

SISTEMA PARA LA ADQUISICION DE DATOS CON CAPACIDAD DE ENLACES WIFI-ZIGBEE-ETHERNET

Cázarez Ayala Gerardo, Castillo Meza Hugo, Montes de Oca Flores José de Jesús,
Valencia Rodríguez Lorena, Ortiz Ibarra Gustavo
Instituto Tecnológico de Los Mochis
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Blvd. Juan de Dios Batiz y Calle 20 de Noviembre s/n, Colonia Centro
C.P. 81200, Los Mochis, Sinaloa.
Tel. 668-8125858
gcazare2000@yahoo.com, hcastillo74@gmail.com, jhsmontes@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema para la adquisición de datos distribuidos con capacidad de comunicarse a través de múltiples y diferentes protocolos de comunicación cableada e inalámbricamente de forma eficiente haciendo uso del driver de comunicación desarrollado para dichas tareas. El sistema está constituido por dos partes primordiales: la tarjeta de adquisición de datos basada en un microcontrolador Arduino y un componente de software para realizar las tareas de comunicación vía enlaces Ethernet, Zigbee o WiFi.

1.- INTRODUCCION

En las últimas décadas, el crecimiento acelerado que experimenta la industria de la transformación de bienes y servicios en función de una creciente demanda de más y mejores productos, es sin lugar a dudas la causa principal de que los fabricantes busquen mejorar la calidad de sus productos y posicionarlos en el mercado en el menor tiempo posible y bajo costo. De tal forma, la automatización de dichos procesos productivos juega un rol muy importante en la búsqueda del incremento de la productividad y la calidad de los productos que se desarrollan, permitiendo al fabricante estar presente en el mercado en menor tiempo posible, con productos de mayor calidad, confiabilidad y a menor costo. En forma paralela, esto ha coadyuvado en la evolución de los sistemas para la adquisición de datos, monitoreo y supervisión de procesos.

Existen hoy en día en el mercado nacional e internacional, una gran variedad de sistemas para la adquisición de datos, los cuales agrupan una diversidad de características entre las cuales se destacan la capacidad de trabajar de manera colaborativa con similares unidades o diferentes basadas en protocolos de comunicación estándares en el mercado y en la industria electrónica y de telecomunicación.

En este sentido, hemos diseñado e implementado un sistema para la adquisición de datos con capacidades de trabajar en red mediante diversos protocolos de comunicación estándares en la industria de la telecomunicación, en la cual convergen, la capacidad de adquirir datos, monitorear procesos de producción y la supervisión y control de procesos a través de la comunicación en red basada en algunos de los puertos de comunicación cableada e inalámbrico que contiene el sistema, como lo son: Ethernet, WiFi o Zigbee, y que basado en los requerimientos del proceso o preferencias del usuario facilitar la implementación y desarrollo de sistemas de adquisición de datos, monitoreo y supervisión de procesos de control distribuidos, así como la implementación de redes de sensores inalámbricas.

Por tales motivos, buscamos proveer al usuario de una herramienta poderosa, útil y de bajo costo con el principal objetivo de coadyuvar en el incremento de la productividad de la industria y en la mejora de la calidad de los productos fabricados o desarrollados.

2. DESARROLLO

El presente sistema para la adquisición de datos con la capacidad de enlaces WiFi, Zigbee y Ethernet está constituido por dos (2) grandes componentes. El primero de ellos es una tarjeta electrónica programable, basada en un microcontrolador Arduino (ATmega 328), la cual a su vez cuenta con controladores de comunicación Ethernet, WiFi y Zigbee, mismos que pueden ser utilizados de acuerdo a las necesidades de la aplicación o sistema distribuido a implementarse.

La segunda componente del sistema, es el *driver* de comunicación, está basado en software de alto y bajo nivel y es el responsable de que las tareas de configuración, iniciación de la red y la comunicación entre unidades sea posible. El uso de este software, permite que las tareas de enrutamiento de paquete de datos y comunicación en general entre unidades o equipos de supervisión sean completamente transparentes para el usuario y/o el responsable de implementar la red de trabajo.

