



ARQUITECTURA FLEXIBLE Y DE BAJO COSTO PARA SISTEMA DE MONITOREO DE PROCESOS MECÁNICOS.

Alberto Villalonga¹, Gamil Rodríguez¹, Ramón Quiza¹, Rodolfo E. Haber²

¹ Grupo de Investigación en Fabricación Avanzada y Sostenible (GIFAS), Universidad de Matanzas, Autopista a Varadero Kilómetro 3½, Matanzas 44470, Cuba, ² GAMHE: Group of advanced Automation of Machines, Highly complex processes and Environments
Centre for Automation and Robotics, Madrid. España
alberto.villalonga@umcc.cu

RESUMEN

El diseño e implementación de sistemas de monitoreo es de vital importancia para la economía puesto que estos permiten explotar de una manera más eficiente cualquier proceso productivo. Esta importancia se ve comprometida de cierta manera por los altos precios que poseen los elementos necesarios para la implementación de dichos sistemas. En este trabajo se brinda un alternativa a estos elevados precios pues se presenta el diseño de una arquitectura para la implementación de un sistema de monitoreo, específicamente para procesos mecánicos, de bajo costo basado en una Raspberry Pi 2 modelo B, configurable, con comunicación Ethernet alámbrica e inalámbrica, que permite la conexión de sensores con los estándares del mercado y con el uso de una aplicación (multiplataforma) para ordenador desarrollada en Qt que actúa como servidor y permite la monitorización del proceso, así como el almacenamiento de datos, con persistencia, para el posterior análisis de los mismos.

PALABRAS CLAVES: Sistemas de Monitoreo, Raspberry Pi, Arquitectura Flexible.

FLEXIBLE AND LOW COST ARCHITECTURE FOR MONITORING MECHANICAL PROCESS.

ABSTRACT

Designing and implementing monitoring systems are very important for obtaining economical profits because they allow to exploit in a more efficiently way any productive process. Sometimes, the high prices of the necessary components of the monitoring systems make difficult their implementation. This work proposes, as an alternative for those high prices, a low cost and flexible monitoring systems architecture for mechanical processes and systems based on a Raspberry Pi 2 model B, which allows to connect standards sensors, with Ethernet communication through client/server architecture and a Qt application (multiplatform) used as server for process monitoring in real time and data storage to realize later analysis.

KEY WORDS: Monitoring Systems, Raspberry Pi, Flexible Architecture.

1. INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo industrial que experimenta el mundo en nuestros días ha despertado un gran interés en el estudio de los sistemas de monitoreo y control ya que estos permiten un aumento gradual en los niveles de producción y los estándares de calidad, además de garantizar una mayor seguridad para los operadores de procesos. El crecimiento de estos ha venido aparejado también con el vertiginoso desarrollo de la electrónica y los sistemas de cómputo con los cuales posee una estrecha relación.

Incorporado a ello el creciente impulso experimentado por las tecnologías de la informática y las comunicaciones y el incremento en las investigaciones en áreas como las redes de comunicaciones industriales, los sensores, la teoría de control, los softwares de ingeniería y la ciencia de la computación, ha propiciado la



aparición de nuevos retos de investigación tales como la abstracción en sistema de tiempo real, robustez, modelación y control de sistemas híbridos, control sobre redes, redes de sensores y actuadores entre otros.

Este amplio desarrollo tecnológico ha posibilitado potenciar las capacidades de los sistemas embebidos y entre ellos particularmente, los FPGA (arreglo de compuertas programables, por sus siglas en ingles), los microcontroladores y los ordenadores de placas reducidas, incrementado así su uso en otras esferas y aplicaciones como el monitoreo y control de procesos industriales explotando sobre todas las bondades de conectividad que presentan permitiendo así la supervisión de sistemas a distancia[1-6], también simplemente beneficiándose de su portabilidad y bajos costos [7], para la medición de variables ambientales en lugares de difícil acceso[8] e incluso en zona de desastres para ayuda humanitaria [9-10].

