

Diseño y desarrollo de un pluviógrafo semiautomático tipo Hellman*

Design and development of a Hellmann-type semiautomatic pluviograph

Irving Alejandro González Manríquez[§], Oziel Lugo Espinosa y Joel Ayala de la Vega

¹Universidad Autónoma del Estado de México-Centro Universitario Texcoco. Av. Jardín Zumpango s/n, Fracc. El Tejocote Texcoco, México, C. P. 56259. Héroes de Chapultepec 30, Col. Jardín de los Reyes. C. P. 5600, La Paz, Estado de México. (ozieluz@gmail.com; joelayala2001@yahoo.com.mx). [§]Autora para correspondencia: irving.agm.ico@gmail.com.

Resumen

Se plantea la construcción de un pluviógrafo semiautomático con materiales de bajo costo equivalente a uno tipo Hellman de sifón, con el objetivo de adquirir los datos de la precipitación pluvial (Pp). Se presenta el desarrollo de una aplicación de software para el análisis y presentación de los datos. Para automatizar el pluviógrafo se construyó un sistema electrónico con base en un sensor de nivel de líquidos, un módulo de control del tiempo y un microcontrolador de un sistema arduino. El sistema almacena los datos en una tarjeta de memoria flash microSD. El software se codificó en lenguaje de programación Java y permite interpretar la información captada por el circuito electrónico, realizar consultas de los datos registrados por el pluviógrafo, desplegar tablas con la descripción de cada evento de lluvia (tormenta) y generar gráficas como pluviogramas e hietogramas. En el periodo de pruebas de este prototipo se comprobó una precisión de 90% en el total de las mediciones lo que permite el uso del dispositivo en ámbitos domésticos o profesionales donde se requiera la lectura de la precipitación.

Palabras clave: arduino, hietogramas, java, pluviogramas, precipitación.

Abstract

The construction of a semiautomatic pluviograph with low-cost materials equivalent to a Hellmann-type with siphon is proposed with the objective of acquiring pluvial precipitation (Pp) data. The development of a software application is presented for the analysis and presentation of the data. In order to automate the pluviograph, an electronic system was built based on a liquid level sensor, a time control module, and a microcontroller for an Arduino system. The system stores the data in a microSD flash memory card. The software is coded in Java and allows for the interpretation of the information captured by the electronic circuit, to consult the data registered by the pluviograph, to display tables with the description of each rain event (storm) and to generate graphs as pluviographs and hietographs. In the test period of this prototype, a 90% accuracy was confirmed in the total measurements, which allows the use of the device in domestic and professional fields where precipitation readings are required.

Keywords: arduino, hietographs, java, pluviographs, precipitation.

* Recibido: septiembre de 2015
Aceptado: enero de 2016

Introducción

La precipitación pluvial (Pp) es cualquier tipo o estado de agua que cae sobre la superficie del suelo medir la cantidad de Pp se realiza para obtener información sobre sus características espaciales y temporales, como intensidad, frecuencia, fase, duración y cantidad. La precipitación puede ser medida a través de pluviómetros o pluviógrafos. El pluviómetro registra información únicamente sobre la cantidad de lluvia y el pluviógrafo a diferencia del pluviómetro genera un pluviograma, una gráfica que registra la cantidad de Pp en función del tiempo. La Pp se puede reportar como lámina de lluvia (Lp) en un lapso de tiempo (tp) o bien, como intensidad de lluvia (I). La Lp se reporta en mm de lluvia donde 1 mm de lluvia equivale a 1 L. de agua caída en 1m².

El problema de la extracción de la información de los pluviogramas, es la de tener que ser interpretada por una persona especialista o que cuente con una capacitación previa, y la información no es precisa al señalar el tiempo en que comienza la lluvia.