2.1. La unidad de adquisición de datos.

Como se mencionó en la sección anterior, la unidad de adquisición de datos, ha sido diseñada para trabajar en base a un microcontrolador ATmega328 con bootloader *Arduino* precargado, o comúnmente conocido solo como plataforma *Arduino*, el cual cuenta con capacidad de adquisición de datos o si se desea, operar en modo de control de procesos, esto último en función de las necesidades del usuario. La principal característica de esta unidad de adquisición de datos es que tiene la capacidad de implementar enlaces inalámbricos a través de protocolos de comunicación Zigbee y WiFi y cableados mediante enlaces Ethernet. Para esto, la unidad cuenta con controladores de comunicación, los cuales proporcionan el soporte para los enlaces antes mencionados; zócalo de conexión para módulo *Xbee* para la implementación de enlaces Zigbee o IEEE 802.15.4, zócalo para módulo *WIZ610wi* para la implementación de los enlaces WiFi e interface serial SPI para implementar enlaces Ethernet a través de un módulo *WIZ812MJ* de *Wiznet*.

La unidad puede operar en forma colaborativa con otras unidades similares o con otros sistemas

basados en el protocolo de comunicación que se deseará utilizar. De esta manera, creemos que el usuario podría explotar todas las capacidades de comunicación de la unidad de adquisición de datos tomar ventaja de cada una de las características principales que nos proveen los diferentes protocolos de comunicación que soporta la unidad: WiFi es sin duda el protocolo de comunicación inalámbrica con mayor aceptación en el mercado, del cual, aprovecharíamos la infraestructura física de comunicación ya instalada si fuera el caso y el gran ancho de banda que ofrece; por su lado Zigbee, nos ofrece bajo consumo energético y la posibilidad de implementar redes de trabajo con cobertura de área ilimitada mediante topologías de red en árbol y malla; y por su parte Ethernet como protocolo de comunicación vía cable nos ofrece su gran ancho de banda, su gran aceptación en el mercado y la oportunidad de transferir la energía necesaria para energizar sensores a través de PoE (*Power Over Ethernet*), si fuera necesario.

Las características principales de la unidad de control y adquisición de datos son, entre otras:

- 6 entradas analógicas en rango de voltaje de 0 a 5v.
- 13 entradas-salidas digitales en niveles 0 y 5v.
- 4 de ellas pueden actuar como salidas PWM para control proporcional.
- Puertos de comunicación inalámbrica WiFi y Zigbee.
- Puerto de comunicación Ethernet.
- Interfaz I²C opcional si se deseará implementar red de sensores y actuadores a través de este medio.
- Puerto USB para programación del microcontrolador.
- Capacidad de energizar mediante USB (5v) o externa (6 a 20 volts).
- Salidas de 3.3 y 5 volts para energizar sensores.

En la figura 1, se ilustra la vista superior del modelo 3D de la unidad de adquisición de datos implementada, en la cual desatacan, los módulos de regulación y acondicionamiento de señales,

microcontrolador y zócalos de conexión para módulos de comunicación Ethernet y Zigbee utilizados (zócalo WiFi se encuentra en la parte posterior de la tarjeta, la cual está construida en PCB doble cara), así como bloques de terminales para las conexiones de sensores y actuadores, tanto analógicos como digitales.

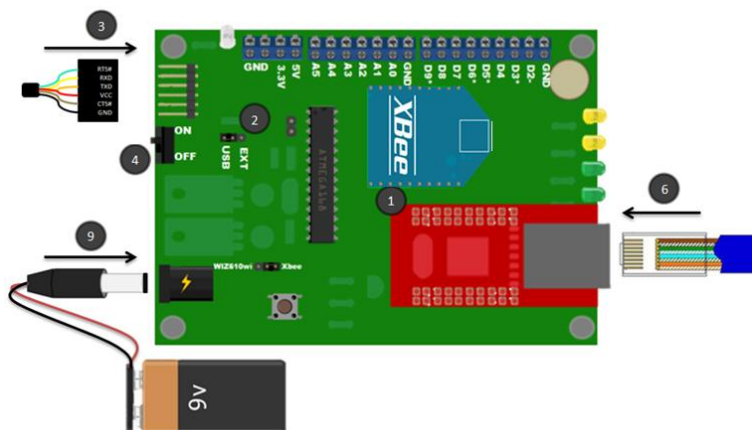


Figura 1. Modelo 3D del sistema desarrollado

En la figura 2, se ilustra la tarjeta del sistema de adquisición de datos y se describen los principales componentes que la constituyen.

