

Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación  
2018-2019

*Trabajo Fin de Grado*

Diseño de implementación de un sistema para monitorización de cultivos y equipos agrícolas

Clemente Rodríguez Arráez

Tutora

Florina Almenares Mendoza

(Lugar y fecha de presentación prevista)

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons



**Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

<Página en blanco>

<Página del tribunal>

<Página en blanco>

<Agradecimientos>

<Página en blanco>

<Resumen>

<Página en blanco>

<Abstract>

<Indice general>

<Índice de figuras>

<Índice de tablas>

<Capítulo 1. Introducción y Objetivos>

Índice general

1. Introducción y Objetivos
   1. Introducción
   2. Objetivos
   3. Fases del desarrollo
   4. Estructura de la memoria
2. **Estado del arte**
   1. Red de sensores inalámbricas
      1. Usabilidad de las Redes de sensores inalámbricas
      2. Arquitectura de la red de sensores en la agricultura
      3. Arquitectura de los nodos sensores
   2. Internet de las Cosas\*
   3. Tecnología y estándares usados en la agricultura\*
   4. Medios Empleados\*\* (Podría ir al punto 1)
3. **Definición del problema**
4. **Diseño lógico**
5. **Implementación**
   1. Simulación en PC usando WiFi \*
   2. Implementación en la realidad \*
6. **Presupuesto**
7. **Marco regulador**
8. **Conclusiones**
9. **Referencias**

Índice de figuras

1. **Introducción y Objetivos**

Índice de tablas

1. **Introducción y Objetivos**

**Capítulo 1**

Introducción y Objetivos

El primer capítulo del presente documento tiene como objetivo introducir al lector en el entorno en el que se mueve este proyecto. Además, se presentarán los objetivos a realizar. Así pues, la primera sección se explica el contexto donde se enmarca el trabajo. Acto seguido, se expondrán los problemas existentes en este ámbito para fijar en la siguiente sección los objetivos que se tratarán de alcanzar al final de este proyecto. Después, se mostrarán los medios utilizados para hacer posible el proyecto y finalmente, se presentará una estructura del documento indicando los capítulos que lo formarán junto con una descripción detallada del contenido en cada uno de ellos.

* 1. Introducción

Antes, hoy y mañana, el ser humano ha tenido la necesidad de construir y desarrollar nuevos objetos que faciliten su trabajo y mejoren su calidad de vida [<https://www.areatecnologia.com/historia-evolucion-tecnologia.htm>]. Entre los aspectos más notables en el área de las comunicaciones y la computación, destaca la aparición de los ordenadores personales y el acceso a internet. Estos dos elementos permiten que gran parte de empresas y organizaciones puedan intercambiar una gran cantidad de información en un tiempo muy corto. Además, la aparición de los dispositivos móviles inteligentes supuso un cambio muy drástico en la sociedad actual ya que la comunicación entre personas se ha facilitado radicalmente pasando de las cartas o las cabinas de teléfono a hacer llamadas desde un terminal de bolsillo. De hecho, otro paso para mejorar la efectividad de los trabajos se consigue gracias a la aparición del Internet de las Cosas, no solo teléfonos, sino miles de millones de dispositivos electrónicos (como televisiones, electrodomésticos, sensores…) están conectados a Internet [<https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/iot-connections-to-grow-140-to-hit-50-billion>]. La posibilidad de compartir información de manera instantánea en cualquier parte del mundo elimina por completo las barreras que impedían el acceso a la comunicación y la información.

Desde la comunicación y la información, aparecen las Tecnologías de la Información y la Comunicación (o TIC) que son todos aquellos recursos, herramientas y programas que se utilizan para procesar, administrar y compartir la información mediante diversos soportes tecnológicos [<http://tutorial.cch.unam.mx/bloque4/lasTIC>]. Forman parte de la mayoría de sectores como la educación, robótica, el empleo, la salud o la alimentación [<http://noticias.iberestudios.com/%C2%BFque-son-las-tic-y-para-que-sirven/>]. Por ejemplo, en el punto de la alimentación, la agricultura y la ganadería están abiertas a este mundo de nuevas posibilidades ya que es necesario satisfacer la demanda de alimento de la población mundial que está en constante crecimiento. Muchas actividades como la siembra, la gestión del rebaño, la fertilización de las tierras o el mantenimiento de la máquina agrícola se pueden automatizar y aumentar la producción sin tener que malgastar grandes cantidades de recursos que son esenciales diariamente [S. Adamala, N.S. Raghuwanshi, A. Mishra [Development of surface irrigation systems design and evaluation software (SIDES)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169913002743) Comput. Electron. Agric., 100 (2014), pp. 100-109].

