

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**](#Introducción_y_Objetivos)
   1. [Contexto](#Contexto)
   2. [Problema](#Problema)
   3. [Objetivos](#Objetivos)
      1. [Objetivos específicos](#Objetivos_Específicos)
   4. [Medios utilizados](#Medios_Utilizados)
      1. [Software](#Medios_Software)
      2. [Hardware](#Medios_Hardware)
   5. [Entorno socioeconómico](#Entorno_Socioeconomico)
   6. [Marco regulador](#Marco_Regulador)
   7. [Estructura de la memoria](#Estructura_Memoria)
2. **Estado del arte**
   1. Internet de las Cosas
      1. Evolución de las tecnologías con el Internet de las Cosas
      2. Aplicaciones del Internet de las Cosas
   2. 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
   3. Tecnología y estándares usados en la agricultura
      1. Zigbee
      2. WiFi
      3. GSM y su evolución
   4. Herramientas utilizadas
      1. Python
      2. RStudio
      3. Raspbian OS
      4. Raspberry
      5. Sensores
      6. Comunicación por Sockets? Debería estar aquí creo
3. **Descripción del sistema**
   1. Especificaciones del sistema
   2. Medios Empleados
      1. Raspberry Pi
      2. Sensores
4. **Implementación**
   1. Simulación en PC usando WiFi \*
   2. Implementación en la realidad \*
5. **Planificación y presupuesto**
   1. Fases del desarrollo
6. **Conclusiones y líneas futuras**

**Referencias**

**glosario\* (Punto 1)**

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 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 pretenden alcanzar con la realización de este proyecto. 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. Contexto

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.



Figura X. Ejemplo típico de motor de gasoil – DEUTZ 33 kVA [<https://www.greenpower.lk/katalog/artikel/greenpower-deutz-diesel-power-generator-30kva-24kw-open-frame-manual-starting/116586-0-50/>]



Figura X. Ejemplo de panel solar destinado al riego [tandil.olx.com.ar]

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 [<https://www.eldigitaldealbacete.com/2017/05/18/desmantelado-grupo-criminal-castilla-la-mancha-especializado-robo-motores-riego/>, 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 1]. Este es un problema grave ya que estos motores tienen un valor sustancial [justificación 1]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 y las redes de sensores inalámbricas 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 general de este trabajo fin de grado consiste en diseñar e implementar un sistema de monitorización del riego de cultivos (especializado en la vid) y equipos agrícolas (motores de gasoil), utilizando sensores inalámbricos capaces de enviar información para que el sistema sea capaz de procesar y tomar decisiones a partir de la misma.

La monitorización y la toma de decisiones van orientadas a cumplir con dos metas fundamentales:

* Evitar gastar más agua de la que se necesita a partir del control del agua para un riego óptimo.
* Evitar el robo del motor de gasoil con un control de seguridad.
  + 1. Objetivos específicos

Para conseguir el objetivo general de este trabajo, se deben cumplir con los siguientes objetivos específicos:

* Desarrollar nodos que incorporen los sensores necesarios, denominados sensores, para cada situación particular, tanto de control de riego como de la seguridad.
* Incorporar, a dichos nodos, capacidad de comunicación tanto local como remota.
* Cifrar la información transmitida entre los sensores y la estación central usando un estándar que proporcione un nivel de seguridad alto.
* Diseñar el sistema para diferentes sectores de cultivo, determinando qué área (en metros cuadrados) abarca un sistema de sensores y cuántos de ellos se necesitarán para optimizar todo el cultivo.
  1. Medios utilizados
     1. Software (Chequear con Marco Regulador)
* Python
* Raspbian
* Microsoft Office 365 – Microsoft Word
* MobaXterm
* RStudio
* Hologram Cloud
* Thingspeak
  + 1. Hardware

En cuanto a *Hardware*, a continuación, se mostrarán aquellos dispositivos que han hecho posible el proyecto:

* **Raspberry Pi 3 Model B**: Como cualquier otro ordenador, la Raspberry Pi dispone de una serie de puertos: USB, HDMI, Ethernet, Audio Jack, tarjeta de memoria microSD, módulo para conectar una pantalla táctil, una cámara, Bluetooth y WiFi en su última versión. La placa monta un procesador ARM 64-bits de cuatro núcleos a 1.2 GHz y con un 1 GB de memoria RAM. Además, cuenta con 40 pines de GPIO destinados al uso de los sensores.

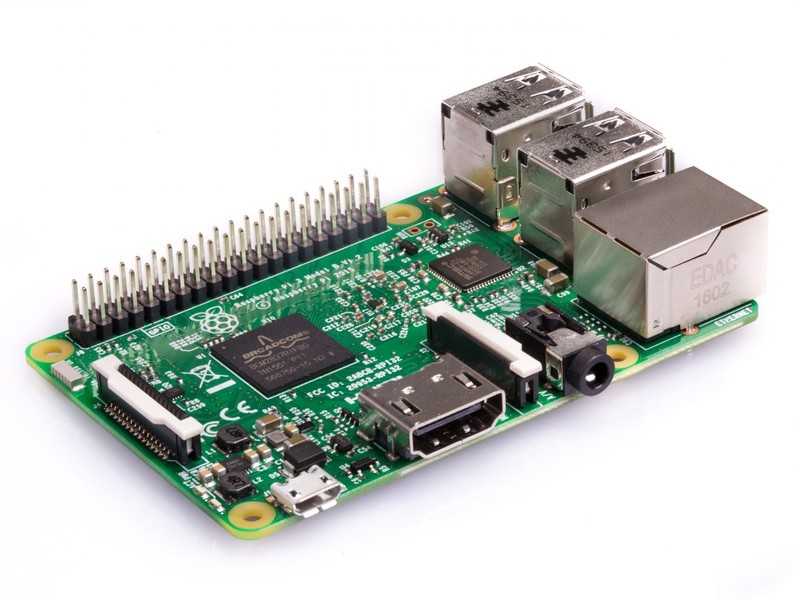


Figura X. Raspberry Pi 3 B

* **Higrómetro FC-28**: Es un sensor que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo.