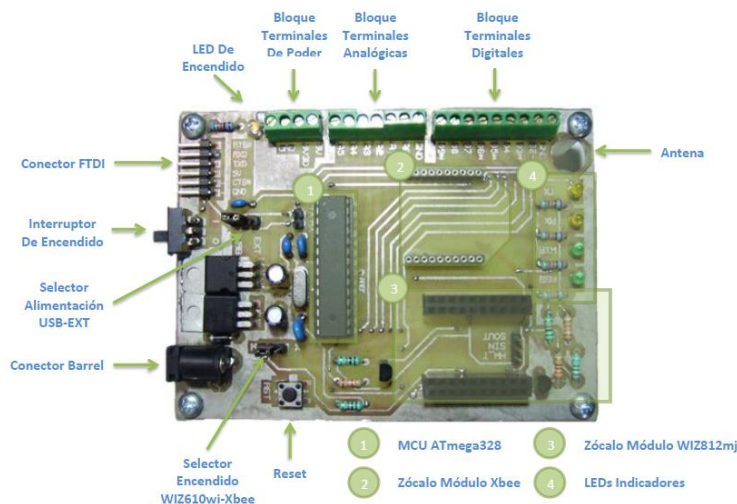


Figura 2. Tarjeta electrónica del sistema

2.2. Driver de comunicación.

El driver de comunicación es el segundo componente del sistema de adquisición de datos, este driver, a su vez está dividido en dos partes, una de ellas opera a bajo nivel y se incluye en el programa del microcontrolador *Arduino* desarrollado por el usuario como una librería de software, el cual integra un gran número de funciones que hacen posible el manejo de la comunicación a través de los controladores o módulos de comunicación WiFi, Zigbee o Ethernet. En la figura 3 se ilustra los componentes del Driver de comunicación desarrollado para implementar las tareas de comunicación de datos y supervisión de las variables en el sistema distribuido.

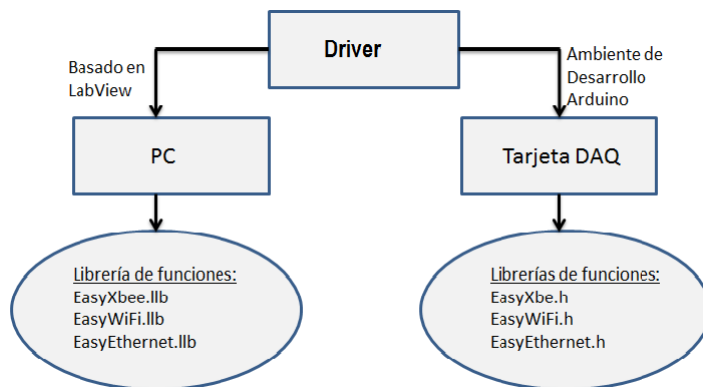


Figura 3. Estructura del Driver desarrollado.

Cabe destacar, que el driver es el encargado de controlar los enlaces de comunicación según el puerto y protocolo de comunicación que se haya determinado utilizar, esto en función de las necesidades de la aplicación podría ser una red Zigbee, WiFi o Ethernet.

El usuario será responsable de desarrollar su programa de adquisición de datos y/o control en función de sus requerimientos, sin necesidad de manejar la comunicación. Para esto, solo deberá incluir la librería del driver de comunicación según el enlace deseado: *EasyXbee.h* para Zigbee o IEEE802.15.4; *EasyWiFi.h* para enlace WiFi e *EasyEthernet.h* para enlaces cableados Ethernet. Una vez agregada la librería adecuada, el usuario solo tendrá que relacionar sus variables en las cuales almacena los datos de sus sensores conectados en las entradas analógicas y límites

de la variable o *Setpoints*, con las variables *punteros* que utiliza el driver para acceder a los datos del usuario de forma indirecta. De esta manera, el software del usuario no se ve afectado por la operación del driver de comunicación, el cual accede a los datos de las variables a través de *punteros* y los transmite hacia la red al *nodo coordinador*, el cual puede ser un computador o consola central basada en un microcontrolador, como se ilustra en la figura 4.

