

DISEÑO DE HARDWARE PARA EL ANÁLISIS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO APLICANDO TECNOLOGÍA IoT EN EL MARCO DE LA INDUSTRIA 4.0

Carlos Levi Cartagena Lobos

Ingeniero Industrial. Docente investigador. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Santa Ana. Correo electrónico: carlos.cartagena@itca.edu.sv

Ricardo Edgardo Quintanilla Padilla

Ingeniero en Ciencias de la Computación. Docente Coinvestigador. Escuela de Ingeniería en Computación. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Santa Ana. Correo electrónico: repadilla@itca.edu.sv

Recibido: 14/04/2021 - Aceptado: 16/08/2021

Resumen

Este artículo presenta una solución que sirve de herramienta de detección de fugas y de diagnóstico para el estudio de la eficiencia energética en los procesos de producción con aire comprimido. El estudio fue realizado por docentes y estudiantes de las carreras de Técnico en Ingeniería Eléctrica y Técnico en Ingeniería de Sistemas Informáticos del Centro Regional Santa Ana, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, como parte del proyecto de investigación aplicada referido al diseño de hardware para el análisis de redes de distribución de aire comprimido aplicando tecnología del Internet de las Cosas IoT. Con este proyecto se diseñó un modelo para la medición de presión y caudal de aire comprimido, empleando tecnologías que se pueden adaptar al modelo de producción de la Industria 4.0. El modelo de medición desarrollado se basa en el Internet de las Cosas, en donde nodos de medición rastrean las lecturas de presión y caudal en puntos estratégicos de una red de distribución de aire comprimido, y las lecturas obtenidas las canalizan hacia un nodo central que se usa como puerta de enlace para transferir los datos hacia un servidor. Esto tiene el propósito de almacenar y analizar grandes cantidades de datos para identificar el comportamiento anormal en una red de aire comprimido. Los elementos principales que componen los nodos de medición son: sensores SPAN-P10R-M5-PN-PNVBA-L1 y el SFAB-50U-HQ6-2SA-M12 ambos de la marca FESTO, la unidad de procesamiento integrada por una tarjeta Teensy 5.0 y el módulo de comunicación RF Xbee. Estos nodos de medición están integrados en una tarjeta PCB, la cual fue diseñada exclusivamente para este proyecto.

Palabras clave

Industria 4.0, Internet de las Cosas, aire comprimido, diseño de hardware, innovaciones tecnológicas, electrónica industrial.

HARDWARE DESIGN FOR THE ANALYSIS OF COMPRESSED AIR DISTRIBUTION NETWORKS USING IoT TECHNOLOGY WITHIN THE FRAMEWORK OF INDUSTRY 4.0

Abstract

This article presents a solution that works as a tool for leak detection and diagnostic, for the studying of energy efficiency in compressed air production processes. The study was carried out by teachers and students of Electrical Engineering and Computer Systems Engineering technicals careers, Centro Regional Santa Ana, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; as part of the applied research project referred to the design for the analysis of compressed air distribution networks applying Internet of Things IoT. With this project, a model was designed to measure compressed air pressure and flow, using technologies that can be adapted to the Industry 4.0 production model. The measurement model developed is based on the Internet of Things, where measurement nodes track pressure and flow readings at strategic points in a compressed air distribution network, and the readings obtained are channeled to a central node that is used as a gateway to transfer data to the server. This is for the purpose of storing and analyzing large amounts of data to identify abnormal behavior in a compressed air network. The main elements that make up the measurement nodes are: sensors SPAN-P10R-M5-PN-PNVBA-L1 and SFAB-50U-HQ6-2SA-M12, both from the FESTO brand, the processing unit integrated by a Teensy 5.0 card and the RF Xbee communication module. These

measurement nodes are integrated on a PCB, which was designed exclusively for this project.

Keyword

Industry 4.0, Internet of Things, compressed air, hardware design, technological innovations, industrial electronics.