* 1. Problema

Para continuar con el mundo de la agricultura y la ganadería, el siguiente proyecto se centrará en un municipio de Toledo, llamado Corral de Almaguer, a 100 kilómetros de Madrid. Su economía se basa principalmente en la agricultura y la ganadería. En cuanto a la agricultura, se fomenta mucho la recolección de las uvas para su procesamiento en vino y de las aceitunas en aceite de oliva.

No obstante, no todo es recoger el fruto de la planta. Se necesita trabajar la tierra y la planta todo el año para que al final de este, se tenga mucho fruto y calidad. Una de las cosas más importantes que necesitan las plantas y las personas es el agua. Es el principio básico para vivir y sin ella, el tiempo de supervivencia es menor. En el caso de las plantas, morirían y su fruto se perdería. Para ello, una solución que se está utilizando hoy en día, es la extracción de aguas subterráneas que se encuentran en acuíferos a diferentes niveles bajo tierra. Gracias a los motores de gasoil o las placas solares, se obtiene energía suficiente para que las bombas que se encuentran debajo de la superficie extraigan el agua necesaria para uso urbano y/o agrícola.

El agua subterránea de los acuíferos se extrae mediante unas bombas de extracción de diferentes potencias (en función de los metros en los que esté el acuífero) y la energía que se utiliza para hacer funcionar las bombas es o bien solar (gracias a una placa solar fija en el suelo), o bien por motores de gasoil que no están fijos. Alejándose del tema medioambiental, muchos agricultores todavía optan por el motor de gasoil ya que con un motor pueden ir a diferentes pozos y regar todo el tiempo que consideren ya que la placa solar está fija en el suelo y depende de la luz del sol para funcionar.

Así pues, un aspecto que preocupa a los agricultores es la seguridad de su maquinaria agrícola, en especial de los motores de gasoil, debido a que en los últimos años se han producido robos totales de estas mismas [***justificación 1***]. Muchas de las veces las máquinas son irrecuperables ya que se han vuelto a vender de manera ilegal o se han desguazado para conseguir los metales de estas mismas [***Justificación 2***]. Este es un problema grave ya que estos motores tienen un valor sustancial y requiere de una inversión inicial por parte del agricultor para poder utilizarlos. ##Quizá se debería extender más. Poner algún dato de porcentaje de robos##·····

Para resolver estos problemas, que son comunes en la actualidad, es vital el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación. El empleo del Internet de las Cosas ayudaría a automatizar estas tareas y a impulsar el desarrollo de las zonas rurales conectándolas con el futuro. Un futuro que se llama sociedad digital.

* 1. Objetivos

El objetivo del trabajo fin de grado consiste en poder diseñar e implementar un sistema de sensores para la monitorización de cultivos (especializado en la vid) y equipos agrícolas (motores de gasoil) a partir de sensores.

* + 1. Objetivos Primarios

Principalmente, se hará hincapié en:

* El control del agua para un riego óptimo y evitar gastar más agua de la que necesita.
* El control de la seguridad del motor de gasoil y evitar su robo.
  + 1. Objetivos secundarios

Destinados para la mejora del proyecto en otros aspectos como:

* Encriptación: La información entre el sistema de sensores y la estación central se enviará de manera encriptada usando el estándar de cifrado AES (Advanced Encryption Standard).
* Desarrollo en diferentes sectores de cultivo. Será necesario determinar qué área (en metros cuadrados) abarca un sistema de sensores y cuántos de ellos se necesitarán para optimizar todo el cultivo.
  1. Especificaciones del sistema
* **Toma de datos**. Se tomarán datos de cinco variables: la humedad del suelo, #la temperatura ambiental (necesarios para la optimización del riego en base a parámetros de temperatura y radiación solar)#, la presencia de agentes externos como personas o animales, la velocidad de movimiento del motor de gasoil, su dirección en grados angulares en caso de que se esté moviendo y su geolocalización. Estas cuatro últimas variables ayudarán a determinar si se está produciendo un robo o no.
* **Sistema de comunicación**. Se trata de establecer un sistema de comunicaciones entre los sensores y la estación central. Para ello se utilizará el protocolo GSM mediante una tarjeta SIM.
* **Alimentación y consumo**. Se busca que el consumo de los sensores sea el más bajo posible. Además, se ha de tener en cuenta que el lugar de pruebas no está en la localidad, sino que puede encontrarse a kilómetros y no hay corriente eléctrica.
* **Almacenamiento**. Los datos se pueden almacenar temporalmente en el lugar de pruebas ya que se busca que la monitorización sea automática. Sin embargo, parte de la información se transmitirá a la estación central.
* **Bajo coste**. Al igual que en otros sectores, el dinero es un factor importante en este proyecto. Se conseguirá un diseño que sea lo menos costoso posible para su futura producción.
* **Marco regulador**. Es importante que todo el proyecto respete todas las leyes actuales. Se tratará buscar aquellas normas que puedan afectar al proyecto sobre todo en materia de comunicación y uso de los sensores.
  1. Estructura de la memoria

Sin tener en cuenta el presente capítulo, a continuación, se explicará cuáles son los siguientes capítulos del documento:

* **Capítulo 2. Estado del arte**: en este apartado se explicarán los conceptos actuales en los que se basará el proyecto, como el de las redes de sensores (Wireless Sensor Networks) y el Internet de las Cosas (Internet of Things) y los diferentes protocolos de comunicación. Así pues, se presentarán con detalle los dispositivos y sensores que van a ser útiles en este proyecto.
* **Capítulo 3. Diseño Lógico**: En un aspecto comercial, se explicará cuál deberá ser el diseño del proyecto para cumplir todos los objetivos que se proponen. Será un modelo lógico para entender cómo debería funcionar el sistema completo.
* **Capítulo 4. Implementación**: En el aspecto práctico, se explicará cómo se realizará un prototipo del proyecto y qué adaptaciones se harán para que siga funcionando de acuerdo con las especificaciones mínimas requeridas. #Se explicará el funcionamiento de los programas
* **Capítulo 5. Presupuesto**: En esta sección, se verá cual va a ser el coste de cada una de las partes del prototipo y como se distribuirían los gastos a lo largo del desarrollo del proyecto.
* **Capítulo 6. Marco Regulador**: De mostrarán aquellas normas o leyes que tengan relación con este proyecto y se explicará por qué se cumplen estas mismas.
* **Capítulo 7. Conclusiones**: En este apartado, se mostrarán los resultados obtenidos de la simulación del prototipo, así como propuestas de mejora para un mejor funcionamiento en el futuro. #No sé si incluir un capítulo que se llame anexos o referencias…

**Capítulo 2**

Estado del arte

Red de sensores: Desplegar sensores <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0168169915002379?token=B5389935C5DE3679DD3A838B98AAE77B77A200866B48549F693D26E6E3AD475E4E1ECC70D7329D6EA13DB40DB4CF7B2B>

Internet of things: Interpretar información y Automatizar

Antes de la presentación del diseño y la implementación del prototipo, se van a explicar una serie de conceptos que son esenciales para el trabajo. En primer lugar, se abordará el concepto de Red de sensores inalámbricas para explicar a continuación en qué consiste el Internet de las Cosas. Finalmente, se presentarán los dispositivos que fueron utilizados para cumplir con las expectativas del proyecto.

