

# Alarm Notification Model for SCADA Systems Via Mobile Technologies

Yaima Antunez Ojeda, Msc.<sup>1</sup>, and Antonio Cedeño Pozo, Dr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba, yantunez@uci.cu, yantunez@uci.cu

*Abstract– Systems Supervisory Control and Data Acquisition become increasingly necessary in industries as it allows remotely monitor and control the process from a computer and through a series of field devices, in addition to storing the data for further analysis. One of the main functions of these systems is the reporting and management of alarms that show abnormal process conditions and require taking actions to correct them. There operational situations, shown through the alarms, which can be caused by faults in the plant, which cannot be resolved remotely and require rapid decisions. This requires a mechanism that allows immediate notification of alarms generated in the Systems Supervisory Control and Data Acquisition responsible for external through mobile communications technologies is proposed.*

*Keywords— alarms, mobile communications, immediacy notice.*

**Digital Object Identifier (DOI):** <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.201>

**ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6

**ISSN:** 2414-6668

**13<sup>th</sup> LACCEI Annual International Conference:** “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”  
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic

**ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6

**ISSN:** 2414-6668

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.201>

# Modelo de notificación de alarmas para sistemas SCADA a través de tecnologías de comunicaciones móviles

Yaima Antunez Ojeda, Master en Ciencias<sup>1</sup>, Antonio Cedeño Pozo, Doctor en Ciencias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba, yantunez@uci.cu

<sup>2</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba, yantunez@uci.cu

**Resumen** – *Los Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos se hacen cada vez más necesarios en las industrias, pues permiten monitorear y controlar remotamente los procesos, desde un ordenador y a través de una serie de dispositivos de campo, además de almacenar los datos para posteriores análisis. Una de las funciones principales de estos sistemas es la notificación y gestión de alarmas que muestran condiciones anormales en los procesos y requieren la toma de acciones para corregir las mismas. Existen situaciones operacionales, que se muestran a través de las alarmas, que pueden ser provocadas por fallas en la planta, las cuales no pueden ser resueltas remotamente y requieren una rápida toma de decisiones. Para ello se propone un mecanismo que permite la notificación de manera inmediata de las alarmas generadas en los Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de datos a los responsables externos a través de tecnologías de comunicaciones móviles.*

**Keywords**– *alarmas, comunicaciones móviles, inmediatez, notificación.*

## I. INTRODUCCIÓN

La automatización de los procesos industriales ha contribuido al desarrollo y crecimiento de las diferentes ramas de la industria. Aspectos cruciales para cualquier industria en la actualidad, son la información en línea, la productividad, la calidad y la eficiencia; razón por la cual cada día se hacen más necesarios los sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, por sus siglas en inglés), que permiten monitorear y controlar remotamente los procesos, desde un ordenador y a través de una serie de dispositivos de campo, así como almacenar los datos para posteriores análisis [1], [2], [3].

Estos sistemas son útiles en ambientes industriales complejos o geográficamente dispersos, ya que pueden recoger la información de numerosas fuentes de forma rápida y presentarla a los operadores en tiempo real. Dicha información es necesaria para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. Los operadores supervisan la planta a través de la información de los procesos que se muestra en los despliegues, que son un conjunto de componentes gráficos con los que pueden interactuar y que les permiten además ejercer acciones de control. Los despliegues muestran principalmente la información relacionada con las variables del proceso y un panel de alarmas, que son los avisos que se generan ante la ocurrencia de una condición anormal, de manera que el operador pueda reconocerlas y ejecutar las acciones correctivas pertinentes [4].

Sin embargo existen situaciones que pueden ser provocadas por fallas en la planta, que usualmente se muestran a través de las alarmas, las cuales requieren una rápida toma de decisiones y no pueden ser resueltas remotamente por el operador. Tratándose de procesos críticos como los que se manejan en los sistemas SCADA, se hace necesaria la comunicación inmediata con los responsables externos que pueden dar solución a dichas situaciones.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo que permita la notificación de manera inmediata de las alarmas generadas en sistemas SCADA a los responsables externos, a través de tecnologías de comunicaciones móviles.

Para llevar a cabo el trabajo se emplearon un grupo de métodos:

A nivel Teórico:

Análítico – Sintético: aplicado en el estudio de los fundamentos y teorías relacionadas con los sistemas SCADA y los estándares y tecnologías de telefonía móvil se logró profundizar en los aspectos más relevantes de la investigación para poder realizar la propuesta de solución.

