

Desarrollo de un Planificador Embebido para la Gestión de Riego Automático aplicado a invernáculos. Implementación en INTA El Sombrero

José Manuel Alonso¹, Hugo Ferrari², Iván Sambrana¹, Emanuel Irrazábal¹,

¹ Departamento de Informática,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
Universidad Nacional del Nordeste

² Departamento de Ingeniería,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
Universidad Nacional del Nordeste
eirrazabal@exa.unne.edu.ar

Abstract. Las nuevas tecnologías son ampliamente utilizadas en la producción agrícola. Entre ellas, los sistemas de riego automatizados permiten mejorar el rendimiento de los cultivos y es un insumo para la investigación agropecuaria. En este trabajo se describe el desarrollo de un Planificador Embebido para la Gestión de Riego Automático en el marco de las necesidades del grupo de investigación de INTA El Sombrero - Corrientes. Se construyó un sistema basado en tecnología Arduino y una plataforma web de configuración. La solución tuvo en cuenta el riego manual y automático; y una arquitectura software-hardware ampliable. Se trabajó con una metodología iterativa-incremental y un equipo interdisciplinario de expertos en las áreas de sistemas de información, electrónica y la comunicación constante con el grupo de investigación. Esto facilitó el desarrollo del prototipo y el cumplimiento de los requisitos del sistema, el cual está siendo utilizado en un invernáculo dedicado a investigación.

Keywords: planificador automático de riego, INTA, Arduino.

1 Introducción

La actividad agrícola es una de las principales fuentes de producción de alimentos en el ámbito mundial. Y en particular, para la economía Argentina esta actividad aporta un 9% de su Producto Bruto Interno [1]. En este sentido, la agricultura necesita recursos básicos para su desarrollo: agua y energía eléctrica [2]. Por otro lado el incremento de la población conlleva una mayor demanda alimenticia. Esto plantea la necesidad de hacer más eficientes los procesos de producción para maximizar el rendimiento de los cultivos [2].

Las nuevas tecnologías de la computación y la comunicación ofrecen soluciones que pueden adaptarse a las necesidades de la agricultura para una producción más eficiente en el uso de recursos y por lo tanto más sustentable económica, ambiental

y socialmente. Entre ellas se encuentran los desarrollos relacionados con la automatización del riego. Desde hace varios años se han implementado sistemas de riego que permiten un uso más racional del agua [2][3][4][5][6][7]. La eficiencia en la aplicación y la productividad del agua de riego son temas prioritarios, teniendo en cuenta que la agricultura bajo riego es la mayor demandante, en la competencia con los otros usos (urbanos, recreativos, industriales y energéticos), utilizando aproximadamente el 70 % agua dulce que se consume en todas las actividades [8].

Para los diferentes cultivos existen requerimientos particulares para lograr un óptimo desarrollo y productividad. Cada fase del desarrollo del cultivo requiere un mínimo de acumulación de temperatura, así como necesidades hídricas y nutricionales que varían a lo largo de cada fase [9]. Esto hace indispensable tener un control asistido de estos parámetros. En diversas zonas de Argentina existe una gran variabilidad climatológica, como por ejemplo en el Nordeste (NEA) y, particularmente en la provincia de Corrientes. Esta es una región mayormente subtropical, con veranos cálidos y húmedos e inviernos templados y secos [10]. Además, las previsiones sobre los efectos del cambio climático para regiones subtropicales como el NEA, indican que las temperaturas serán cada vez más altas en verano, llegando a ser extremas y más bajas en invierno, con heladas y ocasionalmente caídas de granizo [11]. Esto afecta negativamente a los cultivos en el campo, promoviendo el uso de tendaleros con riego artificial controlado [12]. Pero no solo tiene utilidad en el marco de las actividades productivas, sino que también es necesario para las actividades de investigación en el ámbito agropecuario.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) desarrolla diferentes líneas de investigación para mejorar el desarrollo de los cultivos [13]. Y uno de los insumos necesarios es asegurar el control de las variables ambientales en los laboratorios e invernáculos. Por lo tanto, la inclusión de los sistemas de riego automatizados es un insumo para el desarrollo de actividades de investigación agropecuaria.

Ahora bien, los esquemas de riego estáticos tradicionales no se ajustan adecuadamente a las necesidades hídricas de los cultivos en producción o de los ensayos en el ámbito de investigación [14].

