

Operación de un PLC Mediante un PDA Vía ZIGBEE

Para citar este artículo /
To reference this article /
Para citar este artículo.
Zuluaga, B. Juan G., &
Herrera, C. Jorge A., &
Serna, G. Sergio I (2014).
Operación de un PLC
Mediante una PDA Via
Zigbee. Ingenio Magno.
Vol 5, pp. 102 - 110

OPERATION OF A PLC BY MEANS OF A PDA VIA ZIGBEE

Zuluaga-Botero Juan
Gonzalo, M.Sc. (E)
Instituto Tecnológico Metropolitano
Medellín, Colombia
e_mail: profe.zuluaga@gmail.com.

Herrera-Cuartas Jorge Aurelio, PhD.
Universidad Jorge Tadeo Lozano
Bogotá, Colombia
e_mail: jorgea.herrerac@utadeo.edu.
co.

Serna-Garcés Sergio Ignacio, PhD. (C)
Instituto Tecnológico Metropolitano
Medellín, Colombia
e_mail: sergioserna@itm.edu.co.

Recepción: 2014 - 7 - 02 \ Aceptación: 2014 - 12 - 28

RESUMEN

En este artículo se muestra la parte preliminar de interconexión de un módulo ZigBee con un Asistente Digital Personal (PDA) a través de la red del Sistema de telefonía Móvil Global (GSM), para aplicación futura de comunicación con un Controlador Lógico Programable (PLC). Esta aplicación permite realizar monitoreo y control del sistema, de manera remota y con dispositivos móviles siendo el alcance del proyecto de investigación. Para este proyecto inicialmente se realizan comunicaciones que permiten empalmar las tecnologías de las redes de telefonía móvil celular con la red ZigBee, haciendo una interfaz transparente para el usuario, presentando dichos resultados en este artículo. Para esto se trabaja con tramas de datos básicas a través de la red de telefonía móvil celular, mediante mensajería corta recibida por el puerto serial del Zigbee remoto, utilizando microcontroladores para el control de los módulos que conforman esta parte del sistema de comunicación, estableciendo la interfaz con el dispositivo móvil o Smartphone vía Zigbee.

Palabras Clave: Comunicación Industrial, GSM, PDA, PLC, Profibus, Zigbee.

ABSTRACT

This article shows the initial part of the interconnection between a ZigBee module with PDA (Personal Digital Assistant) by means of the cellular mobile telephone network GSM (Global System for Mobile communications), for future application of communication with a PLC (Programmable Logic Controller). It allows remote control and monitoring of the system with mobile devices, which is the aim of this research project. In this project, initial communications are made that allow to link up mobile telephone network technologies to the Zigbee network, making a transparent interface for the user, presenting said results in this paper. For this purpose, basic data frames are used by means of the GSM, using the short messenger service received by ZigBee's remote serial port, utilizing a microcontroller to manage the modules that make up this part of the communication system, thereby establishing via ZigBee an interface with the mobile device or smartphone.

Keywords: GSM, Industrial Communication, PDA, PLC, Profibus, Zigbee.

1. INTRODUCCIÓN

El control industrial se ha integrado con los sistemas de comunicaciones y la informática industrial (Figueiredo & Da Costa, 2007), donde se propone movilidad permanente mediante conexión a Internet y redes móviles GSM. Mediante esta red se realiza gestión, monitoreo y control de un conjunto de PLCs, los cuales intercambian variables, señales de control y son administrados por un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) montado sobre Internet permitiendo una administración remota de la planta entera. A modo de ejemplo (Huang, Chung, Hwa & Lin, 2006) realiza control de un PLC mediante SMS (Short Messenger Service), donde se transmiten solo estados a las salidas digitales del PLC y este informa sus datos al celular.

Desde hace varios años, se ha realizado control de sistemas de lazo cerrado sobre redes de comunicaciones (H. Chan, 1995), igualmente en (Rong, Hsung, Jen & Chih, 2007), se implementó un control remoto inalámbrico de un PLC a través de una PDA, el cual se caracteriza por el manejo y monitoreo de un servomotor que está conectado a un PLC y este a una red con un servidor Wireless.