El pluviógrafo está diseñado para determinar la intensidad de la lluvia durante largos periodos de tiempo. Este tipo de mediciones se utilizan en estudios hidrológicos, meteorológicos, climatológicos, agrícolas, etc. Determinar la distribución espacial y temporal de la precipitación ayuda a proponer políticas de planificación de inundaciones y generalmente para mitigar el impacto de precipitaciones extremas Vannitsem y Naveau (2007). El desarrollo de tecnología que apoye directamente en estudios sobre el uso del agua, es indispensable para el desarrollo de una agricultura sostenible, que aumente su productividad y mejore la calidad de sus productos.

El pluviógrafo es un invento del siglo XIX; sin embargo, la primera patente es del pluviógrafo de flotador presentada por Chappell en mayo de 1938, Chappell y Colt (1938). En abril de 1966 fue patentado por Barker (Barker, 1966) el primer pluviógrafo de balancín con registro gráfico de mediciones automáticas.

Existen trabajos de investigación donde se propone la automatización de alguno de los tres tipos de pluviógrafos. En Méndez *et al.* (2013) se presenta la automatización de un pluviógrafo de balanza, desarrollado en el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) en la Habana, Cuba, impulsado por las necesidades del desarrollo de la actividad

Introduction

Pluvial precipitation (Pp) is any type or state of water that falls on the surface of the ground. Measurement of the Pp quantity is done in order to obtain information on spatial and temporal characteristics, such as intensity, frequency, phase, duration and quantity. The precipitation can be measured through pluviometers or pluviographs. A pluviometer registers information solely on the quantity of rain, whereas a pluviograph creates a hyetograph, a graph that registers the quantity of Pp in relation to time. The Pp can be reported as a sheet of rain (Lp) in a period of time (tp) or rather, as rain intensity (I). The Lp is reported in mm of rain, where 1 mm of rain is equivalent to 1 L of water having fallen in 1 m².

The problem with the extraction of information from pluviographs is that it has to be interpreted by an expert or someone who has had previous training, and the information is not accurate in signaling the time at which the rain starts.

The pluviograph is designed to determine the rain intensity during long periods of time. These types of measurements are utilized in hydrological, meteorological, climatological, and agricultural studies, among others. Determining the spatial and temporal distribution of precipitation helps to propose policies for flood planning and in general to mitigate the impact of extreme precipitation Vannitsem and Naveau (2007). The development of technology that directly aids in studies regarding the use of water is essential for the development of sustainable agriculture, to increase productivity and to improve product quality.

The pluviograph is an invention from the XIX century; however, the first patent was for the floater pluviograph presented by Chappell in May 1938 (Chappell and Colt, 1938). On April 1966, the first pluviometer with graphic registry and automatic measurements was patented by Barker (Barker, 1966).

There have been research papers where the automation of one of the three types of pluviographs has been proposed. In Méndez *et al.* (2013), the automation of a balance pluviograph is presented, developed in the Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH, Center of Hydraulic Investigations in English) in Habana, Cuba, driven by the needs for the development of hydraulic activities in the country. With regard to the automation of Hellmann-type pluviographs with siphon, Sandoval *et al.* (2010) shows

hidráulica de ese país. En lo que refiere a la automatización de pluviógrafos tipo Hellman de sifón, Sandoval *et al.* (2010) presentan la implementación de un sistema electrónico para recopilar datos de Pp haciendo uso de un sistema de comunicación inalámbrica, y una aplicación software para el control, almacenamiento y análisis de los datos.

La medición de la intensidad de la lluvia en los pluviógrafos tradicionales emplea un mecanismo de relojería que mueve un tambor en el cual se coloca un rollo de papel donde se graba, con una plumilla, el registro de la lluvia caída de forma instantánea. Posteriormente el rollo de papel, al cual se le conoce como pluviograma.

Obtener la información presentada en un pluviógrafo es una tarea que se ha buscado optimizar desde hace tiempo Sansom (1987) propuso un método para digitalizar la información generada por los pluviógrafos de esa época. Actualmente Delitala *et al.* (2010) exponen el desarrollo de un software desarrollado en la Universidad de Cagliari, Italia; basado en técnicas de tratamiento de imágenes capaz de procesar gráficas de los pluviógrafos y de manera automática procesar la señal y producir una base de datos con registros de precipitaciones continuas con una resolución de 5 a 10 min. El objetivo de este trabajo además de desarrollar una técnica que facilite la interpretación de la información de los pluviógrafos, fue crear un registro histórico de las precipitaciones del siglo pasado con el fin de mejorar la caracterización histórica del clima en esa región.

