

Sistema de monitoreo inalámbrico multi-punto mediante plataforma Arduino y Raspberry-Pi.

Catarino-Aguilar O.^{1†}, Pérez-Martínez J.A.^{1*}, Flores-Fuentes A.A.¹, García-Mejía J.F.¹, Torres-Reyes C.E.¹, Rossano-Díaz I.O.²

¹Centro Universitario UAEMex Atlacomulco, Carretera Toluca-Atlacomulco, Km 60, C.P. 50450, Atlacomulco, Estado de México.

² Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario No. 100, Colonia Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México.

[†]octavio_ca@outlook.com

^{*}japerezm@uaemex.mx

Áreas técnicas: Monitoreo de Procesos.

RESUMEN.

En el presente trabajo se expone el desarrollo de un sistema cuya finalidad es el monitoreo, registro y visualización de variables eléctricas en diversos puntos de un proceso, a través de un tiempo establecido. El sistema está diseñado para trabajar con sensores de voltaje con un intervalo de 0 a 5V; para la adquisición de datos, interpretación de las variables y transmisión de datos se usa la tarjeta Arduino en conjunto de un transceptor inalámbrico de radiofrecuencia con matricula NRF24L01; éstos componentes conforman un nodo emisor que trasmite la información de los sensores a un nodo receptor el cual está conformado por una tarjeta Arduino con un transceptor NRF24L01 configurado como receptor; el nodo se comunica de forma serial con una computadora Raspberry-Pi que hace la función de interpretar, almacenar y presentar en forma gráfica los datos mediante una interfaz gráfica desarrollada en PHP y HTML alojada en la Raspberry-Pi, la cual puede ser consultada de forma local o remota. Se incluye la descripción del sistema y la función de la comunicación inalámbrica mediante diagramas de flujo.

ABSTRACT.

In this paper, the development of a system for monitoring, recording and visualization of electrical variables in different points of a process through an established time is presented. The system is designed for working with output voltage sensors in the rank of 0 to 5V; an Arduino and a RF wireless transceiver (NRF24L01) board are used for: data acquisition, variables interpretation and data transmission; these devices form an emitter node which sends the information from the sensors to a receptor node formed by an Arduino and a RF wireless transceiver (NRF24L01), configured as a receiver; the node communicates serially with a Raspberry-Pi computer which interprets, storages and presents graphically the data with a graphical interface developed in PHP and HTML in the Raspberry-Pi and can be consulted locally or remotely. The functional system description and the function of wireless communication using flowcharts are included.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la mayoría de los procesos requieren de llevar a cabo la medición de variables involucradas en los mismos, por lo tanto se debe monitorear la evolución histórica del

comportamiento de éstas variables, lo que permite tener una idea clara de la forma en que los procesos son llevados a cabo lo que a su vez permite tomar acciones de control ya sea de forma automática o realizadas por el hombre. Las variables que se monitorean dependen del proceso, las cuales pueden ser: temperatura, humedad, presión, concentración de gases, flujo, caudal, nivel de un líquido, velocidad, peso, el potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, entre otras [1]. La evolución de los dispositivos electrónicos ha permitido disponer de sensores electrónicos capaces de poder convertir casi cualquier variable física en una señal del tipo eléctrico, generalmente voltaje o corriente eléctrica la cual tiene una variación proporcional al cambio de la variable física [2]. Por otra parte el desarrollo de interfaces que permiten convertir los niveles de las señales eléctricas de los sensores a señales digitales, las cuales son utilizadas para ser procesadas por sistemas computacionales que permiten entre otras cosas visualizar mediante gráficas el desarrollo del proceso; guardar los datos para poder generar una base de datos y al mismo tiempo estar disponible para cuando sea requerido, analizar los datos y la tendencia actual es automatizar los procesos recreando las condiciones que previamente fueron medidas y analizadas.

Este tipo de sistema son muy utilizados en la industria para monitorear las variables de sus procesos, dichos sistemas cuentan un tendido de cable que es la vía de transmisión de los datos desde el sensor hacia el sistema computacional, lo cual es funcional cuando el proceso ya ha sido validado y establecido. Sin embargo, cuando se requiere realizar una modificación del proceso se requiere monitorear ciertas variables de forma temporal y para lo cual no se cuenta con un cableado establecido.