Por otro lado, en (Pengfei & Jiakun, 2009), realizaron una conexión únicamente unidireccional entre un PLC y un computador vía ZigBee, donde se visualizan los datos en LabView. Siguiendo esta misma línea, (Meihua, Peng & Jingji, 2012), hicieron control bidireccional entre un PLC y un microcontrolador ARM con ZigBee sin usar la red Profibus. Igualmente hay vacíos en las comunicaciones de los módulos Zigbee con los PLC, en cuanto a algún perfil PLC-ZigBee Profibus para aplicaciones industriales (Zigbee Alliance, 2014) y diagnóstico a través de las PDAs.

Cuando se integra el control industrial con las comunicaciones, se evalúa la confiabilidad y se diagnostica el funcionamiento de los sistemas (Gaeta, Bobbio, Franceschinis & Portinale, 2001). El mantenimiento y monitoreo en red, según se establece en (Palluat, Racoceanu & Zerhouni, 2006) es una parte fundamental en el desarrollo de los procesos productivos, permitiendo detectar errores

críticos a tiempo que evitan daños mayores, donde mediante una conexión GSM-ZigBee se puede lograr una rápida transferencia de información de la planta al ingeniero o personal de mantenimiento sobre alguna falla que se pueda presentar lo cual se propone en este artículo.

Siguiendo esta misma línea y mediante un estudio previo de las empresas HACEB, PILSEN y SOFASA, encontramos, que estas tienen su control industrial mediante arreglos de 15 o más PLCs, pero solo 1 o 2 de ellos tiene conexión directa en red con un servidor remoto y con un aplicativo SCADA y ninguna lo tiene mediante PDA o algún SmartPhone; lo que quiere decir que es un campo abierto de aplicación en la empresa colombiana y sobre todo en el área del diagnóstico de fallas.

En este trabajo, se propone una metodología para implementar la comunicación entre una PDA y módulos ZigBee, usando la red de telefonía móvil celular GSM, logrando monitorización y control del proceso. Aprovechando las potentes características de las PDA y su programación, se puede obtener un incremento en la eficiencia y el desempeño de la planta, como también un diagnóstico oportuno de los errores.

Teniendo en cuenta que las conexiones inalámbricas en la industria se han incrementado considerablemente y que el protocolo ZigBee cumple con los requerimientos en un ambiente industrial (Dong, 2007), se puede considerar su implementación en la industria y mediante la red GSM, realizar un correcto enlace de operación y control remoto con futuras aplicaciones de interconexión con un PLC.

El presente artículo, muestra la metodología propuesta, explicando el procedimiento llevado a cabo para el desarrollo planteado de la conectividad dada entre la PDA y el sistema ZigBee. Se muestran las propiedades de la comunicación, características e implementación con la red GSM, mostrando los resultados obtenidos y las dificultades encontradas en la realización de esta. La comunicación PLC-ZigBee usando la red Profibus, es la segunda fase de este proyecto de investigación, lo cual está fuera del alcance de este artículo.