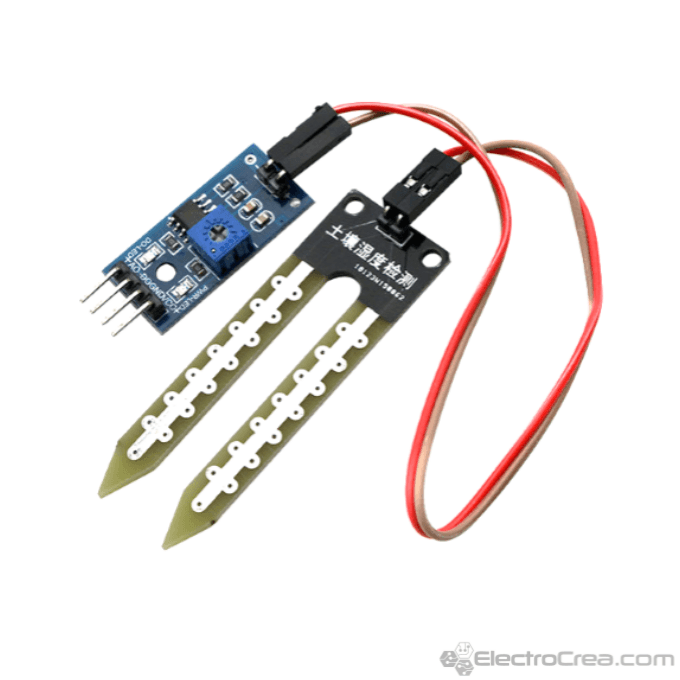


Figura X. Higrómetro FC-28 [electrocrea.com]

El FC-28 viene acompañado con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada cuando la humedad supera un umbral. En el caso analógico, los valores obtenidos van desde 0 (sumergido en agua), a 1023 (en el aire o suelo muy seco). Sin embargo, en la salida digital, cuando la humedad supera un umbral que se ajusta con el potenciómetro de la figura X2, la salida se dispara. Se obtendrá una señal LOW si el suelo no está húmedo, y HIGH si el FC-28 supera el umbral [<https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>].

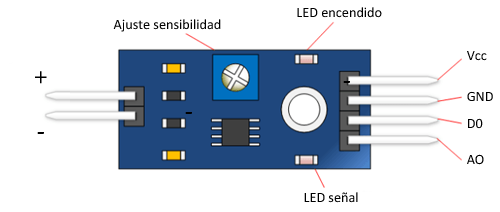


Figura X2. Vista con detalle de la placa de medición estándar [<https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>]

* **MCP3008**: Es un convertidor analógico a digital de 10 bits diseñado por la empresa Microchip. Es muy útil ya que la Raspberry Pi no tiene pines de entrada analógicos. El ADC se colocaría entre la Raspberry PI y el FC-28 y permitiría que la Raspberry Pi pudiese leer los valores exactos del sensor de humedad FC-28.

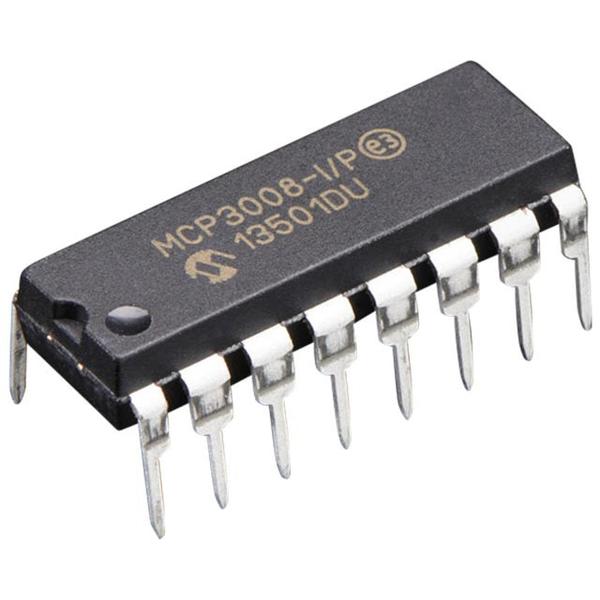


Figura X. Ejemplo del ADC MCP3008 [<https://thepihut.com/products/adafruit-mcp3008-8-channel-10-bit-adc-with-spi-interface>]

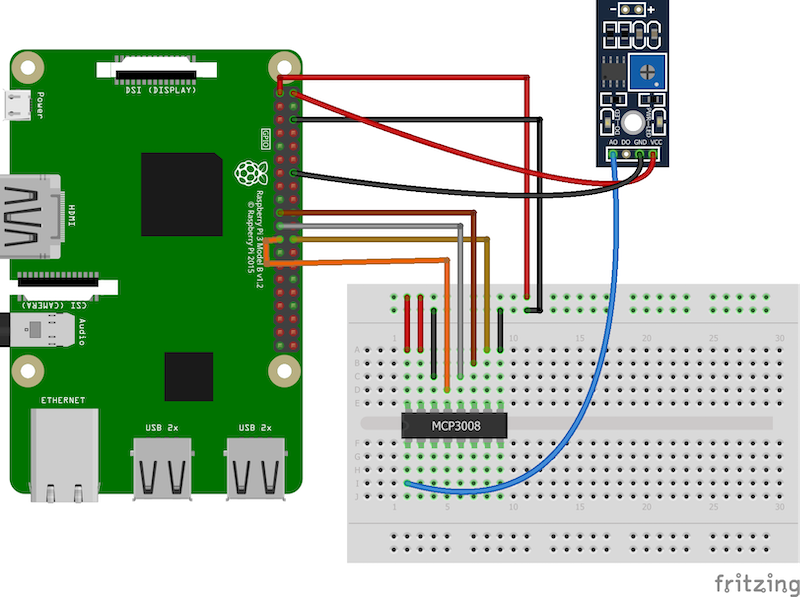


Figura X. Esquema de Raspberry Pi, el MCP3008 y el FC-28 [<https://maker.pro/raspberry-pi/tutorial/interfacing-soil-moisture-sensor-with-raspberry-pi>]

* **HC-SR501**: Es un sensor infrarrojo pasivo o *PIR* que detecta variaciones de las radiaciones infrarrojas del medio ambiente que cubre como el calor del cuerpo humano o animales. Su sensor tiene una apertura de 110º y con un potenciómetro, se puede calibrar una distancia de detección de 3 a 7 metros.



Figura X. HC-SR501 [<https://www.rhydolabz.com/sensors-ir-pir-sensors-c-137_150/pir-motion-detection-sensor-hcsr501-p-1512.html?zenid=3ccvrqqaigdusb8qf17bgn6v93>]

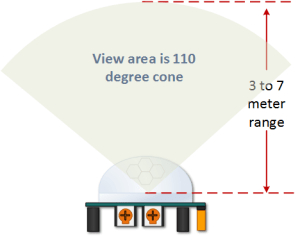


Figura X. Esquema de detección del sensor HC-SR501

Como se puede ver en la figura anterior, el *PIR* tiene un segundo potenciómetro que sirve para calibrar cada cuándo se recogen datos del sensor.

* **MCU6050**: Es un dispositivo integrado de seguimiento de movimiento de 6 ejes que combina un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes. Utiliza comunicación I2C, es decir, comunicación síncrona con cable para el reloj (SCL) y otro para los datos (SDA). El maestro sería la Raspberry Pi el cual crea la señal de reloj. Los ejes son X, Y se pueden ver en la figura “X” mientras que el eje Z es el ortogonal a los dos ejes anteriores.

