



**Universidad de las Ciencias Informáticas**  
**Facultad 5**

**Plataforma de notificación de alarmas para  
sistemas SCADA a través de tecnologías de  
comunicaciones móviles.**

**Tesis presentada en opción al título de Máster en  
Informática Aplicada**

**Autor: Ing. Yaima Antunez Ojeda**

**Tutor: Dr. C. Yusnier Valle Martínez**

**Ciudad de La Habana, diciembre 2014**

## DEDICATORIA

*A mis padres que siempre han apoyado mi decisión de seguir adelante y han estado conmigo en los momentos más importantes.*

*Especialmente a mi hermana que siempre siguió mis pasos y estuvo ahí para todo, espero que este resultado te inspire.*

*A mi familia.*

## AGRADECIMIENTOS

*Mi agradecimiento más especial este día es para Tony, que ha sido mi soporte, mi motor impulsor, mi guía en este camino. Hoy eres responsable de este resultado y más que tutor y amigo, has sido como mi hermano. Aunque las palabras poco pueden expresar, de corazón mil gracias.*

*A mi esposo Luis Angel que estuvo presente en todos los pasos para llegar a este resultado. Gracias por el apoyo, los consejos y por todo tu conocimiento que pusiste en esta tesis.*

*A mi tutor por su guía, su sabiduría y por atenderme siempre que lo necesité a pesar de ser una persona muy ocupada. Pero sobre todo, por presionarme cuando hizo falta, gracias a eso, estoy hoy aquí.*

*A todos los profesores que han participado en mi formación en estos últimos tiempos, especialmente al profesor Alcides por su ayuda incondicional. A Maikel, que más que amigo es familia, y la vicedecana Mileidy, que gracias a ellos fui parte de esta edición.*

*A mi grupo de Inteligencia Empresarial por permitirme tomarme el tiempo que necesité al final de esta carrera.*

*A todos mis amigos, que de una forma contribuyeron con este resultado y que siempre han estado para mí cuando he necesitado.*

*Y finalmente a mis padres por hacerme la mujer que soy hoy y sentirse siempre orgullosos de cada logro y a mi hermana por enseñarme lo bueno de tener una hermana menor y alguien a quien guiar.*

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA**

Yo Yaima Antunez Ojeda, con carnet de identidad 85111118010, declaro que soy la autora principal del resultado que expongo en el presente trabajo titulado “Plataforma de notificación de alarmas para el SCADA Guardián del ALBA a través de sistemas de comunicaciones móviles”, para optar por el título de Máster en Informática Aplicada.

Declaro que todo lo expuesto se ajusta a la verdad, y asumo la responsabilidad moral y jurídica que se derive de este juramento profesional.

Y para que así conste, firmo la presente declaración jurada de autoría en Ciudad de la Habana a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

---

Firma del Maestrante

## SÍNTESIS

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. Facilitan en tiempo real la retroalimentación del proceso suministrando información sobre el control de calidad, los niveles de producción, y otras variables que ayudan a la gestión del mismo, así como su análisis histórico. Una de las funciones principales de estos sistemas es la notificación y gestión de alarmas que muestran condiciones anormales en los procesos y que requieren la toma de acciones para corregir las mismas. Sin embargo, existen situaciones operacionales que pueden ser provocadas por fallas en la planta, que no pueden ser resueltas remotamente y requieren una rápida toma de decisiones.

Por eso se hace necesario el desarrollo de un mecanismo que permita el aviso de manera inmediata de las alarmas generadas en los sistemas SCADA a los responsables externos. Esto es posible a través de tecnologías de comunicaciones móviles que ofrezcan servicios como envío de mensajes cortos. En este trabajo se propone una plataforma que permite la notificación de alarmas para sistemas SCADA, a través de tecnologías de comunicaciones móviles.

Como validación práctica, se implementó la plataforma que permite el envío de mensajes cortos con la información de las alarmas y se desarrollaron los plugins para dos tecnologías. Se probó el envío satisfactorio de los mensajes y se realizaron un conjunto de pruebas experimentales en varios escenarios, que permitieron comprobar la inmediatez en la notificación a través de la plataforma.

**Palabras clave:** alarmas, comunicaciones móviles, inmediatez, notificación.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>9</b>
1.1 SISTEMAS SCADA .....	9
1.1.1 Comunicaciones.....	11
1.1.2 Tipos de datos.....	13
1.2 SCADA “GUARDIÁN DEL ALBA” .....	17
1.3 SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES. ....	19
1.3.1 Sistemas de comunicación por radio o troncalizados .....	21
1.3.2 Sistemas de telefonía móvil o celular .....	24
1.3 ENVÍO DE MENSAJES EN SISTEMAS SCADA. ....	28
CONCLUSIONES PARCIALES .....	32
<b>CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>34</b>
2.1 ESQUEMA DE NOTIFICACIÓN DE ALARMAS.....	34
2.1.1 Descripción de los procesos a automatizar. ....	34
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA. ....	35
2.2.1 Ambiente de Edición. ....	36
2.2.2 Ambiente de Ejecución.....	37
2.3 PRINCIPIOS. ....	38
2.4 COMPONENTES. ....	39
2.4.1 Componente Configuración.....	40
2.4.2 Componente Envío de Mensajes .....	41
2.5 FLUJO DE DATOS ENTRE LOS COMPONENTES .....	41
2.5.1 Configuración de los plugin .....	42
2.5.2 Gestión de responsables.....	43
2.5.3 Configuración de alarmas. ....	43
2.5.4 Procesamiento de alarmas.....	44
2.5.5 Confección del mensaje.....	44
2.5.6 Envío de mensaje. ....	44
2.6 COMUNICACIÓN.....	45
2.6.1 Comunicación entre componentes del sistema. ....	45
2.6.2 Comunicación con el SCADA.....	46
CONCLUSIONES PARCIALES .....	47
<b>CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>48</b>
3.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA.....	48
3.1.1 Arquitectura.....	48
3.1.2 Componentes del Config Manager.....	49
3.1.3 Componentes del Message Manager.....	50
3.1.4 Interfaz genérica de los plugin.....	51
3.2 PRUEBAS .....	53
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	56
CONCLUSIONES PARCIALES .....	60

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de Automatización CIM.....	12
Figura 2. Arquitectura del SCADA “Guardián del ALBA” .....	17
Figura 3. Esquema actual de notificación de alarmas .....	34
Figura 4. Proceso de notificación de alarmas.....	35
Figura 5. Proceso de obtención de la información de los responsables .....	35
Figura 6. Plataforma de notificación de alarmas .....	36
Figura 7. Ambiente de Edición .....	37
Figura 8. Ambiente de Ejecución .....	38
Figura 9. Componentes de la Plataforma.....	39
Figura 10. Componente Configuración .....	40
Figura 11. Componente Envío de Mensajes.....	41
Figura 12. Diagrama de flujo para la configuración de los plugins.....	42
Figura 13. Diagrama de flujo para la configuración de las alarmas .....	43
Figura 14. Diagrama de flujo para el envío de mensaje.....	44
Figura 15. Arquitectura general de la plataforma .....	48
Figura 16. Arquitectura del Config Manager .....	49
Figura 17. Arquitectura del SDS Manager.....	50
Figura 18. Diagrama de despliegue de la Plataforma .....	53
Figura 19. Modem GSM MC35i.....	55
Figura 20. Radio HTT-500 .....	56
Figura 21. Radio MDT-400.....	56
Figura 22. Comportamiento del tiempo en el experimento .....	59



## Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de la función Init .....	51
Tabla 2. Descripción de la función State .....	51
Tabla 3. Descripción de la función GetSDSConfig .....	51
Tabla 4. Descripción de la función GetConfig.....	52
Tabla 5. Descripción de la función PropertyCount.....	52
Tabla 6. Descripción de la función SetConfig.....	52
Tabla 7. Descripción de la función SendSDS.....	52
Tabla 8. Ambiente de pruebas .....	57
Tabla 9. Escenarios para el experimento .....	58
Tabla 10. Resultados del experimento.....	58

## INTRODUCCIÓN

El avance actual de las Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones (TIC) ha contribuido al desarrollo y crecimiento de las diferentes ramas de la industria. La automatización de los procesos industriales ha permitido sustituir el trabajo manual, disminuir el margen de error provocado por el factor humano y por tanto agilizar su desarrollo. Otros 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. No se concibe una industria en la actualidad sin un sistema SCADA para realizar el control automático de sus operaciones. La particularidad de estos sistemas es que facilitan la retroalimentación del proceso en tiempo real, suministrando información sobre el control de calidad, los niveles de producción, y otras variables que ayudan a la gestión del mismo, así como su análisis histórico (Boyer, 2004), (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA – Guía Práctica, 2007), (Fernández & Fernandez, 2005).

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 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 (Boyer, 2004), (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, 2006).

En el año 2002 durante el paro golpista ocurrido en Venezuela, la empresa Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA) fue objeto de un sabotaje que paralizó la actividad económica fundamental del país provocando una situación de caos total. Este paro fue causado por fuerzas opositoras de ultraderecha que en estrecha relación con la empresa Intesa (Informática, Negocios y Tecnología, S.A.) gestaron el golpe contra los sistemas de supervisión y control de la industria petrolera. Esta empresa era

la encargada de manejar la información vital de PDVSA. Controlaba la infraestructura, facilidades, equipos, los datos financieros, geológicos y técnicos, el manejo de los presupuestos y de los negocios de la empresa; además del personal de soporte tecnológico de información de PDVSA, en el cual reposaba el control decisivo de la producción, refinación y distribución del crudo y sus derivados. Intesa ejerció su poder de control computarizado para paralizar la carga, descarga y almacenamiento de crudo en los diferentes terminales de embarque, así como para detener el funcionamiento de la mayoría de las estaciones de flujo, plantas compresoras, plantas de procesamiento, llenaderos de combustible, tuberías automatizadas, entre otros, asegurándose que la manipulación de las redes informáticas fuera posible solamente por parte de los poseedores de las claves secretas de acceso al sistema (Carvajal Arroyo, 2012).

Surge entonces, debido a la necesidad de sustituir los sistemas anteriores, y en el marco de las relaciones entre Cuba y Venezuela, la idea del desarrollo conjunto de un sistema SCADA utilizando software libre que permitiera remplazar los ya existentes, por uno nacional que elimine la dependencia de sistemas propietarios que en muchos casos no cumplen las expectativas del usuario final y posibilite además lograr la independencia tecnológica. De esta forma se comienza en el año 2006 el desarrollo del SCADA Nacional, posteriormente nombrado SCADA “Guardián del ALBA” (GALBA) con la colaboración del CEDAI, la Universidad de Moa, SERCONI y mayormente la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), específicamente del Centro de Informática Industrial (CEDIN).

Actualmente en PDVSA existen muchos sistemas SCADA de diferentes fabricantes, por ejemplo el Oasys de la empresa Telvent perteneciente ahora a Schneider Electric, plataforma que realiza la mayoría de las operaciones de supervisión y control estándares, esta se encuentra implantada en numerosos patios de tanques y estaciones de flujo (Electric, Telvent Infrastructure — OASyS Product Family Overview, 2014). Otro de los SCADA usados en PDVSA es el Intouch de la corporación Wonderware, que además de las funcionalidades básicas de este tipo de sistemas, ofrece funciones avanzadas de visualización gráfica con capacidades de gestión de operaciones, control y optimización de alto nivel (Invensys Systems, Intouch 10.0 HMI de Wonderware, 2007). Aunque desplegados en menor escala, en PDVSA existen otros SCADA como el WinCC, Ifix, Yokogawa, Plan Scape entre otros; esta diversidad trae consigo una serie de problemas, primeramente el relacionado con los costos relativos al pago de licencias, actividades de soporte, asistencia técnica y actualización. Algunos de estos sistemas están obsoletos y sobredimensionados. En

segundo lugar PDVSA cuenta con poco personal especializado en la manipulación y gestión de fallas, lo que constituye un agravante desde el punto de vista administrativo. Es importante destacar que todos los SCADA mencionados se compran con los dispositivos de hardware que brindan los fabricantes, por lo que esta variedad dificulta homogeneizar la información de todas las plantas.

La idea de desarrollar de forma autónoma el sistema GALBA tiene como objetivo resolver los problemas mencionados. GALBA es un sistema genérico que puede ser aplicado a cualquier proceso que necesite automatización. Posee una arquitectura distribuida donde los componentes de hardware y software se encuentran localizados en distintos nodos físicos, los que se comunican y coordinan sus acciones mediante el paso de mensajes a través de una red (Coulouris, 2009). Posee un conjunto de módulos que garantizan el correcto funcionamiento del mismo y posibilitan la ejecución de funcionalidades, tales como la adquisición, procesamiento, almacenamiento y visualización de la información proveniente de los dispositivos de campo en tiempo real. Está siendo implantado actualmente en áreas operacionales de PDVSA como patios de tanques, estaciones de flujo, plantas compresoras, plantas inyectoras de agua, terminales de embarque entre otras a lo largo de toda Venezuela. Se utiliza para el monitoreo y control de procesos relacionados con la extracción y almacenamiento de petróleo, bombeo y desmineralización de agua, así como para la compresión y fraccionamiento de gas. 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 puede interactuar y que le permiten además ejercer acciones de control. Los despliegues muestran principalmente la información relacionada con las variables configuradas y un panel de alarmas, que son avisos que se generan ante la ocurrencia de una condición anormal, de manera que el operador pueda reconocerlas y ejecutar las acciones correctivas pertinentes (Hollifield & Eddie, Alarm Management: Seven Effective Methods for Optimum Performance, 2007).

A partir de la experiencia con el GALBA, y producto de las crecientes necesidades de las industrias cubanas, se comienza a desarrollar el SCADA UX, con similares características y prestaciones. Este sistema tiene como objetivo automatizar los procesos que hoy se realizan de forma manual y así permitir que empresas como ETECSA, Instituto de Meteorología, Centro de Inmunología Molecular (CIM) puedan monitorear y controlar remotamente sus instalaciones. Se pretende obtener con el SCADA UX un sistema robusto capaz de cumplir con los requerimientos de las industrias, lo más genérico posible, que pueda ser aplicado a cualquier industria, y abierto, capaz de comunicarse a través de mecanismos simples con dispositivos y

sistemas externos. Para ello se realiza un estudio de los elementos que limitan de alguna forma las capacidades del GALBA.

Una de las limitantes que tiene hoy el GALBA está referida al mecanismo de gestión y notificación de alarmas. Existen situaciones operacionales que pueden ser provocadas por fallas en la planta y no pueden ser resueltas remotamente, las cuales requieren una rápida toma de decisiones. A continuación se relacionan como ejemplo, un conjunto de situaciones excepcionales que pueden ocurrir en los procesos de la industria petrolera:

- Los actuadores son aquellos elementos que pueden realizar acciones de control sobre un proceso automatizado, modificando los estados de un sistema. Entre los más usados para la automatización industrial se encuentran las motobombas, electroválvulas, motores paso a paso, de corriente continua, de corriente alterna, entre otros (Creus Solé, 2011). Estos elementos de hardware pueden ser colocados en procesos con elevados niveles de prioridad y riesgo, y deben garantizar una alta disponibilidad del sistema. Aunque en PDVSA existen políticas de mantenimiento continuo, es imposible evitar o predecir todas las fallas que desde el punto de vista de hardware pueden ocurrir. Un sistema SCADA debe ser capaz de generar alarmas ante la rotura de algún actuador, en cuyo caso se debe notificar al personal preparado para continuar con el proceso de forma manual. Es importante minimizar el tiempo que transcurre desde que se detecta la falla en el actuador hasta que se realiza la notificación de la misma. Actualmente la forma más rápida es mediante la comunicación directa entre los operadores y el personal especializado. Por ejemplo una válvula es un elemento que permite controlar el paso de fluidos a través de un conducto. Su función es variar el caudal del fluido de control, que modifica a su vez el valor de la variable controlada, comportándose como un orificio de área continuamente variable (Creus Solé, 2011). Cuando se realiza la instalación de una electroválvula se coloca otra redundante que puede ser activada manualmente, de esta forma, si la electrónica se daña, se muestra una alarma al operador, este avisa al personal especializado en el campo y se puede continuar con el proceso de forma manual. En esta acción se pierde tiempo valioso que pudiera causar desbordamiento de tanques, disminución de la presión en los pozos, incluso incendios a raíz de escapes en tuberías.
- Una de las alarmas que se muestra en el SCADA es denominada alarma de intrusos y se genera cuando el sistema de seguridad detecta una violación. Ante la activación de este tipo de alarmas se debe notificar al personal de

planta encargado de preservar la seguridad. Actualmente esta notificación se realiza de manera personal por parte de los operadores del SCADA, lo que implica pérdidas de tiempo por este concepto que pueden conllevar a que por ejemplo se consume un acto delictivo.

- Una de las fallas más comunes en los sistemas SCADA es la de comunicación con los dispositivos de campo, puede ocurrir por diferentes factores, por ejemplo desperfecto en los instrumentos (sensores, actuadores, autómatas, controladores lógicos programables (PLC), terminales remotas (RTU)) o problemas en las redes de comunicación (ethernet, serie, radio, entre otras). Estas situaciones pueden provocar problemas graves dentro de las plantas pues detienen por completo la supervisión y el control de forma remota. A nivel del SCADA las fallas de comunicación con los dispositivos generan una alarma e inmediatamente los operadores deben notificar esta situación a todos los niveles, sería conveniente que para evitar pérdidas de tiempo y garantizar que la notificación se realice a todos los responsables, este proceso ocurra de forma automatizada.

Estas son algunas de las situaciones críticas que pudieran ocurrir en las plantas donde se ejecutan procesos industriales, pero existen muchas más asociadas al resto de las operaciones, en todos los casos se requiere una rápida comunicación y toma de decisiones. Actualmente el GALBA no cuenta con un mecanismo de aviso a todos los interesados en los procesos, más allá de los despliegues propios del sistema, que son visualizados por el operador en la planta. Responsables externos como gerentes, operadores de campo y mantenedores que son responsables de la toma de decisiones en determinadas situaciones, no tienen acceso directo a la información de alarmas y comportamientos de las variables que se muestran en los despliegues. Esto trae como consecuencia la pérdida de tiempo valioso en situaciones extremas que dificulta la toma de decisiones, según el nivel de aprobación de las acciones y la complejidad. Tratándose de procesos críticos como los que se manejan en los sistemas SCADA, se hace necesaria la comunicación inmediata con los responsables externos.