Inductivo – Deductivo: utilizado para comprobar el planteamiento de la hipótesis, verificando la eficiencia en la notificación de alarmas mediante la plataforma que se propone.

Modelación: el empleo de este método garantizó, mediante modelos conceptuales y diagramas, representar elementos importantes relacionados con el objeto de estudio, necesarios para desarrollar la solución propuesta.

A nivel Empírico:

Experimento: la realización de estudios experimentales y mediciones permitieron realizar la validación de la propuesta para distintos escenarios y arribar a las conclusiones de la investigación.

## II. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

### A. *Fundamento del modelo*

Los sistemas SCADA permiten el monitoreo y control de los procesos industriales a través de un ordenador, así como el almacenamiento de los datos referentes a dichos procesos para su posterior análisis. En la actualidad tienen numerosas aplicaciones dentro de las que se pueden mencionar: el control de oleoductos, sistemas de transmisión de energía eléctrica, yacimientos de gas y petróleo, entre otros.

Pueden funcionar de manera centralizada o distribuida, para ello se agrupan las funcionalidades en módulos que

pueden ser instalados en distintos servidores o nodos físicos pero que mantienen estrecha comunicación. Entre estos módulos se pueden destacar:

**Configuración:** permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.

**Interfaz Gráfica del Operador:** proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante despliegues y gráficos generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.

**Módulo de procesamiento:** ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.

**Gestión y archivo de datos:** se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

**Comunicaciones:** se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión

Los sistemas SCADA son ampliamente usados en el control de infraestructuras críticas, sistemas o servicios que son esenciales en el funcionamiento de la economía y la sociedad, debido a la inmediatez con que se presenta la información relacionada con las variables supervisadas. Además permiten que la información generada en el proceso productivo sea enviada a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que posibilitan la participación de otras áreas como control de calidad, supervisión y mantenimiento [1], [5]. Debido a que cubren generalmente grandes áreas geográficas, necesitan diversos medios de comunicación.

Las alarmas constituyen uno de los tipos de datos que se manejan en el SCADA. Permiten monitorear las variables del sistema y alertar al operador de los cambios detectados en la planta que no se consideren normales. Se encuentran entre los datos más críticos que el SCADA debe transmitir, pues pueden representar situaciones peligrosas. La inmediatez en su notificación puede evitar pérdidas lamentables, por tanto, representan los elementos que deben ser notificados con mayor urgencia a los operadores, mantenedores y responsables en general de ejecutar acciones correctivas. Como se ha mencionado anteriormente, en ocasiones no es posible que el operador de la consola pueda realizar remotamente estas acciones, pues requieren de la presencia física en el campo, por lo que se necesitan mecanismos de notificación inmediata, que posibiliten que esta información llegue a los responsables externos que pueden realizar dichas acciones. Haciendo uso de las tecnologías de comunicaciones móviles, los sistemas de control pueden mantener informados sobre cualquier incidencia a los operadores responsables de los mismos mediante mensajes de correo electrónico, de texto o de voz. Esto permite que se puedan dar solución a los problemas lo más rápido posible.

Para brindar el servicio de comunicaciones móviles se pueden utilizar distintos sistemas como telefonía móvil celular, sistema móvil de canales múltiples de selección automática (troncalizado) y servicio de comunicaciones personales [6]. Existen muchas formas de clasificar los sistemas de comunicaciones móviles, no obstante por la modalidad de funcionamiento y las prestaciones que ofrecen, resultaron de interés para esta investigación: los sistemas de comunicación por radio o troncalizados y los sistemas de telefonía móvil o celular.

Los sistemas troncales o "trunking" son aquellos en los que un conjunto de canales de radio soportan a todo un colectivo de usuarios móviles, gracias a un sistema dinámico de asignación de frecuencias.

En los sistemas de radio búsqueda o radio mensajería la transmisión se realiza únicamente de la estación fija a las estaciones móviles. La radio mensajería es una forma barata y popular de comunicaciones móviles, específicamente resulta muy útil la radio mensajería alfanumérica [7].