El prototipo de pluviógrafo se diseñó y armó, creando primero una cámara de sifón la cual consta de un tubo de PVC de 40 mm de diámetro y el sistema de sifón se construyó con un tubo de cristal en forma de U invertida con un extremo en la cámara de sifón y el otro extremo, el cual debe ser más largo, llega a un recipiente donde se recolecta la Pp después de ser medida. El recolector es la base del instrumento, encima de él se coloca la cámara de sifón y dentro de ésta se inserta el sensor de nivel de líquidos. La cámara de sifón tendrá una cubierta para aislarla del exterior, y encima de ella, embona la cámara de captación que es por donde entra la Pp al instrumento y tiene un diámetro de 16 cm, siendo ésta la parte superior del pluviógrafo.

El funcionamiento del circuito electrónico se describe en el diagrama de bloques de la Figura 3 y se compone de un sensor de nivel de líquidos marca eTape Millone el cual es un sensor de estado sólido de resistencia variable con el nivel de líquido presente en el recipiente donde se encuentre instalado. La

the implementation of an electronic system to compile Pp data making use of a wireless communication system and a software application for the control, storage and analysis of the data.

The measurement of the rain intensity by traditional pluviographs utilizes a clockwork mechanism that moves the drum in which a roll of paper is placed to record the rainfall instantaneously with a pen. The roll of paper is subsequently known as a hyetograph (Figure 1).

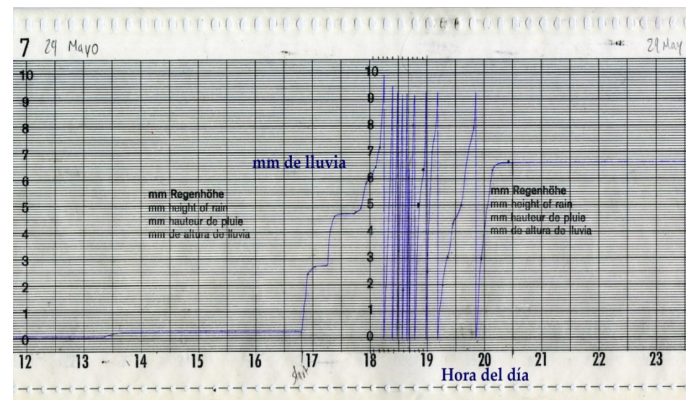


Figura 1. Pluviograma que representa una tormenta.

Figure 1. Pluviograph representing a storm.

Obtaining information shown in a hyetograph is a job that has been sought to be optimized for a long time. Sansom (1987) proposed a method to digitalize the information generated by the pluviographs of the time. Currently, Delitala *et al.* (2010) exhibits the development of a software developed at the University of Cagliari, Italy, based on image treatment techniques capable of processing graphs from pluviographs, and automatically processing the signal and producing a database with registries of continuous precipitations with a 5 to 10 minute resolution. The objective of this work, beyond that of developing a technique to facilitate the interpretation of the information from the pluviographs, was to create a historical registry of the precipitations of the past century with the purpose of improving the historical characterization of the region's climate.

The pluviograph prototype was designed and assembled, first creating a siphon chamber which consists of a PVC tube 40 mm in diameter. The siphon system was constructed with a crystal tube in a U-shape inverted with one side in the siphon chamber and the other side, which must be longer, reaches a container in which the Pp is collected after being measured. The collector is the base of the instrument, above it the siphon chamber is placed and within this chamber the

salida es inversamente proporcional al nivel del líquido (Technologies, 2013); para controlar el sensor se hace uso de una tarjeta arduino uno, la cual es una plataforma de hardware libre que se basa en una placa electrónica con 6 entradas analógicas y 14 digitales de entrada/salida, un microcontrolador Atmel y un entorno de desarrollo integrado para la programación del microcontrolador (Wilcher, 2012). Para almacenar la información generada por el sensor se colocara una memoria microSD conectada al microcontrolador a través de un microSD shield, el cual es una placa que brinda al arduino comunicación con la tarjeta microSD (Banzi, 2011). Para llevar el control del tiempo se hace uso del sensor DS1307. Para la interacción con el usuario se instaló una pantalla de cristal líquido (LCD) con una capacidad para mostrar 32 caracteres en dos filas.