Actualmente, el uso de dispositivos móviles como celulares, agendas personales electrónicas (PDA por sus siglas en inglés), tabletas, entre otros, es ampliamente difundido y está generalizado en la mayoría de la población. Para el sector industrial resultan muy útiles los sistemas basados en tecnología de radio-frecuencia, que se han convertido en un medio confiable debido a su alta disponibilidad y seguridad. Por esta razón, la infraestructura para el uso de estos medios se encuentra instalada y en su mayoría, es moderna y avanzada, sin embargo no se explotan al máximo las

potencialidades de estas tecnologías; precisamente en el sector industrial, donde es tan necesaria la comunicación inmediata, las redes especializadas no son aprovechadas en toda su capacidad.

Ante la problemática expuesta se formula el siguiente problema científico: El mecanismo actual de notificación de alarmas de los sistemas SCADA desarrollados en el CEDIN, no garantiza inmediatez en la notificación a los responsables externos.

Objeto de estudio: Los sistemas de comunicaciones móviles en la automatización de procesos industriales.

Objetivo: Desarrollar una plataforma 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.

Hipótesis Investigativa: Si se hace uso de las tecnologías de comunicaciones móviles, se podrá notificar con mayor inmediatez la información de las alarmas generadas en los sistemas SCADA a los responsables externos.

Para dar cumplimiento al objetivo se plantearon las siguientes tareas de investigación:

- Determinación de los referentes teóricos en que se fundamentan las aplicaciones SCADA.
- Caracterización de tecnologías de comunicaciones móviles que ofrezcan mecanismos de notificación inmediata como envío y recepción de mensajes cortos.
- Caracterización de aplicaciones SCADA que implementen la comunicación con dispositivos móviles.
- Diseño de una plataforma para la notificación de alarmas para sistemas SCADA a través de sistemas de comunicaciones móviles.
- Implementación de la plataforma y de los plugins para tecnología TETRA y GSM.
- Validación de la solución a partir de pruebas experimentales.

Aporte práctico: Se obtiene una plataforma para la notificación de las alarmas generadas en el SCADA GALBA, a través de sistemas de comunicaciones móviles que disminuye el tiempo de notificación respecto a la forma en la que se realiza actualmente.

Para llevar a cabo las tareas de investigación se emplearon un grupo de métodos:

### **A nivel Teórico:**

- Analítico – 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 de la ingeniería de software, 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.

El presente trabajo consta de Introducción, tres capítulos, Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas, Bibliografía y Anexos. Los capítulos se estructuran de la siguiente manera:

#### Capítulo 1. Fundamentación teórica.

Describe los principales conceptos relacionados con sistemas SCADA profundizando en la información que se genera y los mecanismos de comunicación. Se realiza una caracterización de los principales estándares de comunicación usados en la actualidad y se analizan soluciones SCADA existentes que implementen la comunicación con dispositivos móviles.

#### Capítulo 2. Diseño de la propuesta de solución.

Se presenta la propuesta de solución y se describe la plataforma y cada uno de sus módulos o componentes.

#### Capítulo 3. Validación de la solución propuesta.



Se realiza la validación de la plataforma propuesta a través de la implementación de ejemplos prácticos, a los que se les aplican las pruebas experimentales y se realiza el análisis de los principales resultados.

Por último se arriban a las conclusiones de la investigación y se realizan las recomendaciones teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

En este capítulo se abordan aspectos fundamentales de los sistemas SCADA, centrándose en los mecanismos de comunicación, los datos que se manejan y el proceso de generación de alarmas. También se hace un estudio de las principales tecnologías de comunicaciones móviles usadas en la actualidad, así como de aplicaciones SCADA que implementen la comunicación a través de mensajes cortos.

### **1.1 Sistemas SCADA**

SCADA de las siglas "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir: sistemas para la Supervisión, Control y Adquisición de datos, son sistemas basados en computadoras que permiten supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo, donde el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Proporciona comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión y mantenimiento (Karnouskos & Colombo, 2011).

SCADA es la tecnología que permite a los usuarios recolectar la información de una o más instalaciones distantes, además de enviar instrucciones de control a esas instalaciones. Un SCADA hace innecesaria la presencia física de los operadores en los sitios distantes. Incluye interfaces para operadores y permite el monitoreo de los datos relacionados con los procesos (Boyer, 2004).

Se da el nombre SCADA a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA. Tercera Edición., 2012).

De forma general 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, redes de distribución de gas natural, subterráneos, generación energética, sistemas de distribución de agua, entre otros.

Los sistemas SCADA ofrecen una serie de prestaciones que van desde el control y supervisión de procesos en el nivel de campo hasta brindar soporte a los niveles de gestión y administración. Entre ellas podemos encontrar las siguientes:

- Monitorización: realizan la representación de datos del proceso en tiempo real, es decir las variables que se leen de los dispositivos: temperatura, presión, etc.
- Supervisión remota: permite conocer el estado y desempeño del proceso desde estaciones centrales. Resulta muy útil en procesos distribuidos en amplias locaciones, y permite coordinar labores de control de calidad y mantenimiento.
- Control remoto de instalaciones y equipos: posibilita cambiar datos claves del proceso directamente desde el ordenador (abrir o cerrar válvulas, encender motores, etc). También permite ajustar los valores, parámetros y algoritmos de control.
- Visualización dinámica: genera imágenes dinámicas que representan de manera intuitiva el comportamiento del proceso, reflejando los elementos de la planta. En estos gráficos también se pueden encontrar curvas y tablas de los datos y estados del sistema en el tiempo.
- Adquisición y registro histórico de datos: los datos adquiridos son procesados en tiempo real y almacenados en bases de datos, de manera que puedan ser analizados posteriormente a fin de evaluar el desempeño del sistema, así como realizar el diagnóstico y prevención de fallas.
- Representación de señales de alarma: por medio de las señales de alarma el sistema informa al operador la presencia de una falla o condición indeseable en el proceso, estas señales pueden ser visuales y/o sonoras.
- Programación de aplicaciones: existe la capacidad de programar informes, estadísticas o recetas para los autómatas.
- Comunicación entre aplicaciones: permiten el intercambio de información con diversas aplicaciones (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA – Guía Práctica, 2007), (Bailey & Wright, 2003).

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 (Montero, Barrantes, & Quiros, 2004), (Aragón Cáceres, Chávez Lorenzo, Pérez Javier, & Ravelo Hernández, 2011)).

### **1.1.1 Comunicaciones.**

Un sistema SCADA cubre generalmente grandes áreas geográficas y necesita diversos medios de comunicación. En sus inicios utilizaron enlaces de comunicación lentos, los cuales han ido evolucionando, pasando de las comunicaciones a través de la radio hasta las comunicaciones satelitales. Un aspecto importante que define la calidad de la tecnología de un sistema SCADA es la capacidad de garantizar la confiabilidad en la transferencia de los datos al usar estos medios (Chan & Ebenhoh, 2002). Además deben ser capaces de comunicarse con diferentes medios, dígase dispositivos de campo, entre sus propios subsistemas y con aplicaciones externas.

Estos elementos se reflejan en la pirámide de automatización CIM, (del inglés Computer Integrated Manufacturing) modelo que integra las diversas unidades presentes en la industria, dígase procesos de producción (diseño, ingeniería y fabricación) con los de gestión de la empresa, indicando las jerarquías y responsabilidades de las áreas, así como las relaciones entre las diferentes unidades, Figura 1. Este modelo refleja de forma gráfica, la estructuración de los sistemas de comunicación en un entorno productivo, por lo que se usa como referencia al momento de automatizar un proceso, pues brinda lineamientos a seguir para que el proyecto se integre de forma adecuada. Adoptar este modelo, permitirá a la empresa proporcionar asistencia computarizada, automatizar, controlar y elevar el nivel de integración en todos los niveles de la manufactura (Hannam, 1997), (García Higuera & Castillo García, 2007)).



Figura 1. Pirámide de Automatización CIM

A partir del modelo de la pirámide representado en cinco niveles, se puede decir que el software SCADA constituye el nivel intermedio entre los niveles de campo que contienen el hardware y los niveles de gestión. Es por ello que debe contar con varias interfaces de comunicación, tanto para los componentes de hardware como para otros elementos de software.

El intercambio de información con los dispositivos de campo se realiza a través de los manejadores de comunicación. El manejador realiza la función de traducción entre el lenguaje del programa SCADA y el del autómatas (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, 2006). Se encarga de la iniciación del enlace, aplicación de los formatos, ordenación de las transferencias, en definitiva, de la gestión del protocolo de comunicación permitiendo el envío y recepción de datos. Muchos sistemas SCADA en la actualidad utilizan como mecanismo de adquisición el estándar OPC (OLE for Process Control), diseñado para comunicar sistemas y dispositivos. Esto incluye tanto las comunicaciones entre un software SCADA y los buses de comunicación con los autómatas, a través de los manejadores específicos para cada protocolo (MODBUS, GeFanuc, ALLEN-BRADLEY, etc), como las comunicaciones entre una aplicación SCADA y otras aplicaciones de gestión, abriendo a estas últimas el acceso a los datos de planta, ya sean datos históricos o en tiempo real (Romagosa Cabús, Gallego Navarrete, & Raúl., 2004).

Adicionalmente en los sistemas distribuidos, el módulo de comunicaciones es el responsable del enlace entre los diferentes ordenadores del proceso y entre los subsistemas del SCADA. Para este fin se utiliza usualmente un middleware o software de comunicación entre aplicaciones y procesos que es el que permite enviar a cada uno de los módulos y recibir de ellos toda la información generada. El Middleware es una pieza de software que se encuentra ubicada entre las capas del sistema operativo y la de aplicación (Völter, Kircher, & Zdun, 2005). Ofrece un conjunto de servicios que hacen posible el funcionamiento de aplicaciones distribuidas sobre plataformas heterogéneas. Permiten el envío y recepción de los distintos tipos de datos que se manejan en los SCADA: puntos, alarmas, eventos, comandos, bitácoras, entre otros.

De acuerdo con la pirámide CIM los sistemas SCADA deben permitir la comunicación con sistemas externos con el objetivo de intercambiar información que pueda ser analizada a otros niveles. Estas aplicaciones se encuentran en el nivel de producción, por ejemplo los Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES, por sus siglas en inglés) que tienen como objetivo fundamental maximizar el rendimiento operacional del proceso productivo, se alimentan en tiempo real y en línea de datos provenientes de otros sistemas (historiadores de proceso, HMI/SCADA, entre otros), y los convierte en información para la toma de decisiones (Sepúlveda, 2006). En el nivel de gestión de recursos se encuentran los Sistemas de Planificación de Recursos de la Empresa (ERP, por sus siglas en inglés), los cuales son sistemas de información para la gestión integral de las partes más importantes del negocio y abarcan diferentes áreas como: finanzas, producción, logística, recursos humanos y marketing. También pueden comunicarse con otros sistemas externos como otros sistemas SCADA y Sistemas de Control Distribuido (DCS, por sus siglas en inglés). Para ello se puede brindar la información del SCADA (puntos, alarmas, eventos, comandos, etc) al sistema externo a través del acceso directo a esta, o publicarse en una red corporativa a través de servicios. Para estos fines también es utilizado el estándar OPC.

### **1.1.2 Tipos de datos.**

Entre los tipos de datos que se manejan en los sistemas SCADA se han mencionado principalmente puntos, alarmas, eventos, comandos, bitácoras, entre otros. A través de estos se obtiene y se almacena toda la información referente a los procesos de campo.

Los puntos o variables son la unidad básica de los sistemas SCADA y constituyen el flujo principal de información. Pueden representar innumerables indicadores como: presión, temperatura, flujo, potencia, peso, intensidad de corriente, voltaje. La gama de

indicadores que se pueden medir es muy amplia y varía en dependencia de la industria en la que sea implantado el sistema y de los aspectos que sea necesario controlar. Las variables son adquiridas mediante instrumentación o utilizando sensores conectados a autómatas o equipos de control. Después de convertidas a señales eléctricas, estas variables pasan a ser estructuras que contienen datos, los que pueden ser de tipos simples (entero, flotante, cadenas, y otros) o de tipos complejos (Cembrano, y otros, 2004). La información de estas variables permite conocer el estado del sistema y su historia.

Las variables contienen un conjunto de atributos que pueden variar de un sistema a otro, generalmente se destacan:

1. Nombre y/o Identificador: Es el atributo que identifica y hace única a la variable en el sistema.
2. Valor: Es el atributo que contiene el estado (valor) de la variable en un instante de tiempo.
3. Marca de tiempo: Representa el instante de tiempo en que se adquirió o calculó la variable.
4. Calidad: Representa la calidad del valor de la variable (Aragón Cáceres, Chávez Lorenzo, Pérez Javier, & Ravelo Hernández, 2011), (Arrieta Paternina, Mira Pérez, Avendaño Tapasco, & Quinchia Osorio, 2013).

Los comandos son señales que se envían a los dispositivos y que ejecutan un cambio de estado en una variable. Ofrecen la posibilidad de que los operadores puedan cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador, puede ser marcha, paro, modificación de parámetros, entre otros. De esta forma se escriben datos sobre los elementos de control.

La visualización de los estados de las variables del sistema se realiza a través de alarmas y eventos. Los eventos registran toda la actividad ocurrida en el sistema, dígame cambios de estados en las variables, en los dispositivos, trazas de usuarios, inicios y cierres de sesiones, puesta en marcha y paro, entre otros. Generalmente los eventos se almacenan con atributos como la hora en que ocurrió, el usuario activo y se muestran en un sumario. No requieren de la atención del operador y registran de forma automática todo lo que ocurre en el sistema (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, 2006), (Duarte, Rato, Shirley, & Rijo, 2011). Las alarmas 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 del SCADA, pues pueden representar situaciones peligrosas.

### **Las alarmas.**

Las alarmas se basan en la vigilancia de los parámetros de las variables del sistema. Surgen ante la presencia de una condición anormal no deseable, porque su aparición puede dar lugar a problemas de funcionamiento. Este tipo de sucesos requiere la atención de un operador para su solución antes de que se llegue a una situación crítica que detenga el proceso (por ejemplo nivel muy alto en tanques de almacenamiento de petróleo) o para poder seguir trabajando (aumento de presión en un pozo) (Stanton, 1994) (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, 2006). Es por ello que resultan de mayor interés para su notificación inmediata a los responsables de solucionarlas.

Las alarmas se suelen dividir según su influencia en el funcionamiento del sistema o máquina a controlar:

### **Prealarmas**

Grupo dentro del cual se engloban todos aquellos sucesos susceptibles de generar problemas graves en el sistema a corto o medio plazo y que requieren atención por parte de los responsables de mantenimiento.

### **Alarmas de fin de ciclo**

No requieren un paro inmediato de la máquina. Se puede realizar toda la secuencia de trabajo hasta su finalización, momento en el cual la máquina se detiene y requiere atención de mantenimiento. Solucionado el problema, la orden de marcha reinicia el proceso.

### **Alarmas de paro**

Son todas aquellas que requieren la detención inmediata de la máquina sin importar el punto en el que se halle el proceso. Tras un paro de este tipo el sistema debe retornar a sus condiciones iniciales de trabajo antes de poder dar marcha de nuevo. Generalmente las variables de un sistema SCADA tienen asignados una serie de valores que definen su comportamiento dentro del sistema.

De la misma manera, se les puede asignar una prioridad, de modo que si aparecen varias de forma simultánea, las más importantes aparecerán primero (Rodríguez



Penin, Sistemas SCADA – Guía Práctica, 2007), (Hollifield & Eddie, Alarm Management: Seven Effective Methods for Optimum Performance, 2007).

La jerarquía de la alarma se define por su nivel de severidad, lo cual determina su tratamiento, según lo siguiente:

**Severidad 1 (Alarmas Críticas):** Requieren acción inmediata del operador. El retardo o el fracaso de la acción correctiva puede causar heridas al personal, daños ambientales o en las instalaciones y otras pérdidas sustanciales.

**Severidad 2 (Media):** El objetivo de estas alarmas es advertir al operador que es necesario tomar medidas a fin de eliminar la desviación que activó la alarma y evitar la ejecución de alguna acción correctiva automática o manual.

**Severidad 3 (Advertencia de Alarmas):** Usado para objetivos de información relacionados con desviaciones de proceso, equipo de proceso estado anormal, estado de cierre no incluido en prioridad 1 ó 2, alarmas de sistema, entre otras (Stanton, 1994), (Hollifield & Eddie, Alarm Management: A comprehensive guide, 2011).

Las alarmas se representan a través de un sumario que no es más que la interfaz gráfica que concentra las condiciones de procesos críticos, medios y bajos presentes en el sistema y cuyo objetivo primordial es guiar al operador a la detección del origen de la falla y supervisar la ejecución de las medidas de corrección automatizada o manual. Ofrece indicación gráfica de la situación del fallo, a través de varios atributos que muestran datos como el tipo de alarma, la causa que la originó, y la variable alarmada, pueden estar acompañadas con un mensaje sonoro si es necesario. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias (Hollifield & Eddie, Alarm Management: A comprehensive guide, 2011), (Rothenberg, 2009).

Un elemento importante a la hora de gestionar las alarmas es la representación visual. En el sumario las alarmas pueden ser:

**Momentánea:** Alarma que desaparece del sumario al retornar la variable al estado normal independientemente de si ha sido reconocida o no.

**Mantenida:** Alarma que desaparece del sumario, solo cuando la variable retorna al estado normal y la misma ha sido reconocida.

La persona encargada del diseño del sistema de visualización, junto con los usuarios y los diseñadores de las máquinas a controlar, deberán decidir la categoría de cada

alarma que se cree (Hollifield & Eddie, Alarm Management: Seven Effective Methods for Optimum Performance, 2007).