Actualmente los sistemas de comunicación por radio han evolucionado, pasando de las comunicaciones analógicas, a las digitales que ofrecen nuevos servicios. Tal es el caso de los sistemas de Radio Troncales Terrestres (TETRA de las siglas Terrestrial Trunked Radio). Este tipo de tecnología permite recibir y enviar información por medio de los radios profesionales. Existen cuatro tipos de comunicaciones básicas de datos en el sistema TETRA: mensajes de estado, mensajes cortos, datos en modo circuito y datos en modo paquete. El servicios de datos cortos SDS (Short Data Service) permite transmitir y recibir mensajes cortos desde los terminales móviles (radios mayormente) a través de la red TETRA [8], [9].

Otra de las tecnologías de comunicaciones móviles estudiadas son los sistemas de telefonía celular digital. Estos utilizan protocolos de codificación que permiten la comunicación. Pueden ofrecer servicios auxiliares como datos, fax y mensajes de texto SMS (Short Data Service). Algunos son menos difundidos o limitados, pero sin lugar a dudas, el más usado mundialmente es el Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM del inglés Global System for Mobile Communications), disponible en muchos países del mundo y cada año aumenta considerablemente el número de personas que hacen uso del mismo. GSM es un estándar de segunda generación porque las comunicaciones se producen de un modo completamente digital y ofrece una amplia gama de servicios a la red, entre ellos los mensajes de texto SMS.

Los SMS constituyen también la base de toda una serie de aplicaciones profesionales que requieren transferencias de información limitadas y en las que se aprovechan las facilidades de las comunicaciones móviles. En muchos casos se utilizan los módem GSM para crear aplicaciones específicas de control de dispositivos y transmisión de datos. El control del módem a través de puerto serie se lleva a cabo mediante el conjunto de comandos especificados en la normativa GSM. Es importante resaltar que las

especificaciones de GSM definen los comandos que deben incluirse de forma obligatoria, sin embargo se deben estudiar los comandos específicos del terminal que se utilizará y remitirse a las especificaciones técnicas del mismo [10], [11].

A partir del estudio de las tecnologías, se decide aprovechar las bondades que estas ofrecen para la comunicación inmediata, como los mecanismos de envío de mensajes de texto, en este caso para la notificación de alarmas.

### B. Descripción del modelo

El modelo para la notificación de alarmas a través de sistemas de comunicaciones móviles que se propone, tiene como objetivo realizar de forma automática el proceso de notificación de alarmas a responsables externos. Además se pretende que este proceso se pueda realizar a través de varias tecnologías, garantizando de esa forma la redundancia en las comunicaciones que permitirán garantizar mayor efectividad en la notificación.

El modelo debe permitir el envío de un mensaje corto de manera automática en el momento que se origine una alarma, el texto del mensaje debe contener la información relacionada con la alarma generada en el SCADA. La notificación se podrá realizar a través de varias tecnologías de comunicaciones móviles (GSM: celular, TETRA: radio, correo electrónico, etc), de esta forma los responsables externos podrán actuar sobre el proceso con mayor inmediatez. Para ello, se propone un sistema de plugins que implementarán las diferentes tecnologías de comunicación, y podrán ser adicionados dinámicamente siempre que se disponga de una nueva tecnología.

La entrada para la ejecución del proceso propuesto en el modelo, es la información de las alarmas, ya sea información de configuración, o la información referente a la aparición de la alarma en el sistema. La salida del mismo es el mensaje con la información de la alarma, que se envía a los responsables de resolver la situación que la originó como se muestra en la Figura 1.

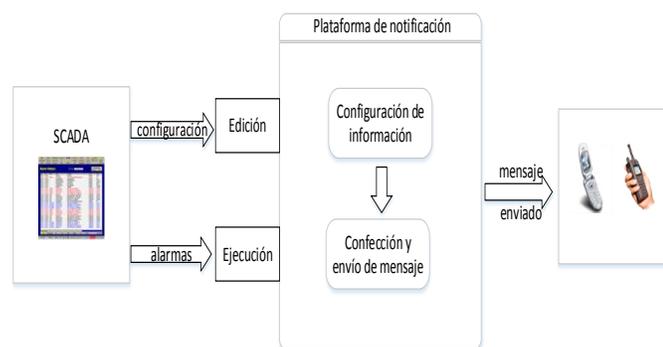


Figura 1. Modelo de notificación de alarmas

Se propone la ejecución de tareas en tiempo de Edición, y un ambiente de Ejecución como se muestra en la Figura 1. En el ambiente de edición se deben configurar las alarmas a partir de la información que se obtiene del SCADA, los dispositivos

a los que serán posteriormente enviados los mensajes y se gestiona la información de los responsables y sus dispositivos móviles. En el ambiente de ejecución se obtienen las alarmas generadas en el SCADA, se seleccionan las que son de interés para las notificaciones a los responsables externos y a partir de los datos que se tienen previamente configurados, se realiza el envío de las mismas mediante mensajes de texto a través de las diferentes tecnologías de comunicaciones móviles.