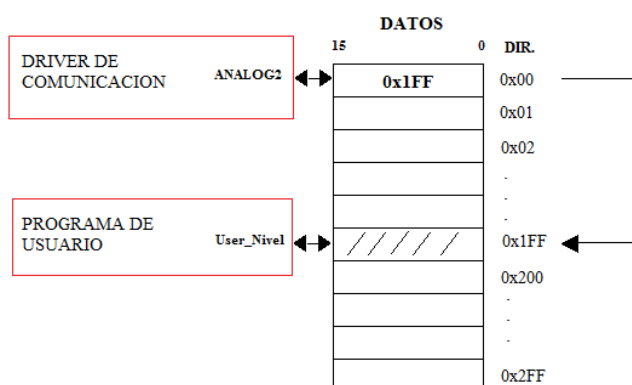


Figura 4. Asociación variable de usuario-Driver

Cabe destacar, que mientras el usuario desarrolla su programa para el microcontrolador Arduino, sin incluir instrucción alguna para el manejo de la comunicación serial UART o SPI, solo agregando la librería adecuada, toma ventaja de las características que le proporciona el driver de comunicación desarrollado, cuyas principales tareas en la plataforma del microcontrolador son:

1. Establece los parámetros de operación de los módulos de comunicación WiFi, Zigbee y Ethernet, según se desee utilizar.
2. Detecta la red y se agrega la unidad DAQ a dicha red.
3. Responde a comandos de “descubrimiento” de la unidad coordinador de la red.
4. Establece la operación de muestreo de datos, generación de paquete de datos y transmisión de los paquetes de forma periódica a través de una interrupción temporizada programable en rango de 0 a 65,535 milisegundos.
5. Interpreta comandos enviados desde la unidad central: toma de muestras por

demanda, establecimiento de parámetros de control como límites y setpoints, direccionamiento de unidad de control específica, etc.

La segunda componente de driver de comunicación desarrollado, es un conjunto de funciones basadas en LabVIEW 2010 de *National Instruments*. Mediante las cuales se pueden configurar los enlaces con las unidades de adquisición de datos, se pueden muestrear datos y supervisar los procesos de control, esto debido a que el driver programado en el microcontrolador reconoce comandos enviados en secuencia hexadecimal desde el computador o unidad cliente-coordinador, entre estos comandos se encuentran: establecer periodo de muestreo, establecer límites de control, leer paquete de datos, leer una variable, establecer estado de un actuador, direccionar hacia una unidad y enviar comando, etc.

3. PRUEBAS Y RESULTADOS.

El sistema desarrollado fue probado en el proceso de producción de vapor de agua en una de las calderas del ingenio azucarero ubicado en la ciudad de Los Mochis. En este se buscaba monitorear las variables de la caldera con la finalidad de obtener datos del proceso de generación de vapor para su posterior análisis. Todo esto en función de que en dichas calderas se tiene una problemática de baja eficiencia, desconociéndose las causas que la generan.

Dichas calderas, presentan un problema de eficiencia cuando están trabajando en modo bagazo, ya que generan mucho menos cantidad de vapor por kilogramo de bagazo quemado, que el cual se espera, en relación con 1 litro de petróleo para generar la misma cantidad de vapor, según experimentos la relación de equivalencia de bagazo-petróleo es de 6 a 1.

Las calderas en este ingenio azucarero son del tipo *acuotubular* de horno basculante y operan con combustible combinado de petróleo y/o bagazo de caña, este último, puede llegar a tener un gran impacto en el costo de producción en función de la fibra que contiene el bagazo y el porcentaje de humedad del mismo al momento de ingresar al hogar de la caldera, es decir, a menor nivel de humedad en el bagazo, se mejora la combustión y se ocupa menor cantidad del mismo para generar la cantidad de vapor