De los tipos de datos que se manejan en los sistemas SCADA, las alarmas resultan los más críticos como se mencionó anteriormente, y 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. En ocasiones no es posible realizar remotamente estas acciones, por lo que se necesitan otros mecanismos de notificación inmediata, que llegue a los responsables externos.

## 1.2 SCADA “Guardián del ALBA”

El SCADA “Guardián del ALBA” es un sistema genérico que puede ser aplicado a cualquier proceso que requiera automatización con el mínimo de cambios a realizar. Está desarrollado en software libre, con una arquitectura distribuida y flexible. Está formado por un conjunto de módulos reutilizables bajo los principios de un sistema distribuido donde sus componentes pueden ejecutarse en diferentes nodos físicos de la red, enlazados mediante un middleware como se muestra en la Figura 2.

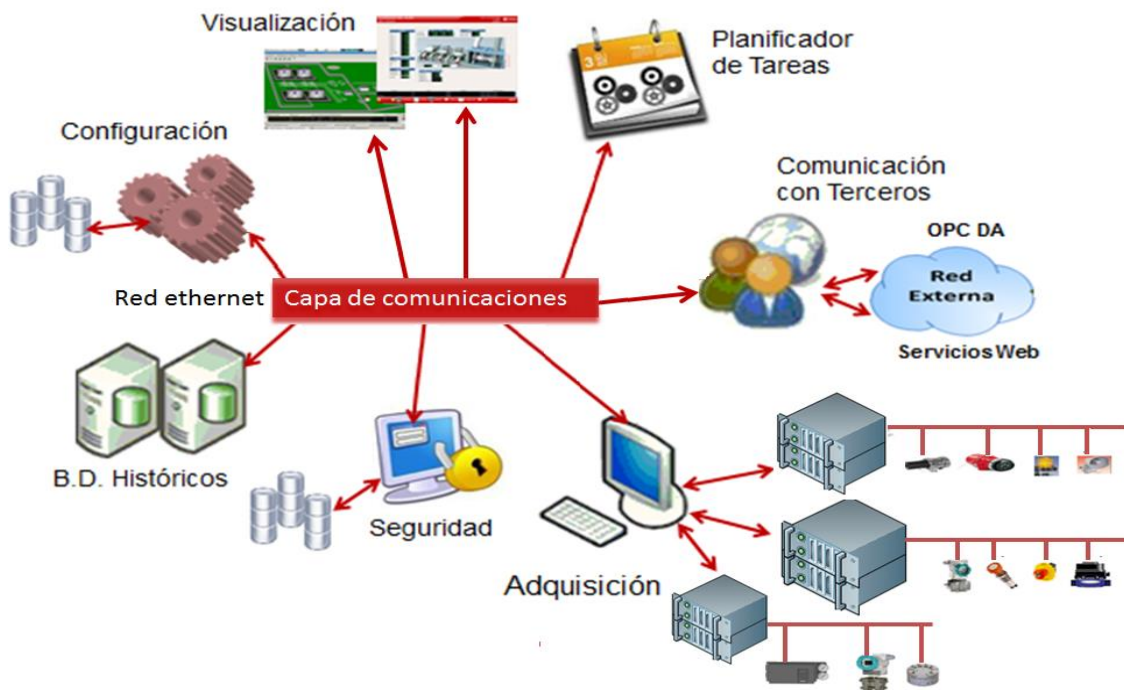


Figura 2. Arquitectura del SCADA “Guardián del ALBA”.

Las funciones específicas de cada uno de ellos son las siguientes:

- Capa de comunicaciones o middleware: Es la capa que permite la comunicación entre todos los módulos del sistema.
- Adquisición y Procesamiento: Garantiza la ejecución en tiempo real y se encarga de la planificación de los procesos de lectura y escritura sobre los dispositivos. Incluye los drivers o manejadores que son los que permiten al sistema operativo interactuar, controlar y comunicarse con un dispositivo en particular, posibilitando la transmisión de datos entre redes de computadoras.
- Configuración: Es el encargado de almacenar, persistir y suministrar la información base para el funcionamiento de los demás módulos del SCADA.
- Visualización: Permite desde cualquier PC cliente acceder a los datos que se encuentran en el servidor, es la interfaz visual que muestra a los operadores el funcionamiento de los procesos de la planta. Contiene un subsistema de Reportes que permite emitir informes que consoliden la información adquirida.
- BD Históricas: Es el módulo encargado de manejar de forma clara, sencilla y ordenada los datos recolectados del campo que posteriormente se convertirán en información relevante y serán utilizados para realizar análisis y obtener retroalimentación de los procesos.
- Seguridad: Provee las funcionalidades necesarias para garantizar el trabajo autorizado por usuarios, además brinda las herramientas para la protección contra ataques maliciosos o involuntarios al sistema.
- Comunicación con terceros: Permite la comunicación con sistemas externos con el objetivo de intercambiar información. Estos terceros pueden ser otros sistemas SCADA, DCS, aplicaciones de gestión, gerenciales y de negocio.
- Planificador de tareas: Permite la programación y ejecución de scripts para realizar tareas que complementan el funcionamiento del sistema (Aragón Cáceres, Chávez Lorenzo, Pérez Javier, & Ravelo Hernández, 2011).

### **Publicación de datos en el SCADA GALBA.**

La Capa de comunicaciones o Middleware implementa dos formas de comunicación, el modelo de comunicación asincrónica fundamentado en el paradigma publicación-subscripción y el modelo sincrónico inherente al paradigma cliente - servidor.

El Middleware debe proporcionar los mecanismos (asincrónicos) para el envío de puntos, alarmas, comandos, lotes de puntos, lotes de alarmas, eventos y bitácoras, también es responsable de proveer una interfaz que permita a los módulos del sistema ejecutar funcionalidades presentes en otros módulos de manera sincrónica, mediante llamadas a procedimientos remotos en el marco de una arquitectura cliente - servidor.

En conclusión, todos los datos en el SCADA se publican a través de los canales definidos por el Middleware y los módulos suscritos a estos canales reciben toda la información y a su vez envían las respuestas por estos mismos canales.

### **Publicación de Alarmas**

Cuando las alarmas son detectadas, el módulo de Adquisición las agrega al sumario interno de alarmas activas y las publica a todos los interesados, dentro de los que se destacan: Visualización, que las muestra en las consolas de operación, BD Históricas, y Comunicación con Terceros si fuera necesario. La publicación se realiza a través de los canales de comunicación que proveen los servicios de Middleware.

Una vez que la alarma es detectada y publicada, Adquisición se coloca en espera de cualquier cambio que pueda ocurrir sobre la misma, dígame comandos de operación como reconocimiento, inhibición o reinicio de la alarma o que desaparezca la causa que dio origen a la misma. En caso de que Adquisición detecte alguna de estas opciones, modifica el estado en el sumario interno e inmediatamente publica un evento asociado a estas modificaciones y actualiza a los clientes el nuevo estado de la alarma. De esta forma, la información sobre la alarma llega a todos los interesados y además se registra la incidencia así como los eventos relacionados con la misma.

Se observa que el sistema actual de gestión de alarmas del GALBA no es totalmente eficiente, pues garantiza su notificación únicamente al operador que se encuentra en la consola, a través del módulo de Visualización. Sin embargo para el aviso de un problema que solo puede ser resuelto en campo, el proceso es engorroso y lento, pues depende totalmente del operador que lo realiza de forma manual. Siendo así, influyen factores como su nivel de experticia, agilidad, capacidad de tomar decisiones, y otros elementos que afectan la inmediatez que debería primar en situaciones peligrosas.

### **1.3 Sistemas de comunicaciones móviles.**

Algunos sistemas SCADA han estado sin cubrir la necesidad de comunicar de manera inmediata, o en el menor tiempo posible, los errores del sistema de producción. Sin embargo, se hace necesario lograr un mecanismo que sirva para establecer una vía de comunicación directa cuando se debe notificar inmediatamente a los responsables externos de los problemas de la planta. 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 (Rodríguez Penin, Sistemas SCADA, 2006).

El término "comunicaciones móviles" describe cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, de los cuales al menos uno está en movimiento, o parado, pero en localizaciones indeterminadas, pudiendo el otro ser un terminal fijo, tal como una estación base (Calderón & Quintero, 2004), (Gorricho Moreno & Luis, 2002). Actualmente la telefonía móvil es un servicio que se ofrece sobre las tecnologías analógica y digital, sobre las que se soportan los servicios de comunicación vocal, datos y mensajes cortos (Huidobro Moya & Conesa Pastor, Sistemas de telefonía, 2006).

Composición de los Sistemas de Comunicaciones Móviles:

- Estaciones Fijas: Estación radioeléctrica no prevista para su utilización en movimiento; entre estas se tienen:
  - Estación Base (BS), su movimiento se controla directamente desde una unidad de control (local o remota), mediante líneas telefónicas o radioenlaces.
  - Estación de control (CS), utilizada para gobernar automáticamente el funcionamiento de otra estación de radio en un emplazamiento específico, para gestionar una BS o repetidora.
  - Estación repetidora (RS), estaciones fijas que retransmiten las señales recibidas, obteniendo una mayor cobertura.
- Estaciones móviles (MS): estación radioeléctrica prevista para su utilización en un vehículo en marcha o que efectúa paradas en puntos indeterminados. El término incluye equipos portátiles y equipos transportables.
- Equipos de control: son los equipos necesarios para el gobierno de las estaciones base, generación y recepción de llamadas, localización e identificación de usuarios, transferencia de llamadas, etc. (Sendín Escalona, 2004), (Huidobro Moya, Redes y servicios de telecomunicaciones, 2006).

### **Tecnologías de acceso**

Entre las características básicas de un sistema móvil se encuentra la reutilización de frecuencias, esto define la utilización de radiocanales con las mismas frecuencias portadoras para cubrir áreas diferentes. Cada una de estas áreas se denomina célula. Dentro de cada célula se utilizan un conjunto de radiocanales que pueden repetirse en otras células (Gorricho Moreno & Luis, 2002).

Las tecnologías utilizadas actualmente para la transmisión de información en las redes son denominadas de acceso múltiple, debido a que más de un usuario puede utilizar

cada una de las celdas de información. Actualmente existen tres, que difieren en los métodos de acceso a las celdas:

- **FDMA** (Frequency Division Multiple Access: Acceso múltiple por división de frecuencia): accede a las celdas dependiendo de las frecuencias. Básicamente, separa el espectro en distintos canales de voz, al dividir el ancho de banda en varios canales uniformemente según las frecuencias de transmisión. Los usuarios comparten el canal de comunicación, pero cada uno utiliza uno de los diferentes subcanales particionados por la frecuencia.
- **TDMA** (Time Division Multiple Access: Acceso múltiple por división de tiempo): Divide el canal de transmisión en particiones de tiempo. Comprime las conversaciones digitales y luego las envía utilizando la señal de radio por un período de tiempo. En este caso, distintos usuarios comparten el mismo canal de frecuencia, pero lo utilizan en diferentes intervalos de tiempo.
- **CDMA** (Code Division Multiple Access: Acceso múltiple por división de códigos): Esta tecnología, luego de digitalizar la información la transmite a través de todo el ancho de banda del que se dispone, a diferencia de TDMA y FDMA. Las llamadas se superponen en el canal de transmisión, diferenciadas por un código de secuencia único. Esto permite que los usuarios compartan el canal y la frecuencia (Muñoz Rodríguez, 2002), (Huidobro Moya & Conesa Pastor, Sistemas de telefonía, 2006).

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 (Sauter, Communication Systems for the Mobile Information Society., 2006). Existen muchas formas de clasificar los sistemas de comunicaciones móviles, no obstante por la modalidad de funcionamiento y las prestaciones que ofrecen, resultan de interés para esta investigación: los sistemas de comunicación por radio o troncalizados y los sistemas de telefonía móvil o celular.

### **1.3.1 Sistemas de comunicación por radio o troncales**

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. Estos canales se asignan a los usuarios, según demanda, para el establecimiento de una llamada y a medida que las llamadas se completan, se devuelven los canales al "almacén" para que puedan ser asignados a otros usuarios. Los servicios troncales permiten la comunicación de los miembros de

una flota entre sí y con la central sin necesidad de tener acceso a la red telefónica pública (Huidobro Moya, Redes y servicios de telecomunicaciones, 2006).

Las características diferenciadoras de este tipo de sistemas podrían resumirse en dos:

- La primera, es que, estos sistemas funcionan según asignación dinámica de frecuencias, permitiendo así su utilización por un gran número de usuarios a la vez.
- La segunda característica importante en estos sistemas es que posibilitan realizar llamadas a varios miembros de un grupo de usuarios, haciéndolos por tanto muy convenientes para aplicaciones de gestión de flotas o grupos cerrados de usuarios (policía, bomberos, cuerpos de seguridad, etc.) (Haykin, 2005).

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. Por definición, radio mensajería es la transmisión unidireccional de un mensaje desde el origen hasta el terminal destino.

Hay varios tipos de mensajes que pueden originarse: desde un único tono o señal, donde el receptor sólo "pita" al recibir- un mensaje, pasando por la radio mensajería numérica, donde el terminal recibe un código en forma de dígitos (generalmente, con un máximo de 20 dígitos por mensaje) y, por último, la radio mensajería alfanumérica, donde se pueden enviar al receptor mensajes de hasta 1000 caracteres (dependiendo del sistema elegido y de la configuración que el operador haya hecho de su red) (Sendín Escalona, 2004).

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).

## **TETRA**

El Sistema TETRA es un estándar global de comunicación de radio que representa la evolución natural del trunking analógico, donde se introduce al mundo de la modulación digital, tanto para voz como para datos. Este tipo de tecnología permite recibir y enviar información por medio de los radios profesionales. Las aplicaciones abarcan desde redes privadas a grandes servicios públicos manteniendo características de las redes de radio privadas PMR (Private Mobile Radio), como las

llamadas de grupo y el modo de comunicación directo. Establece TDMA como método de acceso. Este sistema tiene alta funcionalidad en servicios críticos y de emergencia (policía, bomberos, ambulancias) proporcionando seguridad, confiabilidad y calidad de voz (Pou, 2010). Los servicios avanzados de transmisión de datos presentan multitud de aplicaciones, por ejemplo: telecontrol, consulta de bases de datos, posicionamiento y gestión de flotas (Lescaille Cos & Zamora Zorrilla, 2012).

Entre sus principales ventajas se destacan:

- Puede trabajar en modo terminal a terminal sin hacer uso de la infraestructura TETRA. Esta característica hace que se aproveche mejor el canal. Es muy útil en caso de fallo en las comunicaciones.
- Permite comunicaciones uno a muchos, lo que mejora la gestión de grupos en caso de comunicaciones para coordinación de grupos por ejemplo de emergencias. Utilizan un único canal y se difunden en varios emplazamientos.
- Uso de distintos niveles de prioridad para garantizar los recursos a ciertos usuarios o tipos de llamada.
- Sistema digital con cifrado, lo que se traduce en confidencialidad en las comunicaciones (Mikulic & Modlic, 2008).

Los servicios que ofrece este estándar son: Teleservicios o servicios de voz, servicios de portadora o servicios de datos y servicios adicionales o suplementarios.

Los teleservicios permiten la comunicación entre usuarios y se realizan mediante acuerdos establecidos entre los diferentes operadores de red, en este acuerdo se incluyen las funciones de los equipos terminales. Entre estos se encuentran: llamada individual, llamada grupal, llamada de difusión, llamada de emergencia, operación en modo directo (DMO), canal abierto, inclusión de llamada. Los servicios portadores permiten la transmisión de señales entre diferentes puntos de acceso. Entre estos se encuentran: transmisión del estado, servicios de datos cortos, servicio de datos sobre circuitos, servicio de datos sobre paquetes. Los servicios suplementarios son los que modifican o complementan un servicio portador o un teleservicio (Bakaric, Borzic, Bratkovic, & Grga, 2005), (Mikulic & Modlic, 2008).

### **Servicios de datos.**

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.



- Mensajes de estado: Este servicio permite transmitir y recibir mensajes pre-codificados a través de la red TETRA.
- Datos en modo paquete: Este servicio permite extender las comunicaciones de datos para actuar como una sub-red IP.
- Datos en modo circuitos: Este servicio es el más potente en términos de transferencia de datos, donde la estación móvil actúa como un módem transparente sobre la red TETRA.
- Servicio de datos cortos SDS (Short Data Service): El servicio de datos cortos permite transmitir y recibir mensajes cortos desde los terminales móviles (radios mayormente) a través de la red TETRA (Bakaric, Borzic, Bratkovic, & Grga, 2005), (Axiotis & Xenikos, 2007).

El servicio de datos cortos soporta transmisiones de datos punto a punto o punto-multipunto. Dependiendo del tamaño de los SDS, se podrán emplear mecanismos para enviar o recibir mensajes durante llamadas en modo circuito (voz, datos). SDS tiene un tiempo de respuesta rápido (del orden de milisegundos). El SDS-TransportLayer (TL) es un protocolo adicional (opcional) para SDS tipo 4, que mejora el servicio por medio de reconocimiento extremo a extremo, almacenamiento y envío y soporte para múltiples protocolos de aplicaciones. El uso de diferentes Identificadores de Protocolo (PIDs) previene a las aplicaciones de interacciones o conflictos no deseados (Axiotis & Xenikos, 2007).

### **1.3.2 Sistemas de telefonía móvil o celular**

La telefonía móvil es la tecnología de mayor éxito de la historia de las telecomunicaciones, su desarrollo ha sido de tal magnitud que incluso se han alcanzado niveles de saturación en los principales mercados mundiales (Vacas, 2007). Los sistemas de comunicaciones móviles celulares son aquellos capaces de proporcionar servicios de telecomunicación sobre zonas geográficas extensas y con capacidad para mantener la continuidad de las comunicaciones mientras el usuario se va desplazando (Sallent Roig, Agustí Comes, & Valenzuela González, 2003). Estos son concebidos para que el teléfono o equipo del usuario pueda moverse con libertad en la zona cubierta por dicha red incluso mientras mantiene una conversación o una conexión de datos.