Todo esto ha motivado el siguiente trabajo, en el cual se describe el proyecto y posterior desarrollo de un Planificador Embebido para la Gestión de Riego Automático (PEGRA) para uso en investigación y como prototipo para uso bajo tendalero; en el marco del grupo de forrajes de INTA El Sombrero ubicado en la provincia de Corrientes.

El artículo está compuesto por 5 secciones. Además de la sección introductoria, en la segunda sección se detalla el análisis del problema y el diseño de la solución teniendo en cuenta otros desarrollos de sistemas de riego. En la sección 3 se describe la solución obtenida. En la sección 4 se describe el uso de PEGRA en un invernáculo de investigación en INTA. Finalmente en la sección 5 se describen las conclusiones y los trabajos futuros.

2 Diseño de la solución

El presente trabajo se ha desarrollado a partir de la construcción de un planificador de riego automatizado para uso académico de acuerdo con las necesidades de la Estación Experimental INTA – El Sombrero situada a 30 Km. al sur de la ciudad de Corrientes. Este prototipo se utilizará en el marco de los proyectos “Generación y evaluación de poblaciones de híbridos de *Setaria sphacelata* y *Acroceras macrum*, dos especies forrajeras para el nordeste argentino” y “Desarrollo de cultivares superiores de especies forrajeras para sistemas ganaderos y agrícola-ganaderos de la Argentina” en los que participa la Dra. Silvana Ferrari, haciendo un uso intensivo de invernáculos para el desarrollo de sus experimentos. De acuerdo a lo expuesto por la Dra. Ferrari existe una baja utilización de sensores y herramientas informáticas lo que dificulta conocer las necesidades hídricas de los cultivos y plantear una correcta estrategia de riego.

A partir de una serie de reuniones mantenidas con los integrantes del grupo de investigación se consensuaron los requisitos del PEGRA (ver Tabla 1). En la primera columna de la tabla se incluye un identificador del requisito.

Tabla 1. Requisitos Funcionales del PEGRA.

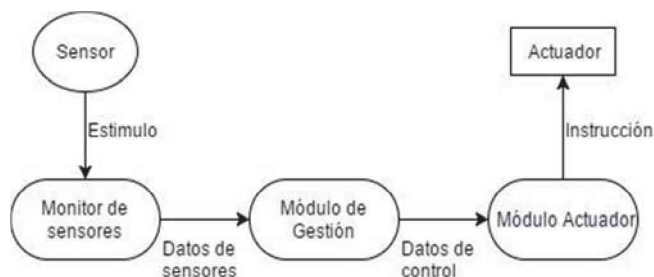
| Ref. | Título | Descripción |
|-------|---|---|
| RF_1 | Riego estático | El sistema regará por tiempo de forma periódica. |
| RF_2 | Riego Automático | El sistema mantendrá automáticamente la humedad del suelo dentro de un rango definido. |
| RF_3 | Gestión remota | El sistema se configurará de forma remota. |
| RF_4 | Sincronización con servidor Web | El sistema se sincronizará con el servidor web para obtener las configuraciones de riego y enviar datos del ambiente y logs del sistema. |
| RF_5 | Sectorización | El sistema gestionará diferentes parcelas de un invernáculo. |
| RF_6 | Perdurabilidad de los datos | El sistema guardará los datos de configuración, logs y censado en un sistema gestor de base de datos. |
| RF_7 | Redundancia de datos | El sistema guardará los datos en una tarjeta SD para que no se pierda información si la conexión falla. |
| RF_8 | Control de acceso | El sistema permitirá el acceso al servicio web solo a los usuarios registrados. |
| RF_9 | Visualizador web del estado de los sectores | El usuario visualizará el último estado guardado de las variables ambientales del sector. |
| RF_10 | Visualizador web del historial del sector | El usuario visualizará un gráfico de los cambios en las variables climatológicas del sector entre dos intervalos de tiempo en un rango de horas y días. |

Teniendo en cuenta estos requisitos se continuó con el diseño de la solución. Para ello se analizaron trabajos similares a nivel regional e internacional. En la Tabla 2 se resumen estos trabajos teniendo en cuenta el tipo de riego desarrollado y el equipamiento seleccionado para construir la solución.