necesaria para generación de energía y proceso. El proceso de producción en el ingenio azucarero requiere de una producción de vapor de alrededor de las 210 Toneladas de vapor por hora, con lo cual se garantiza los niveles de producción de energía eléctrica requerida, de alrededor de 14,000 Kw/hr, y por ende la eficaz operación del equipo. La producción de esta cantidad de vapor de agua requerido es a través de 2 calderas, las cuales producen alrededor de 120 Toneladas/Hr cada una de ellas y 1 pequeña caldera basada en la quema de petróleo la cual se utiliza solo en casos muy necesarios en los cuales las calderas principales no pueden aportar la cantidad de vapor requerido en el proceso en algún momento preciso. En este sentido, sabemos por datos experimentales que aproximadamente el contenido energético de 6 Kg. de bagazo proporcionan la energía contenida en 1 litro de petróleo y en el Ingenio Azucarero de Los Mochis, la cantidad de vapor requerido para la generación de 1 Kw de energía eléctrica es de aproximadamente 26 Lb. de presión de vapor (11.8 Kg.), en la quema de petróleo: 1 litro proporciona entre 18 a 22 Lb. de presión de vapor (8.165 a 9.98 Kg.) y en la quema de bagazo de caña 1 Kg. de bagazo genera cerca de 2.4 Lb. (1.1 Kg.) de presión de vapor a un nivel del 50% de humedad en estas calderas, lo cual refleja claramente que en la quema de bagazo se obtiene mucho menor cantidad de vapor que en la quema de petróleo, inclusive muy por debajo de la relación de 6 a 1. Debido a esto se busca monitorear las variables del proceso de producción de vapor en la caldera para determinar las causas de esta baja en la eficiencia en la producción de vapor.

En esta prueba se utilizaron tres unidades y el protocolo de comunicación utilizado fue IEEE 802.15.4 y Zigbee, mediante los módulos de comunicación Xbee serie 2. En la tabla 1 se describen las variables que se monitorearon.

Tabla 1. Variables monitoreadas en caldera

Unidad de Control	Variable	Valores Típicos de Operación
1	Temperatura y Presión de gases de salida del hogar.	340 °C y -2 mm CA
	Temperatura y Presión de agua de entrada al economizador.	120 °C y 30Kg/cm2

2	Temperatura y Presión del aire de salida del pre-calentador.	200 °C y 180mmCA
	Temperatura y Presión de agua de Salida del economizador del economizador.	130 °C y 31Kg/cm2
3	Temperatura y presión de gases de salida a chimenea.	180 °C y 150mmCA

Para realizar estas tareas se utilizaron los transmisores existentes en la planta, los cuales proporcionan su salida analógica en corriente en el rango de 4 – 20 mA, y fueron acopladas a las unidades mediante un acondicionador de señales KOS 517 con salida configurada en voltaje de 0 a 5 volts.

De esta forma, se logró la implementación de un sistema distribuido basado en este sistema de adquisición de datos y driver de comunicación desarrollado con el propósito de facilitar dichas tareas y coadyuvar en el mejoramiento de los índices de productividad, calidad y eficiencia en los procesos productivos. Con esto, se logró el monitoreo de las señales no-básicas en una caldera, pero que el análisis del comportamiento de las mismas puede llevar a detectar las causas de la baja eficiencia en la generación de vapor de agua utilizando el bagazo de la caña molida y por consecuencias el alto consumo de combustibles. Este sistema fue implementado y probado al final de la temporada 2012 en el mes de marzo y se espera operarlo en la próxima temporada de zafra 2012-2013 y en consecuencia contar con los datos para su análisis y correlación con los indicadores de las variables principales de la caldera.

Así mismo, con la finalidad de determinar el protocolo de comunicación a utilizar y las ventajas que cada uno de ellos presenta para esta aplicación, se realizaron pruebas de comunicación y velocidad antes de su implementación y de igual forma se analizaron las demás características con la finalidad de determinar qué tipo de red y protocolo que utilizaríamos. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a velocidad en la comunicación haciendo uso del driver de desarrollado. Dicha prueba consistió en el siguiente procedimiento. Primeramente se

desarrolló una interfaz de usuario en LabVIEW mediante la cual se lanzarían los diversos comandos a las diferentes unidades de control, una vez que llegaba el comando a la unidad de control se arrancaba un temporizador con base de tiempo en microsegundo, seguidamente se procesaba el comando y al ser transmitidos los datos requeridos por el comando se detenía el temporizador y se transmitía al computador después del paquete de datos enviado como respuesta. Estas pruebas fueron realizadas en ciclos de 1000 repeticiones y cabe señalar que el tiempo que le llevaba a la aplicación de software en el computador de analizar y desplegar los datos no era considerado y tampoco afectaba la prueba. En este sentido, contábamos con el tiempo de respuesta a cada comando que llegaba a las unidades de control a partir de que estas recibían el comando en cuestión.