Como parte fundamental de este instrumento, se desarrolló un programa para interpretar los datos procesados por el sistema electrónico. La primera fase de este proceso fue determinar una metodología a la cual someter el proceso de desarrollo del programa. Las metodologías ágiles de desarrollo de software se caracterizan porque tienen como objetivo centrarse en factores como el factor humano o el producto software (Reingart, 2012). Para el desarrollo de este trabajo se eligió la metodología Personal Software Process (PSP) por centrarse en la gestión del trabajo individual de los programadores (von Konsky *et al.*, 2005). El PSP es una metodología que consta de un conjunto de prácticas disciplinadas para la gestión del tiempo (Salinas *et al.*, 2011) y mejora de la productividad personal de los programadores o ingenieros de software, en tareas de desarrollo de software Rodríguez (2013).

La estructura del proceso PSP comprende las fases de: Análisis de requerimientos, planeación, diseño, codificación, compilación, pruebas y post mortem (Watts, 2000). Los métodos utilizados por esta metodología se han introducido en una serie de siete versiones, y cada una introduce nuevos elementos que son registrados en diversos formatos. En este trabajo se utilizó el script de la versión PSP0, la cual tiene cuatro formularios: PSP0 Project Plan Summary, PSP0 Time Recording Log, PSP0 Defect Recording Log, PSP0 Defect Type Standard. Usado para definir tipos de defectos estándares Chávez y Hoyos (2013).

El producto de software final está constituido por los componentes que se muestran en la Cuadro 1.

liquid level sensor is inserted. The siphon chamber must be covered to isolate it from the exterior and above it the capturing chamber is fitted, where the Pp instrument with a diameter of 16 cm is inserted; this being the upper part of the pluviograph.

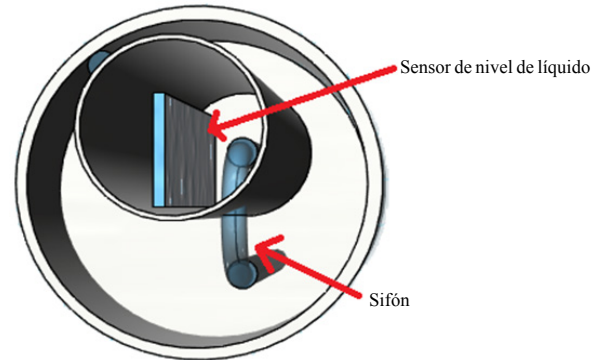


Figura 2. Cámara de sifón.
Figure 2. Siphon chamber.

The operation of the electronic circuit is described in the block diagram in Figure 3 and is comprised of a eTape Millone liquid level sensor, which is a solid state variable resistance sensor with the liquid level being present in the container where it is installed. The exit is inversely proportional to the liquid level (Technologies, 2013). In order to control the sensor an Arduino chip is used, which is a free hardware platform based on an electronic plate with 6 analogous inputs and 14 digital inputs/outputs, an Atmel microcontroller, all within an integrated development environment for the programming of the microcontroller (Wilcher, 2012). In order to store the information generated by the sensor, a microSD memory card should be connected to the microcontroller by means of a microSD shield, which is a plate that communicates the Arduino with the microSD card (Banzi, 2011). In order to keep control of time, a DS1307 sensor is utilized. For user interaction, an LCD screen is installed with a capacity to show 32 characters in two rows.