En este trabajo, tomando como base uno de los ordenadores de placa reducida más populares, Raspberry Pi, se presenta el diseño de una arquitectura flexible de bajo costo para la supervisión de procesos mecánicos.

2. ARQUITECTURA

2.1 Introducción

La arquitectura que se propone para la conexión del hardware se muestra en la figura 1, está compuesta por un sistema de acondicionamiento de señal que está formado por una placa con elementos circuitales que transforman la salida de los sensores conectados al sistema, señal la cual se conecta al convertor análogo-digital (ADC) que presenta 8 canales diferenciales con 17 bits de precisión el cual se encuentra conectado por el bus i2c a la Raspberry Pi, la cual se encarga de la recolección de los datos para su envío a través de un interface ethernet que se encuentra conectada a un servidor en el cual una aplicación de escritorio diseñada en Qt recibe los datos y brinda opciones de visualización de gráficos de históricos y tendencias, y permite además la configuración del hardware de manera remota, así como la obtención de modelos del proceso a través de la utilización de algoritmos de modelación basados en elementos de inteligencia artificial. Por cuestiones de seguridad esta aplicación está protegida por contraseña. Además, dicho servidor también brinda la posibilidad de realizar la supervisión vía web mediante un servidor web con el cual se pueden comunicar todos los ordenadores conectados a su red a través del protocolo de transferencia de hipertexto (http).

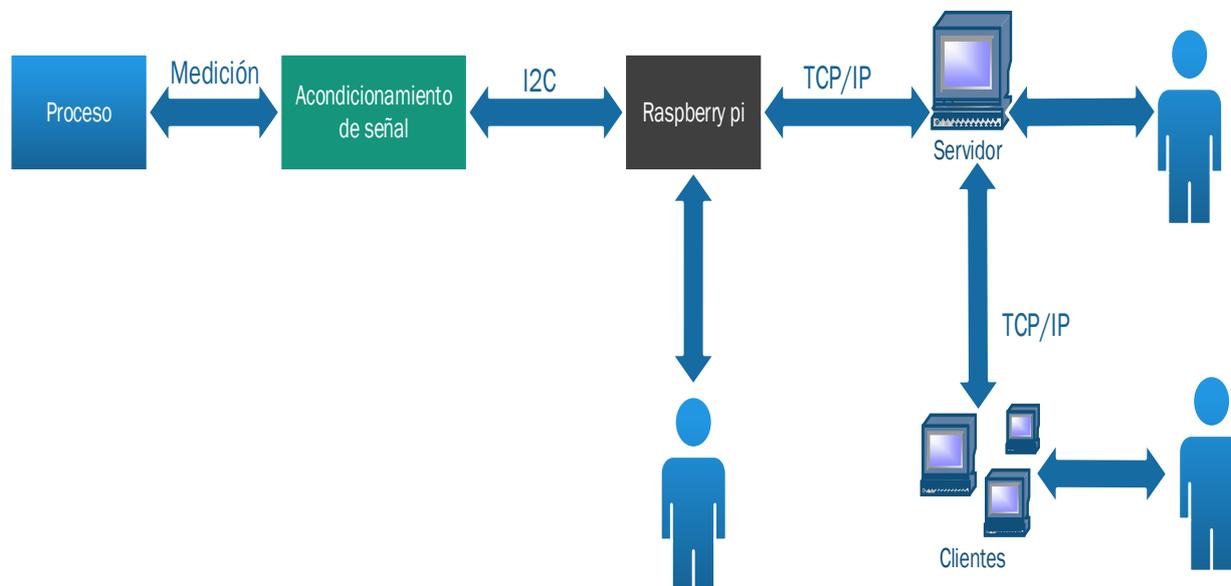


Figura 1: Arquitectura de conexión del hardware.