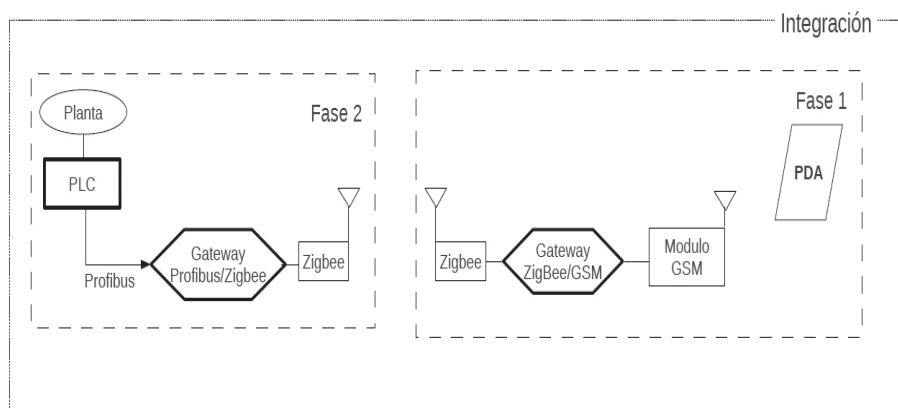


FIGURA 1. Red PLC-PDA vía ZigBee. Fuente: Autores

2. MARCO TEÓRICO

La metodología propuesta en este artículo da una proyección del control industrial remoto sobre las redes de telefonía celular de cuarta generación con los nuevos Smartphones, optimizando los procesos de mantenimiento y control en las empresas colombianas, permitiendo soporte en tiempo real mediante el diagnóstico básico de fallas de los procesos industriales controlados en muchas ocasiones por PLCs conectándolos con un estándar de un perfil ZigBee a una PDA. De esta manera se aumenta la eficiencia y desempeño de la industria gracias a las alertas indicadas en los dispositivos móviles, comprendiendo con claridad la compatibilidad de los medios de transmisión o protocolos utilizados en cada tecnología, logrando que estas sean transversales, las cuales se describen a continuación.

2.1 ZigBee

La tecnología ZigBee actualmente se usa para formar redes inalámbricas de corto alcance (30 a 300mts) y tasas de transferencia a bajas velocidades (250kbps acordes a lo dado en los procesos industriales), los cuales están respaldos por (ZigBee Alliance, 2014) la cual establece un rango de productos y aplicaciones comerciales, industriales, de gobierno, hogar entre otras. Esta tecnología también se caracteriza por tener bajo consumo de potencia (menor de 10 μ A) y alta seguridad.

Como se establece en (Ocampo, 2012) la especificación de un perfil ZigBee para monitoreo y control de plantas industriales, implica direccionar la plataforma de comunicación a un sistema específico, desarrollando aplicaciones distribuidas que se puedan desplegar fácilmente del dominio de interés. De esta manera, si un sensor industrial puede recibir y enviar comandos de un sistema, igualmente es posible asignar tareas de procesamiento, captura o transferencia de datos dentro de una red mediante una conexión ZigBee. Además si se tiene un aplicativo para control y monitoreo que permita determinar estados críticos en la industria, esto, está definiendo un perfil de comunicación entre dispositivos industriales y ZigBee. En otras palabras, un perfil especifica la funcionalidad del dispositivo, que mediante varias descripciones forman una aplicación. Los perfiles pueden ser públicos o privados y definen aspecto como estándares de comunicaciones, aplicaciones con controladores, entre otros aspectos.

Este estándar se puede formar en topologías tipo bus, estrella o malla, estableciendo redes de sensores como se ha hecho en (Yaohui & Pengfei, 2012), además de poder formar redes Ad-oc.

Estas topologías están compuestas por coordinadores, enrutadores y terminales finales, que mediante un perfil definido se logran técnicas de conexión directas con otros dispositivos.

Con cada módulo ZigBee se pueden realizar transmisiones de diferentes funciones mediante

comandos API (Application Programming Interface) o enviar byte por byte en el modo Bypass o AT/Transparent (modo transparente con control por comando AT). Mediante la interfaz API se pueden realizar mayores funciones e inclusive programar remotamente el módulo ZigBee, además de permitir envío a múltiples destinos simultáneamente, identificar direcciones y fallas. En el modo de comandos AT (Attention command) el dispositivo trabajará como un simple repetidor, logrando un menor consumo de recursos y envío de información sin procesamiento complejo cuya sintaxis se puede ver en la figura 2.

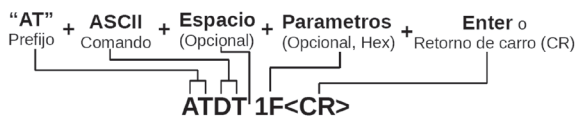


FIGURA 2. Estructura envío comandos AT. Fuente: ZigBee Alliance. (2010)

2.2 GSM

La red GSM (Global System Mobil Groupe Special Mobile) es una de las tecnologías más usadas en la conexión de telefonía móvil celular. Este estándar europeo se estableció por la CEPT en 1982 con el fin de unificar los distintos sistemas móviles digitales y permitir la movilidad entre cualquier país europeo (Rey, 1999). Entre sus principales características, está la tarjeta inteligente, cifrado de las conversaciones, integración de voz y datos, la utilización más eficiente del espectro y menor consumo de energía con terminales más pequeños.