Tabla 2. Resumen de soluciones de riego.

| Referencia | Tipo de Riego | Controlador | Sensor | Actuador |
|------------|----------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| [6] | Goteo | Arduino UNO | SEN92355P | Bomba de agua |
| [5] | Humidificación | Arduino UNO | DHT11 | Humidificador |
| [3] | Goteo | Arduino UNO y Raspberry PI | YL-69, DHT11 | Electroválvula y bomba de agua |
| [4] | Aspersión | Arduino UNO y Raspberry PI | DHT22, FC- 37 | Electroválvula |
| [7] | Goteo | pic16f877a | RM1500, YL-69 | Electroválvula |

De acuerdo a lo analizado en otras soluciones, los sistemas de riego automatizado cuentan, en general, con 3 subsistemas. Por un lado el Módulo de monitoreo de sensores con los que diferentes sensores (especialmente de humedad) obtienen datos del medio. Por otro lado el Módulo de Gestión, donde se procesan las mediciones y, opcionalmente, se obtienen los datos de control, como por ejemplo, la humedad deseada. Y finalmente el Módulo actuador que controla el riego. En la Fig. 1 se puede ver un esquema sencillo de los tres Subsistemas. Este tiene un diseño análogo al modelo general de un sistema embebido de tiempo real presentado [15].

**Fig. 1.** Modelo general de un sistema embebido.

A modo de resumen, en las soluciones descritas en la Tabla 2, Arduino UNO es el controlador más utilizado para el desarrollo de módulos de monitoreo de sensores y módulos actuadores. El método utilizado para determinar el contenido de humedad en el suelo es la medición de la resistividad eléctrica [16]. Y el tipo de riego utilizado en la mayoría de las soluciones es el riego localizado, siendo el riego por goteo el que presenta mayor eficiencia respecto del uso del agua.

3 Desarrollo de la solución

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se ha seleccionado una solución del tipo arquitectura cliente-servidor que estará compuesta por diferentes módulos (ver Fig. 2). Por un lado se encuentra el Módulo de Gestión. Por otro lado los Módulos de Servicios Web (Interfaz de usuario e Interfaz con el controlador) estarán alojados

en un servidor de tecnología Linux y procesarán peticiones de los clientes y comunicarse con el Módulo de base de datos. Finalmente el Módulo de base de datos será el que guarde la información obtenida por los sensores y las configuraciones generadas por los usuarios.

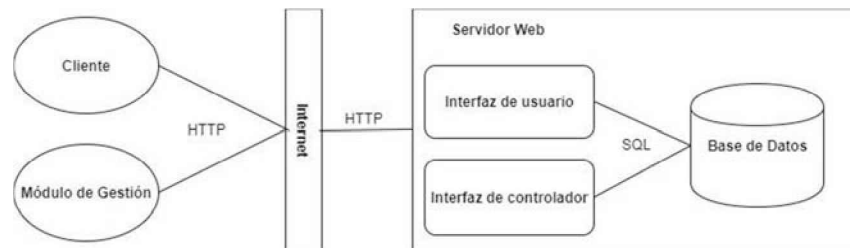


Fig. 2. Arquitectura cliente-servidor del PEGRA.

En la Fig. 3 se indican los procesos que componen el Módulo de Gestión. El Monitor de humedad del suelo será el encargado de tomar mediciones periódicas de los sensores YL-69, los valores obtenidos serán comparados en el proceso de control de humedad con los parámetros de humedad máxima y mínima establecidos por el usuario. El proceso de control de válvula es el encargado de encender o apagar la válvula de agua. Por otro lado el proceso de comunicación se encarga de enviar de forma periódica los datos procesados por el control de humedad y los eventos registrados en el monitor de estado de válvula. Además este proceso establece una comunicación periódica con la interfaz de controlador del servidor Web para obtener los ajustes de riego de la base de datos.



Fig. 3. Arquitectura del módulo de gestión del PEGRA.

Para el Módulo de Gestión se ha seleccionado el microcontrolador Arduino UNO. De acuerdo con las referencias estudiadas en la Tabla 2, este microcontrolador ha demostrado ser confiable. Además se utilizarán sensores YL-69 para realizar la medición de humedad del suelo por resistividad eléctrica. Para las mediciones de temperatura y humedad relativa del ambiente se utiliza el sensor DHT11, este sensor es apto para las condiciones ambientales de la región ya que el rango de temperaturas que puede obtener oscila entre los 0 y 50 grados Celsius con

una precisión de ± 2 grados [17]. También se utilizará una electroválvula Rain Bird 100 DVF accionada por un módulo Relay.