2.2 Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos está compuesto por dos etapas fundamentales, la primera etapa el acondicionamiento de señal y la segunda la conversión de la señal analógica de entrada a digital. La primera etapa como indica su nombre es la encargada de modificar la señal de entrada hasta llevarla al rango de valores que acepta el convertor analógico-digital (0...5)V, esta consta tres de versiones, una versión para la conexión de sensores con salidas digitales (sensores que conmutan su salida entre uno y cero donde los voltajes pueden variar hasta 24V máximo), otra para sensores con salidas analógicas de corriente ya sea 0...20mA o 4...20mA y una última para sensores con salidas de voltaje de 0...10V.

La segunda etapa del sistema de adquisición de datos se encarga de la conversión de las señales analógicas a digitales, para lo que se utiliza un ADC-Pi Plus. El ADC-Pi Plus (mostrado en la figura 2) es un circuito integrado diseñado para trabajar en el rango de voltajes de 0 ... 5.06V y está compuesto por dos adc MCP3424 de Microchip configurados para trabajar de manera diferencial lo que brinda un total de ocho canales (cuatro canales diferenciales por cada uno), que se comunican a través del bus i2c, y un convertidor de nivel que permite la comunicación por i2c de componentes que funcionan a 5V sin dañar el bus i2c de la Raspberry Pi que trabaja a 3.3V. Además, posee la opción de programar la ganancia de la salida. Este se conecta a la Raspberry Pi a través del puerto GPIO (entradas salidas de propósito general, por sus siglas en ingles). Cada MCP3424 soporta ocho direcciones i2c y cada placa consta de dos por lo que permite como máximo la conexión de cuatro ADC-Pi Plus brindando un número máximo de 32 entradas.

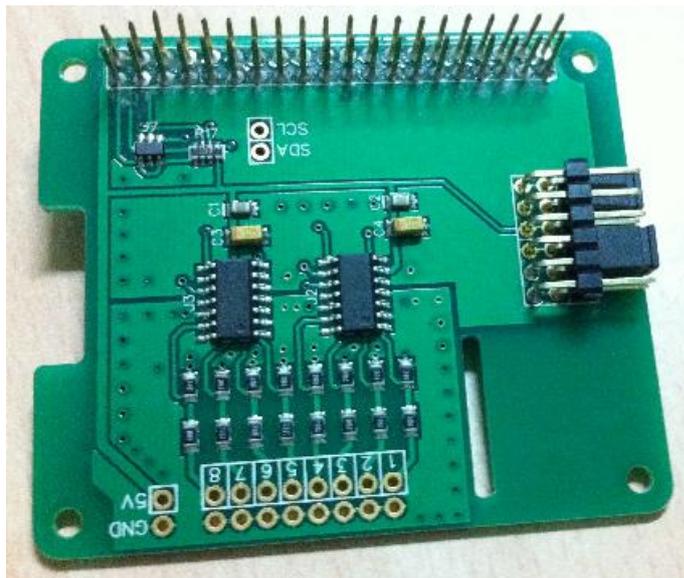


Figura 2: ADC-Pi Plus.

2.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida de bajo costo diseñada con fines educativos que permite de una manera sencilla explorar el mundo de la computación y aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python con solo conectarla a un monitor o televisor y además conectarle teclado y ratón.

La Raspberry Pi 2 modelo B (mostrada en la figura 2), modelo utilizado en nuestra arquitectura, está basada en el chip Broadcom BCM2836 que incluye un procesador central quadcore a 900MHz de 32-bit arquitectura ARM Cortex-A7 y 1GB de ram por lo que es de 4 a 6 veces más potente que sus predecesores.

Raspberry Pi usa mayoritariamente sistemas operativos basados en el núcleo Linux. Raspbian, una distribución derivada de Debian que está optimizada para el hardware de Raspberry Pi, es reconocida como la distribución oficial y es el sistema sobre el cual se realizó la programación de los módulos utilizados en este trabajo.



Figura 3: Raspberry Pi 2 modelo B.

2.4 Servidor protocolo TCP-IP

El servidor se encarga de la recepción de los datos y su almacenamiento para su posterior visualización y análisis. El objetivo de esta arquitectura es monitorear el proceso a distancia, lo cual se puede lograr a través de la conexión en red de todos los elementos (Raspberry Pi, servidor y clientes web) que se realiza a través del estándar ethernet.