2.1. Red de sensores inalámbricas

Las redes de sensores inalámbricas (del inglés, WSN, *Wireless Sensor Networks*) están formadas por nodos sensores o motas, que son dispositivos autónomos distribuidos a lo largo de un área de interés y cuyo objetivo es monitorizar parámetros físicos o ambientales tales como temperatura, sonido, vibraciones, presión, movimiento o agentes contaminantes [<https://www.tekniker.es/es/redes-de-sensores>]. Estos dispositivos trabajan de manera colaborativa para recoger los datos y enviarlos a una pasarela o *Gateway* para que este los transmita a la red exterior (sea un servidor o la nube).

* + 1. Usabilidad de las Redes de Sensores Inalámbricas

A continuación, se presentarán las características más importantes de las redes de sensores que se han habilitado como una herramienta potencial en el dominio agrícola.

1. **Capacidad de toma de decisiones inteligente**: Esta característica mejora la eficiencia de la energía de toda la red de sensores y, por lo tanto, el tiempo de usabilidad de la red aumenta. De hecho, muchos nodos o motas colaboran entre ellos y colectivamente toman una decisión definitiva [Computational intelligence in wireless sensor networks: A survey <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79951581342&origin=inward&txGid=4e3d35e5d823b7ac5de11a258be6fb9e>].
2. **Configuración de topología dinámica**: Para maximizar la vida útil de la red, la topología de la red se configura de tal manera que el número de nodos activos sea mínimo [A survey on topology control in wireless sensor networks: Taxonomy, comparative study, and open issues. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84889567969&origin=inward&txGid=4f4d9973e93041cc9025b4993bfb1ee4>]. Los nodos sensores se mantendrán en el “modo de suspensión” para conservar la energía de la batería.
3. **Tolerancia al fallo**: Una de las dificultades más comunes en la implementación de las redes de sensores es que los nodos sean propensos a fallar [Younis et al., 2014. M. Younis, I.F. Senturk, K. Akkaya, S. Lee, F. Senel. Topology management techniques for tolerating node failures in wireless sensor networks: a survey Comput. Netw., 58 (2014), pp. 254-283]. Esto implica que la red se particiona y el rendimiento se ve afectado. Para ello, los nodos se organizan reconfigurando la topología dinámica.
4. **Conocimiento del contexto**: En base a la información que reciben los sensores, estos adquieren el conocimiento suficiente sobre el ambiente que les rodean. Las soluciones que los sensores toman posteriormente dependen del contexto [Vijay et al., 2011. G. Vijay, E.B.A. Bdira, M. Ibnkahla. Cognition in wireless sensor networks: a perspective IEEE Sens. J., 11 (3) (2011), pp. 582-592].
5. **Escalabilidad**: Los protocolos WSN están diseñados para implementarse en cualquier red, independientemente de su tamaño y número de nodos. Esta característica amplía el potencial del WSN para numerosas aplicaciones [<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4482903>].
6. **Heterogeneidad de los nodos**: Las redes de sensores son heterogéneas cuando tienen diferentes tipos de sensores en términos de energía, ancho de banda y memoria [<https://www.researchgate.net/post/What_is_the_exact_definition_of_heterogeneity_in_sensor_node>].
7. **Tolerancia contra los fallos de comunicación en condiciones ambientales adversas**: Debido a la amplia gama de aplicaciones en ambientes agrícolas abiertos, las redes de sensores sufren los efectos de las condiciones ambientales adversas. Parar ello, existe una pila de protocolos de WSN que incluye técnicas para resistir este tipo de fallos debido a los efectos medioambientales [Misra et al., 2014. S. Misra, P. Kar, A. Roy, M.S. Obaidat. Existence of dumb nodes in stationary wireless sensor networks. J. Syst. Softw., 91 (2014), pp. 135-146].
8. **Modo de funcionamiento autónomo**: Una característica importante de las WSN es su modo de funcionamiento autónomo [<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1084804510001244?token=7906A272C9DA0A460964993B0F17A4542FFC8F460272093EC0FFE531A16147E8F14F6BC4172BAA6FBB903B6DDBAA178C>, J. Netw. Comput. Appl., 34 (5) (2011), pp. 1530-1544] y de adaptación [P. Nicopolitidis, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis, P.G. Sarigiannidis, M.S. Obaidat. Adaptive wireless networks using learning automata. IEEE Wirel. Commun., 18 (2) (2011), pp. 75-81]
9. **Seguridad de la información**: Las redes de sensores llevan información sin formato sobre los parámetros del campo. Para garantizar la seguridad de la información detectada y restringir a los usuarios no autenticados, las WSN proporcionan mecanismos de control de acceso y detección de anomalías [Karapistoli, E., Sarigiannidis, P., Economides, A.A., 2013. SRNET: a real-time, cross-based anomaly detection and visualization system for wireless sensor networks. In: Proceedings of the Tenth Workshop on Visualization for Cyber Security, pp. 49–56.].
   * 1. Arquitectura de la red de sensores en la agricultura