Introducción

En la industria el uso de aire comprimido es esencial para muchos procesos de fabricación, pero para producirlo se requiere del consumo de una gran cantidad de energía eléctrica, por lo que las fugas de aire por diversas causas deben reducirse al mínimo.

Se han realizado estudios de consumo de aire a pie de máquina en diferentes empresas mexicanas [1] y el resultado es que existe un desperdicio promedio del 25 – 30 % del aire comprimido general producido. Por tanto, medir y controlar la energía consumida en los sistemas neumáticos, adquiere relevancia para el sector industrial, ya que con la información obtenida se puede mejorar la eficiencia energética de la red neumática. En la actualidad los sistemas de producción modernos se basan en el enfoque de la Industria 4.0, en donde se hace uso de diferentes recursos tecnológicos, que tienen como base el Internet. Considerando la importancia que representa para la industria, la reducción de pérdidas por fugas en los sistemas de distribución de aire comprimido, se desarrolló un hardware para análisis de redes de aire comprimido, utilizando tecnología IoT en el que, como producto final para el sector industrial, se obtuvo el modelo para analizar las redes y el diseño de una tarjeta electrónica dedicada para la lectura de presión y caudal.

Desarrollo

Aire comprimido

El aire es una mezcla de gases incoloros, insípidos e inodoros. La composición del aire seco es como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.
Gases que componen el aire

Componente	Porcentaje (Volumen)	Porcentaje (Peso)
Nitrógeno	78.08	75.51
Oxígeno	20.95	23.15
Argón	0.93	1.28
Dióxido de Carbono	0.03	0.046
Otros gases	0.01	0.014

El aire comprimido es uno de los energéticos más utilizados en la industria. Es empleado como elemento transportador, activador de herramientas neumáticas y de diversos sistemas de control.

El aire comprimido se usa en forma intensiva en la industria de alimentos, textil, manufactura, ensamble, química, automotriz, entre otros.

Red de distribución de aire comprimido

El objetivo del sistema de distribución es transportar el aire comprimido, desde el depósito de almacenamiento, hasta la herramienta o cualquier otro equipo neumático, con una pérdida de carga limitada.

Al proyectar una red de distribución de aire comprimido es necesario, primero estudiar todas las aplicaciones del aire comprimido y pasarlas a un plano y analizar el máximo consumo de aire pico.

Cuantificación de fugas

En el año 2012 investigadores de la Universidad de Novi Sadde, de la Facultad de Ciencias Técnicas, realizaron un estudio de cuantificación de fugas de aire comprimido, mediante ultrasonido y termografía infrarroja [2] y obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2.
Fuga de aire comprimido (lts/min) a través de orificios en manguera neumática flexible, en función de la presión y el diámetro del orificio [2].

Presión (bar)	Diámetro del orificio (mm)					
	0.5	0.7	1	1.3	1.5	2
4	2.1	4.3	8.4	18.7	39.9	58.6
5	2.6	5.3	10.7	23.3	37	71
6	3.2	6.5	12.3	29.0	45.1	84.0
7	3.7	7.9	14.3	34.8	51.9	98.7
8	4.2	8.8	15.6	40	56.2	101

Medición del flujo

En los experimentos realizados, el flujo fue medido usando el equipo portátil de FESTO Air Box. Con este equipo se puede realizar la medición de presión, temperatura y flujo; y permite al usuario realizar pruebas de calidad del aire para establecer la humedad y el contenido de aceite. El aire comprimido pasa por una superficie que se calienta continuamente, así el aire que fluye absorbe energía calorífica de la superficie cálida. Un sensor térmico cuantifica la variación de temperatura, que representa un flujo de aire específico. La frecuencia de medición fue de 100 Hz, con precisión $\pm 3\%$ y reproducibilidad $\pm 0.3\%$ para sensor de bajo flujo; y $\pm 3\%$ precisión y reproducibilidad de $\pm 0.8\%$ para sensor de alto flujo.