La comunicación entre la Raspberry Pi, el servidor y los clientes se efectúa a través de protocolo TCP/IP, el cual permite comunicar mediante una interfaz de red sin importar las características de los equipos conectados o el sistema operativo sobre el cual se trabajan. Este protocolo implementa varias capas del modelo OSI (capa física, capa de enlace, capa de red, capa de transporte, presentación y aplicación).

3. SOFTWARE

3.1 Introducción

Para el correcto funcionamiento del sistema los softwares que se diseñaron, sobre todo los que trabajan sobre la Raspberry Pi, se deben cumplir los requerimientos de tiempo necesarios para que no ocurran pérdida de datos, además de garantizar también una correcta configuración de la comunicación de red para evitar la pérdida de paquetes que se traducen en demoras de tiempo ya que estos paquetes, como parte de la política de comprobación de errores de la red, deben ser reenviados cuando ocurre la pérdida de los mismos.

3.2 Raspberry Pi

Se diseñó una aplicación en consola en el entorno de desarrollo integrado(IDE) Qt, lenguaje de programación C++, sobre el sistema operativo Raspbian, la cual constaba de una interfaz para el control de la comunicación con el adc a través del puerto GPIO (utilizando los pines correspondientes al i2c), otra interfaz que permite la conexión y la comunicación con el servidor del sistema para el envío de los datos recolectados del campo y los posibles errores a través del adaptador ethernet de la placa. Además, brinda la opción de realizar el filtrado de



las señales muestreadas y de almacenamiento de información, utilizando como base de datos sqlite, de soporte en caso de la pérdida de comunicación con el servidor.

Se diseñó también una aplicación visual para realizar la configuración local del hardware (número de canales y ganancia a utilizar por cada convertor, tipo de variable a medir), la cual además permite la visualización de los parámetros más importantes del proceso.