Dependiendo del tipo de aplicación que se necesita, se debe buscar una arquitectura u otra. Las arquitecturas de red se clasifican en varias categorías como el movimiento de los nodos sensores, en sus tipos de sensores en términos de heterogeneidad, o en la jerarquía [Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practiceand future challengesTamoghna Ojhaa,b,⇑, Sudip Misraa, Narendra Singh Raghuwanshi, pp. 66–84]. En el primer punto, el movimiento de los nodos sensores, se pueden identificar las diferentes arquitecturas:

* **Arquitectura estacionaria**: Los nodos sensores están desplegados en una posición fija en el periodo en el que dure la aplicación. Por ejemplo, es ideal para sistemas de monitorización de riego o control del uso de fertilizantes.
* **Arquitectura móvil**: Los nodos sensores cambian su posición dependiendo del tiempo. Por ejemplo, una aplicación basada en esta arquitectura sería el control de tractores autónomos.
* **Arquitectura hibrida**: Sería la combinación entre nodos estacionarios y móviles. Por ejemplo, sería aplicable en sensores del campo, equipos agrícolas móviles, usuarios de teléfono móvil y transporte de ganado.

En cuanto a los tipos de sensores, se pueden encontrar las siguientes categorías:

* **Arquitectura homogénea**: Se compone de dispositivos equipados con sensores de potencial similar. Este tipo de marco se usa normalmente en aplicaciones basadas en implementaciones no planificadas. Sin embargo, este tipo de arquitectura carece de variedad en términos de hardware de comunicación. En consecuencia, los esquemas y protocolos de comunicación están diseñados teniendo en cuenta esta limitación. Un ejemplo de aplicación es la recolección de datos sobre la cantidad de nutrientes en el suelo.
* **Arquitectura heterogénea**: En este tipo de arquitectura, existen varios tipos de nodos sensores y dispositivos. Estos dispositivos varían en términos de potencia de cálculo, memoria, capacidad de detección y unidades de transceptor. Por ejemplo, en cualquier aplicación de gestión de riego, los nodos de sensores en campo comunican su información detectada a la pasarela, que de nuevo transfiere la información a un usuario remoto (comunicación por radio frecuencia o GSM).

Finalmente, en términos de jerarquía, las arquitecturas se clasificarían en las siguientes categorías:

* **Arquitectura de un solo nivel**: es común en aplicaciones de pequeña escala. En este tipo de arquitectura, los dispositivos en el campo y los nodos sensores comunican directamente sus datos a la pasarela, que está colocada cerca del área de aplicación.
* **Arquitectura multinivel**: Los nodos de sensores en el campo permanecen en el nivel inferior de la jerarquía y forman los grupos básicos o clústeres. Entonces, los siguientes niveles de jerarquía incluyen varios clústeres para llegar a los nodos de la pasarela. Normalmente, las arquitecturas multinivel consisten en nodos heterogéneos.
  + 1. Arquitectura de los nodos sensores

En este apartado, en la arquitectura de las motas o los nodos sensores se pueden distinguir dos tipos:

* **Sistema en paquete** (*System-in-Package,* *SiP*): Se define como la combinación de dispositivos múltiples que incluyen elementos pasivos (como resistencias y condensadores), montados juntos y manteniendo la disposición de conectar componentes externos posteriormente. Los factores para la selección de los componentes de una mota de este tipo son el procesador, el transmisor-receptor, la memoria, la potencia y el coste.
* **Sistema en chip** (*System on Chip*, *SoC*): Sigue una reducción de diseño más específica para cada aplicación. Así pues, minimiza los requisitos de energía y coste del diseño. Proporciona una integración de múltiples núcleos de procesadores programables, unidades de memoria, unidades de entrada/salida y bloques personalizados.