Los resultados obtenidos indican que el flujo de aire comprimido crece con el aumento del diámetro del orificio y el sistema de presión. Con el propósito de experimentar y medir, el rango de flujo se mantuvo dentro del rango bajo (10–200 Lts / min). Los resultados obtenidos por medición del flujo en los puntos de salida de aire en la manguera neumática flexible perforada se muestran en la tabla 2.

Pérdidas por fugas

Al ser el aire inodoro e invisible se hace muy difícil detectar las fugas de los sistemas de aire comprimido, por lo que las pérdidas suelen ser muy grandes si no se procura el mantenimiento adecuado.

Cuando una fuga es grande, el ruido que causa la hace fácil de detectar, además de que la caída de presión que provoca hace evidente que hay un problema en el sistema y por lo tanto que se inicie la búsqueda.

Por otro lado, las fugas pequeñas suelen pasar inadvertidas al ser más difíciles de detectar en el comportamiento del sistema y en su ubicación física. Pero la suma de todas estas pequeñas fugas sí tiene un impacto en la red total de la empresa, lo que genera una pérdida importante que puede ser fácilmente controlada.

Origen de las fugas

El origen de las fugas puede deberse a la instalación incorrecta de las tuberías, mala alineación, ajuste inadecuado de las juntas, ausencia de ciclos de dilatación y de juntas anti vibración, uso de un sellante inadecuado o mal aplicado; otras causas pueden ser el deterioro por uso normal como oxidación o vibración y el daño por uso anormal como golpes, cargas indebidas y la falta de mantenimiento.

La cantidad de aire que se pierde por las fugas es proporcional al tamaño del orificio y la presión de operación del sistema. La energía asociada es alta. En la tabla 3 se muestran en función del diámetro del orificio y en función de la presión, como varían los flujos perdidos por las fugas y la energía eléctrica asociados a la generación del aire comprimido que se pierde.

Tabla 3.
Pérdidas de energía por fugas en función del diámetro y la presión [3].

Unidad de medida	Diámetro del orificio			
	1/64"	1/16"	1/8"	1/2"
Pulgadas	1/64"	1/16"	1/8"	1/2"
Milímetros	0,40	1,59	3,18	12,70

Presión PSI	Descarga - Flujo (CFM)			
	80	100	120	
80	0,3	5,3	21,3	341,6
100	0,4	6,5	26,0	413,3
120	0,5	7,6	30,4	485,9

Presión PSI	Consumo energía eléctrica KW			
	80	100	120	
80	0,07	1,07	4,26	68,32
100	0,08	1,29	5,19	82,67
120	0,10	1,52	6,08	97,19

Las pérdidas por escapes en instalaciones muy antiguas o descuidadas llegan a significar entre un 25% y un 30% de la capacidad del compresor, mientras los valores admisibles se encuentran por debajo de un 5% y en casos muy extremos 10% de pérdidas por fugas [4]. Es importante anotar que el costo de mantener las pérdidas por fugas dentro de estos valores, siempre es mucho menor que lo que se perdería en una red descuidada.

Metodología de la Investigación

En el proyecto de diseño experimental se llevó a cabo las siguientes actividades:

- ◆ Diseño y construcción de prototipo para el sistema de medición. El prototipo está compuesto por hardware y software para la captura, procesamiento y visualización de datos.
- ◆ Se integraron sensores de presión, caudal y corriente eléctrica. Los sensores tienen conectores rápidos para facilitar su instalación.
- ◆ El sistema cuenta con un nodo central para la captura de datos y nodos de sensores distribuidos, conformando una red inalámbrica de sensores, usando las antenas RF Xbee.
- ◆ Testeo del equipo en los laboratorios de electrónica de ITCA-FEPADE Santa Ana, a fin de garantizar que el equipo funciona correctamente evaluando diferentes escenarios de aplicación.