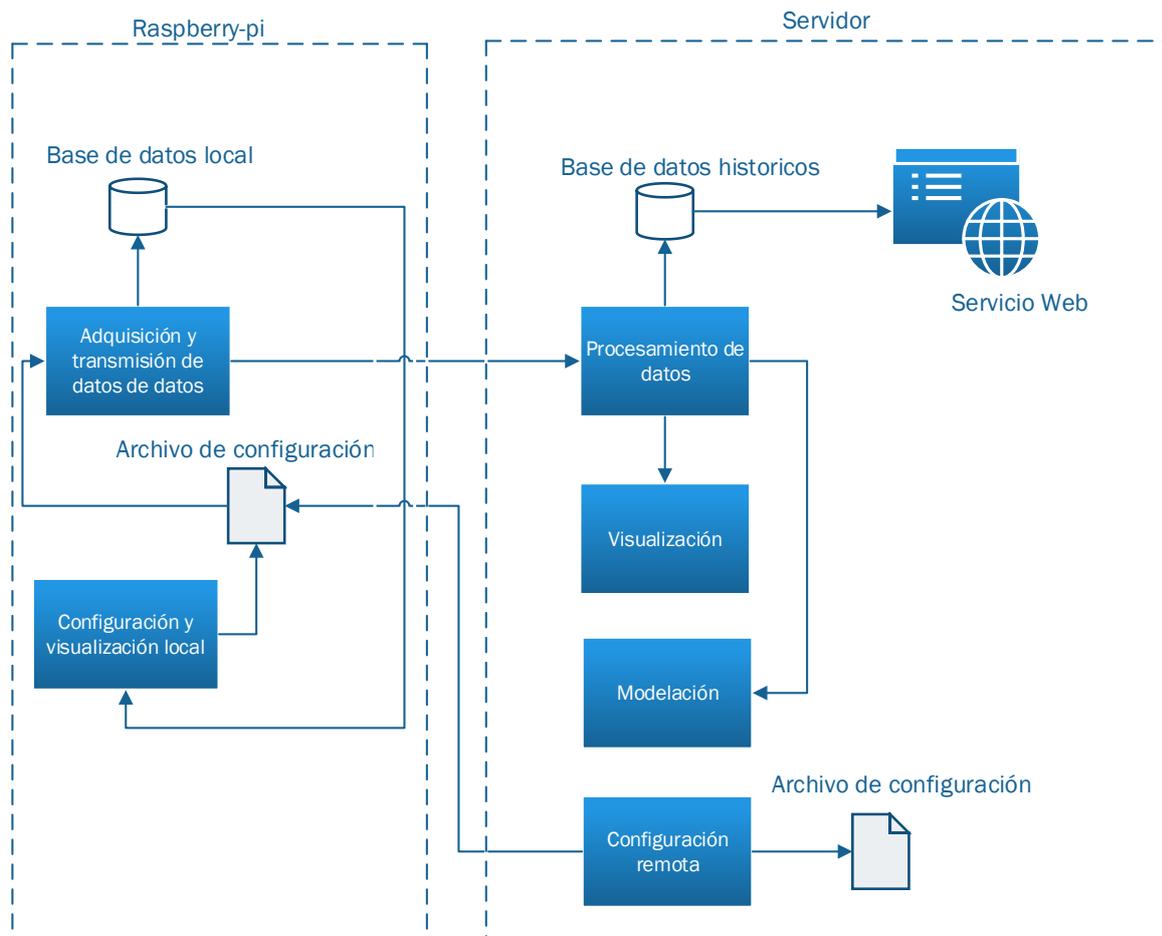


Figura 4: Arquitectura general del software.

3.3 Servidor

El servidor consta de una aplicación visual diseñada en Qt y un servidor web programado en php. La aplicación servidor es la encargada de la recepción de la información enviada por la Raspberry Pi, su almacenamiento, así como su procesamiento y presentación. Para ello consta de una interfaz de red, la cual utiliza el protocolo TCP/IP para garantizar el establecimiento de las conexiones y el intercambio confiable de datos. Sin embargo debido a que TCP/IP pertenece a las capas de transporte (TCP) y red (IP) del modelo OSI de la ISO(12) y no es responsable de darle el formato deseado por una determinada aplicación a su campo de datos ni de la lógica en el intercambio de los mismos, para ello se hace necesario la creación de un protocolo sobre la capa de aplicación de dicho modelo que se adapte a las necesidades del sistema, por lo que se implementó una trama de datos personalizada, a la cual se le realiza el chequeo de errores a través de una comprobación de redundancia cíclica (CRC); debido también a que TCP/IP no posee seguridad intrínseca, se brinda la opción para entornos donde la seguridad informática es de vital importancia la transmisión de la información de manera encriptada, mediante el uso del Protocolo de Capa de Conexión Segura (SSL). Presenta también una interfaz visual para la presentación de los valores del proceso, lo que permite la toma de



decisiones acerca del funcionamiento de los componentes del proceso, así como visualizar y exportar a tablas o gráficos de valores históricos del proceso contenidos en una base de datos históricos. Por cuestiones de seguridad la aplicación se encuentra protegida mediante el uso de usuario y contraseña, también consta de un módulo de modelación, el cual se basa en la aplicación del modelado híbrido incremental con la utilización de algoritmos basados en los presentados por Francisco P, et al [11].

El servicio web está basado en el servidor Apache y consta de una serie de páginas web que permiten a los usuarios del sistema acceder, de manera remota, a la información del proceso desde cada ordenador que forme parte de la red del sistema. De igual manera que la aplicación servidor el acceso a este servicio se encuentra protegido por usuario y contraseña por lo que sólo el personal autorizado puede acceder a la información, además de presentar también nivel de jerarquía para los usuarios.

4. PRUEBAS DEL SISTEMA

Para la prueba del sistema utilizó una maqueta de mecanismo de colisa: En la misma, se midió la deformación infinitesimal, \mathcal{E} , en la biela, a través de sensores extensométricos conectados a un puente de Wheastone y la salida del puente se conectó al canal 2 del ADC-Pi Plus. Para la visualización de la Raspberry Pi se utilizó un display (Pi Foundation PiTFT - 7" Touchscreen Display) (figura 5).