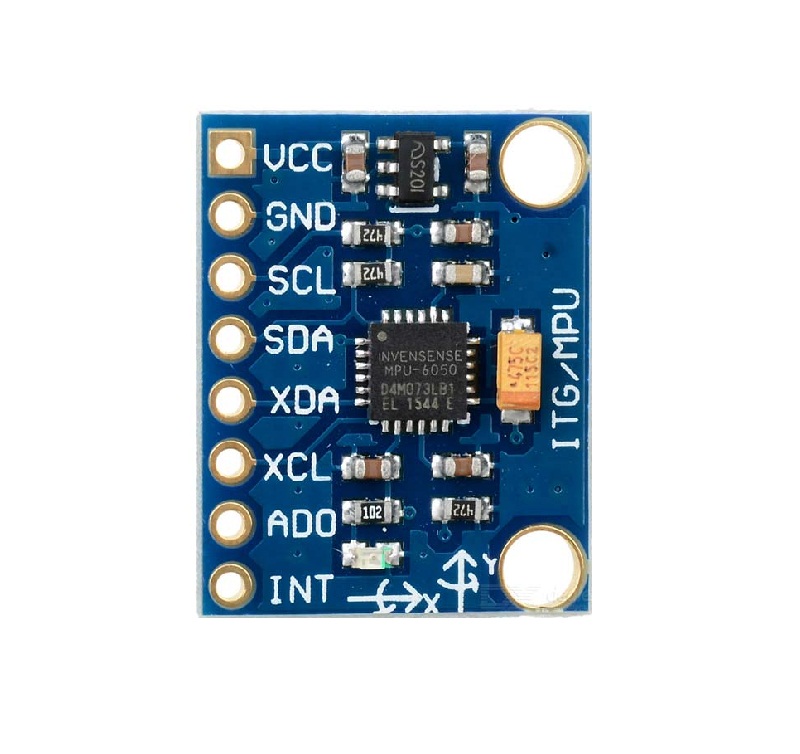


Figura X. Vista general del giroscopio y acelerómetro MCU6050 [<https://www.makerlab-electronics.com/product/triple-axis-accelerometer-gyro-breakout-mpu6050/>]

* **Hologram SIM**: Es una tarjeta SIM *IoT* segura para una red celular global. Tiene fácil activación ya que no es necesario pedir permisos a las compañías de telefonía, sino que todo el proceso ya está negociado por Hologram. De hecho, la tarjeta utiliza la cobertura del operador que más potencia suministre en ese momento.

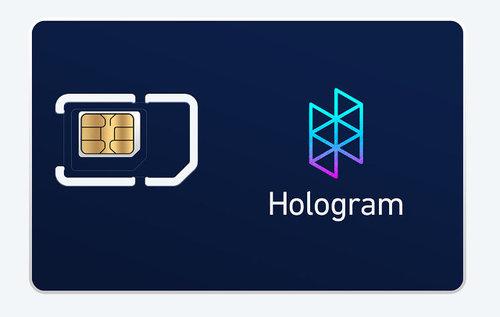


Figura X. Ejemplo tarjeta SIM Hologram

* **Hologram Nova**: Es el módem recomendado por Hologram para poder tener conexión a la red en cualquier dispositivo. Ya que Raspberry Pi tiene varios USB, Hologram Nova es una opción sencilla de usar.



Figura X. Módem - Hologram Nova

Para su funcionamiento, es necesario insertar la tarjeta SIM (en el formato nano SIM) en el módem y conectarlo directamente en la Raspberry Pi. Después, es necesario instalar el paquete Hologram en la Raspberry Pi con el siguiente comando:



Figura X. Comando de instalación [<https://hologram.io/docs/reference/nova/user-manual/>]

Una vez hecho, Hologram Nova ya estará disponible para cualquier actividad en la Raspberry Pi.

* 1. Entorno socioeconómico

El objetivo principal del Internet de las Cosas es hacer del mundo un lugar más eficiente y, por consiguiente, conseguir un ahorro energético y económico. Potenciando esta tecnología, cada vez se incidirá más en su uso en el ámbito empresarial y en la modernización de otros sectores como el agrario ya que mediante el uso de sensores, se optimizan muchas tareas como el regado y cuidado de las plantas.

Además, es necesario tener un control entre los recursos del planeta junto con las condiciones materiales de vida de las personas. Por ejemplo, en la actualidad, el agua y su mantenimiento están siendo cada vez más los objetos principales de los debates en torno al desarrollo sostenible.

Sin embargo, muchos trabajadores cuestionan que esta evolución a la sensorización y la automatización suponga un problema en sus propios trabajos. Todo cambio tecnológico parece difícil de asumir, pero la población de hoy en día ha demostrado que es muy fácil adaptarse a las nuevas tecnologías. Algunos ejemplos se pueden encontrar en los *Smartphones* o en el sector automovilístico en los que se encuentran cada vez más funciones que facilitan una conducción más segura y cómoda.

* 1. Marco regulador

Con la expansión de las Tecnologías de Información y la economía digital, los ciudadanos han perdido capacidad para controlar sus datos personales y mantener su privacidad. En enero de 2012 la Comisión Europea comenzó un proceso de reforma de las normas comunitarias para la protección de los datos personales dentro de la Unión Europea [20].

El desarrollo del Internet de las Cosas podría verse frenado y entorpecido en la UE debido a la existente y futura regulación en materia de privacidad de datos. Por tanto, es importante tener en cuenta el marco legal tanto comunitario como específico de cada país a la hora de diseñar y desarrollar nuevos entornos inteligentes, respetando la protección de datos y la privacidad de los ciudadanos en todo momento.

* + 1. Normas y legislación aplicable al proyecto
    2. Licencias y tecnologías

A continuación, se citan las licencias de uso referentes a los programas y tecnologías empleados en el desarrollo del proyecto:

* **Microsoft Windows 10**: La licencia es de tipo Home, cedida gratuitamente por Microsoft en la transición de Windows 8 a 10.
* **Microsoft Office 365**: El paquete de ofimática empleado para el desarrollo del proyecto cuya licencia es de tipo estudiante, está cedida por Microsoft gracias a la colaboración de la Universidad Carlos III de Madrid.
* **MobaXTerm**: terminal de Windows con herramientas de red para computación remota con licencia gratuita.
* **Raspbian OS**: El sistema operativo integrado en la Raspberry Pi con licencia GNU.
* **Python**: El lenguaje es administrado por Python Software Foundation, que tiene la licencia de código abierto llamado Python Software Foundation License.
* **RStudio**: El IDE para el lenguaje de programación R mantiene una licencia libre para uso no comercial.
* **Hologram Cloud**: La inspección del flujo de datos por el módem de la marca Hologram es gratuita ya que se asumen los costes de las tarifas de la tarjeta SIM y del módem.
  + 1. Propiedad Intelectual

El proyecto ha sido una exploración de diversas tecnologías para la creación de un sistema completo. Así pues, su distribución es libre siempre y cuando se referencie al presente trabajo y al autor de este.

