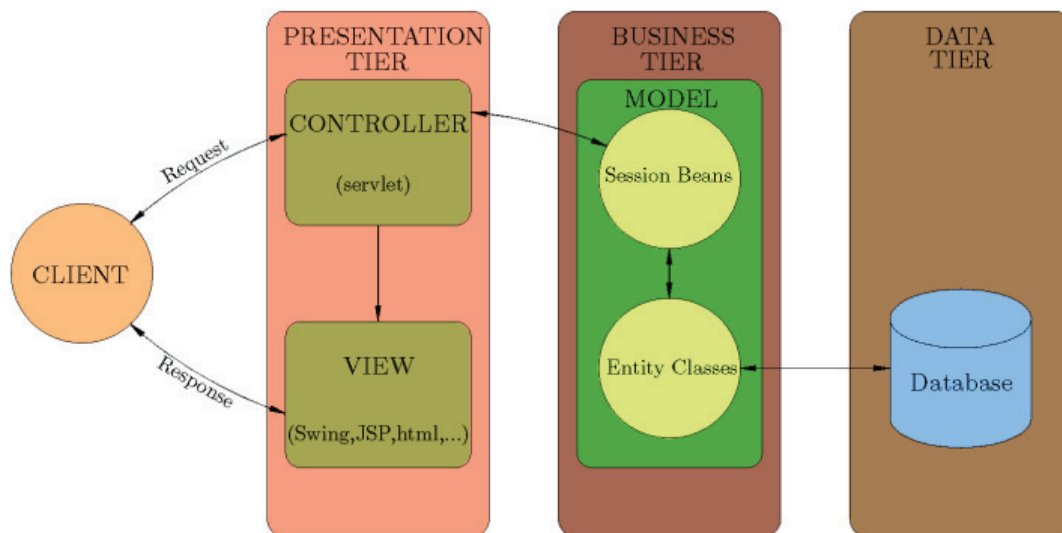


Figura 5. Modelo MVC/2 implementado

Una de las tareas periódicas del servidor consiste en la toma de datos cada 30 segundos y su persistencia en una base de datos para su posterior estudio. Igualmente se comparan los valores tomados con los rangos límites de validez definidos y se emiten alarmas en caso de que aparezcan valores fuera de rango.

3.3 Servidor Web

Finalmente, la capa de presentación es la responsable de la comunicación con el Cliente, mediante el uso de servlets o servicios REST. Se encarga de transmitir los datos instantáneos de los sensores

monitorizados o del conjunto de datos registrados en un período de tiempo para su estudio en gráficas o en hojas de cálculo, toda vez que se haya autorizado el acceso a usuarios registrados. Según el rol de estos usuarios se habilitan ciertas opciones de configuración del sistema.