Este sistema maneja 4 bandas (850/900/1800/1900), con 8 canales por portadora (124 por antena), con separación entre portadoras de 200khz, y ancho de banda del canal de radio de 25khz. Su transmisión es TDMA/FDD (Time Division Multiplex Access /Frecuency Division Duplexing) con modulación GMSK (Gaussian Minimun Shift Keying) la cual recibe la voz codificada a 13kbps y esta se transmite a la antena con una velocidad binaria de 22.8 kbps (Huidobro, 2003).

Esta red está compuesta por un conjunto de BTS (Base Transceiver Station) encargadas de crear

la red hexagonal de células, las BSC (Base Station Controller) que controlan las estaciones base y la MSC (Mobile Switching Center) que es donde se realiza todo el proceso de conmutación. Adicionalmente se tienen otros bloques funcionales dentro de la MSC como el HLR (Home Location Register) que almacena los datos estáticos relativos al abonado móvil como el registro de posiciones, VLR (Visitor Location Register) que almacena toda la información sobre el abonado móvil que entra en una zona, OMC (Operation Manager Center) para realizar las funciones de operación y mantenimiento de la red, EIR (Equipment Identity Register) que es una base de datos de información sobre el estado de los móviles IMEI y la AuC (Autentication Center) donde se registra la identidad del usuario almacenada en la SIM (Suscriptor Identification Memory) y permite la comunicación dentro de la red protegiendo esta de intrusos (Huidobro, 2004). Esta distribución se puede visualizar en el diagrama de bloques de la figura 3.

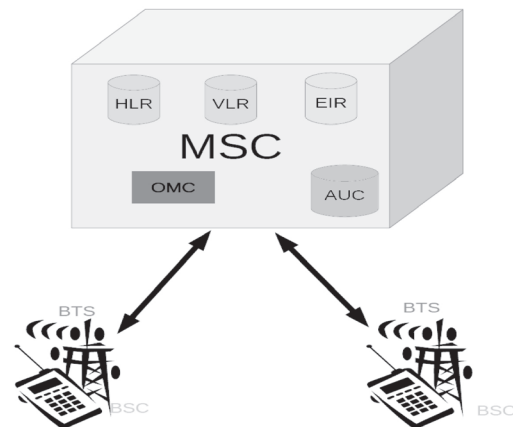


FIGURA 3. Bloques funcionales de la red GSM Fuente: Autores

Una de las principales ventajas de la red GSM es que permite gran capacidad de usuarios debido a la utilización eficiente del espectro y su amplia cobertura, pues se realiza reutilización de frecuencias entre estaciones bases no adyacentes. Además permite roaming (seguimiento del móvil según la posición donde se encuentre) internacional. Con GSM se mejora la calidad de las señales, confidencialidad en la información y la identidad de los abonados, además brinda seguridad en usos fraudulentos del sistema e introducción de nuevos servicios como datos, mensajes, etcétera.

Cada canal físico de la red GSM tiene una duración de $577\mu\text{seg}$ en la división TDMA dentro de cada uno de los enlaces de voz. Teniendo en cuenta que se tiene un canal ascendente y otro descendente. Y como se tienen 8 canales por portadora, luego la trama total dura 4.62 mseg . Dentro de estos canales físicos, están los canales lógicos, los cuales se clasifican según el tipo de información transmitida, como datos de abonado, señalización, control o datos de tráfico.

El canal de tráfico (TCH) contiene la voz codificada o datos transmitidos y recibidos. Donde de los 22.8kbps , 13kbps se utilizan para la codificación de la voz y el resto como bits de corrección de errores. El canal de control contiene la señalización o datos de sincronización que se dividen en 3 canales. Un canal de radiodifusión (BCH) el cual transmite información de correcciones de frecuencia de la BTS a los dispositivos móviles. Un segundo canal común de control (CCCH) que transmite punto a punto información de localización del móvil con peticiones de acceso. Existe un último canal de control dedicado (DCCH) que sirve para la iniciación de las llamadas y envío de medidas de potencia que aportan a las señalizaciones espaciales de handover (Regis, 2003).