* 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*), la tecnología relacionada con la agricultura y finalmente, 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

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 Internet de las Cosas para explicar a continuación en qué consiste la Red de sensores inalámbricas. Finalmente, se presentarán los dispositivos que fueron utilizados para cumplir con las expectativas del proyecto.

* 1. Internet de las Cosas

En el momento en el que apareció Internet, éste empezó a evolucionar de una manera muy veloz, desde los antiguos módems hasta las eficientes líneas de fibra óptica actuales. Hoy en día, múltiples dispositivos electrónicos como los móviles, los Smart TV, los Smartwatch… hasta los frigoríficos están conectados a Internet [<http://cba.mit.edu/docs/papers/04.10.i0.pdf>]. ¿A qué se debe esto? El tema que engloba esta idea se llama Internet de las Cosas (del inglés, *Internet of Things* o IoT).

El Internet de las Cosas se refiere a un sistema de dispositivos que están interconectados de manera digital con Internet. Son objetos que tienen identificadores únicos y son capaces de transmitir datos a través de una red [Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. J.Gubbietal. Future Generation Computer Systems 29 (2013)1645–1660], es decir, en el IoT todas las comunicaciones son Máquina a Máquina (M2M).

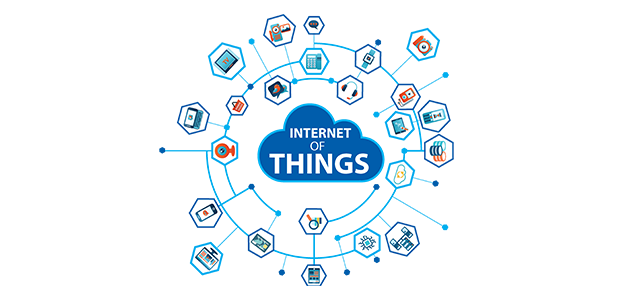


Figura ?. Internet de las Cosas [Hughes Europe - <https://europe.hughes.com/sectors/utilities/internet-things>]

El objetivo del *IoT* es facilitar la calidad de vida y a su vez, el modo de vivir de la sociedad. Es clave para administrar eficientemente los recursos que se tienen actualmente. Actualmente, se están realizando proyectos de *IoT* en los que se comprueba la mejora de todo tipo de análisis, recopilación y distribución de datos debido a la enorme capacidad para ello [<https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/internet-las-cosas-mejorar-la-productividad-empresa/>, <https://www.infoq.com/articles/iot-impact-productivity/>].

El concepto de internet de las cosas fue propuesto en 1999 por Kevin Ashton quien usó por primera vez esta expresión en el grupo de investigación Auto-ID Labs. Apareció gracias al estudio de los sistemas por radiofrecuencia, también conocidos como RFID, y en las nuevas tecnologías de detección de sensores [<https://en.wikipedia.org/wiki/Auto-ID_Labs>, <https://www.elespectador.com/tecnologia/la-historia-detras-de-la-internet-de-las-cosas-articulo-716678>]. Desde entonces, se utiliza de forma normal para referirse a este sistema de conexión de dispositivos a Internet [<https://www.master-internet-of-things.com/historia-iot/>].

Con el crecimiento del *IoT*, los objetos o *cosas* inteligentes ofrecen millones de datos provenientes del aumento del número de dispositivos conectados entre sí, ya sea a través de Internet o microchips. Es aquí donde aparece el concepto de *Big Data* y todos esos datos son gestionados por las empresas a través de una Analítica de Datos Masivos [<https://www.campusbigdata.com/big-data-blog/item/101-relacion-iot-con-big-data>].

De hecho, en 2018 se llegó a alcanzar alrededor de 17.000 millones de dispositivos conectados a Internet y se prevé que, en 2020, el número se incremente a 20.000 millones de “cosas” conectadas [<https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf>]. Además, se calcula que todo ser humano está rodeado, al menos, por un total de aproximadamente 1000 a 5000 objetos (conectados o no a Internet) [Waldner, Jean-Baptiste (2007). Inventer l'Ordinateur du XXIeme Siècle. London: Hermes Science. p. 254. ISBN 2746215160]. En España, como se puede ver en la figura X2, se puede observar que 1 de cada 4 españoles tienen 5 o más dispositivos conectados a Internet.