En la tabla siguiente, se pueden observar las diferencias entre ambos sistemas:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Factor** | **SiP** | **SoC** |
| **Procesador** | Pocos y heterogéneos | Múltiple y heterogéneo |
| **Consumo** | Alto | Bajo |
| **Coste** | Alto | Bajo |
| **Tamaño** | Grande | Pequeño |
| **Memoria** | En un módulo separado | Integrado |

Tabla 1. Diferencias entre SiP y SoC [Elaboración propia, información de T. Ojha et al./Computers and Electronics in Agriculture 118 (2015) 66–88]

* 1. Internet de las Cosas
  2. Tecnologías y estándares usados en la agricultura

En esta sección, se explicará con detalle las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica y los estándares presentes en las aplicaciones en la agricultura.

* + 1. Zigbee

Esta tecnología define la red y los protocolos de la capa de aplicación basados en la norma IEEE 802.15.4 y las definiciones de la capa MAC necesarias para diseñar una red inalámbrica de área personal (*Wireless Personal Area Network*, *WPAN*) utilizando dispositivos habilitados para radio de baja potencia. Admite la comunicación a corta distancia (10-20 metros) a través de redes multinivel y de malla. Su velocidad de datos es relativamente baja entre 20-40 kbps en la banda de frecuencia ISM (Bandas de radio industriales, científicas y médicas [<https://www.itu.int/net/ITU-R/terrestrial/faq/index.html#g013>]) de 868-915 MHz y 250 kbps a 2.4 GHz [IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4) <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>]. No requiere de un *hardware* de alta especificación ya que se anuncian dispositivos con hasta 128 kB de almacenamiento [[http://www.ti.com/product/CC2430#](http://www.ti.com/product/CC2430)]. Es eficiente en energía, coste bajo y confiable por ello es muy utilizada en la agricultura. Se definen tres tipos distintos de dispositivo Zigbee [ZigBee Wireless Sensor and Control Network. By Ata Elahi, Adam Gschwender - Punto 2.2 ZigBee Device Types, <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1409785&seqNum=3>]:

* Coordinador Zigbee: Uno por red ya que se encarga de controlar esta y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
* Router Zigbee: Interconecta dispositivos separados en la red.
* Dispositivo final: Tiene la funcionalidad necesaria de comunicarse su nodo padre (sea coordinador o router) pero no puede transmitir su información a otros dispositivos. De esta forma, el nodo suele estar en suspensión la mayor parte del tiempo, conservando la energía de las baterías.



Figura 1. Ejemplo de módulo de red Zigbee [<https://makerfabs.com/index.php?route=product/product&product_id=411>]

* + 1. WiFi

WiFi es un estándar de red de área local inalámbrica (WLAN) para el intercambio de información o la conexión a Internet de forma inalámbrica basada en la familia de estándares IEEE 802.11 [IEEE Standard for Information technology, 2005-IEEE Standard for Information technology, 2012a]. WiFi ofrece un rango de comunicación adecuado del orden de 20 m (interior) a 100 m (exterior) con una velocidad de transmisión de datos del orden de 2–54 Mbps a una frecuencia de 2,4 GHz de la banda ISM [<https://www.lifewire.com/range-of-typical-wifi-network-816564>, <https://www.quora.com/Whats-the-maximum-distance-a-Wi-Fi-signal-can-be-reached>].

Mira por:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0168169915002379?token=B5389935C5DE3679DD3A838B98AAE77B77A200866B48549F693D26E6E3AD475E4E1ECC70D7329D6EA13DB40DB4CF7B2B>

Incluir tecnología GSM, Zigbee…

Raspberry Pi en dispositivos de Internet de las Cosas