En el ambiente de edición se deben configurar los datos que después serán usados en tiempo de ejecución. Para ello el modelo tendrá las siguientes responsabilidades:

Configuración de los plugins: permite que se configuren los dispositivos a través de sus parámetros, estos pueden ser: puerto de conexión del dispositivo con la computadora, número o id de dispositivo. Estos parámetros pueden variar según el tipo de dispositivo, dígame celular, radio, etc.

Gestión de los responsables: permite adicionar, modificar y eliminar responsables externos, de los cuales se debe conocer principalmente su nombre, cargo, área de trabajo y sus funciones. Además se deben gestionar los dispositivos móviles que poseen y los datos de estos, dígame número de celular, localizador de radio, etc.

Configuración de alarmas: permite que un experto seleccione de todas las alarmas configuradas en un proyecto (que son obtenidas de la base de datos de configuración del SCADA), aquellas que deben ser notificadas a responsables externos en el momento en que se generen (en dependencia de su severidad, prioridad y responsable de solucionarla), y además asociarlas con los responsables a los que estas deben ser enviadas. Se debe seleccionar además los dispositivos móviles del involucrado en cuestión mediante los que se realizará la notificación.

Almacenamiento en base de datos de la información: Toda la información que se configure en tiempo de edición se deberá almacenar en una base de datos para ser utilizada en tiempo de ejecución.

Posteriormente se realizará el envío de mensajes a los responsables a partir de la información configurada y según las alarmas que se generen. Para ello el modelo tendrá las responsabilidades siguientes:

Procesamiento de alarmas: al recibir una alarma permite verificar si la misma tiene algún involucrado asociado para su notificación.

Confección del mensaje: permite elaborar el mensaje a enviar a partir de la información de la alarma y el dispositivo al que va destinado.

Envío de mensaje: permite la comunicación con el dispositivo móvil y obtiene la confirmación de envío.

### C. Principios del modelo

A continuación se definen los principios que debe cumplir el modelo que se propone:

Generalidad: Debe permitir la incorporación de nuevos plugins para el envío de mensajes de manera dinámica.

**Abstracción:** Para generar menor impacto en la incorporación de los plugins, debe existir una interfaz genérica que se abstraiga del resto de las operaciones.

**Robustez:** Ninguna alarma puede ser obviada.

**Integración:** Se debe lograr una integración efectiva entre el SCADA y los dispositivos móviles.

**Escalabilidad:** Debe permitir la incorporación de nuevos dispositivos.

**Extensibilidad:** Debe permitir la comunicación con otros sistemas externos sin la necesidad de realizar cambios en la arquitectura.

Con estos principios se pretende garantizar una solución que proporcione simplicidad, productividad y efectividad a la hora de desarrollar el sistema. Teniendo en cuenta los principios definidos y la propuesta general del modelo, se definen los componentes que conformarán el mismo.

#### D. Componentes del modelo

El modelo está formado por un componente para la configuración y uno para el envío de mensajes como se muestra en la Figura 2.

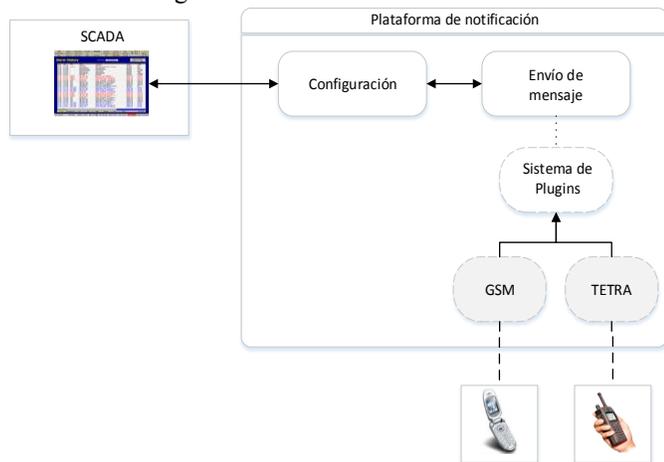


Figura 2. Componentes del modelo

El SCADA, aunque no forma parte de la solución, constituye el elemento proveedor de la información referente a las alarmas, entendiéndose información tanto en tiempo de edición, como en tiempo de ejecución.