En este trabajo se expone el desarrollo de un sistema cuya función es monitorear, registrar y visualizar mediante gráficas la variación de la medición de las variables en diversos puntos de monitoreo de un proceso dado, la recopilación de los datos

desde los puntos de monitoreo se realiza mediante tecnología inalámbrica, el sistema está enfocado a dar solución en procesos donde se requiere hacer el monitoreo de diversas variables sin la necesidad de realizar un tendido del cableado a través de las instalaciones, con las limitaciones que la propia tecnología inalámbrica permite [3,4].

2. DESARROLLO

El sistema está desarrollado, tomando en consideración que los sensores utilizados proporcionan un voltaje de salida en un intervalo de 0 a 5V, lo que permite que el sistema pueda adaptarse a cualquier proceso. En caso de requerir de un sensor con diferentes características, es necesario agregar una etapa adicional de acondicionamiento de señal.

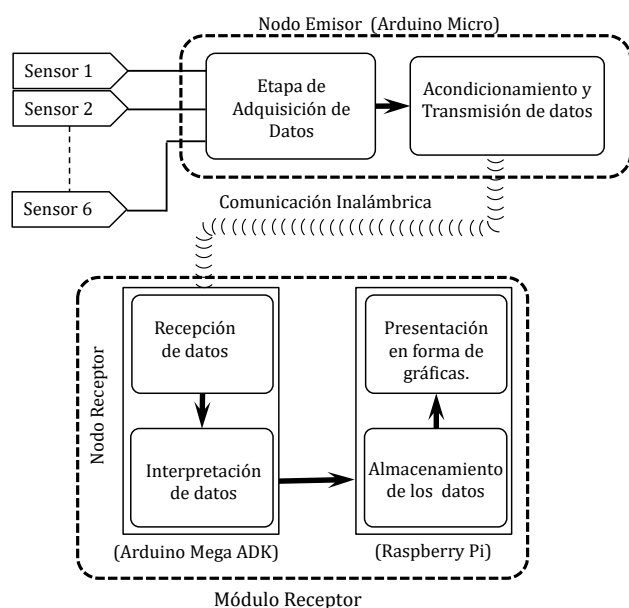


Figura 1: Etapas del Sistema de Transmisión Inalámbrica.

En la figura 1 se muestra el diagrama a bloques que forman las etapas del sistema, la sección del nodo emisor se conforma de los sensores de las variables, los cuales pueden ser hasta 6 para cada nodo, se conectan directamente a las entradas analógicas de la tarjeta Arduino micro la cual hace una conversión de analógico a digital de los datos, los cuales son acondicionados para poder ser transmitidos por una tarjeta de comunicación inalámbrica. La sección del módulo receptor consiste en 4 etapas, la primera etapa se encarga de recibir los datos de forma inalámbrica provenientes de la etapa de transmisión de datos, los cuales son interpretados en la segunda etapa que permiten obtener los datos de las variables medidas y a su vez son almacenados en la tercera etapa que es una base de datos. Para la visualización de los datos se encuentra la última etapa que permite consultar el historial mediante un gráfico dinámico mostrado en una pantalla donde el eje x corresponde al tiempo

y el eje y muestra la evolución de la variable con respecto al tiempo.

2.1. Sección del nodo emisor.

La sección del nodo Emisor se compone de 3 etapas, la primera es el sensor como tal, el cual es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal física a una señal eléctrica, en este trabajo se consideran los sensores con salida de voltaje normalizada, es decir, el intervalo del voltaje de salida se debe encontrar entre 0 y 5V. La etapa de adquisición de datos se realiza mediante los Convertidores de analógico a digital (ADC) integrados en la tarjeta Arduino que es una plataforma electrónica programable de código abierto que permite el desarrollo de múltiples aplicaciones, cuenta con su propio lenguaje de programación el cual es multiplataforma y puede ser usado para manipular diferentes tipos de componentes electrónicos con la finalidad de realizar aplicaciones de forma versátil y adaptable a cualquier propósito [5]; específicamente se hizo uso de las 6 entradas analógicas de la tarjeta Arduino Micro.. Los datos obtenidos de los sensores son interpretados puesto que las entradas analógicas de la tarjeta Arduino tienen una resolución de 10 bits, que corresponde a 1024 niveles de voltaje. Al tener un voltaje de salida del sensor máximo de 5V al que se nombra voltaje de referencia, para la interpretación de la lectura se utiliza la siguiente expresión:

$$M_V = V_S \frac{Res}{V_{ref}} \quad (1)$$

Dónde:

M_V = Magnitud de la variable.