Los teléfonos celulares funcionan como radio transmisores. Al ser un sistema de comunicación telefónica totalmente inalámbrico, los sonidos se convierten en señales electromagnéticas, que viajan a través del aire, siendo recibidas y transformadas

nuevamente en mensaje a través de antenas repetidoras o vía satélite. De esta forma, las redes celulares se basan en el uso de un transmisor-receptor que cubre un área geográfica determinada (Huidobro Moya, Redes y servicios de telecomunicaciones, 2006).

La evolución de la telefonía móvil desde sus inicios ha sido notable. La transferencia analógica y estrictamente para voz fueron características identificadoras de la primera generación. Ya en la segunda generación (2G) se introdujeron los sistemas digitales con velocidades de comunicación superiores y como avance importante, los terminales disponen de la capacidad de enviar y recibir mensajes cortos de texto SMS (del inglés Short Message Service). Con la aparición de los sistemas 2,5G y 3G se han implantado los servicios EMS (del inglés Enhanced Messaging Service) y MMS (del inglés Multimedia Message Service) que ofrecen mejoras en el servicio SMS como texto ilimitado, inclusión de imágenes, melodías y animaciones, además de ser posible la navegación web, comercio electrónico, video llamadas, entre otros (Sallent Roig, Agustí Comes, & Valenzuela González, 2003), (Le Bodic, 2005).

Los sistemas de telefonía celular digital utilizan protocolos de codificación que permiten la comunicación. Pueden ofrecer servicios auxiliares como datos, fax y SMS. 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 (Huidobro Moya & Conesa Pastor, Sistemas de telefonía, 2006).

## **GSM**

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 (Tomasi, 2003).

Como una de sus características distintivas se puede destacar el control de autenticación para el acceso al sistema a través de la tarjeta SIM y el código PIN que permite que el abonado pueda usar cualquier teléfono GSM y se requiere de la validación a través de este código. Ofrece dos canales de tráfico, uno para voz y otro para datos (Muñoz Rodríguez, 2002), (Huidobro Moya, Redes y servicios de telecomunicaciones, 2006).

La compresión en el tiempo de los datos del usuario, además del uso del formato TDMA implica una expansión en el ancho de banda. Desde el punto de vista de la

transmisión de datos se proporcionan varios servicios síncronos y asíncronos con velocidades que varían. GSM utiliza un patrón de reutilización de los canales asignados, con el propósito de evitar interferencias que degradan la calidad de la transmisión (Hillebrand, GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication. Ed, 2011).

GSM ofrece un conjunto de ventajas entre las que se destacan:

- Capacidad total de seguimiento automático.
- Gran capacidad de tráfico con una utilización del espectro optimizada.
- Terminales personalizables.
- Mejoras en la seguridad de la transmisión de voz con respecto a los estándares analógicos (Huidobro Moya, Redes y servicios de telecomunicaciones, 2006).

Los servicios telefónicos GSM se pueden clasificar en tres categorías: servicios de portador, teleservicios y servicios suplementarios. El servicio al portador más básico es el de telefonía que cuenta también con servicio de emergencia. Se ofrece una amplia gama de servicios de datos donde los usuarios pueden mandar y recibir hasta con 9600 bps. También se tienen entre los suplementarios, la notificación de llamadas e impedimento de llamadas (Tomasi, 2003), (Mouly & Marie-Bernadette, 2012).

### **Mensajes de texto cortos, SMS.**

Una función de GSM y que no existe en los sistemas analógicos anteriores es el servicio de mensajes cortos SMS que permite el intercambio de mensajes alfanuméricos. Fue introducido como uno de los servicios básicos de GSM, sin embargo, se le han realizado mejoras continuamente. Permite enviar y recibir mensajes en forma asíncrona. Los SMS también pueden ser enviados en un modo de radioemisión celular a receptores múltiples (Le Bodic, 2005), (Brown J., 2007).

Entre las facilidades que ofrece el servicio de SMS se encuentran las formas de envío que pueden ser: punto a punto originado en el móvil, punto a punto terminado en el móvil y difundido.

- Punto a punto originado en el móvil: Facilita la transmisión de un mensaje desde un usuario móvil hacia un centro de servicio donde se almacena. La composición del mensaje en la estación móvil puede realizarse mediante mensajes predefinidos, utilizando un teclado o mediante un terminal externo.
- Punto a punto terminado en el móvil: Facilita la transmisión de un mensaje entre un centro de servicio y un usuario móvil concreto. El centro de servicio

recibe confirmación de recepción del mensaje por el móvil. Los mensajes pueden ser depositados en el centro de servicio por procedimientos diferentes y desde diferentes vías.

- Difundido: Facilita la transmisión de un mensaje desde un centro de servicio hacia todos los móviles que están dentro de un área determinada. No se confirma la recepción y los mensajes son recibidos por los móviles que se encuentran en estado libre (Mouly & Marie-Bernadette, 2012), (Hillebrand, Short Message Service (SMS): The Creation of Personal Global Text Messaging, 2010).

Por esta razón, 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 (Sauter, From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband, 2010), (Hillebrand, Short Message Service (SMS): The Creation of Personal Global Text Messaging, 2010).

### **GPRS.**

GPRS son las siglas en inglés de Servicio General de Paquetes Vía Radio. GPRS es una evolución de GSM para transmisión de datos (transmisión de paquetes). Ofrece mejor rendimiento a la conmutación de paquetes de servicios, mejora la velocidad de transferencia y faculta el Acceso a Internet (Hillebrand, GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication. Ed, 2011).

GPRS extiende la arquitectura del estándar GSM para permitir la transferencia de datos en paquetes. Gracias a este modo de transferencia, las transmisiones de datos sólo usan la red cuando es necesario, por esa razón mejoran la velocidad de transferencia.

GPRS admite características nuevas que no están disponibles en el estándar GSM y que se pueden clasificar en los siguientes tipos de servicios:

- Servicio de punto a punto (PTP): es la capacidad de conectarse en modo cliente-servidor a un equipo en una red IP.
- Servicio de punto a multipunto (PTMP): constituye la capacidad de enviar paquetes a un grupo de destinatarios (Multidifusión) (Negreira, Pereira, Belzarena, & S, 2007).

## **UMTS**

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS del inglés Universal Mobile Telecommunications Systems) es un sistema de tercera generación de comunicaciones móviles. UMTS es la evolución de los sistemas GSM y GPRS. Ésta tecnología combina las propiedades de la conmutación de circuitos de las redes de voz con las propiedades de la conmutación de paquetes de las redes de datos ofreciendo capacidad para nuevos servicios (Hillebrand, GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication. Ed, 2011).

Si bien los sistemas UMTS a nivel de núcleo han sido desarrollados a partir de los sistemas GSM, a nivel de acceso utilizan una nueva tecnología llamada Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (Wideband Code Division Multiple Access – WCDMA). WCDMA ya no utiliza métodos basados en la multiplexión de tiempo o de frecuencia y los usuarios ya no son separados entre ellos por ranuras de tiempo sino comparten una única portadora de gran ancho de banda y se utilizan asignación de códigos para diferenciar a los usuarios (parecido al proceso de los sistemas CDMA). UMTS permite velocidades de transferencia de datos superiores, tanto de la red al usuario, como del usuario a la red (Sauter, From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband, 2010).

UMTS provee servicios como navegación web, comercio electrónico, videoconferencias, video llamadas entre otros. Este desarrollo se ha llevado a cabo debido a la creciente demanda de este tipo de aplicaciones que requieren mayor capacidad de procesamiento. En esta generación, entre los nuevos servicios son los mensajes multimedia EMS y MMS que permiten el envío de mensajes que contienen imágenes, videos y audios (Le Bodic, 2005).

### **1.3 Envío de mensajes en sistemas SCADA.**

La mayoría de los sistemas SCADA en el mundo han implementado el envío de SMS a celulares, haciendo uso del estándar GSM, como vía de notificación de las alarmas que ocurren en planta. Esta funcionalidad resulta de gran utilidad y representa una

ventaja en los sistemas que la tienen. Algunos ejemplos de ellos fueron estudiados con el objetivo de definir la propuesta de solución.

### **GSM Control**

GSM-CONTROL SMS Gateway es un programa para Windows que se utiliza para el control remoto en automatización y otras aplicaciones basándose en teléfonos móviles y otros dispositivos GSM (módem GSM industrial). Actúa como pasarela entre el entorno GSM por un lado (enviando y recibiendo SMS) y el entorno Windows por otro (utilizando diferentes protocolos de comunicaciones). El control se basa en el envío bidireccional de mensajes de texto (SMS) entre un módem GSM conectado al puerto serie del ordenador, y diferentes teléfonos móviles remotos u otro módem GSM conectado a otro ordenador.

El intercambio de mensajes se realiza a través de un Centro Servidor de Mensajes, que redirecciona los mensajes de origen a destino cuando éste último está disponible, por lo que no se trata de un entorno en tiempo real. GSM-CONTROL es un producto de Wonderware que requiere licencia. Desde el Intouch, SCADA de Wonderware, se configura el envío y recepción de mensajes desde vía DDE, OPC, o incluso desde una Base de Datos (Invensys Systems, Envío y recepción de SMS mediante GSM-CTRL en una Galaxia vía OPC, 2009).

### **WizAAM (Advanced Alarm Module)**

Wizcon Supervisor es la solución integral para la automatización y control que ofrece la empresa Wizcom Systems. Wizcon para Windows e Internet proporciona el conjunto de funcionalidades SCADA/HMI necesarias para la visualización en una estación de trabajo basada en Windows NT, así como la posibilidad de difundir esta misma información a cualquier navegador Web.

Como parte de esta familia de productos se encuentra el WizAAM (Advanced Alarm Management) que es el módulo de Gestión de Mensajes y Toma de Decisiones. WizAAM es un módulo opcional que garantiza el envío de alarmas. Cuando se activa una alarma, es posible enviarla por correo electrónico, SMS, servicio de mensajería vocal, mensaje HTML, teléfono móvil o "pager", así como por fax o impresoras múltiples. Se define y asigna un nivel de prioridad a cada alarma y se transmite el mensaje a las personas indicadas, que pueden reaccionar rápida y oportunamente.

El módulo WizAAM soporta todos los tipos de servidores de mensajes. Es posible enviar e-mails (p.ej.: informe diario de ejecución, síntesis de defectos), mensajes SMS

o vocales (p.ej.: notificación de evento), pagers. Para esto, es necesario definir en el módulo WizAAM los distintos servicios de mensajería que deben utilizarse.

Las aplicaciones SCADA basadas en Wizcom pueden ser utilizadas en estaciones de trabajo con sistemas operativos Windows NT o acceder a las aplicaciones basadas en web con cualquier navegador compatible con Java. Se comercializan bajo licencias de uso por cantidad de variables (Inc, 2014).

### **Zenon Message Control**

La empresa austriaca Copadata dedicada al desarrollo de software de automatización industrial ofrece su paquete de productos zenon, relacionados con la supervisión y control de procesos, entre ellos se encuentran: zenon Supervisor, una solución SCADA que permite la visualización completa, control y optimización de instalaciones; el zenon Operator como sistema HMI embebido para todos los sistemas operativos Windows, y el zenon Logic como sistema integrado desde la comunicación con el PLC hasta el proceso de control y gestión de datos.

Adicionalmente ofrecen el zenon Message Control que avisa e informa al personal operativo y a los encargados de la toma de decisiones independientemente de su posición actual. Zenon Message Control dirige los mensajes (por ejemplo, mensajes de alarmas o información de sistemas) a personas individuales, en forma de mensaje corto, correo electrónico o mensaje de voz. Puede hacer que sea obligatorio confirmar con mensajes del control (acuse de recibo) para garantizar que los usuarios lo reciban directamente (positivo o negativo). En la comunicación por correo electrónico también se pueden enviar archivos adjuntos en formato PDF. De este modo se puede enviar la información importante en relación a la clasificación de alarmas. Es posible recuperar información rápida y fácilmente y enviarla en cualquier modalidad de comunicación.

Toda esta familia de sistemas se comercializan por licencias de uso y están desarrollados para el sistema operativo Windows (Copadata, 2014).

### **Event Notifier**

Muy utilizado en la Industria, Windows Control Center (WinCC) constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los SCADA para visualización y control de procesos industriales. Uno de los componentes del sistema es el Event Notifier. Con este, es posible definir qué personas son notificadas sobre determinados eventos y durante qué intervalos de tiempo. Dichos eventos están asignados a avisos del sistema de avisos de WinCC. Los destinatarios pueden seleccionarse directamente en

tiempo de ejecución de los contactos existentes dentro de la administración de usuarios de WinCC. Las notificaciones pueden enviarse por correo electrónico o, vía el gateway de una operadora, también como SMS a un teléfono móvil.

Si se crean varias personas o grupos de personas paralelas para un mismo intervalo de tiempo, es posible implementar niveles de escalamiento. Así, el círculo de personas 2 sólo es notificado si antes de expirar el tiempo de escalamiento definido para dicho grupo no haya reaccionado nadie a escala "local" ni ninguna de las personas anteriormente notificadas. Si se responde al evento detonante, todos los notificados reciben la correspondiente confirmación (AG., SIMATIC WinCC. Visualización de procesos con Plant Intelligence., 2012).

### **Alarm Dispatcher**

Movicon™ 11 es una plataforma que se adapta a las tipologías de aplicación de la automatización moderna e integra desde el nivel de control hasta los nivel SCADA y de gestión MES y ERP. La gestión de alarmas garantiza la precisión y ofrece a los operadores información que posibilita conocer inmediatamente la situación de la planta y saber como reaccionar para reducir al mínimo la pausa en la producción.

Las plantas no observadas o con observación limitada deben garantizar una rápida información al personal a cargo para evitar que la interrupción de la producción dure más de lo necesario. Por este motivo todas las alarmas del proyecto pueden ser configuradas de manera tal que pueden ser notificadas inmediatamente a los usuarios definidos en el proyecto o los definidos por el responsable de la producción.

Alarm Dispatcher es el componente de Movicon para la notificación de eventos, que permite el envío de alarmas o de mensajes al personal mediante voz (notificación telefónica con síntesis de voz Text-To-Speech), SMS, E-Mail (con o sin archivos adjuntos) o Fax. El envío de la notificación se efectúa para un usuario específico o para un grupo de usuarios, y puede personalizarse para efectuar los envíos en función de horarios, calendarios, turnos o personas responsables rotativamente.

Movicon está disponible para todas las versiones de Windows. Ofrece diversas licencias que incluyen desde servicios de gestión y mantenimiento, hasta modificaciones por actualizaciones (Progea, 2013).

### **Otros Sistemas**

Actualmente existen numerosos sistemas que funcionan como Centros de Mensajes, es decir permiten el envío de SMS a través de una plataforma web, a uno o incluso a



varios celulares. Se estudió una muestra de ellos, entre los que se pueden mencionar Altiria, Mensario, Mensatek, Reminder, SMSMasivos, MassivaMovil. Todos estos sistemas presentan limitaciones para realizar las notificaciones de las alarmas de sistemas SCADA, en primer lugar son sistemas privativos, desarrollados sobre Windows y por tanto atentan contra la soberanía tecnológica, además la mayoría depende de Internet, sin embargo en las plantas donde se tienen implantados los sistemas SCADA normalmente existen redes de proceso dedicadas solamente al ambiente industrial, que no disponen de Internet por cuestiones de seguridad sobre la información que se maneja. Otro elemento es que la mayoría de los sitios dedicados a este fin solamente implementan el envío de SMS, por lo que limita el uso de otras tecnologías. También es importante tener en cuenta, que todos los sistemas SCADA estudiados implementan su propio sistema de notificación y envío de mensajes, que garantiza la seguridad, disponibilidad y confiabilidad para sistemas de este tipo, además de que son desarrollados a la medida del software con que se cuenta.

Con respecto a los sistemas de envío de mensajes desde SCADA estudiados, se puede decir que como primera limitante son propietarios, desarrollados sobre Windows y dependientes del sistema operativo, esto provoca que en primer lugar se deban pagar elevados precios por conceptos de licencia de software y existe una dependencia de mantenimiento, actualizaciones con el comprador, que atenta contra la soberanía tecnológica. Además estos sistemas están desarrollados teniendo en cuenta las especificaciones y mecanismos de comunicación del software SCADA para el que fueron diseñados y al no ser de código abierto, no es posible comprobar su grado de adaptación a otros sistemas. Todos estos factores provocan que no sea posible la utilización de los mismos, ni en el GALBA ni en el SCADA UX, desarrollados completamente sobre herramientas y tecnologías de código abierto.

De estos sistemas se tienen en cuenta sus funcionalidades, experiencias y buenas prácticas, pero se evidencia la necesidad de desarrollar un sistema propio de notificación de alarmas a través de mensajes.

### **Conclusiones parciales**

Como parte del marco teórico de la investigación se estudiaron los aspectos relevantes de los sistemas SCADA, principalmente relacionados con la comunicación a todos los niveles y los tipos de datos que se manejan en estos sistemas, por lo que se determinó que las alarmas resultan los datos de mayor interés, para su notificación a responsables externos que puedan ejecutar acciones correctivas.

El estudio de los sistemas de comunicaciones móviles que más se ajustan al tema de la investigación reafirmó las ventajas que estos ofrecen para la notificación en tiempo real en sistemas de automatización industrial y control de procesos críticos.

Los sistemas de envío de mensajes estudiados resultan muy útiles para lograr la inmediatez en la notificación de alarmas y otras variables provenientes de sistemas automatización y control, sin embargo presentan limitaciones que no les permiten ser adaptados a otros sistemas, específicamente al SCADA Guardián del ALBA, por lo que se hace necesario desarrollar una plataforma propia que permita el envío de mensajes. Una de las limitaciones de estos sistemas es la implementación de un único estándar de comunicaciones móviles, mayormente envío de SMS, por tanto se hace necesario la integración de más estándares en una única plataforma.

## CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.

En este capítulo se describen los elementos de la plataforma de notificación de alarmas para el SCADA GALBA a través de sistemas de comunicaciones móviles. Se explica el diseño general de esta solución, en el que se muestran cada uno de sus componentes y se realiza además una descripción detallada de los mismos, así como las relaciones entre ellos.