Figura 5: Maqueta de prueba del sistema.

En las figuras 6 y 7 se muestran las capturas de las pantallas del display de la Raspberry Pi y la laptop donde se ejecuta la aplicación servidor respectivamente. De manera general el sistema de monitoreo tuvo un comportamiento estable puesto que las mediciones y las gráficas se comportaron de acorde a los valores esperados.

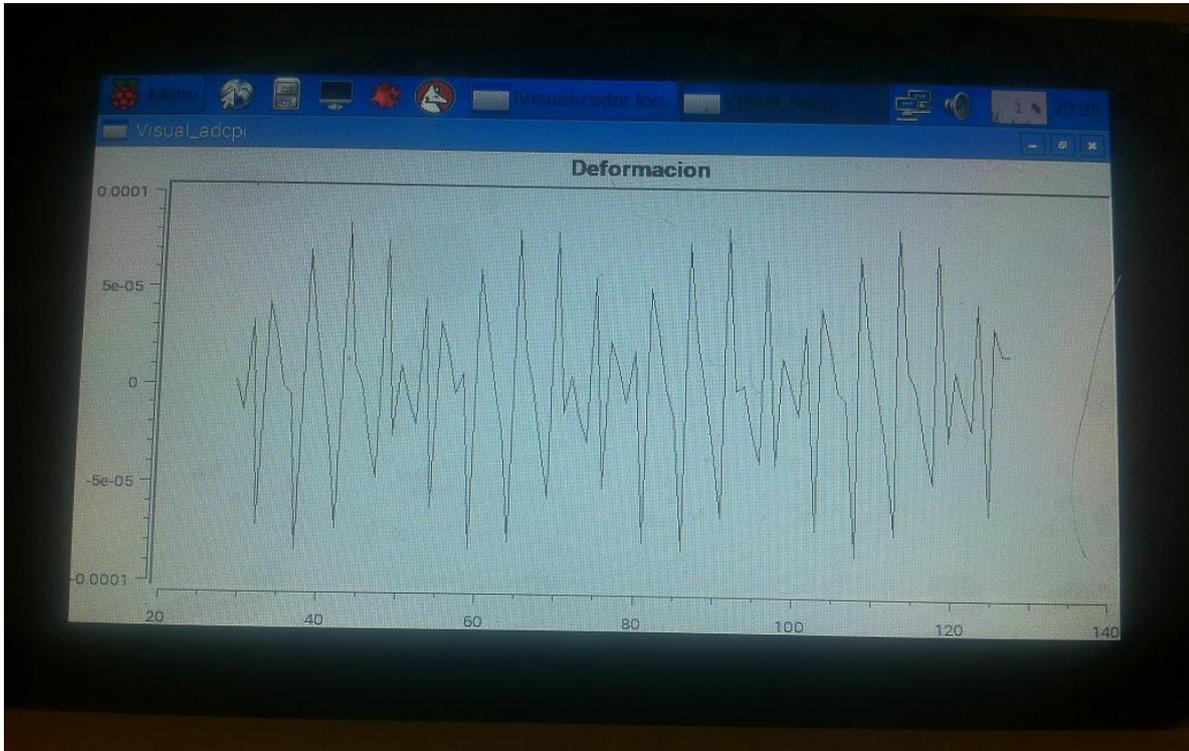


Figura 6: Captura de la pantalla de la Raspberry Pi

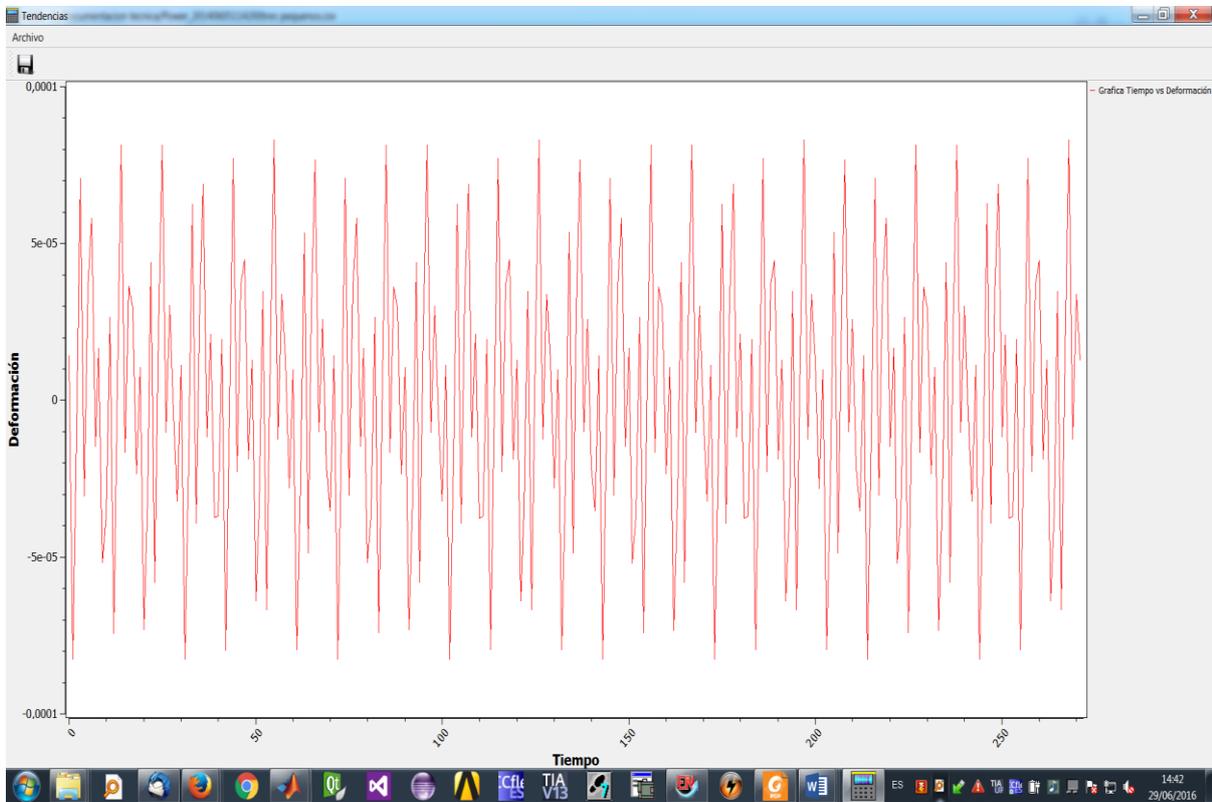


Figura 7: Captura de la pantalla de la aplicación servidor



5. CONCLUSIONES

La implementación de una arquitectura de bajo costo para el monitoreo de procesos mecánicos brinda grandes beneficios y efectos favorables sobre la calidad y la productividad puesto que se permite controlar los parámetros de los procesos productivos de manera que se logren mantener en el régimen óptimo de trabajo además de la realización de análisis a posterior como la detección de posibles fallas del algún componente del sistema permitiendo así reducir los tiempos de paradas por roturas y además que los mantenimientos sean más cortos y eficientes .