V_S = Voltaje de salida del sensor [mV].

Res = Resolución del ADC de la tarjeta Arduino.

V_{ref} = Voltaje de referencia [V].

$$Res = 2^n - 1 \quad (2)$$

n = Número de Bits del ADC.

Al obtener la magnitud de la variable (M_V) se acondiciona la información concatenándola con el número de referencia del sensor y ambos datos son transmitidos vía inalámbrica mediante una tarjeta NRF24L01, que es un módulo de radio frecuencia de 2.4 GHz de Nordic Semiconductor, el cual integra un transceptor y un sintetizador de Radio Frecuencia (RF) [6].

El código para el nodo emisor fue desarrollado en el IDE de Arduino instalado en la versión 14.04 de Ubuntu una distribución de linux, tomando como base el diagrama de flujo mostrado en la figura 2.

2.2. Sección del nodo receptor.

La sección del módulo Receptor se compone de 4 etapas, la primera es la recepción de los datos provenientes de los nodos emisores, la cual establece un canal de comunicación y recibe los datos enviados de cada nodo emisor, uno a la vez; los datos

son interpretados en la segunda etapa basados en el canal por el cual fue enviado con el número de nodo de referencia se concatena la información y se tienen tres datos: Número de Nodo emisor, Número de sensor de referencia y la magnitud de la variable del sensor de referencia. La función de la etapa de interpretación de los datos es almacenar la cadena recibida en una variable la cual es segmentada para obtener los datos de interés, los cuales son:

- El número de sensor
- La magnitud de la variable

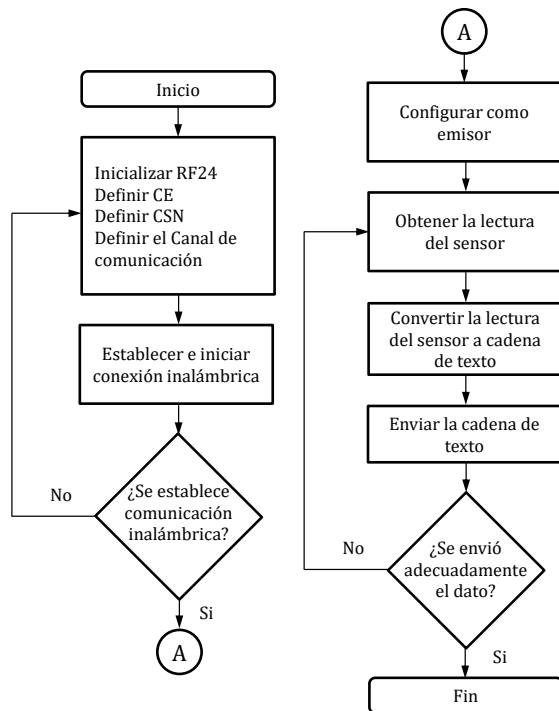


Figura 2: Diagrama de flujo para código del nodo emisor.

Las funciones de Recepción e Interpretación de los datos son realizadas por una tarjeta Arduino Mega ADK y en la figura 3 se muestra el diagrama de conexión entre el transceptor NRF24L01 y la tarjeta Arduino Mega ADK.

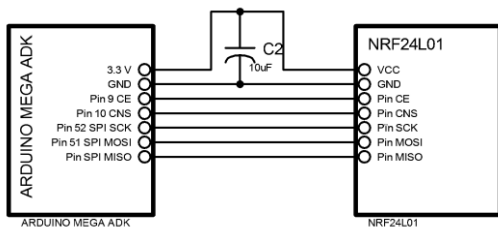


Figura 3: Diagrama de conexión entre Arduino Mega ADK y el transceptor NRF24L01.