### 2.1 Esquema de notificación de alarmas

Actualmente el proceso de notificación de alarmas a los responsables o involucrados externos se realiza de forma manual como se puede observar en la Figura 3. Cuando las alarmas son generadas, el operador que se encuentra en la consola analiza su severidad, impacto, posibles causas y otros factores que debe tener en cuenta para dar solución a la misma. En consecuencia, decide si es necesario notificar a algún responsable de campo y procede a su localización por los medios que tiene a su disposición, dígase celular, radio u otro localizador personal e informa de la situación ocurrida a través del medio que tenga disponible el responsable, cabe destacar que en las zonas donde se encuentran los equipos a controlar muy pocas veces existe cobertura para los celulares, mayormente el medio de comunicación en estos casos es el radio.

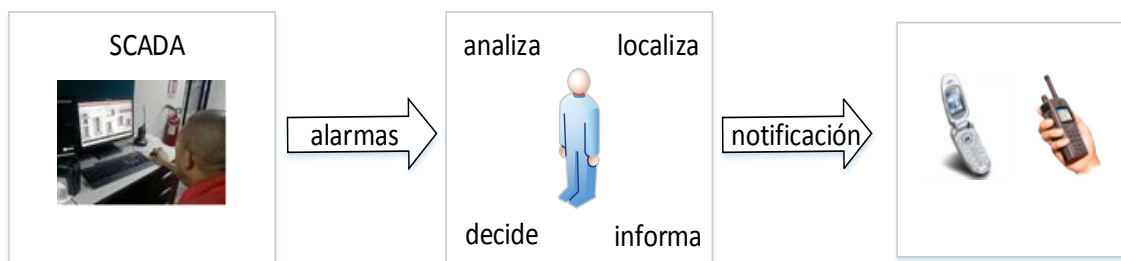


Figura 3. Esquema actual de notificación de alarmas

Ante la necesidad de realizar este proceso lo más inmediato posible, se propone automatizar el mecanismo de notificación, de manera que se envíen estas alarmas en el momento que se originan, a través de un mensaje al responsable de solucionarlas.

#### 2.1.1 Descripción de los procesos a automatizar.

En la presente investigación se automatiza el proceso de notificación de alarmas a los responsables externos. El proceso comienza con la obtención de las alarmas generadas en el SCADA, luego se debe decidir si son de interés para las notificaciones a los responsables externos (esto depende de si requieren una acción

correctiva en campo o pueden ser resultados remotamente) y a partir de los datos que se tienen de los mismos se realiza el envío mediante mensajes de texto a través de las diferentes tecnologías de comunicaciones móviles, Figura 4.

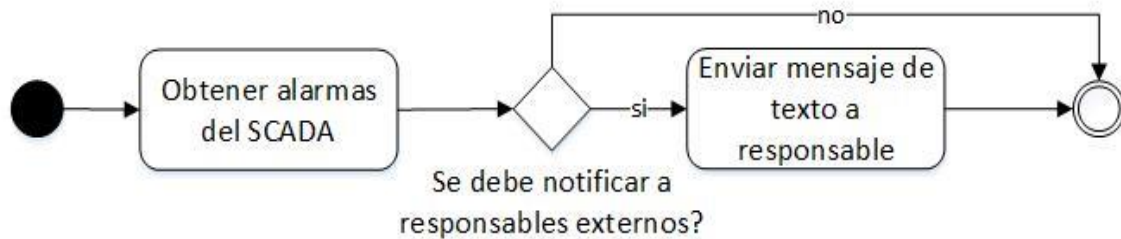


Figura 4. Proceso de notificación de alarmas

Para ejecutar la notificación, es necesario tener previamente la información de los responsables externos. Este proceso consiste en obtener de ellos sus datos más importantes como responsabilidad, datos de localización (dispositivos móviles, radio, etc). Además se debe tener conocimiento de las alarmas que se le deben notificar según su responsabilidad, Figura 5

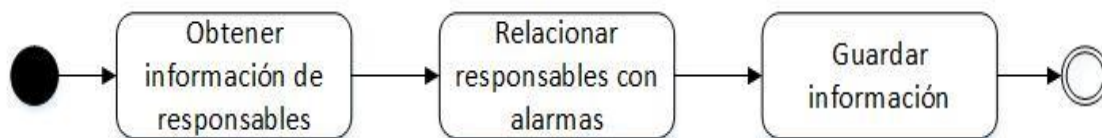


Figura 5. Proceso de obtención de la información de los responsables

## 2.2 Descripción general de la propuesta.

La plataforma para la notificación de alarmas a través de sistemas de comunicaciones móviles que se propone, tiene como objetivo realizar 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), de esta forma los responsables externos podrán actuar sobre el proceso con mayor inmediatez. La plataforma cuenta con 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 plataforma cuenta con dos ambientes fundamentales que permiten la automatización de los procesos descritos anteriormente como muestra la Figura 6. En el ambiente de edición se configuran 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 la plataforma obtiene las alarmas generadas en el SCADA, selecciona las que son de interés para las notificaciones a los responsables externos y a partir de los datos que tiene previamente configurados, permite el envío de las mismas mediante mensajes de texto a través de las diferentes tecnologías de comunicaciones móviles.

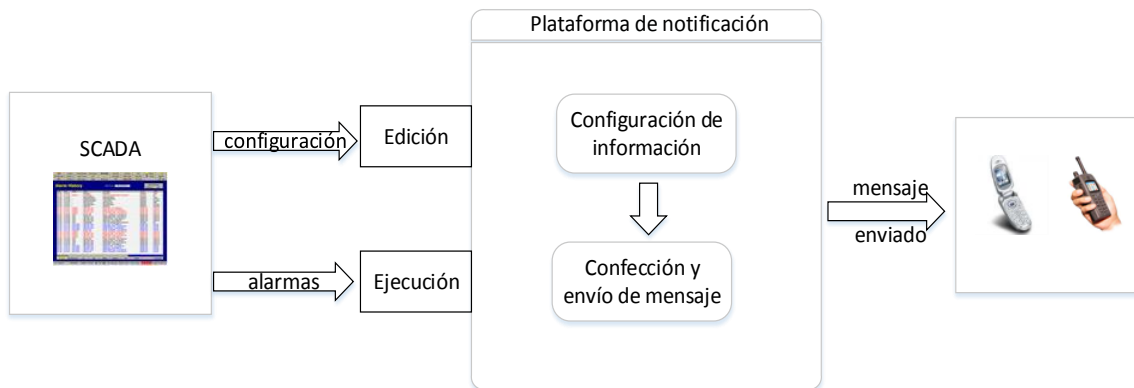


Figura 6. Plataforma de notificación de alarmas

### 2.2.1 Ambiente de Edición.

En el ambiente de edición la plataforma permite configurar los datos que después serán usados en tiempo de ejecución. Para ello 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 GALBA (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.

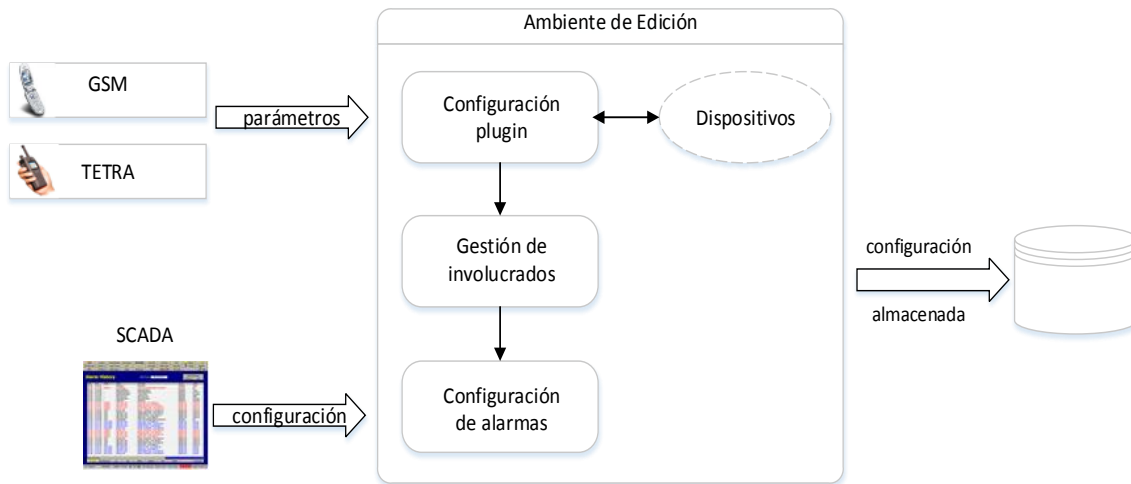


Figura 7. Ambiente de Edición

El proceso en tiempo de edición inicia con la configuración de los dispositivos, los mismos deben estar conectados y la plataforma debe tener implementados los plugins correspondientes, Figura 7. Luego se procede a la gestión de responsables, de los cuales se añade su información personal, así como la información de sus dispositivos móviles, siempre que la plataforma tenga la tecnología para enviar mensajes a través de ellos. Por último se configuran las alarmas a partir de la información de la base de datos de configuración que se obtiene del SCADA. Un experto debe seleccionar las alarmas que son necesarias notificar por mensajes de texto. Una vez depurada la lista de alarmas cada una será asociada con el involucrado al que se le debe notificar la misma y el dispositivo móvil por el que recibirá la notificación. Por último la información de configuración se almacena en una base de datos.

### 2.2.2 Ambiente de Ejecución.

La plataforma realizará el envío de mensajes a los responsables a partir de la información configurada y según las alarmas que se generen. Para ello 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.

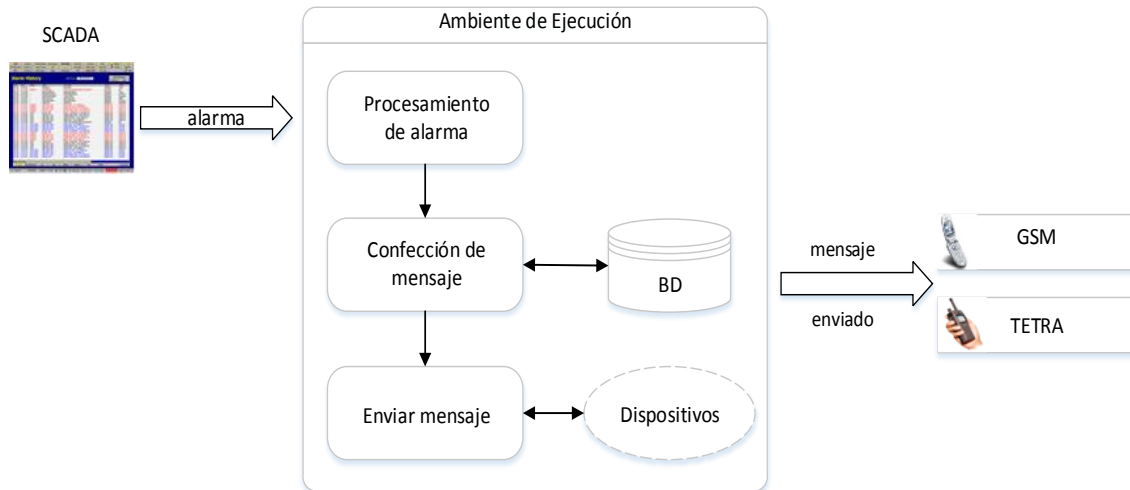


Figura 8. Ambiente de Ejecución

El proceso en tiempo de ejecución comienza después que han sido realizadas las actividades de configuración. Al generarse una alarma, es recibida en la plataforma a través del canal de comunicación de alarmas que provee el SCADA, Figura 8. Al arribo de la misma se verifica si existen responsables asociados, en caso positivo se confecciona el mensaje con la información de la alarma y los datos para su envío que se encuentran almacenados en la base de datos. Luego se establece la comunicación con el dispositivo a través del plugin específico según la tecnología y se realiza el envío del mensaje de texto. Finalmente se notifican los resultados de la operación. En caso de que la alarma recibida no tenga involucrado asociado, se desecha y la plataforma queda a la espera de una nueva alarma.

### 2.3 Principios.

A continuación se definen los principios que debe cumplir la plataforma que se propone:

- Generalidad: La plataforma 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 de la plataforma.

- Robustez: Ninguna alarma puede ser obviada por la plataforma.
- Integración: Se debe lograr una integración efectiva entre el SCADA, la plataforma y los dispositivos móviles.
- Escalabilidad: La plataforma 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 de la plataforma.

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 de la plataforma, se definen los componentes que conformarán la misma.

## 2.4 Componentes.

A nivel de componentes la plataforma está formada por un módulo para la configuración y uno para el envío de mensajes como se muestra en la Figura 9.

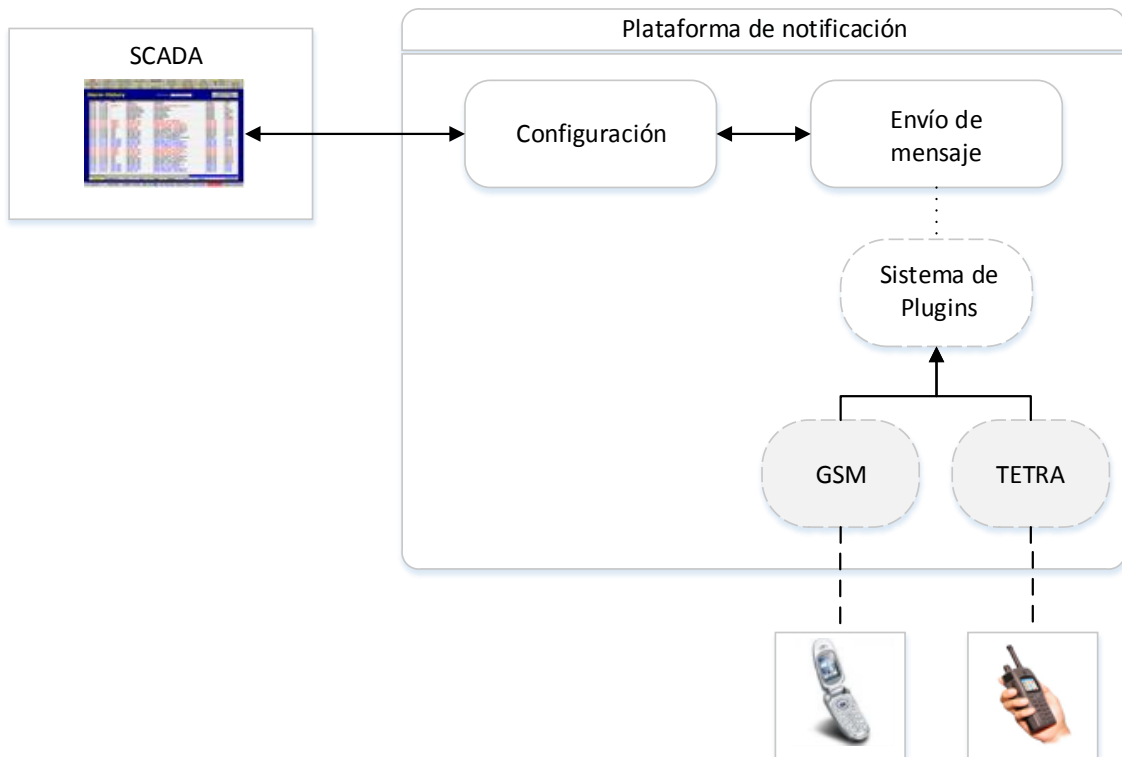


Figura 9. Componentes de la Plataforma

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



El componente Configuración es el encargado de la comunicación con el SCADA y además realiza la solicitud para el envío del mensaje con los datos de este. Permite la configuración de las infraestructuras de telefonía móvil, la gestión de los responsables y la asociación de las alarmas con dichos responsables.

El componente para el Envío de Mensajes recibe los mensajes del componente Configuración y haciendo uso de un sistema de plugins, que implementan distintas tecnologías, envía la información a los responsables externos en forma de mensajes de texto.

### 2.4.1 Componente Configuración

El componente Configuración es responsable de obtener y almacenar los datos necesarios para realizar el envío de mensajes como se muestra en la Figura 10. 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, funcionalidades descritas anteriormente. 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.

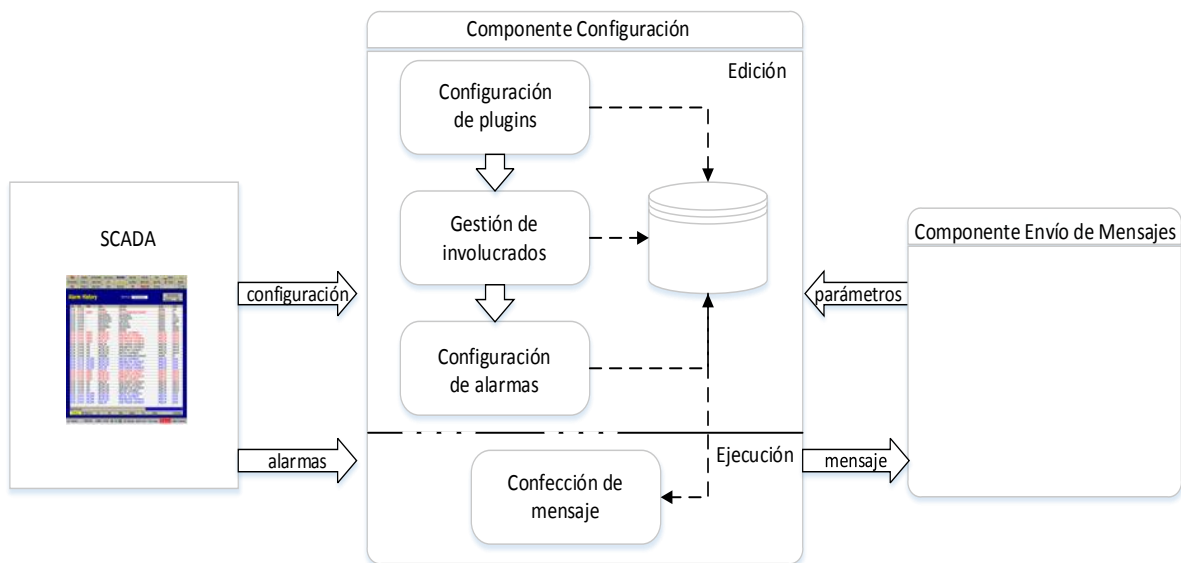


Figura 10. Componente Configuración

## 2.4.2 Componente Envío de Mensajes

El componente Envío de Mensajes tiene como principal responsabilidad la comunicación con los dispositivos, Figura 11. 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 Manejador 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 de la plataforma. 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.