El componente Configuración es responsable de obtener y almacenar los datos necesarios para realizar el envío de mensajes. Es el encargado de la comunicación con el componente Envío de Mensajes y con el SCADA. En tiempo de edición, obtiene el archivo con la configuración del SCADA y los parámetros de configuración de los plugins del componente Envío de Mensajes. Con esta información permite la configuración de los plugins, gestión de los responsables y configuración de alarmas. Contiene además la base de datos donde se almacena toda esta información de configuración.

En tiempo de ejecución es el encargado de conectarse al SCADA y recibir las alarmas cuando estas se generen,

confeccionar el mensaje con la información almacenada y despacharlo hacia el componente Envío de Mensajes.

El componente Envío de Mensajes tiene como principal responsabilidad la comunicación con los dispositivos. En tiempo de edición responde a las peticiones del componente Configuración y le envía los parámetros de los dispositivos. En tiempo de ejecución recibe la información de los mensajes de texto que debe enviar a través de los plugins, y realiza su envío. Cuenta con un núcleo de procesamiento que se encarga de la manipulación de los plugins y de hacer persistente la información de configuración de los dispositivos.

El Sistema de Plugins constituye el elemento principal de este componente pues permite la integración de distintos sistemas de comunicaciones móviles, una de las características más significativas del modelo. Representa la interfaz genérica que contiene las funcionalidades abstractas que se deben implementar en cada uno de los plugins. De esta forma, se encuentra definido el mecanismo de comunicación, lo que permite que se puedan incorporar de forma dinámica nuevos plugins para la comunicación con diversos dispositivos móviles.

#### E. Comunicación y flujo de datos

El envío de un mensaje corto se realizará cada vez que el componente Configuración reciba una alarma proveniente del SCADA y esta se encuentre previamente configurada para su envío a responsables externos que requieran su notificación.

A continuación se describe la forma en que interactúan los componentes del modelo:

Para realizar la configuración de los dispositivos para cada plugin intervienen el componente Configuración y el componente Envío de mensajes. En este caso, el componente Configuración provee la interfaz visual para la configuración y la base de datos para almacenar la información, y el componente Envío de mensajes se encarga de establecer comunicación con los dispositivos y configurarlos.

Para la configuración de las alarmas interviene el componente Configuración que tiene la responsabilidad de proveer la interfaz visual que permitirá al usuario seleccionar las alarmas que son de interés para su notificación y asociarlas a los responsables y sus dispositivos. El SCADA es el componente externo que provee la información de configuración, de donde se obtendrá el listado de las alarmas a mostrar.

Para el envío del mensaje, el componente Configuración lo confecciona a partir de la información que tiene almacenada y la que recibe del SCADA en tiempo real y lo entrega al componente Envío de mensajes. Este lo descompone para obtener por un lado la información del mensaje y por otro, los datos del dispositivo móvil al que lo enviará. Establece la comunicación con el dispositivo a través del plugin y realiza el envío del mensaje, obteniendo confirmación del envío (satisfactoria o no). Posteriormente notifica a Configuración que se encarga de archivar esta información con el objetivo de tener retroalimentación del proceso.

Para la comunicación entre los componentes del sistema que implemente el modelo y con el sistema externo, se proponen distintos mecanismos. Entre los componentes internos Configuración y Envío de mensajes se propone el uso del protocolo TCP/IP utilizando socket. La comunicación con el SCADA es diferente pues como se ha mencionado anteriormente, este es el elemento externo, que actúa como proveedor de información, por tanto, se deben usar los mecanismos que tienen ya definidos y que ofrece su Middleware o capa de comunicaciones.

Los componentes del sistema son independientes y pueden estar ubicados en distintos nodos físicos, cumpliendo con la arquitectura distribuida que se propone, por ello se hace uso de los socket como mecanismo de comunicación distribuida.