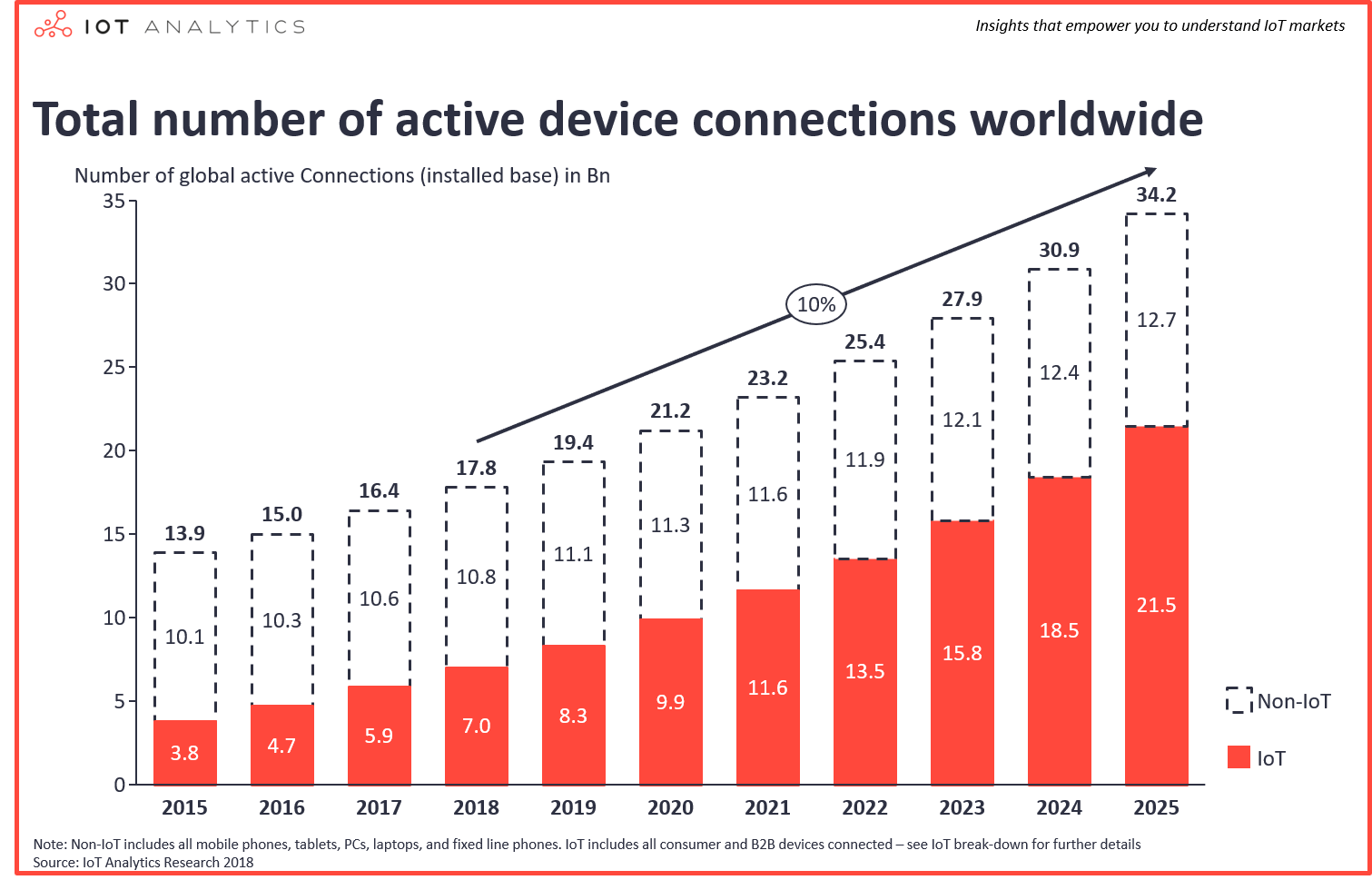


Figura X. Número de dispositivos conectados a Internet en el mundo [<https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>]

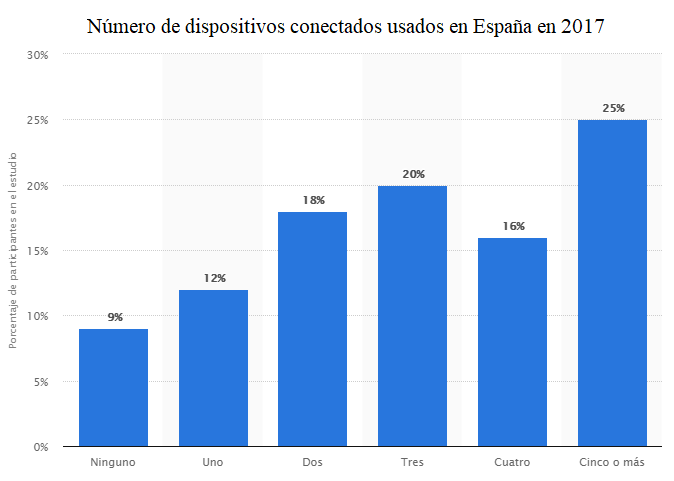


Figura X2. Número de dispositivos conectados usados por persona en España [<https://es.statista.com/estadisticas/481066/numero-de-dispositivos-conectados-por-persona-en-espana/>]

* + 1. Evolución de las tecnologías con el Internet de las Cosas

Las tecnologías relacionadas con *IoT* se han incrementado en los últimos años. Gracias a la constante innovación, no se puede tener una visión exacta de cómo evolucionará en el tiempo. Sin embargo, hay muchas tendencias tecnológicas que ayudan a ver esa evolución:

* **Mejora de la Inteligencia Artificial**: Cuando el IoT esté funcionando al máximo rendimiento, la Inteligencia Artificial debe estar preparada para recibir una gran cantidad de datos para analizar. Sobre todo, debe mejorar en el Aprendizaje Automático o *Machine Learning* porque para analizar este volumen de datos, es necesario que se pueda entrenar y aprender por sí sola [<https://blogthinkbig.com/tendencias-iot-futuro>].
* **Mejora de las plataformas móviles**: Volviendo al concepto de *IoT* y aplicando esta idea, las plataformas móviles se convertirán en un importante sistema de gestión para los dispositivos *IoT*.
* **Impacto en las relaciones con los clientes**: La experiencia del cliente se verá influenciada positivamente por la mayor personalización de los productos.
* **Crecimiento del pequeño negocio en los próximos años**: De acuerdo con Forrester Research [<https://www.forrester.com/Internet-Of-Things-%28IoT%29>], el *IoT* se convertirá en una herramienta fundamental para permitir la conexión entre los negocios pequeños y los clientes.
* **Mayor fragmentación**: A medida que vaya creciendo el *IoT*, también se volverá más fragmentado. Es necesario, que haya una mejora e investigación constante a pesar de que varias compañías lideren el impulso de los estándares y certificaciones de dispositivos *IoT*.
* **Seguridad**: Al igual que en el punto anterior, a medida que el *IoT* crezca, la cantidad de datos y dispositivos será mayor y esto indicará un mayor número de brechas susceptibles de ataques. Cuanto más complejo sea la red, más protocolos de seguridad se deben aplicar [Álvaro Manjarrés, 2018, <https://blogs.deusto.es/master-informatica/el-futuro-del-iot-y-los-riesgos-que-conlleva/>].
* **Mayor inversión y gasto**: La Corporación de Datos Internacional (*IDC*) predice que en 2023, el gasto mundial en *IoT* alcanzará 1,1 billones de dólares [<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44596319>]. Esto subraya la importancia de mejorar la experiencia del cliente en casi todas las industrias.
  + 1. Aplicaciones del Internet de las Cosas

Como se ha introducido anteriormente, el *IoT* está cambiando la relación de las personas con el mundo físico. A continuación, se verán las aplicaciones más significativas en las que el *IoT* tiene un rol importante:

* **Agricultura y ganadería inteligente**: El *IoT* tiene capacidad para transformar el mundo. Como se ve en los demás puntos, el *IoT* afecta a industrias más eficientes, la automoción, las *Smart Cities*… Sin embargo, la aplicación del IoT en la agricultura podría tener el mayor impacto. Es la aplicación fundamental para las ciudades más rurales donde se encuentra principalmente el sector primario.

De acuerdo con Beecham Research y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, para mantener el ritmo con el crecimiento de la población mundial se deberá incrementar la producción agrícola en un 70% para 2050 [<http://www.beechamresearch.com/download.aspx?id=1051>] ya que la población para entonces será de 9600 millones de personas.

La agricultura inteligente basada en tecnologías *IoT* permitirá a los agricultores mejorar la productividad sin desperdiciar los recursos, desde la cantidad de fertilizante utilizado hasta el número de viajes realizados por vehículos agrícolas [<http://agriculturers.com/aplicaciones-de-iot-en-agricultura/>]. En cuanto a sus aplicaciones usando *IoT*, se puede destacar la automatización del riego, la erosión del suelo, la evaluación de salud de los cultivos y la fumigación automática de cultivos. En los dos últimos, se aprecia la existencia de drones agrícolas que realizan estas dos tareas de árbol en árbol [<https://www.xataka.com/especiales/penafiel-valladolid-hay-quienes-quieren-revolucionar-cultivo-vino-drones>].