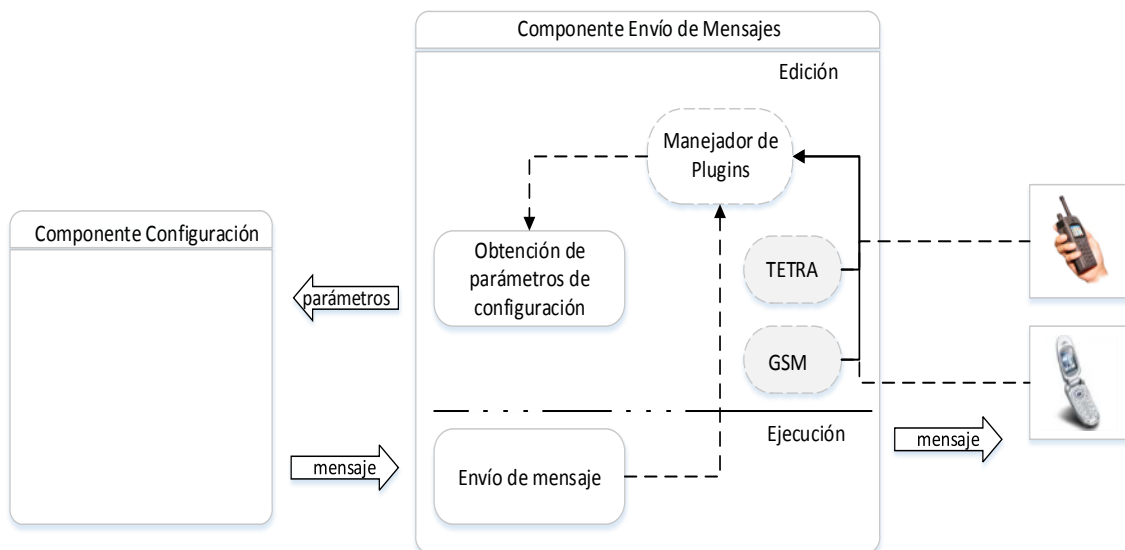


Figura 11. Componente Envío de Mensajes

## 2.5 Flujo de datos entre los componentes

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 de la plataforma.

### 2.5.1 Configuración de los plugins

Para realizar la configuración de los dispositivos para cada plugin intervienen el componente Configuración y el componente Envío de mensajes como se muestra en la Figura 12. 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.

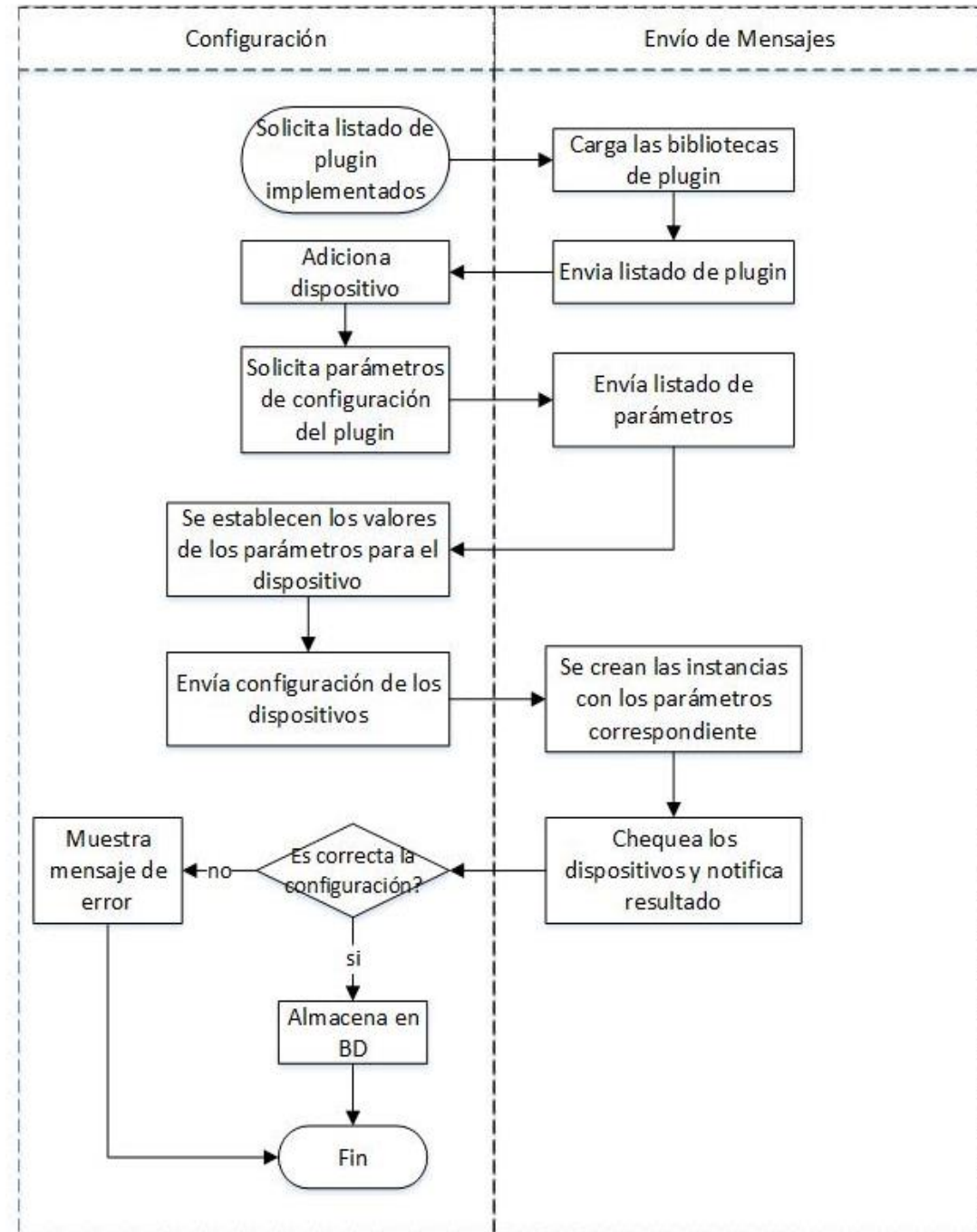


Figura 12. Diagrama de flujo para la configuración de los plugins

### 2.5.2 Gestión de responsables.

En la configuración de los responsables interviene solamente el componente Configuración, que provee la interfaz visual que permitirá adicionar, eliminar o modificar los datos de los responsables y luego almacena esta información en la base de datos.

### 2.5.3 Configuración de alarmas.

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 como se observa en la Figura 13. El SCADA es el componente externo que provee la información de configuración, de donde se obtendrá el listado de las alarmas a mostrar.

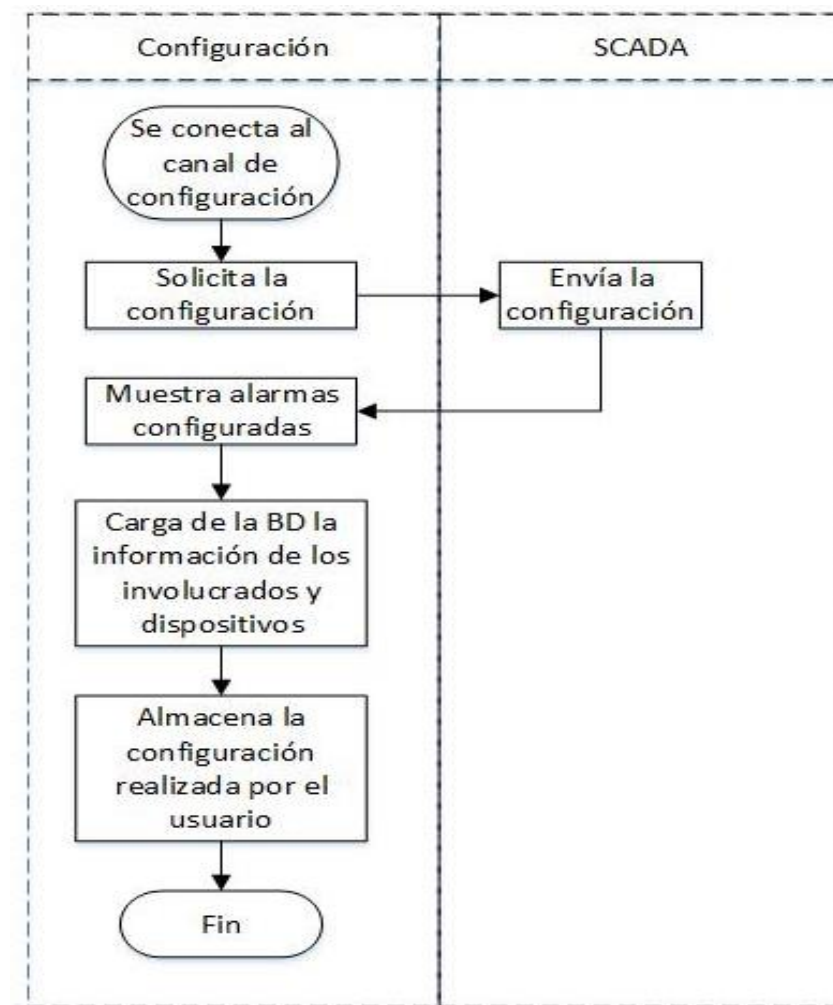


Figura 13. Diagrama de flujo para la configuración de las alarmas

#### 2.5.4 Procesamiento de alarmas.

Para el procesamiento de alarmas el componente Configuración, que es el único módulo involucrado, realiza una búsqueda en la base de datos para verificar si esta tiene algún dispositivo asociado.

#### 2.5.5 Confección del mensaje.

En la confección del mensaje el módulo responsable es el de Configuración que se encargará de procesar la información de la alarma a notificar, obtener de la base de datos el dispositivo móvil al que va destinada y entregar el paquete al listo para enviar.

#### 2.5.6 Envío de mensaje.

Para el envío del mensaje intervienen los componentes Configuración y Envío de mensajes como se muestra en la Figura 14.

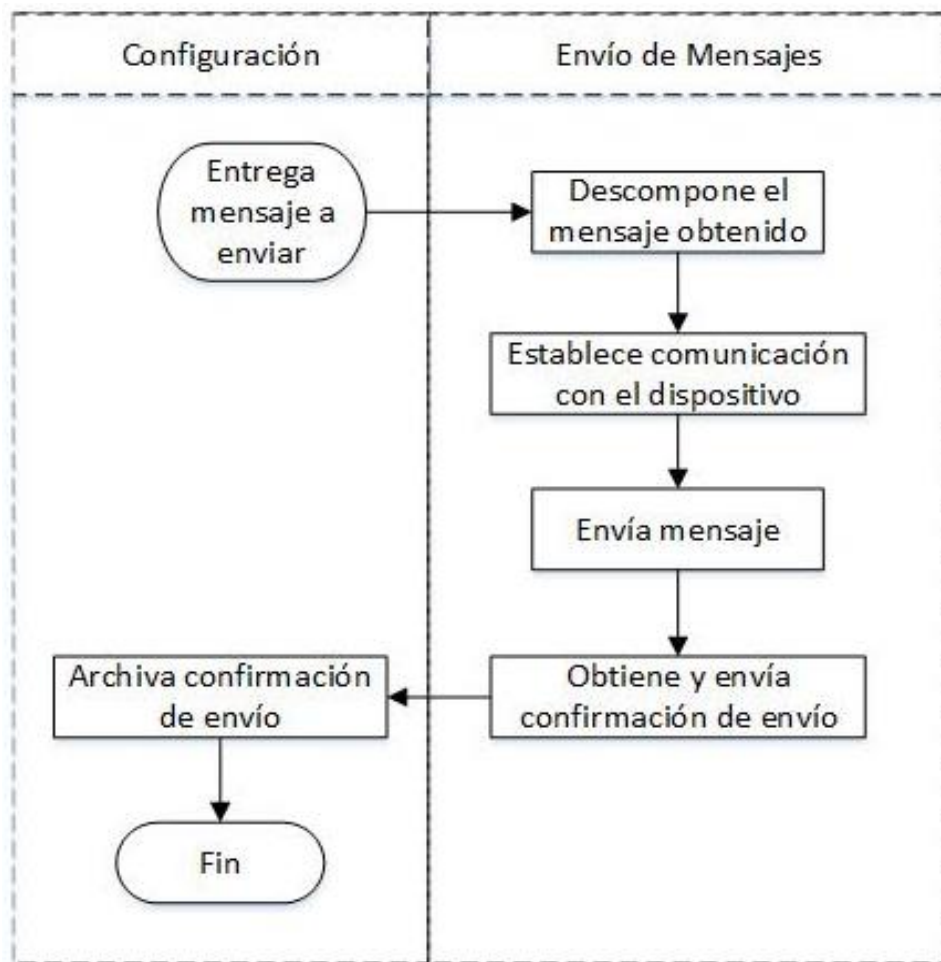


Figura 14. Diagrama de flujo para el envío de mensaje

Luego de confeccionado el mensaje, Configuración 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.

## **2.6 Comunicación**

Para la comunicación entre los módulos del sistema y con el sistema externo, se utilizan distintos mecanismos. Entre los componentes internos Configuración y Envío de mensajes se realiza a través 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 utilizan los mecanismos que tiene ya definidos y que ofrece el Middleware.

### **2.6.1 Comunicación entre componentes del sistema.**

Los componentes del sistema son independientes y pueden estar ubicados en distintos nodos físicos, cumpliendo con la arquitectura distribuida diseñada, 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. Ofrecen una interfaz de acceso a los servicios de red en el nivel de transporte para los protocolo TCP y UDP. La comunicación entre procesos a través de sockets se basa en la filosofía cliente – servidor, un proceso en esta comunicación actuará de proceso servidor creando un socket cuyo nombre conocerá el proceso cliente, el cual podrá comunicarse con el proceso servidor a través de la conexión con este socket (Xue, 2009).

Por tanto, el intercambio de información entre los componentes se realiza a través de un mecanismo de transmisión haciendo uso de los sockets. 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.

## **2.6.2 Comunicación con el SCADA.**

Para la comunicación de la plataforma con el SCADA como sistema externo, se hace uso de las interfaces de comunicación que este brinda. El SCADA a través de su middleware ofrece diferentes servicios y mecanismos de comunicación. Estos son: cliente-servidor para la comunicación entre los módulos y publicación-subscripción para la transferencia de puntos, alarmas, comandos, etc en tiempo real a los interesados en este tipo de información.

El Middleware es responsable de proveer una interfaz que permita a los módulos del sistema ejecutar funcionalidades presentes en otros módulos de manera sincrónica, mediante llamadas a procedimientos remotos en el marco de la arquitectura cliente - servidor. Es de interés para la plataforma establecer este tipo de comunicación, con el objetivo de obtener la información de configuración de las alarmas, para proceder a la configuración de los datos que se necesitan para realizar el envío de los mensajes. Para ello, se conecta como un cliente más al canal que el Middleware establece para el módulo de Configuración y solicita la información de las alarmas, la cual es enviada por este mismo canal como respuesta a la petición.

El Middleware también proporciona los mecanismos asincrónicos, basados en el modelo de publicación-suscripción para el envío de puntos, alarmas, comandos, lotes de puntos, lotes de alarmas, eventos y bitácoras. Esto significa que los módulos interesados en recibir esta información en tiempo real deben suscribirse al canal por el cual se trasmite la misma, y se mantendrán recibiendo constantemente dicha información. En este caso, es de interés para la plataforma recibir cada una de las alarmas que se generan en el SCADA en el momento en que lo hacen, para ello debe suscribirse al canal de las alarmas como un módulo más y mantenerse a la escucha todo el tiempo. Cada vez que se genere una alarma, será recibida inmediatamente por la plataforma.

El Middleware implementa mecanismos de seguridad para las comunicaciones, por lo que se siguen todas las políticas establecidas por este para establecer la comunicación.

## **Conclusiones parciales**

En el presente capítulo se describió la plataforma de notificación de alarmas a través de comunicaciones móviles que automatiza el proceso de notificación del SCADA y además ofrece la posibilidad de realizarlo a través de diferentes tecnologías móviles.

- La incorporación dinámica de nuevos plugins garantiza la escalabilidad y extensibilidad de la plataforma propuesta. Los mecanismos de comunicación y atención de alarmas garantizan la robustez de la solución.
- La capacidad de abstracción de la plataforma, al contar con una interfaz genérica de plugins facilita la implementación de nuevos plugins.
- Los componentes distribuidos de la plataforma y su mecanismo de comunicación permiten la ubicación de los mismos en distintos nodos físicos.



## CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.

En el presente capítulo se realiza la validación de la plataforma propuesta a través de la implementación de ejemplos prácticos, a los que se les aplican las pruebas experimentales y se realiza el análisis de los principales resultados.

### 3.1 Implementación de la plataforma.

Se realizó la implementación de la plataforma propuesta y de los plugin GSM y TETRA para validar el correcto funcionamiento de la misma. Para ello se utilizaron las herramientas, y lenguajes definidos para el SCADA: 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.

#### 3.1.1 Arquitectura.

La plataforma tiene una arquitectura distribuida, tal y como se ilustra en la Figura 15, donde los componentes pueden encontrarse en distintos nodos físicos. El nodo SCADA, no forma parte de la plataforma, pero constituye el elemento proveedor de la información referente a las alarmas.