3.1 Metodología de desarrollo

Para la construcción de la solución se ha seguido una metodología Iterativa e Incremental. En un desarrollo iterativo e incremental el proyecto se planifica en diversos bloques temporales llamados iteraciones. Un aspecto fundamental para guiar el desarrollo iterativo e incremental es la priorización de los objetivos/requisitos en función del valor que aportan al cliente [18].

Teniendo esto en cuenta se han planificado cinco fases incrementales, tal y como se describe a continuación:

En la primera fase se ha realizado la planificación, el desarrollo y testeo del prototipo del Módulo de gestión de riego estático. Esta funcionalidad permite al usuario configurar la gestión de riego por tiempo.

En una segunda fase se ha diseñado la estructura y se ha creado la base de datos relacional con la cual mantener los datos de gestión. En la tercera fase se diseñó y desarrolló la interfaz entre la base de datos y el Módulo de Gestión con la tecnología API Rest [19].

En la cuarta fase se ha diseñado, desarrollado y probado un nuevo prototipo del Módulo de Gestión que incorpora las funcionalidades de gestión automática de riego. En una quinta y última fase se ha desarrollado la interfaz web de usuario. Esta interfaz permite que el usuario pueda gestionar la configuración de riego y ver los valores actuales de las variables del microclima dentro del invernáculo, así como también los datos históricos del mismo.

4 Implementación del planificador en INTA – El Sombrero

Una vez construido el prototipo funcional se planificó su uso en el ámbito académico de la Estación Experimental INTA – El Sombrero. Como se ha descrito en la sección 2, este prototipo se utilizará en el marco de los proyectos de investigación del grupo de forrajes, en sus invernáculos experimentales.

La implantación del prototipo fue realizada en 4 pasos. En el primer paso se instalaron las tuberías, válvulas y aspersores de agua. Se diseñó una estructura formada por 3 secciones de caños de polipropileno, válvulas y aspersores conectados a una fuente de agua suministrada por un tanque de 40 metros de altura. Uno de los puntos a tener en cuenta aquí fue asegurar el caudal y la presión del agua para lograr un riego eficaz. Para ello se realizaron los cálculos correspondientes a la demanda de presión y caudal [20] para cada sección como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de la demanda de presión y caudal de las tuberías.

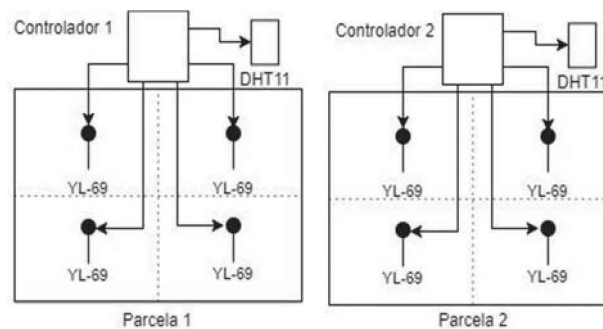
| Tubería porta emisores | Sección 1 | Sección 2 | Sección 3 |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Presión de operación | 2 bares | 2 bares | 2 bares |
| Diámetro de la tubería | ½" | 1" | 1" |
| Caudal | 0,88 m ³ /h | 2,51 m ³ /h | 2,51 m ³ /h |
| Velocidad | 1,25 m/s | 1,25 m/s | 1,25 m/s |

En el segundo paso de implantación del prototipo se instalaron los elementos de comunicación para el proceso de gestión de la comunicación descrito en la Fig. 3. Para asegurar la correcta comunicación entre el módulo interfaz de controlador y la placa controladora se utilizó una conexión cableada Ethernet con UTP a un Router conectado a Internet por Banda Ancha.

El paso 3 fue el montaje de la placa Arduino junto la fuente de alimentación dentro de un panel protector, para evitar la exposición a la humedad y la radiación solar que reducen la vida útil de los componentes.

Finalmente, en el cuarto paso se instaló el panel con la placa Arduino en el invernáculo junto con el sensor DHT11 y los sensores de humedad del suelo. La elección del esquema (Ver Fig. 4) sigue las siguientes premisas:

- Obtener medidas representativas de la humedad del suelo. Para esto se dividió la parcela en cuadrantes y se ubicó un sensor YL-69 en el centro de cada cuadrante.
- Obtener temperatura y humedad del ambiente dentro del invernáculo: El sensor DHT11 se instaló en la parte más alta del invernáculo.