Los sockets (también llamados conectores) son un mecanismo de comunicación entre procesos que permiten la comunicación bidireccional tanto entre procesos que se ejecutan en una misma máquina como entre procesos lanzados en diferentes máquinas. Representan un punto de comunicación entre dos agentes por el cual se puede emitir o recibir información. La comunicación entre procesos a través de sockets se basa en la filosofía cliente – servidor [12].

Como el cliente y el servidor pueden estar en cualquier máquina de la red, la comunicación se basa en el conjunto de protocolos TCP/IP que permiten independizarse de funciones de control de flujo. La identificación del socket en este caso se consigue mediante el par (dirección ip de la máquina, número de puerto). Básicamente, la lógica consistiría en abrir un puerto y realizar las solicitudes de conexión para envío de mensajes, o solicitar información de configuración, al establecerse una conexión a nivel de socket; una vez autenticado el componente se recibe la información entrante según sea el caso, se envía la información saliente y finalmente se termina la conexión liberando recursos para una nueva conexión.

### III. VALIDACIÓN

Para la validación del modelo propuesto se implementó una aplicación demostrativa que cumple con el mismo y los plugin GSM que permite el envío de SMS y el plugin TETRA que permite enviar SDS, para comprobar el correcto funcionamiento. Para ello se utilizó como lenguaje de programación C++, Eclipse como entorno de desarrollo integrado (IDE), el framework Qt y como sistema gestor de base de datos se utilizó PostgreSQL.

La aplicación tiene una arquitectura distribuida, tal y como se ilustra en la Figura 3, donde los componentes pueden encontrarse en distintos nodos físicos. El nodo SCADA, no forma parte de la aplicación, pero constituye el elemento proveedor de la información referente a las alarmas.

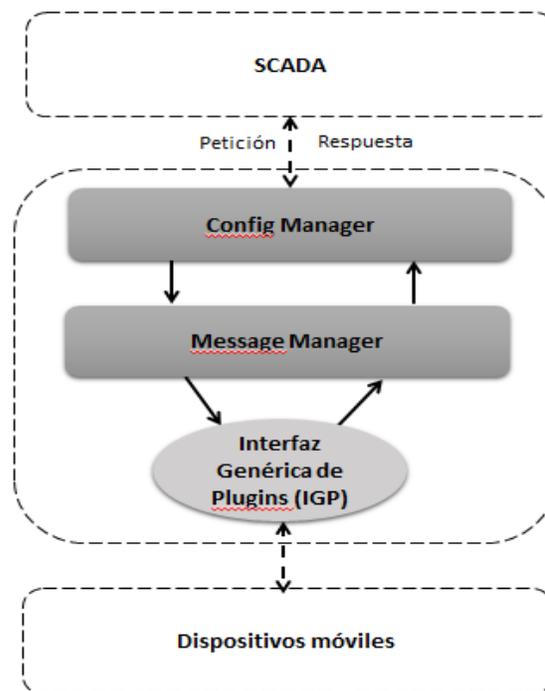


Figura 3. Arquitectura general de la aplicación

El nodo Config Manager implementa el componente Configuración descrito anteriormente que tiene como principales responsabilidades las actividades de configuración y la comunicación con el SCADA.

El nodo Message Manager se encarga de la gestión de los plugin correspondientes a las implementaciones de las tecnologías para el envío de mensajes cortos y brinda una interfaz para el envío de los mismos.

La Interfaz Genérica de los Plugin (IGP) es una abstracción de las funcionalidades comunes que deben implementar cada plugin encargado de enviar mensajes cortos haciendo uso de una de las tecnologías de comunicaciones móviles.

Para verificar el correcto funcionamiento de la aplicación implementada se realizaron un conjunto de pruebas de software entre las que se encuentran las de unidad, de integración, de sistema, de desempeño. En estas pruebas se validaron las funcionalidades propuestas, fundamentalmente la comunicación entre los componentes ubicados en diferentes nodos físicos y el correcto envío de los SMS y SDS a través de sus respectivas tecnologías, haciendo uso de la aplicación. Se realizaron varias pruebas en cada caso y el resultado fue satisfactorio en todos, enviándose correctamente los mensajes a los destinatarios indicados.