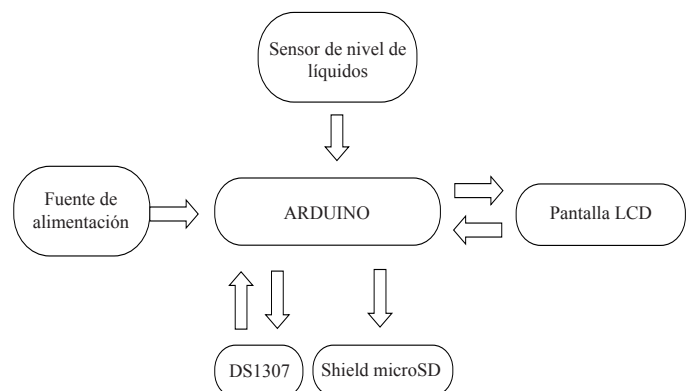


Figura 3. Diagrama de bloques de circuito electrónico.
Figure 3. Electronic circuit block diagram.

Cuadro 1. Componentes del sistema de software.
Table 1. Software components of the system.

Componente	Tecnología empleada	Propósito
Software principal	Java	Permite comunicar a la computadora y el usuario para que éste pueda llevar un sencillo control de la información.
Reportes gráficos	JFreechart	Su objetivo es presentar información en forma de gráficas.
Reportes en formato Excel	Apache POI (librería de código en JAVA)	Permite al usuario trasladar a hojas de cálculo la información referente a los eventos de lluvia.
Reportes en formato PDF	iText	Permite al usuario generar un documento portátil con la información obtenida por el sistema.
Software de microcontrolador	Arduino	Procesa y almacena todas las lecturas del instrumento.

El circuito electrónico permite la comunicación con el usuario a través de la pantalla LCD y los botones que le permiten ajustar la fecha y hora en que se comenzará a medir la cantidad de precipitación pluvial (Figura 4).



Figura 4. Interfaz del hardware.
Figure 4. Hardware interphase.

En la Cuadro 2 se presenta el costo de cada elemento que compone la estructura construida.

Cuadro 2. Costos del instrumento.
Table 2. Costs of the instrument.

Elemento	Costo (en pesos)
Estructura PVC con sistema de sifón	\$1 000.00
Placa arduino Uno	\$400.00
Sensor de nivel de líquidos e Tape Millone	\$850.00
RealTime clock DS1307	\$120.00
MicroSD Shield para Arduino	\$240.00
Pantalla LCD	\$280.00
Costo total	\$2 890.00

El software desarrollado para este instrumento se puede ejecutar sobre un equipo de cómputo portátil o de escritorio y se compone de los siguientes módulos: El módulo principal, se encarga de presentar al usuario la información que se tiene

As a fundamental part of this instrument, a program was developed to interpret the data processed by the electronic system. The first phase of this process was to determine a methodology to submit the development process of the program. The Agile methodologies for software development are characterized due to their focus on factors such as the human factor or the software product (Reingart, 2012). For the development of this work, the Personal Software Process (PSP) methodology was chosen due to its focus on the management of the programmers' individual work (von Kinsky *et al.*, 2011). The PSP is a methodology that consists of a group of disciplined practices for time management (Salinas *et al.*, 2011) and improvement of the personal productivity of the programmers or software engineers regarding software development tasks (Rodríguez, 2013).

The structure of the PSP process comprises the following phases: requirement analysis, planning, design, codification, compiling, tests and post-mortem (Watts, 1994). The methods used by this methodology have been introduced in a series of seven versions, and each one introduces new elements which are registered in various formats. In this work, the script version PSP0 was utilized which has four forms: PSP0 Project Plan Summary, PSP0 Time Recording Log, PSP0 Defect Recording Log, and PSP0 Defect Type Standard. It is utilized to defy standard defect types (Chávez and Hoyos, 2013).

The final software product is comprised by the components shown in Table 1.