3. METODOLOGÍA DESARROLLADA

Para lograr la conexión directa entre la PDA y el módulo ZigBee mediante la red GSM, se utiliza la plataforma estándar de mensajería de la PDA, permitiendo establecer un enlace transparente para el usuario. Además se usa una base de datos almacenada en el dispositivo remoto definiendo una metodología con alarmas específicas y estableciendo niveles de trabajo de una planta en un proceso, diagnosticando las posibles fallas más comunes que se puedan presentar. Con la implementación establecida, se evalúa la eficiencia del perfil de comunicaciones y se realizan pruebas simuladas de eventos fortuitos de fallas que envíen la información a la PDA o SmartPhone según el tipo de falla relacionada con la base de datos del ZigBee remoto.

En este artículo se muestran las características, resultados y problemas presentados en el desarrollo

de la metodología planteada, brindando un conocimiento detallado acerca de la conexión PDA-ZigBee. Para esta fase se utilizó la red GSM, con un módulo que es conectado a un microcontrolador y controlado por comandos AT, los cuales mediante instrucciones codificadas intercambian información con el módulo GSM. Con esto se establece el puente que interpreta y lee la información que va desde la PDA hacia el chip GSM, el cual se reenvía por el puerto serie hacia el ZigBee enrutador. Este mismo lo envía al otro módulo ZigBee coordinador, que de forma transparente recibe la información y es llevada al puerto serie de un microcontrolador que tiene almacenadas las alarmas con sus respectivos tipos de fallos los cuales pueden ser entregados por un computador conectado a este, que en otro momento podrá ser un PLC o cualquier dispositivo de campo industrial.

Los servicios de mensajería (SMS), se trabajan de manera bidireccional, tomando estos con todos sus parámetros por el módulo GSM y reenviándolos al ZigBee que los retransmite al otro ZigBee remoto y de la misma manera, intercambiando estos, según la alarma presentada desde el ZigBee remoto conectado al computador reenviándolos al ZigBee conectado al GSM y este transmitiendo el mensaje a la PDA.

3.1 Comunicación PDA – ZigBee

Para la conexión de estos dos dispositivos, se utiliza como interfaz el microcontrolador PIC18F26K22 de Microchip (Microchip, 2012). Su velocidad de operación se configura a 4Mhz con oscilador interno y transmisión USART de 9600bps la cual se configura con interrupciones para la recepción de datos seriales.

Para la conexión del Smartphone con el microcontrolador se utiliza el módulo SIM908 de SIMCOM, el cual es un dispositivo que integra con alto rendimiento el módulo GSM/GPRS con GPS, con conexión multibanda y diferentes esquemas de codificación. Los periféricos y su diagrama de bloques se ven de manera resumida en la Figura 4. Las aplicaciones de transferencia de información entre el microcontrolador y el módulo GSM se realizan mediante comandos

AT, por su fácil configuración, estableciendo la comunicación módulo-terminal celular.

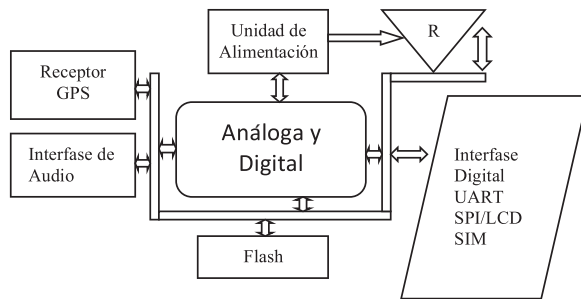


FIGURA 4. Diagrama de bloques módulo SIM908.
Fuente: SIMCOM

3.2 Desarrollo

Para establecer el puente de comunicación entre el microcontrolador y el módulo GSM se realizan múltiples pruebas físicas y simuladas, donde se verifica la programación y configuración de cada uno de los dispositivos. Además se establecen los tiempos de retardo ideales y se solucionan los problemas presentados ante inconvenientes dados en la comunicación y lectura del mensaje que permiten la verificación del módulo. Para esto se procedió con 5 pasos descritos a continuación.

Paso 1: Se realizaron pruebas directas con el módulo GSM, al cual se le colocó una SIM card y se inicializó, luego mediante conexión entre el módulo y el puerto serie de un computador se abre un aplicativo de una terminal de comunicaciones serie (XCTU) configurada a 9600bps, sin control de flujo y sin paridad, con 8 bits de datos y 1 bit de stop.