Para comprobar la efectividad del modelo propuesto se diseñaron y aplicaron varias pruebas experimentales, donde se observó su comportamiento, con el objetivo de realizar una valoración acerca de la inmediatez con la que se producen las notificaciones a través de la aplicación.

En la realización de estas pruebas intervienen tres componentes fundamentales: el SCADA, el mecanismo de

notificación de alarmas y los sistemas de comunicaciones móviles. Se utilizó el SCADA SAINUX, sistema de código abierto desarrollado en la Universidad de las Ciencias Informáticas sobre C++ como lenguaje de programación principal, el framework Qt para la interfaz gráfica y PostgreSQL como gestor de base de datos. Este sistema ha sido probado en varias industrias, como ejemplo se puede destacar la supervisión y control de procesos de extracción y almacenamiento de petróleo. Para realizar estas pruebas se tomaron muestras de despliegues reales pero se trabajó en un ambiente simulado. Se utilizaron dos computadoras con 1.0 GB de memoria RAM, microprocesador Intel Core2Duo E4500 con velocidad de 2.20 GHz, motherboard Intel y una capacidad en disco duro de 160 GB con sistema operativo Debian 5.0 (lenny), Kernel Linux 2.6.26-1-686, GNOME 2.22.3. En una computadora se instaló el SCADA y se simuló las alarmas a través de configuraciones creadas en el simulador ModSim para el protocolo Modbus, que permite representar la recolección de datos desde los dispositivos y definir bloques de puntos. En este caso se configuró un proyecto que genera secuencias de valores de puntos para el protocolo Modbus TCP/IP. Entre las alarmas más comunes que deben ser notificadas a responsables externos se encuentran las de falla de dispositivos, alarmas de intrusos, roturas en elementos de control como actuadores. En la otra computadora se ejecutaron los servicios de la plataforma.

Para las tecnologías de comunicaciones móviles se prepararon los escenarios que permitieron validar el funcionamiento de los plugin GSM y TETRA, por lo que se contó con radios HTT-500 y MDT-400 de la empresa Teltronic y que permiten ejecutar todos los servicios del estándar TETRA, entre ellos el envío y recepción de mensajes SDS y el Modem GSM MC35i con una tarjeta SIM para el envío de SMS.

Para realizar las mediciones se tuvieron en cuenta varios elementos que pueden incidir sobre el tiempo en que se realiza la notificación, por ejemplo la cantidad de responsables a los que se debe notificar las alarmas, la cantidad de alarmas que se generan en el SCADA y de ellas la cantidad que debe ser notificada a los responsables externos. Estos números fueron variados para 5 escenarios distintos en los que se obtuvieron los valores de las mediciones. Para cada uno de los escenarios se ejecutaron 100 corridas y se obtuvieron los tiempos promedios en cada uno de ellos.

Teniendo en cuenta que el proceso que realiza el operador cuando debe notificar una alarma a un responsable externo consiste en analizar su severidad, impacto, posibles causas y otros factores, decidir si es necesario notificar a algún responsable externo y en caso positivo localizarlo por los medios que tiene a su disposición, y que tenga disponible el interesado, e informar de la situación ocurrida, el tiempo mínimo que se podría demorar el más rápido de los operadores siempre sería mayor que un segundo, sin embargo con la aplicación, esta actividad se realiza aproximadamente en 0.5049 ms, lo que significa que a través de la misma, el

despacho de la notificación ocurre como mínimo 2000 veces más rápido.

A medida que van aumentando la cantidad de alarmas simultáneas que se generan en el SCADA y la cantidad de alarmas y responsables a notificar, el tiempo en que se realizan estas notificaciones a través la plataforma va aumentando como se muestra en la Figura 4. Sin embargo, si es el operador el encargado de realizar la notificación en el mismo escenario, con la misma cantidad de variables, el tiempo en el que las realiza sería considerablemente mayor.