Resultados

A. Modelo para implementar IoT en una instalación con sistemas neumáticos

El modelo diseñado para implementar IoT en una red de aire comprimido, está formado por un nodo central que captura la información enviada de forma inalámbrica por los sensores de presión y caudal distribuidos a lo largo de la red; por medio de una puerta de enlace los datos se transfieren a un servidor para ser procesados y almacenados. Los usuarios del sistema pueden consultar los datos históricos y visualizar la información de forma gráfica mediante un monitor. El diseño se muestra en la Fig. 1.

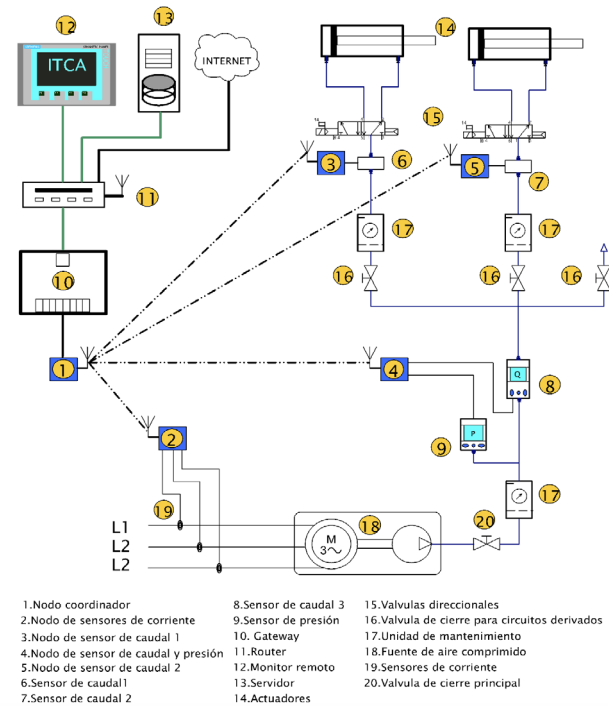


Fig 1: Diseño de modelo para implementar IoT en una red neumática.

B. Hardware para la lectura de sensores de presión y caudal

Para la lectura de los sensores, se diseñó una tarjeta electrónica dedicada para leer sensores de presión y caudal, en cuya interfaz se incorporó un circuito acondicionador de señales para convertir lazos de corriente de 4 – 20 miliamperios a señales de voltaje. A la tarjeta electrónica diseñada, se le incorporó un microcontrolador de la familia Teensy y una antena Xbee para transferir las lecturas de forma inalámbrica. El PCB de la tarjeta se puede apreciar en la Fig. 2.

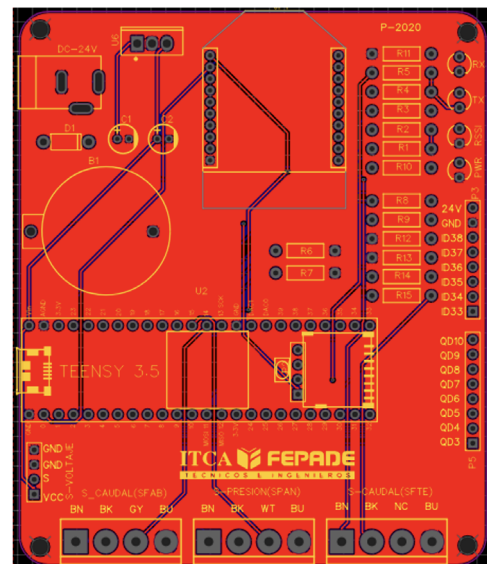


Fig 2: PCB de la tarjeta para la lectura de sensores de presión y caudal.

C. Configuración de la Red de Área Personal PAN

Para la configuración de la red inalámbrica con las antenas Xbee, se eligió la topología tipo estrella como se muestra en la Fig. 3.