Paso 2: Con la comunicación RS232 establecida se realizan pruebas de envío y recepción de comandos AT, logrando identificar el funcionamiento de este y sus respuestas ante cada uno de los comandos. Inicialmente se manda el comando AT y si el módulo responde OK es porque la comunicación está bien establecida, de lo contrario, se debe volver a mandar el comando AT hasta que su respuesta sea la correcta.

Paso 3: Una vez que se establece la comunicación, se procede a comprobar los diferentes comandos que van a ser utilizados en el proyecto los cuales son:

AT+CMGF: Selecciona el formato de los mensajes

AT+CMGR: Lee un mensaje SMS almacenado

AT+CMGS: Envía mensaje de texto

AT+CMGD: Elimina mensaje almacenado

Paso 4: Para realizar la programación del microcontrolador, se identificó el funcionamiento de los diferentes comandos AT con sus respectivas respuestas y significados. Donde para cada uno de los mensajes enviados, se obtiene una respuesta del módulo, las cuales son las siguientes:

- a. El comando AT+CMGF=1, responde OK, esto implica que el módulo puso la lectura de mensajes en formato ASCII, mientras que AT+CMGF=0, esta queda en formato Hexadecimal.
- b. El comando AT+CMGR=Pi, responde "OK", esto implica que no hay mensajes en la posición Pi de la SIM card.
- c. El comando AT+CMGD=Pi, responde "ERROR", esto implica que no hay mensaje en la posición Pi para ser borrado.
- d. AT+CMGS=#Tel, envía un mensaje de texto al teléfono móvil indicado por #Tel, donde luego se presiona Enter, se escribe el mensaje corto a enviar y se completa la operación con "Ctrl+Z"

Paso 5: Según los resultados anteriores, se realiza el código en C, bajo el compilador Hi-Tech con el software MPLAB X. Este programa se describe en el diagrama de flujo de la figura 5, el cual utiliza la identificación de respuestas y pruebas descritas en los pasos del 2 al 4.

Figura 5 Siguiente página

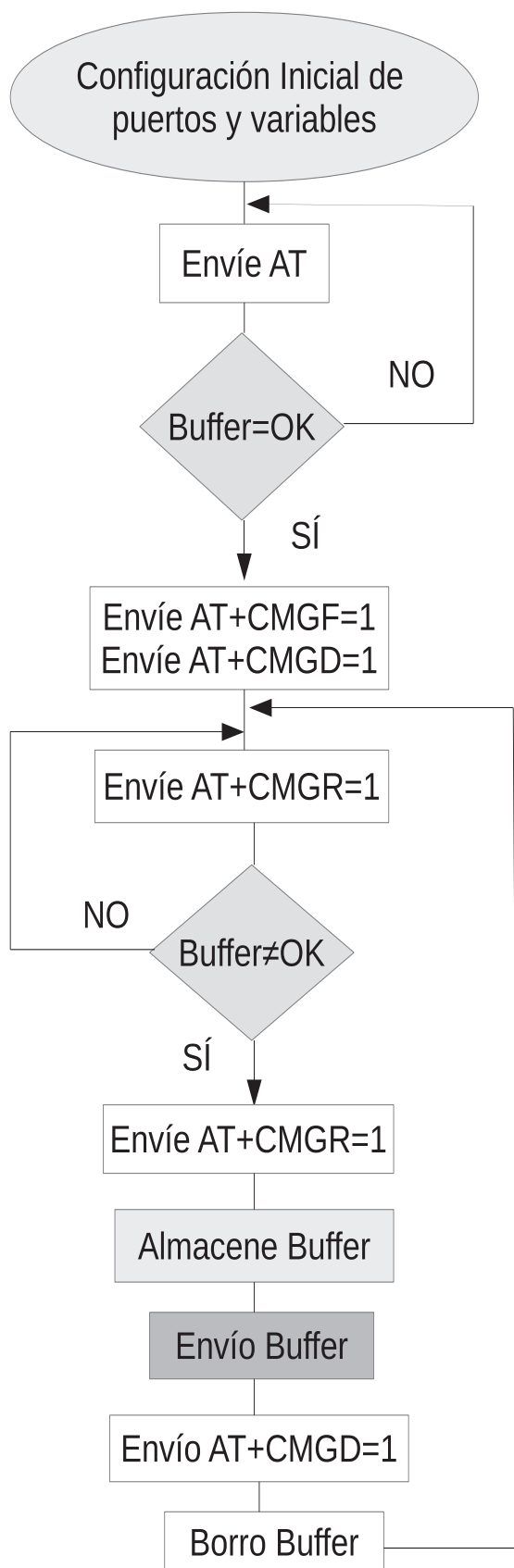


FIGURA 5. Diagrama de flujo funcional fase.