The electronic circuit permits communication with the user through the LCD screen and the buttons that allow for the adjustment of the date and time in which the measurement of the quantity of pluvial precipitation is to begin (Figure 4).

almacenada en el equipo de cómputo, de mediciones realizadas previamente; Módulo de eventos de lluvia, se encarga de calcular cuántos eventos de lluvia se registraron durante el periodo de tiempo en que el aparato estuvo midiendo (Figura 5). Para cada evento de lluvia presenta, fecha y hora en que comenzó a llover, duración en minutos del evento, cuantos mm de precipitación pluvial se registraron y la energía cinética de la lluvia; módulo de Excel, se encarga de almacenar en una hoja de cálculo la información de los eventos de lluvia; módulo de pluviogramas, el cual permite visualizar gráficamente como sucedió el evento de lluvia (Figura 5); módulo de hietogramas, para visualizar el hietograma correspondiente a cada evento de lluvia.

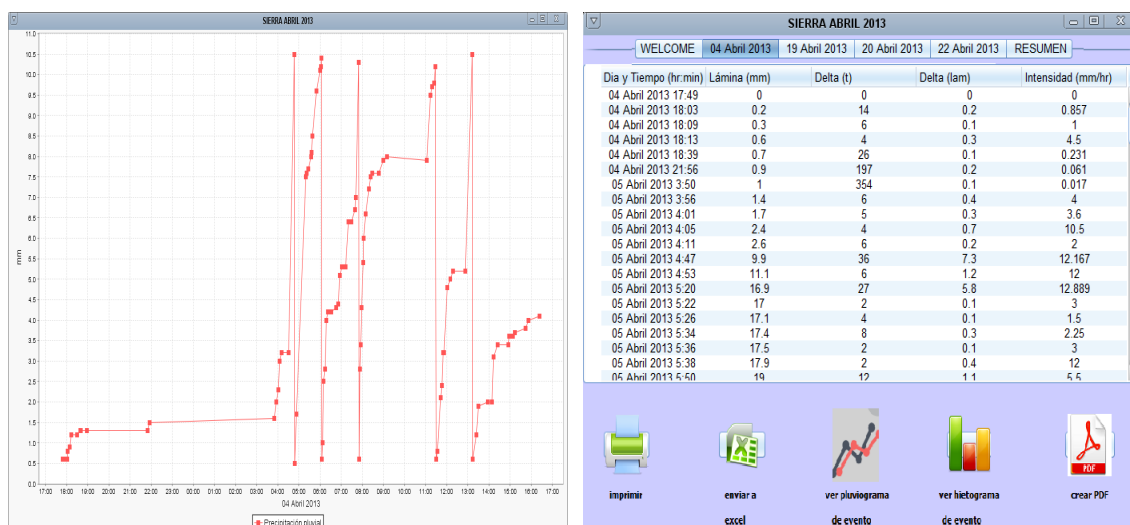


Figura 5. Pantalla de sistema que muestra un pluviograma y descripción de un evento de lluvia.
Figure 5. System screen that shows a pluviograph and description of a rain event.

Conclusiones

El sensor de nivel de líquidos presenta una buena correlación entre sus registros y las mediciones del pluviógrafo presentando una histéresis de $\pm 5\%$. El costo del instrumento propuesto lo hace asequible a bajos presupuestos conservando, incluso mejorando la precisión en sus mediciones.

Literatura citada

- Banzi, M. 2011. Getting Started with Arduino. Editorial O'REILLY. 130 p.
Barker, A. 1966. Rain and like precipitation gauges. 3243999.
Capra, M.; Escala, D. and Morisio, M. 1997. Adapting the PSP to an SME context. SPI 97. How to Improve: Practice and Experience, The European Conference on Software Process Improvement. Conference Proceedings. SPI 97. Farnham, UK. 289-296 pp.

Table 2 shows the cost of each element that comprises the constructed structure.

The software developed for this instrument can be executed on portable computing equipment or desk computers and is comprised of the following modules. The main module is in charge of showing the user the information it has stored in the computer equipment, of measurements carried out previously. The rain events module is in charge of calculating how many rain events were registered during the timeframe in which the apparatus was measuring (Figure 5), and for each rain event shown, the date and hour in which it started to rain, the duration of the event in minutes, how many mm of pluvial

precipitation were registered, and the kinetic energy of the rain. The Excel module is in charge of storing in a spreadsheet the information for the rain events. The pluviographs module allows for the graphical visualization of how the rain event occurred (Figure 5). The hietographs module is utilized to visualize the hietograph corresponding to a rain event.