**Fig. 4.** Distribución de sensores

La gestión web se realizó configurando las parcelas del invernáculo. En este caso fueron dos parcelas. En la primera se probó la configuración de riego automático con los siguientes parámetros: 40% de humedad del suelo como mínima y 60% de humedad del suelo como máxima. El sistema logró estabilizar la humedad del suelo en 50%. En la Fig. 5 –izquierda se pueden ver los resultados. Asimismo, en la segunda parcela se probó la configuración de riego manual (estático) a un ritmo de 30 minutos de riego cada 6 horas. Los resultados pueden verse en la Fig. 5 –derecha. El ritmo de riego manual fue aumentando la humedad relativa hasta el 75% aproximadamente, donde tendió a estabilizarse.

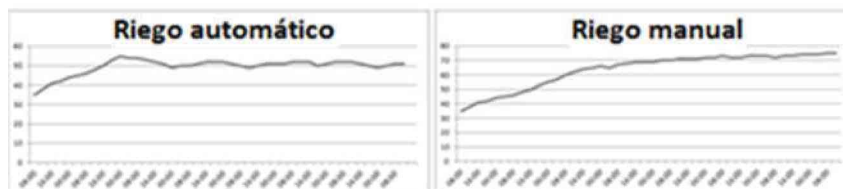


Fig. 5. Resultados de la gestión de riego automático y manual

En la Tabla 4 se analiza el grado de cumplimiento de cada requisito establecido previamente en la Tabla 1 y se incluyen oportunidades de mejora como posibles trabajos futuros.

Tabla 4. Cumplimiento de los requisitos del sistema.

| Ref. | Título | Cumplimiento | Oportunidades de mejora |
|-------|---|---------------|---|
| RF_1 | Riego estático | Completado | No detectadas. |
| RF_2 | Riego Automático | Completado | No detectadas. |
| RF_3 | Gestión remota | Completado | No detectadas. |
| RF_4 | Sincronización con servidor Web | Completado | No detectadas. |
| RF_5 | Sectorización | Completado | No detectadas. |
| RF_6 | Perdurabilidad de los datos | Completado | No detectadas. |
| RF_7 | Redundancia de datos | No Completado | Incorporar un módulo SD al microprocesador. |
| RF_8 | Control de acceso | No Completado | Mejorar el control de acceso al servicio web. Mejorar la usabilidad. |
| RF_9 | Visualizador web del estado de los sectores | Completado | Posibilidad de graficar los sectores. |
| RF_10 | Visualizador web del historial del sector | Completado | No detectadas. |

5 Conclusiones y Trabajos Futuros

A lo largo de este trabajo se construyó el Planificador Embebido para la Gestión de Riego Automático (PEGRA) que tuvo en cuenta dos tipos de riego: manual y automático; y una arquitectura capaz de ser ampliada a mayor cantidad parcelas controladas.

Asimismo, el uso de una metodología Iterativa e Incremental mejoró la comunicación con el usuario final logrando una solución más acorde a sus necesidades. Además el cliente obtuvo prototipos funcionales desde los primeros incrementos del desarrollo.

Para la construcción del prototipo se trabajó con un equipo interdisciplinario, con expertos en las áreas de sistemas de información, electrónica y con una experta en el área de aplicación. Esto facilitó el desarrollo de un prototipo que cuenta con

características adecuadas en cuanto al desarrollo del software, el uso adecuado de los sensores y actuadores, y la configuración adecuada de una interfaz útil.

Los resultados se ajustan a las dos siguientes líneas:

A través del trabajo en equipo interdisciplinario se logró contribuir al conocimiento integral y las relaciones con la naturaleza del problema. Además de contribuir con la autoformación de los miembros del equipo y la participación individual, colectiva e integral en el proyecto [21].

La aplicación de una metodología iterativa e incremental permitió obtener prototipos funcionales desde etapas tempranas del proyecto [18]. Esto además permitió gestionar de manera natural los cambios de requerimientos que surgieron durante el desarrollo de las funcionalidades.

Como trabajo futuro se abordarán las mejoras propuestas por los requerimientos que no se cumplieron conforme se habían propuesto en el inicio del proyecto. Para ello, al finalizar el proyecto se realizó una reunión del tipo Planning Poker [22] para priorizar las oportunidades de mejora de manera grupal [21]. Las dos actividades prioritarias fueron las siguientes: se incorporarán al Módulo de Gestión una tarjeta SD para asegurar la perdurabilidad de los datos y se implementará los roles de usuario para la aplicación web.