Fuente: Autores

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Con la simulación realizada en Proteus, se solucionaron los inconvenientes en la lectura del mensaje, siendo un resultado favorable. El principal problema encontrado, tiene que ver con la cantidad de caracteres recibidos en el mensaje, los cuales no quedan en la primera posición del buffer por lo que es necesario reiniciar este llenándolo con ceros y tomar los datos necesarios de la red (entre 75 a 95 caracteres), filtrando la información del buffer limitando este a un contenido.

La verificación de la comunicación con el módulo GSM se realiza activando y desactivando bits del microcontrolador lo que permite visualizar en tiempo real el estado de la misma. Luego para realizar la comunicación con el módulo ZigBee(XBee PRO S2B) de Digi International, se inicializa el módulo colocándolo como bypasmode mediante la letra "b", de esta manera este funciona como repetidor transmitiendo y recibiendo de forma transparente hacia el otro ZigBee todo lo que es recibido desde el microcontrolador.

Seguidamente se mandó un mensaje de texto desde un Smartphone a la SIM card del módulo para verificar el comando de lectura y borrado de mensaje. Al reenviar este hacia el módulo ZigBee aparece el contenido del mensaje y si se presenta algún error en la lectura de este, el dispositivo remoto recibe la palabra "ERROR".

Los dispositivos ZigBee se debieron programar para el enlace entre estos, lo cual inicialmente se establece uno como enrutador y el otro como coordinador mediante el software XCTU de Digi. El coordinador se encuentra conectado al otro microcontrolador que tiene la base de datos de fallas a enviar a la PDA según bytes recibidos desde el PC que luego pasará a ser el PLC.

Con esto se logra el enlace, enviando el mensaje a la PDA según la falla presentada ver figura 6, y también desde la PDA se manda un mensaje el cual se captura con todos sus parámetros por el módulo GSM y se reenvía al módulo ZigBee por el microcontrolador, terminando la recepción en un computador remoto con un terminal serial.



FIGURA 6. Sistema de Fallas ZigBee-PDA.

Fuente: Autores

Una opción que permite confiabilidad en el sistema es borrar todos los mensajes de la SIM Card para garantizar que el mensaje nuevo recibido queda en la posición 1 y que este será el que se envía al módulo ZigBee; para esto se utiliza el comando "AT+CMGD=#" donde en el # se reemplaza por la posición de cada uno de los mensajes hasta que aparezca ERROR.

La verificación de la calidad de enrutamiento de los datos de los nodos ZigBee, se realiza mediante envío de mensajes continuos en el enlace establecido, lo que permite corroborar los resultados y evaluar la calidad del mismo, validando el sistema implementado.

El método utilizado para el diagnóstico de fallas, establece el perfil ZigBee ya que se direcciona la

comunicación a un sistema específico, estableciendo una aplicación con el microcontrolador para monitoreo a través de la red GSM. Dado el caso que no se encuentren fallas relevantes en el proceso industrial, se pueden analizar otras variables importantes del proceso que validen el perfil ZigBee. Algunas limitaciones que se pueden presentar tienen que ver con los protocolos de comunicación utilizados, puesto que la lectura de estos o sus registros de estado, limitan el diagnóstico de fallas, por lo que se debe tener especial cuidado en la interpretación de los mismos.

Finalmente, aunque la seguridad es un aspecto crítico en la interconectividad de dispositivos móviles, se confiará en la que brinda ZigBee bajo su perfil, dando de esta manera confiabilidad y no siendo el objeto de estudio de esta investigación.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un método de solución de comunicación PDA-ZigBee, basado en el control mediante comandos AT y la red GSM como puente de interconexión de estos 2 dispositivos, realizando una interfaz transparente para el usuario aplicable a los procesos industriales en el monitoreo o control deseado.