La configuración que permite tener varios nodos emisores y comunicarlos a un solo nodo receptor es mediante la asignación de un canal diferente a cada nodo emisor, de esta manera los datos no interfieren entre ellos, para lo cual se desarrolló el código para poder comunicar los diversos nodos hacia el nodo Receptor tal como se muestra en la figura 4. Para lo anterior se asigna un solo canal de comunicación a cada nodo emisor y en el módulo Receptor se realiza un barrido por canal para la recepción de los datos los cuales son reconocidos mediante un identificador y de esta manera son guardados los datos en la etapa siguiente que consiste en una base de datos alojada en la computadora Raspberry-Pi. La etapa final consiste en consultar la base de datos y presentar de manera gráfica en forma de línea continua la evolución de la variable medida o tiene la capacidad de presentar la información en forma de tabla donde los datos contenidos podrían ser exportados para su presentación mediante otro software especializado en presentación gráfica.

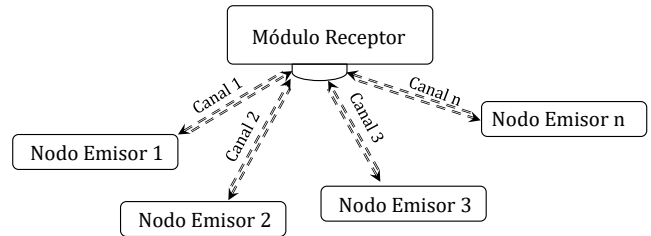


Figura 4: Diagrama esquemático de funcionamiento de la comunicación inalámbrica usando diferentes canales.

Para el desarrollo del código del nodo receptor usando múltiples emisores se usó el diagrama de flujo mostrado en la figura 5.

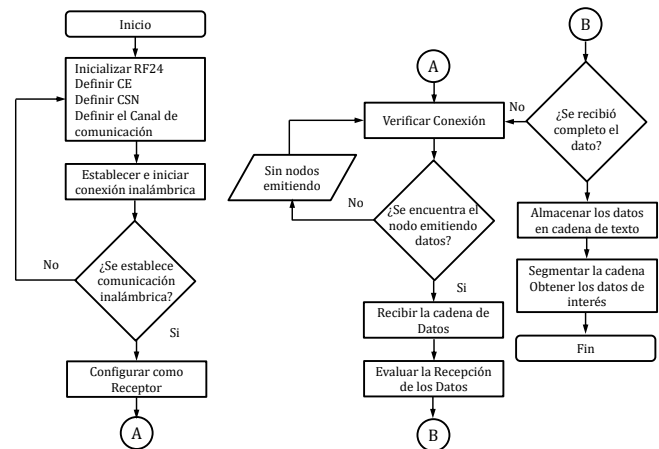


Figura 5: Diagrama de flujo del código del nodo receptor.

2.3. Envío de los datos a la Raspberry-Pi.

Al obtener los datos de interés, estos son reenviados a una computadora Raspberry-Pi, la cual se puede considerar una computadora de tamaño compacto y que puede ser configurada de acuerdo a como el usuario lo requiera [7]; ésta recibe los datos, los almacena y los procesa para presentarlos de manera gráfica. El proceso de reenvío se realiza haciendo uso de la siguiente línea de código:

```
Serial.write (n_nodo + n_sensor + lectura);
```

Dónde:

n_nodo: número de nodo desde el cual se recibió la lectura, este es obtenido a partir del número de canal desde el cual se recibió los datos.

n_sensor: número de sensor que realizo la lectura de la variable.

lectura: valor de la variable que obtuvo el sensor.

La comunicación entre el nodo central y la Raspberry-Pi es mediante una comunicación serial haciendo uso de los pines Rx (Recepción), Tx (Transmisión) [8], de esta manera se envían los datos que fueron recibidos de los nodos emisores a la Raspberry-Pi para su almacenamiento y presentación de manera gráfica.

2.4. Descripción de la interfaz gráfica.

Una característica del sistema es que el usuario puede consultar los datos de monitoreo de manera remota sin necesidad de trasladarse a donde se encuentra el nodo Receptor, solo se requiere conectarse a la red LAN a la cual se encuentre conectado el módulo Receptor, para realizar lo anterior se instala en la tarjeta Raspberry-Pi un servidor web (LAMP) que es el acrónimo de [9]:

- Linux, porque se basa en éste sistema operativo.
- Apache, utiliza éste servidor web.
- MySQL, es el gestor de bases de datos.
- PHP y Python, se refiere a los lenguajes de programación.