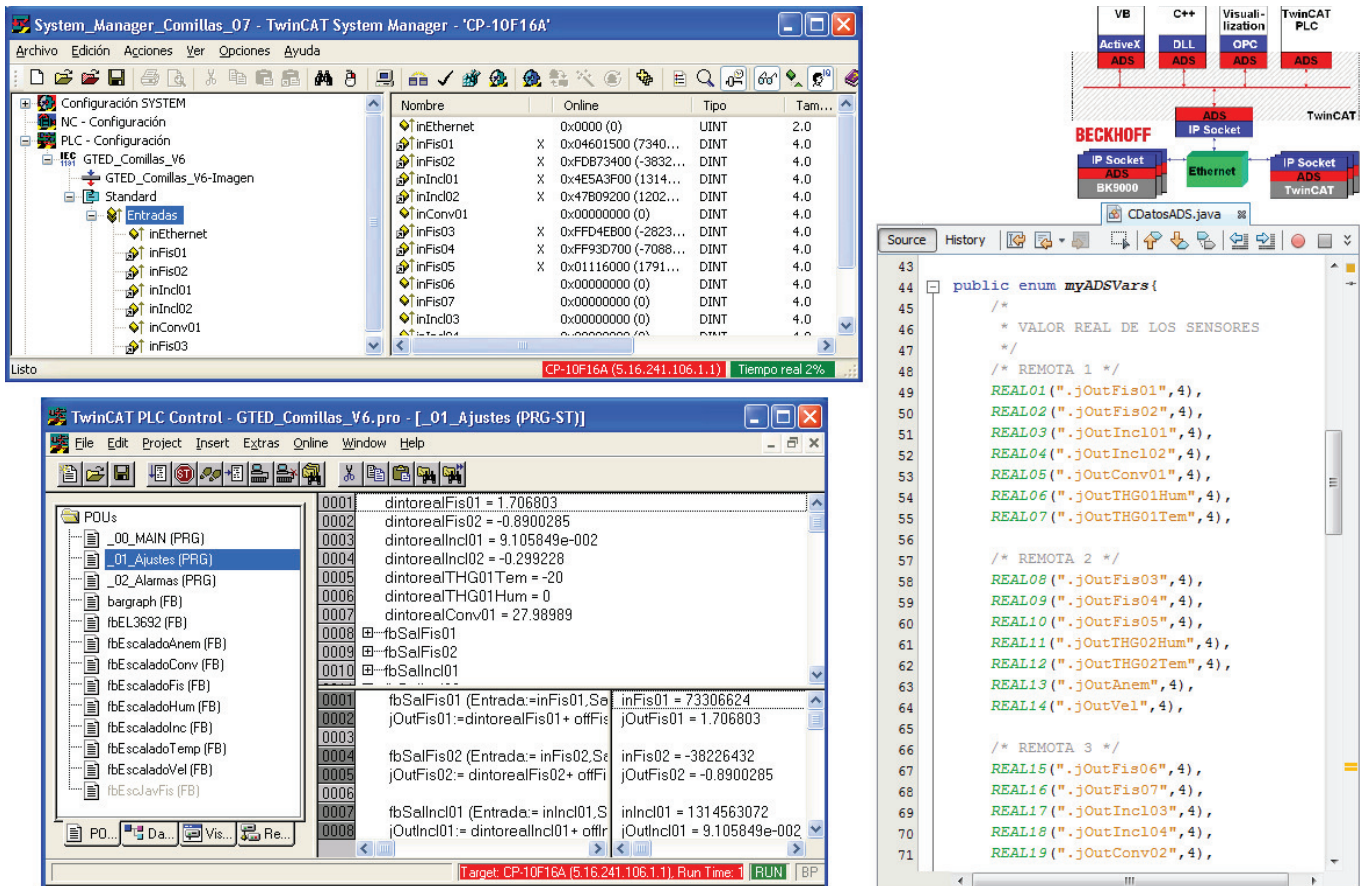


Figura 6. Conexión entre autómatas y servidor Java

4. INTERFAZ DE USUARIO

Del lado del cliente, se ha desarrollado una aplicación de software que permite el acceso remoto a los datos monitorizados sin necesidad de desplazamiento a la instalación, en otros casos evita la toma de riesgos relacionados con la toma de datos en zonas inseguras.

Se ha realizado una aplicación en Java que se comunica a través de Internet con el servidor, empleando el nuevo framework JavaFX 2.2 para el desarrollo de aplicaciones enriquecidas de Internet [13].

Bajo un diseño gráfico apropiado, se muestra la instalación monitorizada mediante la inclusión de los planos del edificio en formato vectorial, lo que facilita la visualización de los datos recogidos por los sensores en su precisa ubicación, Figura 7.

Igualmente se facilitan los datos tomados en rangos temporales determinados mediante gráficas de una o varias variables, Figura 8, o ficheros csv para posterior tratamiento en hoja de cálculo.

Usuarios autorizados pueden modificar ajustes de escala de los sensores, definir rangos de validez de los datos tomados (Figura 9) y crear alarmas a partir de sensores fuera de dichos rangos que son recibidas por correo electrónico en las direcciones asignadas.

5. RESULTADOS

En relación con los resultados obtenidos tras la implantación de la herramienta descrita, se remite al lector a la referencia [14] en la que se ponen en contraste los datos recogidos por los sensores instalados mediante el sistema remoto presentado, con datos tomados manualmente in situ, presentando gráficas de evolución de dichos datos.

6. CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo realizado en la instalación ubicada en la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas se ha mostrado la versatilidad del sistema implementado, tanto en el aspecto del hardware: autómatas, salas remotas, terminales y sensores, como en el apartado del software: servidor de aplicaciones y servidor web, persistencia de datos, y cliente.