Los resultados de manejo del buffer y los problemas presentados con mensajes de texto largos, se han verificado con las pruebas realizadas, permitiendo corroborar el enrutamiento de datos con el ZigBee. Algunos problemas como la escalabilidad y adaptabilidad en los diagnósticos de fallas dependen del tipo de proceso (diseños exclusivos), protocolo a utilizar, medio de transmisión o fabricantes.

REFERENCIAS

1. Dong-Hwan Park, Tai-Yeon Ku, Kwangil Lee and Kyeong-Deok Moon. Design and Implementation of QoS Guaranteed Bridge System for High Speed PLC and UWB. Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon, Korea, 2007.
2. Figueredo, J.M.G.; da Costa, J.M.G. (Oct. 2007) A Concept for an Operational Management System for Industrial Purposes. Intelligent Signal Processing, 2007. WISP 2007. IEEE International Symposium on. 3-5 Page(s):1 – 6.
3. Gaeta, R.; Bobbio, A.; Franceschinis, G.; Portinale, L. (Sept. 2001) Dependability assessment of an industrial Programmable Logic controller via Parametric Fault-Tree and High Level Petri net. Petri Nets and Performance Models, 2001. Proceedings. 9th International Workshop on. 11-14 Page(s):29 – 38
4. González, Daniela, Vásquez Susana. Investigación de Mercados y Mantenimiento Industria Licorera de Caldas. Universidad de Manizales. Febrero, 2009.
5. Huidobro J. M. Todo sobre Comunicaciones. Cuarta Edición. 2003, Madrid España. págs: 87-91
6. Huidobro J. M. Manual de Telecomunicaciones. Alfaomega. México, 2004.
7. H. Chan and Ü. Özgüner, "Closed-loop control of systems over a communications network with queues", International Journal of Control, 1995.
8. Huang Wu, Ping; Chin-Chung Lin; Chin-Hwa Kuo; Pei-Lin Wu. (July 2006). Design and Implementation of the PLC Control Lab Using GSM System Advanced Learning Technologies, 2006. Sixth International Conference on. 5-7 Page(s):393-395
9. Meihua Xu, Peng Xu, Jingji Xu in Communications and Information Processing (2012). Design of Industrial PLC Based on ZigBee Protocol. Communications in Computer and Information Science Volume 289, 2012, pp 54-61
10. Microchip Technology Inc. 2355 West Chandler Blvd. Chandler, Arizona, USA. www.microchip.com. 2012.
11. Ocampo D. Serna S.I, Seguridad del hogar mediante integración de una red de área personal ZigBee con la red de telefonía móvil celular GSM. Segundo congreso Virtual de Microcontroladores, 2012.
12. Pallaut, D. Racoceanu, N. Zerhouni. (August 2006). A neuro-fuzzy monitoring system: Application to flexible production systems. Computers in Industry, Volume 57, Issue 6. Pages 528-538
13. Pengfei Li, Jiakun Li. Application of Communication and Remote Control in PLC Based on ZigBee. Computational Intelligence and Security, 2009. CIS 09. International Conference on Volume: 2. Año 2009. Pag(s): 533 – 536
14. Regis J. Comunicaciones inalámbricas de banda ancha. McGraw-Hill Profesional, 2003. ISBN: 9788448139766.
15. Rey Eugenio. Telecomunicaciones móviles. Serie Mundo Electrónico. 2ª edición. Marcombo-Alfaomega Mexico 1999.
16. Rong-Ching Wu; Hsun-Ching Wu; Jen-Hao Teng; Chih-Cheng Huang. (Oct. 30-Nov. 2 2007) The realization of PLC wireless remote graphic control by PDA. TENCON 2007 IEEE Region 10 Conference. Page(s):1 – 4
17. SIMCOM. A company of SIM Tech. SIM908-C_ Hardware Design_V1.01. 2011
18. Yaohui, Wu; Pengfei, Shao. Middleware-Based Distributed Data Acquisition and Control in Smart Home Networks. Advances in Intelligent and Soft Computing. Volume 145, 2012. Pp 219-226
19. ZigBee Alliance Interest Group. 2400 Camino Ramon Suite 375 San Ramon, CA 94583 USA. www.zigbee.org. 2014.