Figura X. Aplicaciones del IoT en la agricultura



Figura X. Uso del dron para monitorización de una viña en Rosario (Argentina) [<https://borderperiodismo.com/2018/10/31/de-silicon-valley-a-rosario-con-la-mirada-puesta-en-el-campo/>]

* ***Smart Cities***: En el año 2018, el 23% de todos los proyectos en el mundo del *IoT* estaban dedicados a la mejora de las ciudades inteligentes [<https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>]. Ya que el número de personas en el mundo está creciendo continuamente, se necesita que se mejore la infraestructura en todas las ciudades como en la distribución del agua, el transporte automático, en los sistemas de gestión de la energía, la vigilancia inteligente, la seguridad urbana, la monitorización del medio ambiente o el control del tráfico. Este último punto es muy importante para muchas ciudades ya que hay muchos proyectos destinados al sistema del aparcamiento, control de tráfico, aplicaciones de bicicletas o patines eléctricos [<https://hipertextual.com/2019/02/patienetes-barrios-madrid>] o la mejora del transporte público. Todos estos proyectos ayudarían a reducir un problema muy presente en las ciudades, la contaminación del aire [<https://interestingengineering.com/reducing-air-pollution-in-smart-and-sustainable-future-cities>].
* **Domótica o *Smart Home***: Automatizar las tareas cotidianas aporta un plus de confort que proporciona más tiempo libre para dedicarlo a otras cosas. Uno de los beneficios más señalados es el aumento de seguridad tras la instalación de alarmas y cámaras en el interior y exterior de la vivienda. Otra de las razones importantes, es el ahorro energético que se obtiene cuando se acondiciona las distintas estancias de la casa. Además de repercutir en la economía del usuario, también lo hace en el medio ambiente ya que muchas marcas de electrodomésticos dedican un gran presupuesto en la investigación para crear dispositivos más eficientes y respetuosos con el entorno. Además, todo pasaría a controlarse con el teléfono inteligente ya que actualmente, se debe activar cada electrodoméstico de manera presencial [<https://www.pccomponentes.com/que-es-smarthome>]. Gracias al *IoT*, se pueden ver las alertas recibidas por cada electrodoméstico y actuar en función de la situación.



Figura X. Mejora de la domótica con el *IoT* [<http://www.onptelecoms.com/domotica-iot/>]

* **Conducción Autónoma**: La tecnología digital automotriz se ha centrado en optimizar las funciones internas de los vehículos. Sin embargo, ahora, la atención está creciendo hacia la mejora de la experiencia del automóvil. El objetivo fundamental es la mejora de la percepción del medio ambiente con los sensores *IoT* para permitir una conducción más segura [<https://autopilot-project.eu/about-autopilot/>].

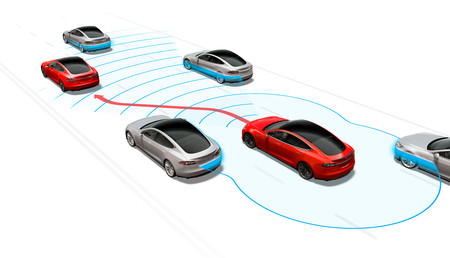


Figura X. Ejemplo del uso de sensores para conducción autónoma [<https://www.motorpasion.com/tesla/precio-autopilot-tesla-subira-otros-1-000-dolares-nuevas-funciones-siguen-llegar>]

* **Sector Sanitario**: También llamado el Internet de las Cosas Médicas (*Internet of Medical Things*, *IoMT*). Son dispositivos que se usan en las áreas de la atención médica y la salud [<https://hitconsultant.net/2019/01/30/is-iomt-tech-iot-market-as-a-whole/#.XTL_fOgzbIU>]. Los dispositivos médicos capturan los datos y de forma inalámbrica los envían a otros dispositivos o a la nube. Estos datos son analizados y desencadenan la acción pautada en los protocolos. Finalmente, los médicos utilizan la información para la toma de decisiones. Sus beneficios son la disminución de los costos en asistencia en salud, reduce los errores de diagnóstico al recibir más datos, la experiencia del paciente mejora considerablemente y ayuda a los pacientes a adherirse a los medicamentos [<https://reportedigital.com/iot/internet-de-las-cosas-medicas-iomt/>].



Figura X: Internet de las Cosas Médicas [<https://hitconsultant.net/2019/01/30/is-iomt-tech-iot-market-as-a-whole/#.XTL_fOgzbIU>]

* **Internet Industrial**: Al igual que en el sector sanitario, existe el Internet Industrial de las Cosas (*IIOT*). Son los dispositivos que están destinados al uso de la Industria. Los beneficios el *IIoT* son las mejoras en la gestión de instalaciones ya que los dispositivos pueden usarse para anticipar problemas originados por humedad o vibraciones, la logística porque la industria está conectada en tiempo real con el cliente y proveedores, y la medición inteligente porque los dispositivos pueden controlar el consumo de recursos y así reducir el gasto de manera significativa [<https://reportedigital.com/iot/internet-industrial-de-las-cosas-iiot/>].



Figura X. Internet Industrial de las Cosas [<https://blog.prodware.es/el-internet-industrial-de-las-cosas-transforma-los-servicios-de-campo/#.XTM5Y-gzbIU>]

2.2. 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).

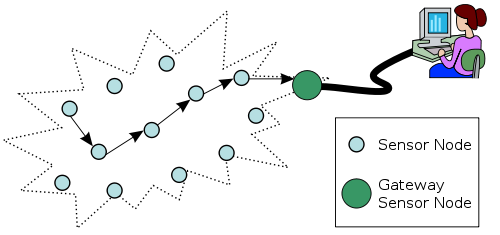


Figura X. Ejemplo de red de sensores inalámbrica [Wikipedia.com]

* + 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 challenges Tamoghna 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. 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>]

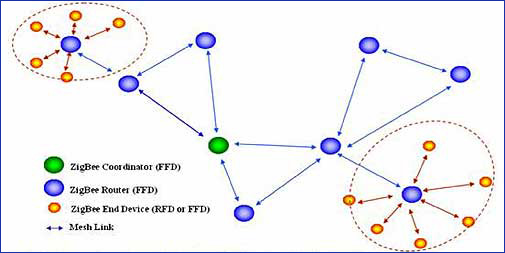


Figura X. Red de Sensores Zigbee [<http://redesdesensoreswsn.blogspot.com/2012/07/redes-de-sensores-inalambricas-wsn-upt.html>]

* + 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>].