Una característica del sistema es que es posible realizar una consulta a la base de datos y a los gráficos históricos a través de una conexión a la red LAN a la cual se encuentre conectada la computadora Raspberry-Pi mediante una Computadora Personal.

3. RESULTADOS

En la figura 6 se muestra la ventana de configuración inicial del sistema que permite establecer la configuración sobre el número de muestras que se toman por ciclo de muestreo; el tiempo de retraso para el almacenamiento entre cada muestra y el tiempo de espera para reiniciar un ciclo de muestreo; lo anterior permite al usuario establecer un monitoreo controlado donde se realice por un determinado tiempo durante el transcurso del día.



Figura 6: Ventana de configuración inicial del sistema.

En la figura 7 se muestra la ventana de configuración de nodos, la cual permite que el usuario asigne un nombre a cada sensor, con el cual sea más fácil identificarlo dentro del sistema.



Figura 7: Ventana de configuración de sensores.

Dentro de la interfaz gráfica es posible controlar la habilitación o inhabilitación del sistema a través de la ventana mostrada en la figura 8. Cuando el sistema se encuentra en estado ACTIVO, indica que se está ejecutando la aplicación y se está monitoreando y almacenando los datos enviados por los sensores. Se cuenta con la opción de interrumpir el proceso seleccionando la opción de INACTIVO y confirmando la acción al ACTUALIZAR el estado. En esta misma ventana es posible reinicializar el sistema a cero presionando el botón de RESTABLECER A CERO.



Figura 8: Ventana de configuración del estado del sistema.

En la figura 9 se muestra la ventana encargada de establecer los parámetros para realizar una consulta por parte del usuario sobre los datos monitoreados, se requiere especificar al sistema el número de nodo y qué sensor se desea consultar además de indicar un intervalo de tiempo sobre la consulta y el sistema

presentará los datos en forma de tabla, tal como se muestra en la figura 10, donde el ID MUESTRA es el identificador que otorga el sistema a cada muestra, NODO representa el número del nodo de donde se obtuvo la lectura del sensor, NOMBRE DEL SENSOR muestra el nombre que se le asigna por parte del usuario para su identificación, finalmente se muestra la lista de valores de la variable monitoreada seguida por la fecha y hora de adquisición. La lista inicia en la fecha señalada como inicial y termina en la fecha señalada como final.

Figura 9: Ventana de configuración para la consulta de datos dentro de un intervalo de tiempo definido

ID MUESTRA	NODO	NOMBRE DEL SENSOR	LECTURA	FECHA	HORA
1565	1	temperatura	20	21/3/2015	7:40:4
1568	1	temperatura	20	21/3/2015	7:40:9
1573	1	temperatura	20	21/3/2015	7:40:15
1576	1	temperatura	20	21/3/2015	7:40:18
1581	1	temperatura	20	21/3/2015	7:40:24
1590	1	temperatura	20	21/3/2015	7:40:33
1598	1	temperatura	20	21/3/2015	7:40:42

Figura 10: Resultado de una consulta presentando los datos en forma de tabla.

La figura 11 muestra la ventana de la interfaz encargada de establecer los parámetros para mostrar los resultados en forma de una gráfica dinámica, estableciendo que nodo y sensor se quieren mostrar, así como el intervalo de tiempo que se requiere tanto inicial como final, de esta manera el sistema presenta la gráfica como se muestra en la figura 12, donde se puede visualizar un ejemplo, la gráfica puede ser exportada en formato de imagen o documento portátil (PDF). Al posicionar el puntero sobre alguna región de la gráfica el sistema muestra el valor en ese punto así como la fecha y hora, cuenta con la posibilidad de ampliar una sección de la gráfica para visualizar con mayor detalle.

Para poder establecer la distancia a la cual el sistema puede transmitir datos adecuadamente sin obstáculos se realizaron pruebas para determinar la distancia máxima de comunicación, los resultados se muestran en la tabla 1, donde en un nodo emisor se enviaron un total de 100 datos y en el módulo receptor se examinaron los datos recibidos. Al verificar los datos se estableció una comparativa donde se determinó que la distancia máxima en la que el prototipo funciona en condiciones optima es de 74 metros ya que sobrepasando éste

límite no es posible tener la certeza de que los datos recibidos sean los mismos a los datos enviados, en la tabla 1 se muestran los resultados de dicha prueba, donde se pueden observar (datos sombreados) que al pasar de 70 a 80 m, el número de datos decreció por lo cual a partir de los 70 m se realizó un incremento por metro.