Agradecimientos

A la Dra. Silvana Ferrari de la Estación Experimental INTA – El Sombrero y al Proyecto de Investigación "Métodos y herramientas para la calidad del software". PI "F010" SGCyT FaCENA – UNNE.

Referencias

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org. [En línea] 2010. [Citado el: 30 de Mayo de 2017.] <http://www.fao.org/3/a-bp551s.pdf>.
2. Modelo a escala de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía solar fotovoltaica: nueva perspectiva para el desarrollo agroindustrial colombiano. MARTÍNEZ, Germán Arturo López, MORENO, Flor García y FIERRO, Juan Bedoya. 2014, Revista Tecnura, Vol. 17, págs. 33-47.
3. Castro Silva, Juan Antonio. Sistema de riego autónomo basado en la internet de las cosas. Neiva, Colombia: s.n., 2016.
4. Escalas Rodríguez, Gabriel. Diseño y desarrollo de un prototipo de riego automático controlado con Raspberry Pi y Arduino. Barcelona, España: s.n., 2014.
5. Escamilla Martínez, Fernando. Automatización y telecontrol de sistema de riego. Gandía, España: s.n., 2016.
6. Hernandez Garcia, C. Itzel. Diseño de un sistema automatizado de riego para el cultivo de tomate y pimiento bajo invernadero. Xalapa Enríquez, México: Diciembre de 2014.
7. An Intelligent Smart Irrigation System Using WSN and GPRS Module. Manimaran, P. . 6, 2016, International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 11, págs. 3987-3992.
8. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de Junio de 2017.] <http://inta.gob.ar/proyectos/PNAGUA-1133043>.

9. Rawson, Howard M. y Gómez Macpherson, Helena. Descripción de los problemas y soluciones - Factores ambientales. Trigo regado. Manejo del cultivo. Roma : Food and Agriculture Organization of the united Nations, 2001.
10. Ministerio del Interior, Obras Publicas y Viviendas. www.mininterior.gov.ar. [En línea] 2016. [Citado el: 02 de 05 de 2017.]
11. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [En línea] [Citado el: 28 de Junio de 2017.] http://climayagua.inta.gov.ar/que_es_el_fenomeno_el_niño.
12. Magrin, Graciela, y otros, y otros. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [En línea] Abril de 2003. [Citado el: 28 de Junio de 2017.] http://climayagua.inta.gov.ar/sites/default/files/cambiocli/Vulnerabilidad_Produccion_Agricola_Region_Pampeana.pdf.
13. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [Inta.gov.ar](http://inta.gov.ar). [En línea] 2016. [Citado el: 30 de Mayo de 2017.] <http://inta.gov.ar/sites/default/files/intapresentacionespanol.pdf>.
14. Pereira, Luis Santos, y otros, y otros. Riego localizado. El riego y sus tecnologías. Albacete, España : Europa-América, 2010, págs. 229 - 231.
15. Sommerville, Ian. Software Embebido. Ingeniería de Software. Naucalpan de Juárez, Estado de México : Pearson Educación, 2011, págs. 540 - 554.
16. Martin, Edward C. The University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences. [En línea] Enero de 2017. [Citado el: 26 de Junio de 2017.] https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1220s-2017_0.pdf.
17. D-Robotics UK. www.droboticonline.com. [En línea] 30 de Julio de 2010. [Citado el: 26 de Junio de 2017.] <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>.
18. Proyectos Agiles. [Proyectos Agiles.org](http://ProyectosAgiles.org). [En línea] Creative Commons, 2017. [Citado el: 19 de Abril de 2017.] <https://proyectosagiles.org/desarrollo-iterativo-incremental/>.
19. Marqués, Asier. Asiermarques.com. [En línea] 11 de Abril de 2013. [Citado el: 27 de Junio de 2017.] <http://asiermarques.com/2013/conceptos-sobre-apis-rest/>.
20. Comeval Valve System, S.L. y CIA. www.comeval.es. [En línea] Agosto de 2012. [Citado el: 27 de Junio de 2017.]
21. Pizarro Aguilar, Roxana. BINASSS. [En línea] [Citado el: 29 de Junio de 2017.] <http://www.binasss.sa.cr/bibliotecas/bhp/cupula/v8n17/art3.pdf>.
22. Romeu, Alberto. Albertoromeu.com. [En línea] 9 de Octubre de 2014. [Citado el: 30 de Junio de 2017.] <http://albertoromeu.com/scrum-planning-poker/>.