* + 1. GSM y su evolución

La red GSM (Sistema global de comunicaciones móviles o *Global System for Mobile Communications*) es un estándar de segunda generación (2G) ya que las comunicaciones empiezan a producirse de un modo completamente digital en comparación con la primera generación de teléfonos. [<https://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>, <https://books.google.es/books?id=go2fDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=gsm&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjju9mryMDjAhVOi1wKHayzCAMQ6AEIKzAA#v=onepage&q=gsm&f=false>]. En comparación con las otras tecnologías, su rango de transmisión de datos se extiende por todo el mundo. Su banda de frecuencia depende del territorio, aunque en Europa se utilizan las bandas de 900 y 1800 MHz y se logra una velocidad de datos de 50-100 kbps [Victor L. Granatstein, Physical Principles of Wireless Communications, Segunda Edición, página 29]. Los teléfonos o estaciones móviles necesitan de una tarjeta SIM para poder utilizar la tecnología GSM, que contiene información sobre el terminal y su usuario [<https://www.universidadviu.es/que-es-gsm-y-como-funciona/>].

Más adelante, nuevas generaciones aparecieron para mejorar la segunda generación como GPRS, EDGE, UMTS (3G), 4G y 5G. Actualmente, es fácil conectarse a la red vía 3G o 4G ya que el 5G todavía no se ha implementado en todos los lugares. En España, las velocidades de descarga rondan los 6.5 Mbps en 3G, mientras que en 4G rondan los 25 Mbps [<https://www.testdevelocidad.es/velocidad-internet-movil-3g-4g/>].

Por otro lado, a parte de su uso en comunicación, GSM también puede utilizarse para localizar un dispositivo sin tener que recurrir al uso del GPS. Esto es muy útil para aquellos dispositivos que no tengan GPS. Por lo general, un móvil o dispositivo con GSM está conectado a una o varias torres de telefonía. Mediante un cálculo de triangulación, es posible saber la posición del objeto con un pequeño margen de error que dependerá del número de torres en la zona. El dispositivo localizará las torres más cercanas y calculará el tiempo que tarda la señal de torre a torre y la fuerza de la misma. [<https://www.xatakamovil.com/conectividad/como-localizar-mi-posicion-gps-a-gps-wifi-y-redes-gsm>, <https://www.open-electronics.org/gsm-localizer-without-gps-part-1-introduction/>, <http://www.opencellid.org/#zoom=18&lat=37.802137&lon=-122.419357>, <https://www.instructables.com/id/Raspberry-Pi-Location-Tracker/>, <https://antenasgsm.com/39.8311807928473/-3.1802600639999845/12/true,true,true,true,true>].

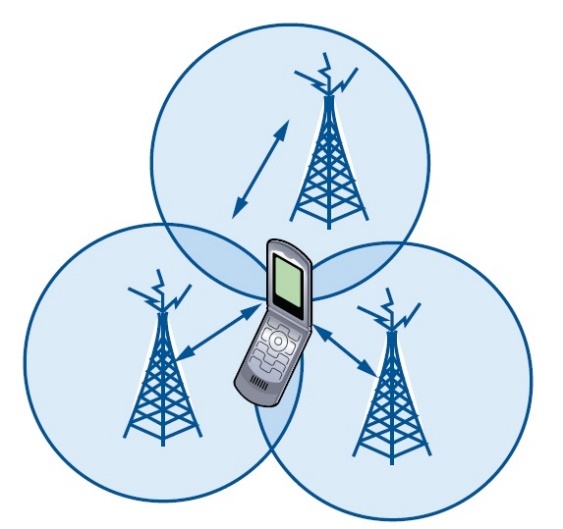


Figura 2. Ejemplo de triangulación por GSM para localizar un dispositivo [<https://movilfacil.wordpress.com/2011/03/25/cap-8-posicionamiento-localizacion/>]

* 1. Tecnologías utilizadas

En este apartado se explicará qué recursos se han utilizado para hacer que el proyecto funcione. Más adelante, en los capítulos del diseño y la implementación se explicará cual será el papel fundamental de cada uno.

* + 1. Raspberry Pi

Raspberry Pi es un ordenador de bajo coste desarrollado por la Fundación Raspberry Pi en Reino Unido, del tamaño de una tarjeta de crédito, que se conecta a un monitor, y usa un teclado y ratón estándar. Es capaz de hacer todo lo que puede hacer un ordenador normal, desde navegar por Internet y reproducir videos hasta hacer hojas de cálculo, procesamiento de textos y otros programas [<https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>].

Esta placa cuenta con una arquitectura ARM y el sistema operativo oficial sobre el que se monta se llama Raspbian OS, una versión de Debian. Además, se pueden instalar otros sistemas como Windows 10 IoT, que tiene menos recursos que el Windows 10 de escritorio, u otros sistemas basados en Linux.

Una de las ventajas más importantes de este ordenador, aparte de que su tamaño es comparable al de una tarjeta de crédito, es su precio bajo. Este modelo hoy en día tiene un coste aproximado de 35 Euros.

Las aplicaciones de este dispositivo son muy numerosas. Básicamente depende de la imaginación del usuario ya que la funcionalidad de la Raspberry Pi es muy flexible. Por ejemplo: seguimiento de objetos en movimiento, reconocimiento facial, monitorización, transmisión de datos, desactivador de drones en movimiento [<http://soloelectronicos.com/2017/04/24/top-100-de-proyectos-con-raspberry-pi/>].

* + 1. Sensores

Hablar sobre los sensores de humedad y aquellos de que evitan robos… (Manera más general)

Los sensores son dispositivos diseñados para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, generalmente eléctrica, que se pueda cuantificar y manipular [<http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/que_es.htm>]. Existen diferentes tipos de sensores:

* Posición lineal y angular
* Desplazamiento y deformación
* Velocidad lineal y angular.
* Aceleración.
* Presión
* Caudal
* Temperatura
* Presencia
* Táctiles
* Visión artificial
* Proximidad
* Acústico
* Acidez
* Luz
* Captura de movimiento

<https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

* + 1. Raspbian OS

Raspbian es una distribución del sistema operativo GNU/Linux basado en Debian optimizado para el hardware de Raspberry Pi [<https://es.wikipedia.org/wiki/Raspbian>, <https://www.raspbian.org/>]. Raspbian no está afiliado a la Fundación Raspberry Pi, de hecho, fue creado por Mike Thompson y Peter Green como un proyecto independiente.

Al ser una distribución de GNU/Linux las posibilidades son infinitas ya que el usuario puede descargar multitud de programas contenidos en repositorios como si se tratase de una distribución GNU/Linux para equipos de escritorio.