REFERENCIAS

1. Jobi Zhanitta, D. y Baby Sathya, S.: " Industrial Application Monitoring and Control using Raspberry pi and TCP/IP Protocol ", International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology, Vol.2, Special Issue XIII, Mar-zo 2015.
2. Abinath, T.R, Sudhakar,V. y Sasikala,S.: "Remote host process control and monitoring of industry appliances", International Journal of Engineering Research and General Science, Vol.3, Marzo y Abril 2015.
3. Sachan, A.: "Microcontroller Based Substation Monitoring and Control System with Gsm Modem ", International Journal of Emerging Technologies and Engineering, Vol.1, Issue 6, pp. 13-21, Julio-Agosto 2012.
4. Dixit, S.: "Enhancement of Industrial Automation Using Single Board Computer Network", IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, ICRTIET-2014 Conference Proceeding, pp. 69-71, 30-31 Agosto 2014.
5. Suresh, N., Balaji, E., Jeffry, K., Jenith, J.: "Raspberry pi based liquid flow monitoring and control", International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 3. Issue 7, pp. 122-125, Julio 2014.
6. Patel, T.K., Wadekar, U., Wabale, A., Datkhore.: "Appliances Control Using Ethernet and Raspberry PI ", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 5. Issue 3, pp. 494-497, Marzo 2015.
7. Ejiofor, V. E., Oladipo O. F.: "Microcontroller based Automatic Water level Control System", International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 1. Issue 6, pp. 1390-1396, Agosto 2013.
8. Sheikh, F., Xinrong, L.: "Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications", Procedia Computer Science, The 9th International Conference on Future Networks and Communications, 2014.
9. Schumann-Bölsche, D., Schön, A.M.: " A Raspberry in Sub-Saharan Africa? Chances and Challenges of Raspberry Pi and Sensor Networking in Humanitarian Logistics ", Procedia Engineering, Humanitarian Technology: Science, Systems and Global Impact 2015, HumTech2015, 2015.
10. Tomar, V. S., Bahatia V.: "Low Cost and Power Defined Radio using Raspberry Pi for Disaster Effectuated Regions", Procedia Computer Science, Second International Symposium on Computer Vision and the Internet, 2015.
11. Francisco P, Rodolfo E. H, Agustín G, Raúl M. del T. "Hybrid Incremental Modeling Based on Least Squares and Fuzzy K-NN for Monitoring Tool Wear in Turning Processes", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Volume:8 , Issue: 4, pp 811 – 818, Junio 2012.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado como parte del proyecto empresarial "Diseño de un banco de prueba para motores de combustión con sistema de monitoreo inteligente", financiado por la UEB EISA Matanzas.



18 del 21 al 25 de noviembre de 2016
CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA

52
ANIVERSARIO
cujae

SOBRE LOS AUTORES



Alberto Villalonga. Recibió el título de Ingeniero Automático (título de oro) en 2012 en el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (ISPJAE). Trabajo tres años en la Empresa de Automatización Integral (CEDAI) desempeñándose como especialista principal. En la actualidad se desempeña como profesor de la Universidad de Matanzas y pertenece al Grupo de Investigación en Fabricación Avanzada y Sostenible. Principales líneas de investigación: sistemas de control, sistemas inteligentes y modelado y simulación.



Gamil Rodríguez. Recibió el título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica (título de oro) en el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (ISPJAE) en el año 2015. Actualmente se desempeña como profesor de la Universidad de Matanzas y miembro del Grupo de Investigación en Fabricación Avanzada y Sostenible. Sus principales líneas de investigación son: soluciones hardware software, transmisión de energía inalámbrica,



Ramón Quiza. Recibió el título de Ingeniero Mecánico (título de oro) en 1999 y el título de doctorado en Ciencia Técnicas en el 2004 en la Universidad de Matanzas donde en la actualidad se desempeña como jefe del Grupo de Investigación en Fabricación Avanzada y Sostenible. Sus principales líneas de investigación son: modelación y optimización de procesos de maquinado y aplicaciones de inteligencia artificial.



Rodolfo E. Haber. Obtuvo el título de Ingeniero en Automática (título de oro) en la Universidad de Oriente en 1992. En 1995 recibe una beca de doctorado otorgada por la Oficina Española de Colaboración Científica en España. Recibe su título de doctor en Ingeniería Industrial en la Universidad Politécnica de Madrid en 1999. En ese mismo año se une, como profesor asistente, al departamento de Ingeniería en Computación de la Escuela Técnica en la Universidad Autónoma de Madrid. Ha publicado artículos en revistas especializadas y capítulos de libros. Sus principales líneas de investigación incluyen la teoría de control y sus aplicaciones, soluciones hardware-software, técnicas de softcomputing, control clásico y adaptativo, control supervisorio y procesos electromecánicos complejos