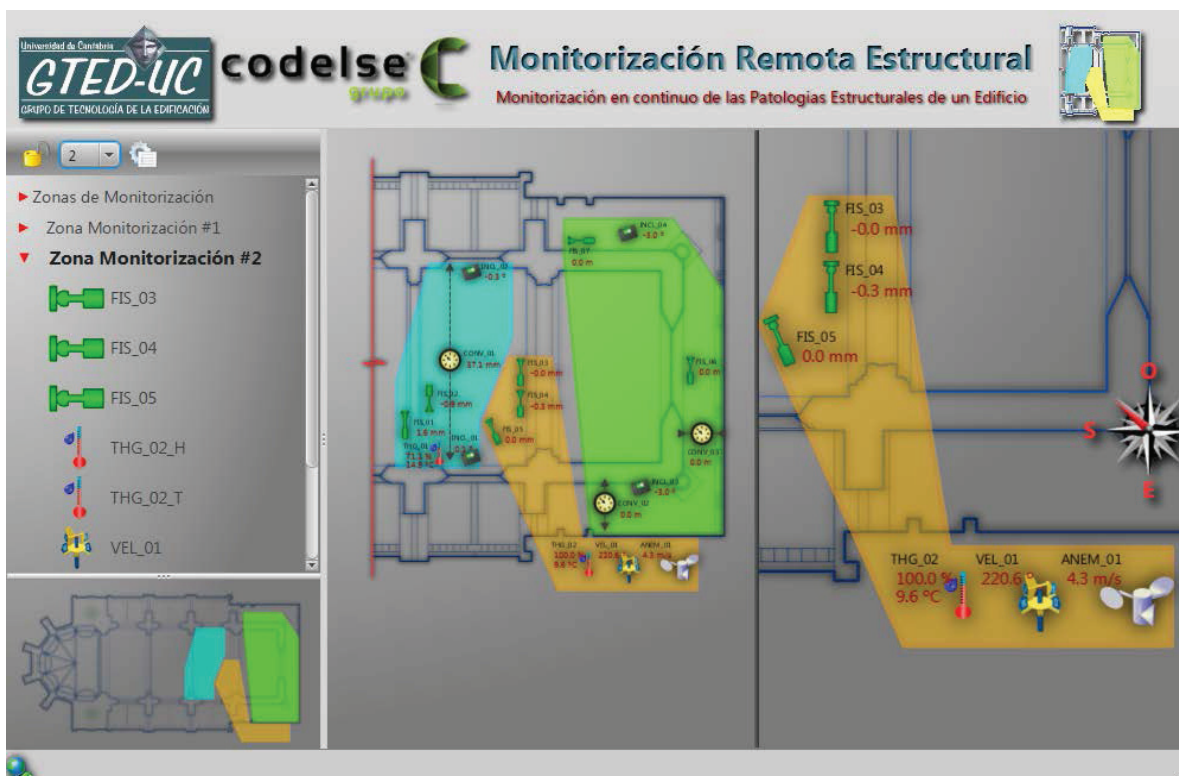


Figura 7. Aplicación cliente. Visualización en tiempo real de datos de sensores

La modularidad del sistema, la facilidad de incorporación de nuevos sensores o salas monitorizadas, son características del proyecto.

La aplicación cliente desarrollada con la última tecnología en entornos de usuario ha demostrado que se pueden realizar aplicaciones de monitorización industrial amigables y atractivas al usuario, de manejo sencillo e intuitivo, pero con todas las funcionalidades requeridas en el proyecto.