Figura 11: Ventana de configuración para mostrar los datos en forma de gráfica dinámica.



Figura 12: Resultado de una consulta presentando los datos en una gráfica dinámica.

Tabla 1: Resultado de la prueba de distancia a la cual el sistema puede transmitir datos adecuadamente.

Prueba	Distancia entre en nodo emisor y módulo receptor	Numero de datos enviados	Numero de datos recibidos
1	50m	100	100
2	60m	100	100
3	70m	100	100
4	80m	100	81
5	90m	100	68
6	100m	100	48
7	71m	100	100
8	72m	100	100
9	73m	100	100
10	74m	100	100
11	75m	100	98
12	76m	100	95
13	77m	100	91
14	78m	100	89
15	79m	100	86

4. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se reporta el desarrollo de un sistema que permite monitorear diferentes variables distribuidas en diferentes puntos mediante el uso de sensores colocados en cada punto. La información de los sensores es recabada mediante nodos emisores que la transmiten a un módulo receptor el cual a su vez proporciona ésta información mediante una comunicación serial a una computadora Raspberry-Pi. Ésta computadora se encarga de guardar los datos en una base de datos para que el usuario pueda acceder a los mismos o realizar una consulta de la evolución histórica de cualquiera de las variables que se están monitoreando. Para poder realizar la comunicación entre la plataforma de Arduino y la Plataforma de Raspberry-Pi fue necesario configurar las librerías de comunicación serial de ambas plataformas lo cual es necesario ya que para este trabajo, se explotan las características de la plataforma Arduino para convertir señales analógicas a digitales, su tamaño para tener un sistema de tamaño reducido y la versatilidad para permitir una comunicación inalámbrica en conjunto con el transceptor NRF24L01; de la plataforma Raspberry-Pi se aprovecha su capacidad de procesamiento para poder manejar una base de datos, hacer consultas en la misma, presentar los datos mediante un gráfico y permitir la consulta mediante una red; ya que las características de cada plataforma por separado no hubiera sido posible.

La característica del sistema de poder acceder al registro histórico de los datos de monitoreo de manera remota desde cualquier dispositivo conectado a la misma red LAN a la que se encuentra conectada la Raspberry-Pi la hace una herramienta útil al hacer innecesario el traslado hasta el punto donde se encuentra la Raspberry-Pi y la transmisión de los datos de forma inalámbrica elimina la necesidad de generar un cableado que bien pueden causar dificultad de movilidad entre el espacio

de monitoreo. Aunque permanece la desventaja de requerirse un cableado desde el sensor hacia el nodo emisor.

De acuerdo a los resultados, la distancia a la cual el sistema puede transmitir los datos de forma confiable es de máximo 74m sin obstáculos entre el nodo emisor y el módulo receptor., aunque es posible alcanzar una distancia mayor con el uso de otros transceptores con mayores prestaciones en cuanto a su alcance.

5. REFERENCIAS.

- [1] Wilson, J. “*Sensor Technology Handbook*”, Newnes/Elsevier, Oxford. (2008).
- [2] J. G. Webster, “*The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*”, CRC/IEEE Press, Boca Raton, FL. (1999).
- [3] D., Roldan, “*Comunicaciones Inalámbricas*”, Valencia, España, (2009).
- [4] C., Bowick, “*RF Circuit Design*”, 3ª Ed., Indianapolis, EUA, (2007).
- [5] Arduino cc. Obtenida el 14 de noviembre del 2014 de <http://arduino.cc/>
- [6] Nordic Semiconductor, “*NRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Transceiver*”, Data Sheet, Nordic Semiconductor, (2008).
- [7] J., Zelle, F., Beedle, “*Python Programación: Una introducción a la Informática*”, 2ª Ed., Anaya multimedia, EUA, (2003).
- [8] C., Franklin, “*Circuitos integrados y sistemas*”, 4ª Ed, EUA, Reverte, (2007).
- [9] I., Gilfillan, “*La Biblia de Mysql*”, Anaya Multimedia, Madrid España, (2006).