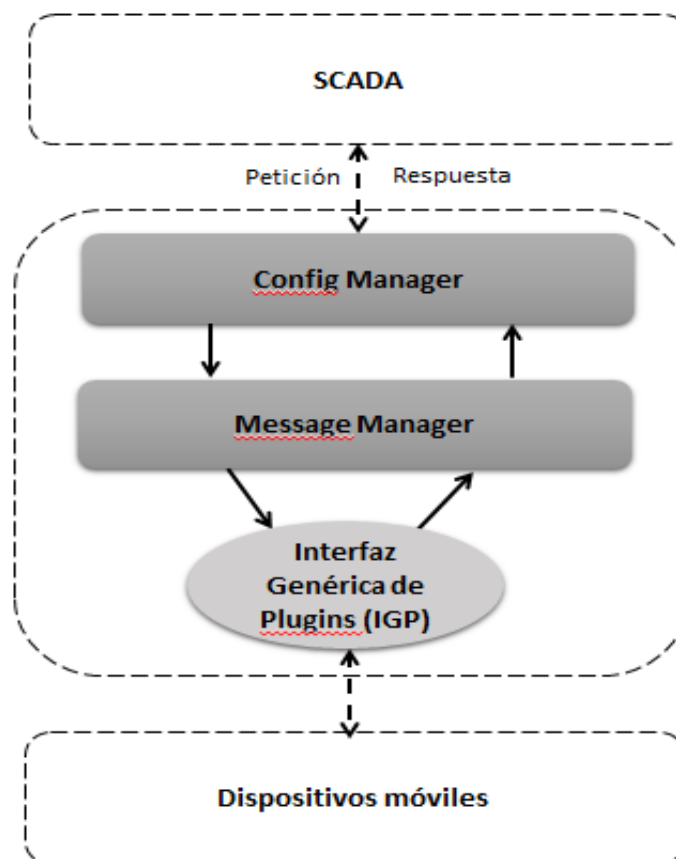


Figura 15. Arquitectura general de la plataforma

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.

En los acápites que siguen se brinda una descripción detallada de cada uno de los componentes implementados en la solución.

### 3.1.2 Componentes del Config Manager

El Config Manager fue desarrollado siguiendo el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador, Figura 16.

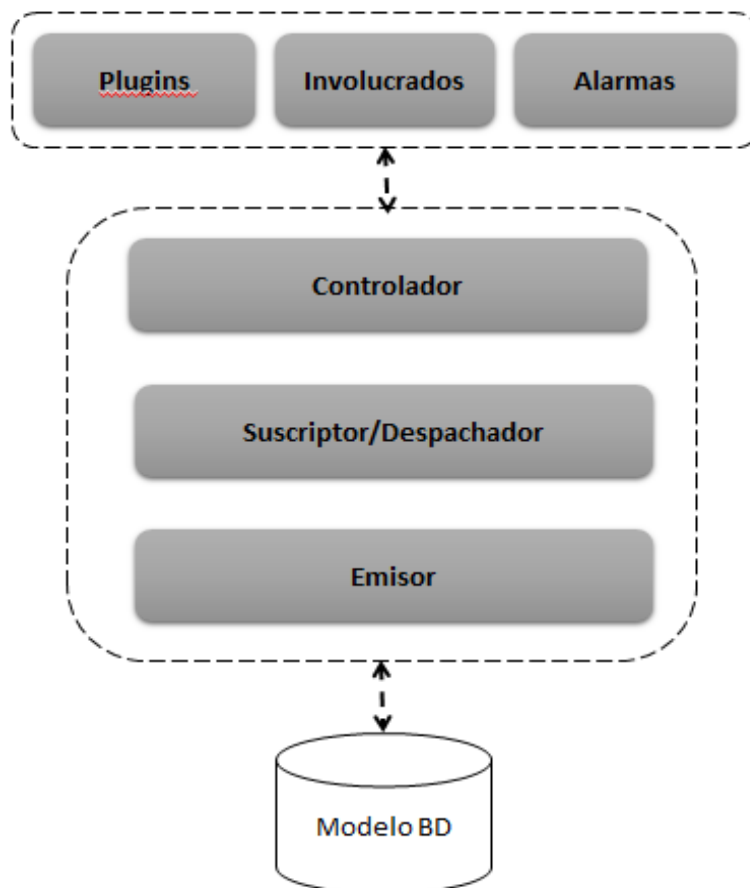


Figura 16. Arquitectura del Config Manager

El componente cuenta con tres vistas:

- La vista de Configuración de los plugins utiliza la interfaz del componente Message Manager y permite la configuración de los parámetros de comunicación con los dispositivos.
- La vista Responsables permite la gestión de los responsables (adicionar, modificar, eliminar).
- La vista Alarmas muestra la información de configuración de las mismas obtenida del SCADA, permite que un experto seleccione las que son de interés desde el punto de vista de la notificación, y asociarlas con los responsables a los que estas deben ser enviadas en el momento en que se generen.

El Config Manager cuenta con un controlador que se encarga de manipular las vistas y relacionarlas con su correspondiente modelo de datos, donde se almacena toda la información de configuración del sistema.

También implementa los mecanismos de comunicación con el SCADA cliente – servidor y publicador – suscriptor descritos anteriormente, donde actuaría como cliente y suscriptor respectivamente. En tiempo de ejecución, actúa como despachador de mensajes hacia el Message Manager, primeramente confecciona el mensaje a partir de la información almacenada y luego lo despacha para su envío.

### 3.1.3 Componentes del Message Manager

El Message Manager 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, Figura 17.

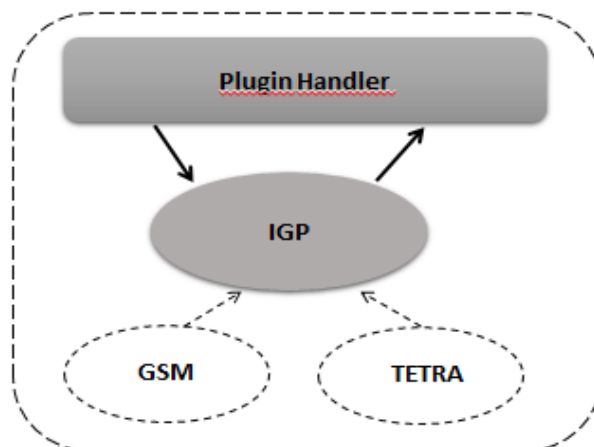


Figura 17. Arquitectura del SDS Manager

El Message Manager funciona todo el tiempo en modo servidor, por una parte responde a las peticiones de configuración del Config Manager y por otra recibe la información de los mensajes de texto que debe enviar a través de los plugins.

### 3.1.4 Interfaz genérica de plugins

La IGP es la encargada de establecer todas las funcionalidades indispensables que deben implementar los plugins del Message Manager. Se define a partir de las funciones que se relacionan a continuación, de las cuales se brindan detalles relacionados con los parámetros que recibe, el valor de retorno y una breve descripción (ver tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

Tabla 1. Descripción de la función Init

<b>Init</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Código de error (0 en caso de que la operación se realice de forma exitosa, 1 para indicar error de inicialización)
Descripción	Es la funcionalidad encargada de iniciar el plugin en cuestión.

Tabla 2. Descripción de la función State

<b>State</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Retorna un valor entero que representa el estado actual del dispositivo gestionado por el plugin (No inicializado, Sin cobertura, Correcto)
Descripción	Es la funcionalidad encargada de brindar información acerca del estado del plugin.

Tabla 3. Descripción de la función GetSDSConfig

<b>GetSDSConfig</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Retorna una cadena con los parámetros de configuración necesarios para enviar un mensaje.
Descripción	Es la funcionalidad encargada de brindar los parámetros de configuración necesarios para enviar un mensaje.

Tabla 4. Descripción de la función GetConfig

<b>GetConfig</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Retorna una cadena con los parámetros de configuración del plugin.
Descripción	Es la funcionalidad encargada de brindar los parámetros de configuración del plugin.

Tabla 5. Descripción de la función PropertyCount

<b>PropertyCount</b>	
Parámetros	Ninguno
Valor de retorno	Retorna un entero con la cantidad de parámetros de configuración del plugin.
Descripción	Es la funcionalidad encargada de brindar la cantidad de parámetros de configuración del plugin.

Tabla 6. Descripción de la función SetConfig

<b>SetConfig</b>	
Parámetros	Cadena con el nombre de los parámetros y sus nuevos valores.
Valor de retorno	Retorna un código de error.
Descripción	Es la funcionalidad encargada de establecer los valores de los parámetros de configuración del plugin.

Tabla 7. Descripción de la función SendSDS

<b>SendSDS</b>	
Parámetros	Cadena con el mensaje SDS a enviar y los parámetros de configuración necesarios.
Valor de retorno	Retorna un código de error.
Descripción	Es la funcionalidad encargada de enviar el SDS.

Con la implementación de estas funciones quedan definidas las interfaces de comunicación que permiten que la plataforma pueda enviar mensajes cortos a través de los plugins de las distintas tecnologías de comunicaciones móviles.

### 3.2 Despliegue de la solución

La distribución física de los componentes de software implementados como parte de la plataforma, se muestra en el diagrama de despliegue de la Figura 18.

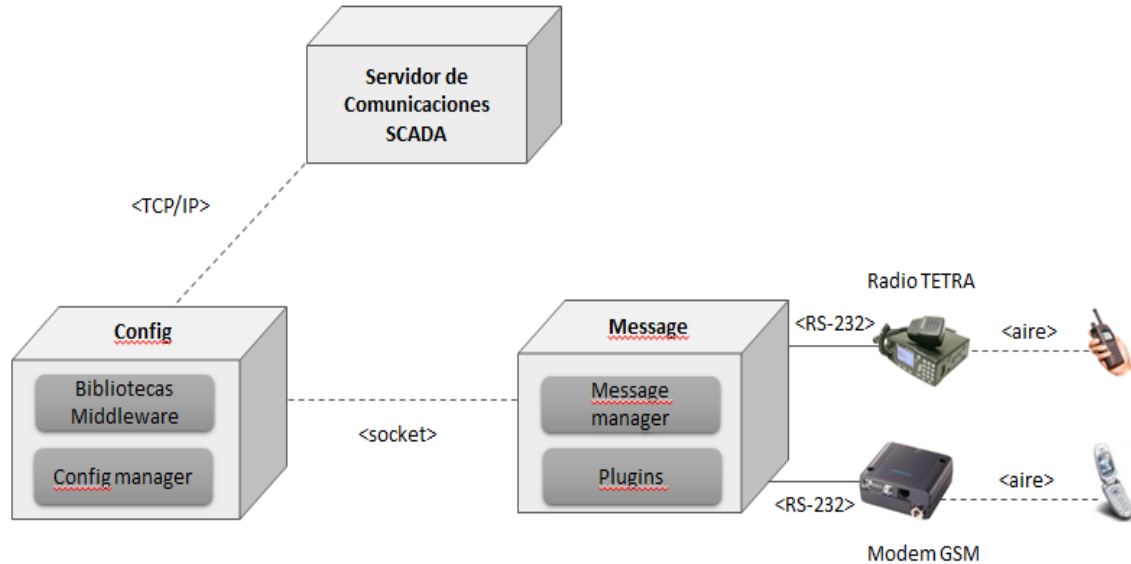


Figura 18. Diagrama de despliegue de la Plataforma

Se propone utilizar tres nodos de ejecución:

- Servidor de Comunicaciones SCADA: se trata del servidor dedicado al componente de comunicación del SCADA, que no forma parte de la solución pero se necesita obtener información de este.
- Config: nodo donde se ejecuta el Config Manager y además se deben instalar las bibliotecas del middleware necesarias para la obtención de la información de las alarmas.
- Message: nodo donde se ejecutan los servicios del Message Manager y se cargan los plugins para la comunicación a través de las diferentes tecnologías de comunicaciones móviles. A este se le conectan los dispositivos encargados de realizar el envío de los mensajes.

La cantidad de nodos físicos puede variar en dependencia de los recursos con que se cuenta. El Config Manager se puede ejecutar en la misma computadora que el Servidor de Comunicaciones del SCADA o en la computadora donde se instale el Message Manager.

Para la instalación de los componentes no se tienen requerimientos mínimos de hardware específico. Como requerimiento de software se debe tener instalado el sistema operativo Debian 5.0 (lenny) o una versión superior, condición que se debe cumplir siempre que se instale el SCADA, por lo que no representa un requerimiento adicional.

### **3.3 Pruebas**

Para verificar el correcto funcionamiento de la plataforma implementada se realizaron un conjunto de pruebas de software. Entre estas pruebas se encuentran las de unidad, de integración, de sistema, de desempeño. El objetivo fundamental de las pruebas de unidad es aislar cada parte del programa y probar que cada una de las partes individuales funciona de forma correcta (Beck, 2003). Las pruebas de integración son aquellas en las cuales los distintos módulos que conforman el software se combinan y son probados en grupos, validándose la comunicación entre ellos, además de otras funcionalidades específicas. Las pruebas de integración se realizan después de las pruebas de unidad y antes de las pruebas de sistema (Lewis, 2004). Las pruebas de sistema se realizan teniendo en cuenta el sistema forma integral, para evaluar el cumplimiento con los requerimientos especificados. Es el momento en que se prueban todas las funcionalidades del sistema y se deben corregir los errores o incongruencias detectadas en cuanto al funcionamiento global del sistema.

Existen distintas técnicas de pruebas que proporcionan criterios para generar casos de pruebas que provoquen fallos en los programas, estas técnicas se agrupan en: técnicas de caja blanca o estructurales y técnicas de caja negra o funcionales, la primera se basa en un minucioso examen de los detalles procedimentales a evaluar, por lo que es necesario conocer la lógica del programa, sin embargo la segunda se basa en la realización de pruebas sobre la interfaz del programa, entendiéndose por interfaz las entradas y salidas de dicho programa. No es necesario conocer la lógica del programa, únicamente la funcionalidad que debe realizar (Pressman, 2005).

Al sistema propuesto se le realizaron pruebas de caja negra con el objetivo de medir la funcionalidad operativa del software. Se probó por separado cada uno de los componentes para validar sus funcionalidades específicas descritas anteriormente. Se validó también la comunicación e integración de los mismos mediante el paso de mensaje entre ellos. Finalmente se le aplicaron un conjunto de pruebas a la plataforma de forma integral, para determinar si cumplía con todas las funcionalidades especificadas.

## **Ambiente de prueba.**

Para la correcta realización de las pruebas de sistema, se prepararon dos escenarios que permitieron validar el funcionamiento de los plugin GSM y TETRA, y por tanto la principal funcionalidad del sistema. Para ello se contó con una serie de recursos que facilitaron el trabajo de ejecutar cada caso de prueba.

### Escenario 1 (Plugin GSM).

- Recursos Físicos:
  - Las computadoras utilizadas para el desarrollo de las pruebas contaron con 1.0 giga byte de memoria RAM, microprocesador Intel Core2Duo E4500 con velocidad de 2.20 GHz, motherboard Intel y una capacidad en disco duro de 160 gigas.
  - Modem GSM MC35i y tarjeta SIM (ver Figura 19).

Modem GSM MC35i: Permite a través de una tarjeta SIM realizar el envío de mensajes. Ha sido desarrollado para trabajar en las bandas de frecuencia GSM 900/1800Mhz y GPRS Clase 8 ofreciendo potencia y funcionalidad (AG., Modems Specifications, 2014).



Figura 19. Modem GSM MC35i

- Recursos Lógicos

El sistema operativo en el cual se desarrollaron las pruebas fue Debian 5.0 (lenny), Kernel Linux 2.6.26-1-686, GNOME 2.22.3. La velocidad de la red con que se contó fue de 100 megabits por segundo.

### Escenario 2 (Plugin TETRA).

- Recursos Físicos:
  - Se utilizaron las mismas computadoras.
  - Los radios TETRA, HTT-500 y MDT-400 (ver Figura 20 y Figura 21).

HTT-500: Portátil que permite la ejecución de todos los servicios que ofrece TETRA, entre ellos el envío y recepción de SDS (Teltronic, HTT-500, 2012).





Figura 20. Radio HTT-500

MDT-400: Terminal TETRA de tecnología digital para las comunicaciones profesionales. Se puede usar en aplicaciones complejas tales como la telemetría y también permite ejecutar todos los servicios de TETRA (Teltronic, MDT-400, 2012).



Figura 21. Radio MDT-400

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 plataforma. Se realizaron varias pruebas en cada caso y el resultado fue satisfactorio en todos, enviándose correctamente los mensajes a los destinatarios indicados.

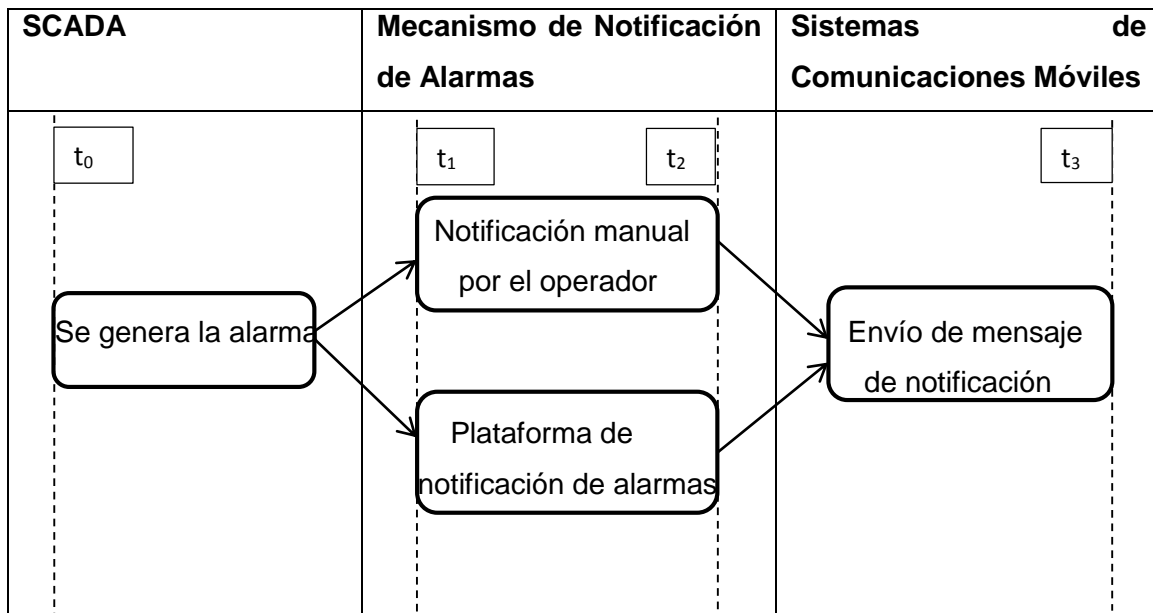
### **3.4 Diseño experimental**

Para comprobar la efectividad de la plataforma propuesta 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 misma.