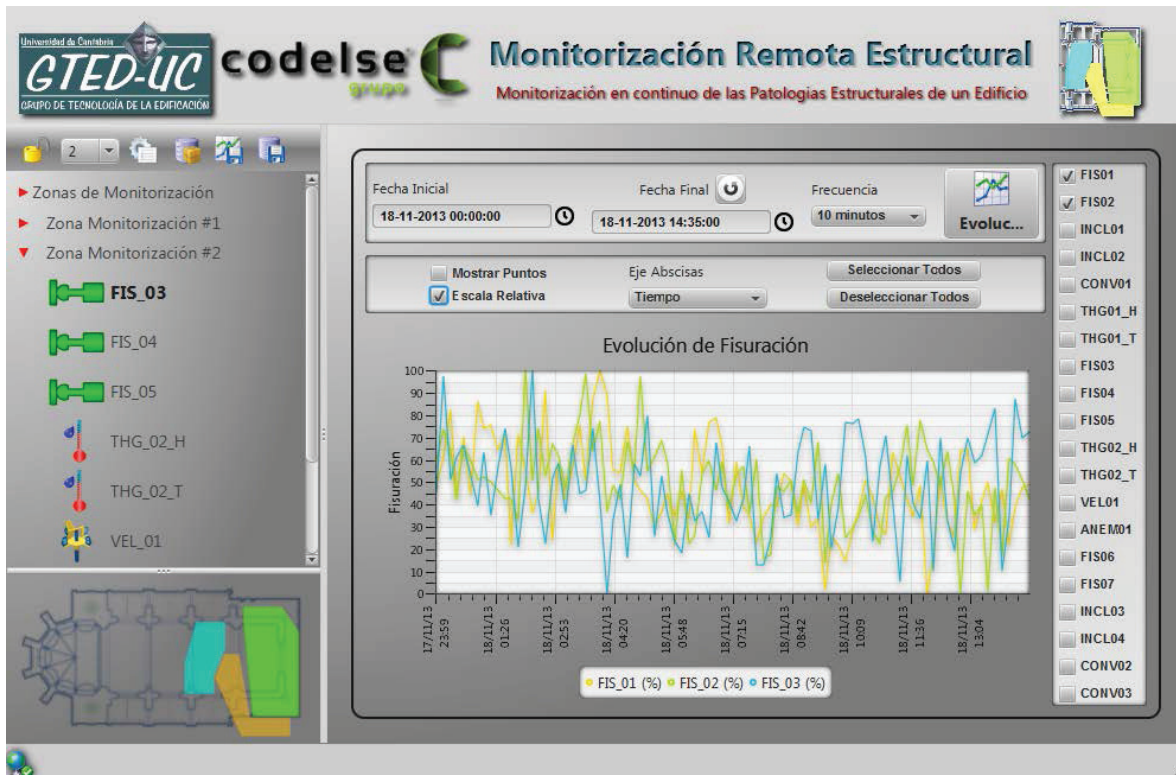


Figura 8. Aplicación cliente. Visualización de gráficas

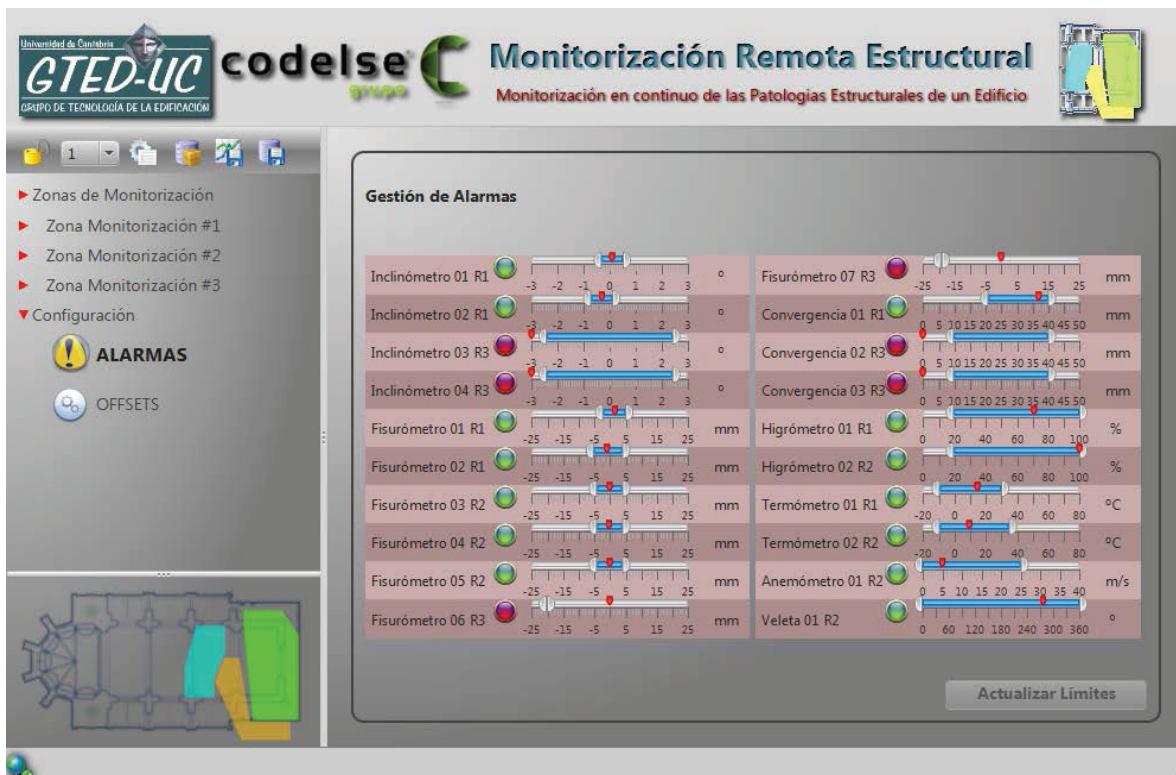


Figura 9. Aplicación cliente. Definición de rangos de validez y alarmas

7. AGRADECIMIENTOS

Para finalizar, nos gustaría agradecer la confianza depositada en el equipo de proyecto por parte de la Sociedad de Activos Inmobiliarios Campus Comillas (SAICC), en relación al registro de los daños y seguimiento mediante instrumentación de los movimientos existentes en la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas, España.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Roca, P. (2007). “Aplicación de técnicas experimentales y numéricas al estudio del patrimonio arquitectónico”. Proc. Conf. sobre Metodologías no destructivas aplicables a la rehabilitación del patrimonio construido, Universidad de Cantabria, Santander, Spain, 53-70.

[2] Lourenco, P. B., Ramos, L. F., Vasconcelos, G., and Peña, F. (2008). “Monastery of Salzedas (Portugal): Intervention in the cloister and information management”. Proc. Int. Conf. On Structural Analysis of Historic Construction. Taylor & Francis Group, London, UK, 95-108.

[3] Binda, L., Anzani, A., and Cardani, G. (2009). “Methodologies for the evaluation of seismic vulnerability of complex masonry buildings: case histories in the historic centre of Sulmona”. Proc. 11th Int. Conf. on Structural Repairs and Maintenance of Heritage Architecture, Wessex Institute of Technology, Ashurst, Southampton, UK, 395-405.

[4] Macchi, G. (1993). “Monitoring Medieval Structures in Pavia”. Structural Engineering International, 3(1), 6-9.