Tabla 2. Tiempos de respuestas comandos

Protocolo Utilizado	Tiempo de respuesta rango (microsegundos)	Tiempo de respuesta promedio
Zigbee	1016 a 1020	1018 μ S
WiFi	1084	1084 μ S
Ethernet	772 a 780	776 μ S

Cabe destacar que en base a las pruebas realizadas, la ejecución de las rutinas de servicio temporizada del driver a nivel del microcontrolador Arduino, la cual se encarga de generar el paquete incluyendo todas las variables análogas, digitales y límites de operación y control, a 16 MHz. de frecuencia de trabajo, solo consume aproximadamente alrededor de 1 milisegundo del tiempo del procesador. Por lo cual podemos asumir que el driver no interfiere con el programa del usuario y no carga al controlador, ya que si suponemos que se está llevando a cabo una transferencia de datos desde la unidad hacia el coordinador o PC de tiempo estándar cada 1000 mili-segundos, esto conlleva, dedicarle tiempo del procesador al driver en una relación de 1 a 1000 respecto al programa del usuario en el microcontrolador Arduino.

4. CONCLUSIONES

Respecto a los resultados podríamos concluir que el protocolo de comunicaciones cableado Ethernet, es el que presenta tiempos de respuesta menores respecto a los protocolos inalámbricos Zigbee y WiFi. Sabemos que los módulos utilizados para los 3 protocolos de comunicación presentan sus limitaciones, al tratarse de controladores embebidos de dichos protocolos de comunicación, lo cual significa que al llevarse a cabo las operaciones de transporte, ruteo y acondicionamiento de paquetes en el mismo módulo y permite utilizar estos protocolos en aplicaciones a bajo nivel como desarrollo de placas basados en microcontroladores, los rendimientos que se obtienen en cuanto a velocidad de transferencia en estos módulos son reducidos.

Aun así, estamos convencidos de que el presente sistema representa una gran oportunidad como herramienta para el desarrollo e implementación tanto de redes de sensores, sistemas de adquisición de datos o sistemas de control en diversas topologías y tecnologías que permiten al usuario sacar provecho de la infraestructura física de telecomunicación instalada, bajo consumo energético, banda ancha y cobertura geográfica ilimitada de forma fácil, rápida y a bajo costo. Asimismo, coadyuvará en el fortalecimiento del perfil profesional del egresado de ingeniería electrónica permitiéndole enfocarse en la aplicación de control y adquisición de datos y no en las herramientas tecnológicas auxiliares para dicha tarea.

5. BIBLIOGRAFIA.

- [1] Karl, H., & Willing, A. *Protocols And Architectures For Wireless Sensor Networks*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2005
- [2] Forouzan, B. A. *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Aravaca: McGraw-Hill, 2002.
- [3] Callaway, E., Gorday, P., Hester, L., Gutierrez, J. A., Marco, N., Heile, B., y otros. *Home networking with IEEE 802.15.4: A developing standard for low-rate wireless personal area network*. IEEE Communications Magazine, 70-77, 2002.

- [4] Digi International, Inc. ***Xbee-Pro 2.4 Digimesh RF Modules.***, Minnetonka: Digi International, Inc, 2011.
- [5] Roving Networks. ***WiFly GSX 802.11 b/g Wireless LAN Module Datasheet, 2011***
http://www.rovingnetworks.com/resources/download/11/RN_131
- [6] Zhao, F., & Guibas, L. J. ***Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach.*** Massachusetts, Morgan Kaufmann, 2004.
- [7] Smith, J.M., Van Ness, H.C., Abbott, M.M., ***Introducción a la termodinámica en ingeniería química,*** Madrid, McGraw Hill, 1997.