Conclusions

The liquid level sensor shows a good correlation between its registers and the measurements of the pluviograph showing a $\pm 5\%$ hysteresis. The cost of the proposed instrument allows flexibility for low budgets, even improving measurement precision.

End of the English version



- Chappell, R. and Colt, R. 1938. Float type rain gauge. 2118459.
- Chavez-Soledispa, A. R. and Duran-Hoyos, E. 2011. Aplicación de PSP para el desarrollo de un sistema administrador de códigos de barra. Artículo de Tesis de grado. Facultad de Ingeniería en electricidad y computación, Ecuador.
- Delitala, A. M.; Deidda, R.; Mascaro, G.; Piga, E. and Querzoli, G. 2010. Systematic recover of long high-resolution rainfall time series recorded by pluviographs during the 20th century. *Geophysical research*. 12:801-804 pp.
- Fiser, O. and Kveton, V. 2006. Stability of rain-rate distribution: how many years to measure? *Electronics letters*. 42(10):567-569 pp.
- Méndez, A.; Hernández-González, A.; Garrido-Monagas, M. and Gilbert, A. A. 2013. Captación de lluvia con pluviógrafos de cubeta y su postprocesamiento. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 73-87 pp.
- Mojardi-Gilan, H.; Ahmadi, H.; Jaafari, M.; Bihamta, M. and Salajegheh, A. 2010. Study of the temporal distribution pattern of rainfall effect on runoff and sediment generation using rain simulator (Case study: Alvand Basin). *World Applied Sciences Journal*. 11(1):64-69 pp.
- Reingart, M. 2012. Plataforma de desarrollo rápido de aplicaciones bajo el proceso de Software personal: en búsqueda de agilidad, solidez y disciplina para la Ingeniería de Software. 15 Concurso de Trabajos estudiantiles. Compendio de trabajos de grado. Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina. 344-367 pp.
- Rodriguez-Vazquez, S. 2013. Arquitectura organizacional para soluciones empresariales de software. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. 7(3):1-13 pp.
- Salinas, E.; Cerpa, N. y Rojas, P. 2011. Arquitectura orientada a servicios para software de apoyo para el proceso personal de software. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. 19(1):40-52 pp.
- Sandoval, G.; González, L.; Mosquera, V. y Molano, J. 2010. Pluviógrafo electrónico con transmisión de datos inalámbrica. *Revista colombiana de Tecnologías de Avanzada*. 2(16):67-73 pp.
- Sansom, J. 1987. Digitising pluviographs. *Journal of Hydrology*. 26(2):197-209 pp.
- Sen, R. and Singh, M. P. 2007. Effect of ran on millimeter - wave propagation. *International Symposium on Rainfall Rate and Radio Wave Propagation*. 45-76 pp.
- Technologies, M.). Obtenido de <http://www.adafruit.com/datasheets/eTapeApp.pdf>. Consultado diciembre 2013.
- Vannitsem, S. and Naveau, P. 2007. Spatial dependences among precipitation maxima over Belgium. *Nonlinear Processes in geophysics*. 14:621-630 pp.
- Von-Konsky, B.; Ivins, J. and Robey, M. 2005. Using PSP to evaluate student effort in achieving learning outcomes in a software engineering assignment. *ACE '05 Proceedings of the 7th Australasian conference on Computing education*. Australian Computer Society, Inc. Darlinghurst, Australia. ISBN: 1-920682-24-4. Volumen 42. 193-201 pp.
- Watts, H. 2000. *Introduction to te personal Software process*. Sydney, Addition-Wesley, ISBN 0201548097.
- Wilcher, D. 2012. *Learn Electronics with Arduino*. Technology in action. Editorial Technology in action. 269 p.