[5] Binda, L., d Veckey, RC. (eds). (2001). “Onsite control and evaluation of masonry structures”. RILEM Publications, 369 p.

[6] Monitoring of Historic Structures (GUIDELINES). European Commission Research Project: SMooHS Smart Monitoring of Historic Structures (2010)

[7] Rossi, PP., Zaldivar, S. (1996). Testing and monitoring for the restoration of the Metropolitan Cathedral in Mexico City. Int. Conference, Napoli.

[8] Monti, C., Rossi, C., Vanessa, G. (1996). Methodological approach in análisis of static monitoring system data. Reports on Surveying ang Geodesic. Bologna.

[9] Rossi. PP. (1997). The importance of monitoring for structural analysis of monumental buidings. Keynote Lecture International Colloquium IABSE. Bergamo.

[10] Beckhoff C6920

http://www.beckhoff.es/english/industrial_pc/c6920.htm?id=11792199638

[11] Beckhoff EK1100

<http://www.beckhoff.es/english/ethercat/ek1100.htm?id=1983920606>

[12] “Metodología para el desarrollo de entornos amigables de diseño distribuido en ingeniería utilizando Internet. Aplicación al diseño de cajones flotantes de hormigón armado para muelles y diques”, Tesis doctoral, José Pereda Llamas, Octubre 2013, Universidad de Valladolid.

[13] JavaFX

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javafx/overview/index.html>

[14] Lombillo, I., Blanco, H., Villegas, L., Balbás, J., Carrasco, C., Liaño, C., Vela, R., Pereda, J. (2014). Monitorización remota de construcciones históricas: Metodología empleada y puesta en marcha en la Iglesia del Seminario Mayor de Comillas. Congreso Latinoamericano REHABEND 2014, pp. 734-745.