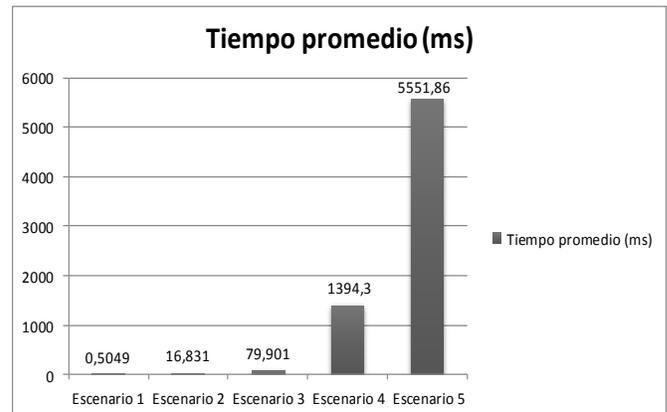


Figura 4. Comportamiento del tiempo en el experimento

Nótese que el escenario 5 es para para la notificación de 100 alarmas, lo cual constituye una avalancha bastante severa, a 10 responsables externos. Para esta se obtuvo un tiempo promedio aproximado de 6 segundos, el que sería imposible de lograr por un operador. Por tanto mientras mayor sea el número de alarmas y responsables a notificar, más grande será la diferencia entre el proceso manual y el proceso automatizado propuesto en esta investigación.

De esta forma se demostró que a través de una aplicación siguiendo el modelo propuesto la notificación de las alarmas a los responsables externos se realiza con mayor inmediatez que con el mecanismo tradicional, además de que existe redundancia en la comunicación pues se puede realizar a través de varias tecnologías simultáneamente, lo que garantiza mayor efectividad.

#### IV. CONCLUSIONES

Al término de la presente investigación se arriba a las siguientes conclusiones:

Los sistemas de comunicaciones móviles ofrecen numerosas ventajas para la notificación de alarmas en tiempo real en sistemas SCADA, y su uso en este tipo de sistemas mejora la inmediatez en el aviso de situaciones críticas.

El modelo propuesto puede ser aplicado a cualquier mecanismo de notificación en tiempo real, no solamente a sistemas SCADA, pues fue diseñado de forma genérica.

La versatilidad del modelo propuesto permite la notificación de alarmas a través de diferentes tecnologías de comunicaciones móviles y la incorporación dinámica de

nuevos plugins, lo que garantiza la escalabilidad y extensibilidad del mismo, además de mayor seguridad al existir la posibilidad de redundancia en las comunicaciones.

Los mecanismos de comunicación y atención de alarmas propuestos muestran la fortaleza de la solución y permiten la ubicación de los componentes distribuidos en distintos nodos físicos.

La automatización del proceso de notificación de alarmas a responsables en campo, a través del modelo propuesto, permite mejorar la inmediatez respecto a la notificación manual.

#### REFERENCIAS

- [1] S. A. Boyer, SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2004.
- [2] A. Rodríguez Penin, Sistemas SCADA – Guía Práctica, España: MARCONBO, 2007.
- [3] J. D. Fernández y A. E. Fernandez, «SCADA systems: vulnerabilities and remediation,» *Journal of Computing Sciences in Colleges*, vol. 20, n° 4, pp. 160-168, 2005.
- [4] B. R. Hollifield y H. Eddie, Alarm Management: Seven Effective Methods for Optimum Performance, ISA, 2007.
- [5] A. Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, España: MARCONBO, 2006.
- [6] M. Sauter, Communication Systems for the Mobile Information Society., Ed John Wiley & Sons Ltd. , 2006.
- [7] A. Sendín Escalona, Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles. Evolución y tecnologías., McGraw-Hill Interamericana de España, 2004.
- [8] S. Bakaric, M. Borzic, D. Bratkovic y V. Grga, «TETRA (terrestrial trunked radio) - technical features and application of professional communication technologies in mobile digital radio networks for special purpose services,» *ELMAR, 47th International Symposium*, p. 307 – 310, 2005.
- [9] D. I. Axiotis y D. G. Xenikos, «On the Performance of TETRA Short Data Service-Transport Layer,» *Wireless Personal Communications*, Vol. 43, No. 4, vol. 43, n° 4, pp. 1121-1135, 2007.
- [10] M. Sauter, From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband, John Wiley & Sons, 2010.
- [11] F. Hillebrand, Short Message Service (SMS): The Creation of Personal Global Text Messaging, John Wiley & Sons, 2010.
- [12] M. y. Z. C. Xue, «The Socket Programming and Software Design for Communication Based on Client/Server. . PACCS '09. Pacific-Asia,» *Circuits, Communications and Systems, PACCS '09. Pacific-Asia Conference*, pp. 775 - 777, 2009.