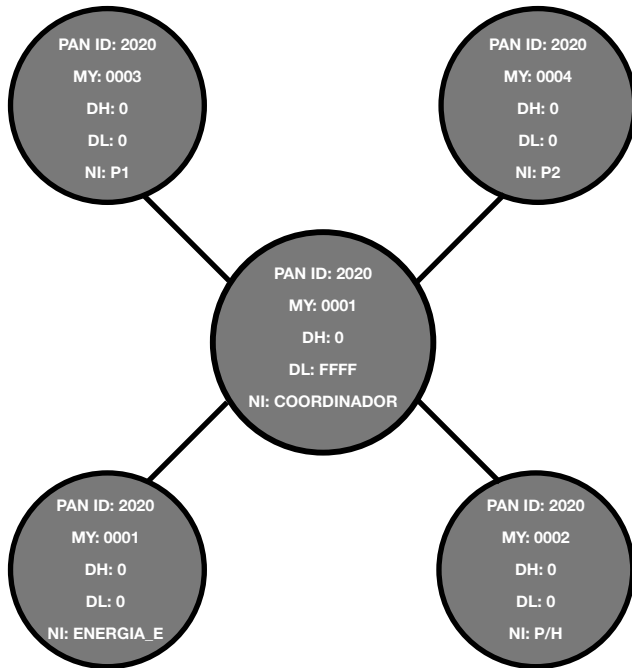


Fig 3: Configuración de la red PAN.

Conclusiones y Recomendaciones

- Para que un sistema de medición se pueda acoplar al modelo de producción de la Industria 4.0, deben integrarse al menos cuatro elementos fundamentales:
 - Los sensores.
 - La red de comunicación.
 - El almacenamiento de la información y
 - La visualización gráfica de los datos.
- En el proceso de medición para evaluar diferentes escenarios, se deben tomar lecturas en una red con carga y repetir el proceso en vacío, es decir cuando todas las unidades que consumen aire comprimido están desconectadas.
- Con el propósito de alcanzar altos niveles de calidad en el producto terminado, en futuras ampliaciones o mejoras

en la tarjeta de adquisición de datos para los sensores de presión y caudal, es recomendable aplicar las normas de la Association Connecting Electronic Industries IPC, en el diseño de Printed Circuit Board PCB.

- Para mejorar al diseño del hardware, es conveniente incluir en la tarjeta dos convertidores de lazo de corriente (4mA -20mA) a un nivel de voltaje de 0 a 3V, a fin de facilitar el procesamiento de los datos con el microcontrolador del Teensy 3.5.

Referencias

- [1] H. Corona, Reportes internos de estudios de consumo de aire comprimido para clientes. México: Festo Pneumatic, 2003-2007.
- [2] S. Dudić, I. Milenkovic (Ignjatovic), D. Šešlija, V. Blagojevic y M. Stojiljković, Leakage quantification of compressed air on pipes using thermovision. Serbia, 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257261836_Leakage_quantification_of_compressed_air_on_pipes_using_thermovision. [Accesado: Ene 12,2021]
- [3] Sistemas de aire Comprimido. Bogotá: D.C, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://www.colombiaproductiva.com/getattachment/1da39f8c-764c-48c6-957a-9c2f14b81e28/Memorias-sistema-de-aire-comprimido.aspx>. [Accedido: 12-ene-2021]
- [4] E. Jiménez Solís, Evaluación y Mejora del Sistema de Aire Comprimido de la Planta de Fibrocemento Plycem. Costa Rica, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5821> [Accedido: 12-ene-2021]
5. H. M. Corona Gómez, Ahorro de Energía en los Sistemas Neumáticos Industriales. México, 2007 [En línea]. Disponible en: https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568432/DocsTec_6131.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Accedido: 12-ene-2021]
6. S. Hesse, Aire comprimido, fuentes de energía: preparación y distribución. Serie Blue Digest on Automation, 2002 [En línea]. Disponible en: <https://fddocuments.in/document/manual-festo.html>. [Accedido: 12-ene-2021]