En la realización del experimento intervienen tres componentes fundamentales: el SCADA, el mecanismo de notificación de alarmas y los sistemas de comunicaciones móviles. Los mecanismos de notificación que intervienen en la comparación son: el esquema actual que se realiza a través del operador y que fue anteriormente descrito en el capítulo 2, y el mecanismo automatizado a través de la plataforma propuesta, que es que se evalúa en este caso.

En la Tabla 8 se representa el ambiente de pruebas que permite la evaluación de la inmediatez con la que se realizan las notificaciones. El proceso se desencadena a partir de la generación de una o varias alarmas en el SCADA, desde el punto de vista de la plataforma de notificación, esto ocurre en el instante de tiempo inicial  $t_0$ . Como se ha mencionado la plataforma propuesta se suscribe al canal de alarmas del SCADA, en un instante de tiempo  $t_1$  la alarma llega al sistema de notificación. Como puede observarse en la Tabla 8 el mecanismo actual con que cuenta el SCADA es mediante la notificación manual, mientras que el mecanismo que se propone automatiza el proceso de notificación. En ambos casos se representa el instante de tiempo  $t_2$  como el momento en el que se despachan las alarmas hacia alguno de los sistemas de comunicaciones móviles. Luego  $t_3$  representa el instante de tiempo en el que la notificación llega a su destino final. Se debe aclarar que el intervalo de tiempo que demora la alarma en arribar a la plataforma ( $t_1 - t_0$ ) depende exclusivamente del mecanismo del SCADA, además el tiempo que demora el sistema de comunicación móvil en despachar la notificación ( $t_3 - t_2$ ) depende de la infraestructura tecnológica específica para cada caso. De esta forma de cara a la plataforma solamente resulta interesante medir cuánto demora el sistema de notificación desde que se recibe la alarma hasta que se despacha la notificación ( $t_2 - t_1$ .)

Tabla 8. Ambiente de pruebas



Con las pruebas se pretende mostrar que a través de la plataforma, el tiempo  $t_2 - t_1$  es menor que con el mecanismo de notificación actual, y a medida que aumente la cantidad de alarmas a notificar la diferencia será mayor. Para realizar las pruebas se tienen 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. Teniendo en cuenta estas variables se diseñaron varios escenarios que se describen en la Tabla 9.

Tabla 9. Escenarios para el experimento

<b>Escenario</b>	<b>Cantidad de responsables</b>	<b>Cantidad de alarmas</b>	<b>Cantidad de alarmas asociadas</b>
1	1	1	1
2	1	5	1
3	2	10	2
4	2	100	10
5	10	100	100

Para estas pruebas 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 simularon las alarmas a través de configuraciones creadas en el simulador ModSim para el protocolo Modbus, que permite simular 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. En la otra computadora se ejecutaron los servicios de la plataforma.

Para cada uno de los escenarios se ejecutaron 100 corridas y se obtuvieron los tiempos promedios en cada uno de ellos como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados del experimento

<b>Escenario</b>	<b>Cantidad de responsables</b>	<b>Cantidad de alarmas</b>	<b>Cantidad de alarmas asociadas</b>	<b>Tiempo promedio (ms)</b>
1	1	1	1	0.5049
2	1	5	1	1.6831
3	2	10	2	7.9901
4	2	100	10	1394.3
5	10	100	100	5551.86

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 plataforma, esta actividad se realiza aproximadamente en 0.5049 ms, lo que significa que a través de la plataforma el despacho de la notificación ocurre aproximadamente 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 22. 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.

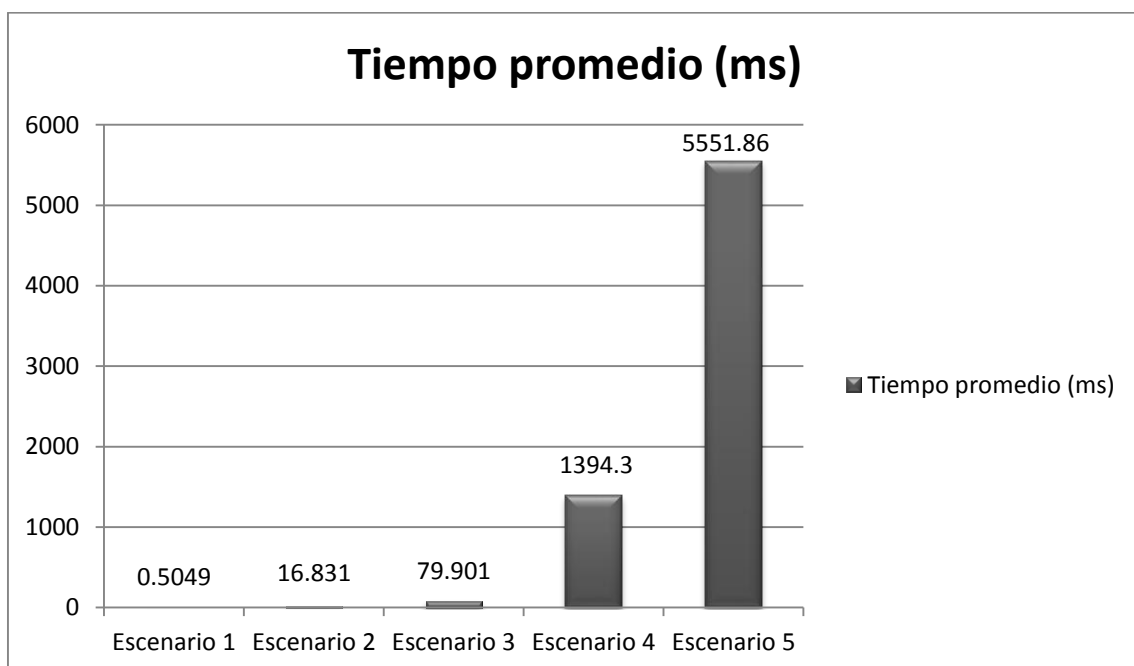


Figura 22. Comportamiento del tiempo en el experimento

Nótese que para la notificación de 100 alarmas, lo cual constituye una avalancha bastante severa, a 10 responsables externos, 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.

## **Conclusiones parciales**

En el presente capítulo se describió la implementación de la plataforma para la notificación de alarmas, y se validaron las funcionalidades del modelo propuesto. Las pruebas aplicadas con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del sistema para los plugins GSM y TETRA fueron satisfactorias, demostrando la efectividad del mismo.

Los resultados de las pruebas experimentales que se muestran en la Figura 21 y las tablas 9 y 10, así como los análisis derivados de las mismas, muestran que la plataforma de notificación de alarmas propuesta en la presente investigación contribuye a mejorar la inmediatez en el proceso de notificación de alarmas del SCADA respecto al mecanismo actual.

## 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.
- La versatilidad de la plataforma propuesta permite la notificación de alarmas a través de diferentes sistemas de comunicaciones móviles y la incorporación dinámica de nuevos plugins, lo que garantiza la escalabilidad y extensibilidad de la misma.
- Los mecanismos de comunicación y atención de alarmas propuestos muestran la robustez 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 permitió mejorar la inmediatez respecto al sistema de notificación actual.

## RECOMENDACIONES

Al concluir la presente investigación se proponen, a manera de recomendaciones, una serie de tareas para ampliar y dar continuidad al trabajo realizado:

- Incorporar a la plataforma un mecanismo de monitoreo y notificación de solución de alarmas que permita que en caso de que se responda al evento detonante, todos los notificados reciban la correspondiente confirmación.
- Incorporar a la plataforma un planificador de tareas que permita efectuar los envíos en función de horarios, calendarios, turnos o personas responsables rotativamente.
- Independizar la plataforma del mecanismo de generación de alarmas del SCADA. Crear una capa de abstracción que permita recibir alarmas procedentes de otro tipo de sistemas, por ejemplo Sistemas de Medición, Sistemas de Adquisición de Datos, entre otros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AG., S. (2012). Obtenido de SIMATIC WinCC. Visualización de procesos con Plant Intelligence.: [www.automation.siemens.com](http://www.automation.siemens.com)
- AG., S. (2014). Obtenido de Modems Specifications: <https://support.automation.siemens.com>
- Aragón Cáceres, J. A., Chávez Lorenzo, A., Pérez Javier, M., & Ravelo Hernández, L. Á. (2011). Servidor de Comunicación con sistemas externos del SCADA - UX. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 4(2).
- Arrieta Paternina, M., Mira Pérez, R., Avendaño Tapasco, C., & Quinchia Osorio, J. (2013). Desarrollo de un nuevo sistema de adquisición de datos para el monitoreo y supervisión de la línea de transporte por cable aéreo "Línea I" del metro de Medellín. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 2(22).
- Axiotis, D. I., & Xenikos, D. G. (2007). On the Performance of TETRA Short Data Service-Transport Layer. *Wireless Personal Communications*, Vol. 43, No. 4, 43(4), 1121-1135.
- Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for Industry*. Oxford: Newnes.
- Bakaric, S., Borzic, M., Bratkovic, D., & Grga, V. (2005). 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*, 307 – 310.
- Beck, K. (2003). *Test-Driven Development By Example*. Addison-Wesley Professional.
- Boyer, S. A. (2004). *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition*. ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
- Brown J., S. B. (2007). SMS: The short message service. *Computer*, 40 (12), 106–110.
- Cai, N., Wang, J., & Yu, X. (2008). SCADA system security: Complexity, history and new developments. *Industrial Informatics, 6th IEEE International Conference*, 569 – 574.
- Calderón, O. J., & Quintero, V. M. (2004). Un nuevo aspecto de la Movilidad: Redes AD HOC – Conceptos. *Universidad de Pamplona Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1 (3).
- Carvajal Arroyo, I. (2012). Del terrorismo petrolero al golpe económico. *Batalla por la soberanía nacional*.
- Cembrano, G., Quevedo, J., Salamero, M., Puig, V., Figueras, J., & J., M. (2004). Optimal control of urban drainage systems. A case study. *Control Engineering Practice*, 12(1), 1-9.



- Chan, E., & Ebenhoh, H. (2002). The implementation and evolution of a SCADA system for a large distribution network. *Power Systems, IEEE Transactions*, 7(1), 320 – 326.
- Copadata. (2014). *Copadata Corporation*. Obtenido de Control de mensajes: [www.copadata.com](http://www.copadata.com)
- Coulouris, G. F. (2009). *Distributed Systems: Concepts and Design*. Pearson Education.
- Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación Industrial. Octava Edición*. MARCONBO.
- Duarte, J., Rato, L., Shirley, P., & Rijo, M. (2011). *Multi-Platform Controller Interface for SCADA Application*. Universidad de Evora.
- Electric, S. (2014). Obtenido de Telvent Infrastructure — OASyS Product Family Overview: [www.telvent.com](http://www.telvent.com)
- Electric, S. (2014). Obtenido de Telvent Infrastructure — OASyS Product Family Overview: [www.telvent.com](http://www.telvent.com)
- Fernández, J. D., & Fernandez, A. E. (2005). SCADA systems: vulnerabilities and remediation. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 20(4), 160-168.
- García Higuera, A., & Castillo García, F. J. (2007). *CIM, el computador en la automatización de la producción*. España: Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Gorricho Moreno, M., & Luis, G. M. (2002). *Comunicaciones móviles*. Ediciones UPC.
- Hannam, R. (1997). *Computer integrated manufacturing: from concepts to realisation*. Inglaterra: Editorial Harlow.
- Haykin, S. (2005). Cognitive radio: brain-empowered wireless communications. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, 23(2), 201-220.
- Hernando Rábanos, J. M. (1999). *Comunicaciones Móviles GSM*. Editorial Fundación Airtel.
- Hernando Rábanos, J. M. (2004). *Comunicaciones Móviles*. Centro de Estudios Ramón Areces.
- Hernando Rábanos, J. M., Mendo Tomás, L., & Riera Salis, J. M. (2013). *Transmisión por radio*. Universitaria Ramón Areces.
- Hillebrand, F. (2010). *Short Message Service (SMS): The Creation of Personal Global Text Messaging*. John Wiley & Sons.
- Hillebrand, F. (2011). *GSM and UMTS: The Creation of Global Mobile Communication*. Ed. John Wiley & Sons.
- Hollifield, B. R., & Eddie, H. (2007). *Alarm Management: Seven Effective Methods for Optimum Performance*. ISA.

- Hollifield, B. R., & Eddie, H. (2011). *Alarm Management: A comprehensive guide*. ISA.
- Huidobro Moya, J. M. (2006). *Redes y servicios de telecomunicaciones*. España: Paraninfo.
- Huidobro Moya, J. M., & Conesa Pastor, R. (2006). *Sistemas de telefonía*. Paraninfo.
- Inc, E. (2014). Obtenido de Wizcon Supervisor: [www.getcontrolmaestro.com](http://www.getcontrolmaestro.com)
- Invensys Systems, I. (2007). Obtenido de Intouch 10.0 HMI de Wonderware: <http://www.wonderware.es>
- Invensys Systems, I. (2009). Obtenido de Envío y recepción de SMS mediante GSM-CTRL en una Galaxia vía OPC: [www.wonderware.es](http://www.wonderware.es)
- Karnouskos S., C. A. (2010). Towards an architecture for service-oriented process monitoring and control. *IECON 2010 - 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1385 – 1391.
- Karnouskos, S., & Colombo, A. (2011). Architecting the next generation of service-based SCADA/DCS system of systems. *IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*.
- Le Bodic, G. (2005). *Mobile Messaging Technologies and Services: SMS, EMS and MMS*. John Wiley & Sons.
- Lescaille Cos, M., & Zamora Zorrilla, D. (2012). Gestión de incidentes en refinerías petroleras con tecnología TETRA. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias*, 5 (9).
- Lewis, W. E. (2004). *Software Testing and Continuous Quality Improvement*. CRC Press.
- Marcombo. (1997). *Telecomunicaciones móviles*. Marcombo, S.A.
- Mikulic, M., & Modlic, B. (2008). General system architecture of TETRA network for public safety services . *ELMAR, 50th International Symposium*, 1 , 207 – 210.
- Montero, D., Barrantes, D. B., & Quiros, J. M. (2004). *Introducción a los sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos*. Costa Rica: Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- Mouly, M., & Marie-Bernadette, P. (2012). *The GSM System for Mobile Communications*. Telecom Publishing.
- Muñoz Rodríguez, D. (2002). *Sistemas inalámbricos de comunicación personal*. Marcombo.
- Negreira, J. A., Pereira, J., Belzarena, P., & S, P. (2007). End-to-end measurements over gprs-edge networks. *LANC'07*.
- Nieto Doce, Y. (2010). Sistema SCADA. *Serie Científica, Universidad de las Ciencias Informáticas*, 3(7).

- Pou, C. V. (2010). Introducción a las redes de comunicación trunking digital TETRA. *Universidad de Cantabria*.
- Pressman, R. (2005). *Ingeniería de software. Un enfoque práctico. 6ta edición*. McGraw-Hill.
- Progea. (2013). Obtenido de Movicon Monitoring vision and control: [www.progea.com](http://www.progea.com)
- Rodríguez Penin, A. (2006). *Sistemas SCADA*. España: MARCONBO.
- Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA – Guía Práctica*. España: MARCONBO.
- Rodríguez Penin, A. (2012). *Sistemas SCADA. Tercera Edición*. España: Marcombo.
- Romagosa Cabús, J., Gallego Navarrete, D., & Raúl., P. P. (2004). SCADA Systems. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Rothenberg, D. H. (2009). *Alarm Management for Process Control: A Best-Practice Guide for Design, Implementation, and Use of Industrial Alarm System*. Momentum Press.
- Rozo, D. (2013). Control y monitoreo de variables ambientales utilizando PLC y Scada. *Revista de Tecnologías de Avanzada*, 2, 71-79.
- Sallent Roig, O., Agustí Comes, R., & Valenzuela González, J. L. (2003). *Principios de comunicaciones móviles*. Ediciones UPC Universidad Politecnica de Catalunya.
- Sauter, M. (2006). *Communication Systems for the Mobile Information Society*. Ed John Wiley & Sons Ltd. .
- Sauter, M. (2010). *From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*. John Wiley & Sons.
- Sendín Escalona, A. (2004). *Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles. Evolución y tecnologías*. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Sepúlveda, J. (2006). MES: Sistemas de Ejecución de Manufactura. *ElectroIndustria*.
- SERWAP, T. (2009). Mecanismo de aprovisionamiento continuo mediante el protocolo WAP. *XV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*.
- Stanton, N. A. (1994). *Human Factors in Alarm Design*. CRC Press.
- Teltronic. (2012). Obtenido de HTT-500: [www.teltronic.es/](http://www.teltronic.es/)
- Teltronic. (2012). Obtenido de MDT-400: [www.teltronic.es](http://www.teltronic.es)
- Tomasi, W. (2003). *Electronic Communication Systems: Fundamentals Through Advanced. Fourth Edition*. Pearson Education, Inc.
- Vacas, F. (2007). Telefonía móvil: la cuarta ventana. *Zer - Revista de Estudios de Comunicación*, 12(23).

- Vicente, J. A. (2009). Adquisición de Datos de un Perfil de Temperatura y Sistema de Monitoreo Mediante Aplicación Web. *Revista Espectro Tecnológico, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Agosto – Diciembre*.
- Völter, M., Kircher, M., & U., Z. (2005). *Remoting Patterns. Foundations of Enterprise, Internet and Realtime Distributed Object Middleware*. John Wiley & Sons.
- Xue, M. y. (2009). 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, 775 - 777*.
- Zahariadis, T. B., Vaxevanakis, K. G., Tsantilas, C. P., Zervos, N. A., & A., N. A. (2002). Global Roaming in Next – Generations Networks. *IEEE Communications Magazine*.