* + 1. Python

Python es un lenguaje de programación interpretado cuyo objetivo principal es hacer que su sintaxis favorezca un código legible. Soporta orientación a objetos, programación imperativa y rasgos de programación funcional. Es considerado un lenguaje de alto nivel aunque su biblioteca estándar está combinada lenguajes de bajo nivel como C y C++ [<https://es.wikipedia.org/wiki/Python>, <https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide/Programmers>].

En el proyecto, se escribirán todos los programas en este lenguaje debido a su facilidad para recoger información de los sensores y su análisis.

* + 1. Hologram

Hologram se fundó en 2013 por Ben Forgan y Pat Wilbur en Chicago con la visión de desarrollar una nueva forma de telecomunicaciones para proporcionar conectividad segura a los dispositivos IoT.

Hologram es la solución a aquellos millones de dispositivos conectados que necesitan más allá de una red WiFi para funcionar. Se basa en usar las redes celulares y no es necesario que los clientes negocien con los grandes proveedores de telefonía ya que Hologram lo ha hecho previamente, verificando el hardware y estableciendo una arquitectura de datos compatible con las regulaciones. Con Hologram, el modelo celular tradicional está cambiando con una solución integrada en software diseñada para expandir el alcance de la próxima generación de dispositivos conectados.

En la actualidad, el sistema de Hologram permite que cualquier cliente se conecte a más del 85% del área del planeta Tierra. El cliente simplemente necesita una tarjeta SIM perteneciente a Hologram y un módulo compatible para conectar la tarjeta con el dispositivo.

Además, existe una nube creada por Hologram el cual tiene las siguientes funciones:

Para conectar la Raspberry Pi a la red, la opción más sencilla es usar un módem ya que la Raspberry Pi tiene varios USB. En este caso, la compañía recomienda el uso del Hologram Nova ya que garantiza el cumplimiento de las funciones mencionadas anteriormente.

en el cual se puede ver el tráfico de datos, enviar SMS al dispositivo que tiene la SIM, crear alertas o rutas para que una vez la nube reciba un mensaje determinado, actúe realizando una tarea específica (como enviar un email al usuario con una alerta, o publicar un resultado en una página web alternativa), entre otras.

* + 1. ThingSpeak
    2. Comunicación

En este apartado se mostrarán los diferentes tipos de comunicación que se han usado en el proyecto.

* *Socket TCP/IP*: Proporciona un flujo de datos, generalmente de manera ordenada y fiable entre dos programas. La conexión punto a punto descrita por un socket se define de manera exclusiva por su dirección de Internet (IP), su protocolo de comunicación (Sea UDP o TCP) y el puerto, que identifica una aplicación (puede ser un puerto conocido como el SSH o 22, o uno definido por el usuario) [<https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSB27H_6.2.0/fa2ti_what_is_socket_connection.html>].
* *SMS*: También llamado servicio de mensajes cortos o simples. Es un servicio creado junto al sistema global para las comunicaciones móviles (GSM) que está permite el envío de mensajes cortos entre teléfonos móviles [<https://es.wikipedia.org/wiki/Servicio_de_mensajes_cortos>]. El SMS sirve para teléfonos fijos y otros dispositivos de mano.

Hablar sobre Rstudio y MobaXTerm

**Capítulo 3**

Análisis y diseño

En este capítulo, se explicará en un caso ideal cómo debería estar implementado el proyecto explicando su arquitectura. Se abordará de manera general las especificaciones del sistema y el funcionamiento general de este proyecto ideal.

* 1. Requisitos del sistema

En este apartado, se mostrarán los **requisitos funcionales,** que son todas las capacidades que describen el sistema, y los **requisitos no funcionales**, los cuales son restricciones o propiedades impuestas por sistema a desarrollar. Sin embargo, es necesario tener presente las especificaciones importantes y las que sean incompatibles con otras. Finalmente, se presentarán los casos de uso en los diferentes objetivos del proyecto.

Los requisitos del sistema se van a presentar en una tabla con la siguiente estructura [<http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/contenido/recurso/456>]:

|  |  |
| --- | --- |
| RS-XX | |
| Nombre |  |
| Descripción |  |
| Dependencias |  |
| Importancia |  |
| Prioridad |  |
| Comentarios |  |

Tabla X. Requisito del Sistema – Ejemplo

A continuación, se detallan los campos contenidos de la tabla X:

* **Identificador**: Es el valor que identifica de forma única cada uno de los requisitos desarrollados. La estructura del identificador mantiene la forma “RS-XX” ya que está compuesto por dos partes: “RS” indica que es un requisito del sistema y la segunda parte señala el número identificador del requisito. En la primera parte del identificador, se añade “F” si se trata de un requisito funcional y “NF” si es un requisito no funcional.
* **Nombre**: es el nombre que describe al identificador.
* **Descripción**: es la explicación detallada del requisito.
* **Dependencias**: en esta celda se indicarán qué otros requisitos son necesarios para cumplir con el requisito.
* **Importancia**: representa gradualmente la necesidad para que sea llevado a cabo el requisito. Los posibles valores son: opcional, deseable y esencial.
* **Prioridad**: representa el nivel de prioridad para que se cumpla el requisito en el sistema. Los posibles valores son: baja, media y alta.
* **Comentarios**: posibles valoraciones adicionales acerca del requisito.
  + 1. Requisitos funcionales

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-01 | |
| Nombre | Valor de la humedad en el suelo en tiempo real. |
| Descripción | El sistema será capaz de devolver el valor de la humedad en el suelo en tiempo real. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios | El valor de la humedad del suelo se recogerá automática y manualmente (si el usuario requiere una inspección manual). |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 01

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-02 | |
| Nombre | Valor de la aceleración en tiempo real. |
| Descripción | El sistema podrá devolver los valores de la aceleración en los ejes X, Y, Z recogidos por el giroscopio MCU6050. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 02

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-03 | |
| Nombre | Valor de la rotación en tiempo real. |
| Descripción | El sistema podrá devolver los valores de la rotación (en grados) en los ejes X e Y recogidos por el giroscopio MCU6050. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 03

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-04 | |
| Nombre | Detección de cuerpo térmico. |
| Descripción | El sistema podrá indicar si detecta un cuerpo térmico moviéndose en la zona de desarrollo. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios | Valor binario (Sí o No). |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 04

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-05 | |
| Nombre | Valor de la humedad en 7 días. |
| Descripción | El sistema podrá devolver un registro de la humedad del suelo en 7 días. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 05

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-06 | |
| Nombre | Interfaz web. |
| Descripción | Los datos del sistema podrán ser accedidos a través de una interfaz web. \*\*Más adelante, explicar que es Thingspeak |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 06

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-07 | |
| Nombre | Terminal. |
| Descripción | Los datos del sistema podrán ser accedidos a través de una terminal. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 07

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-08 | |
| Nombre | Comunicación del sistema. |
| Descripción | Los dispositivos del sistema serán capaces de comunicarse con la estación central. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios | En este proyecto se conoce estación central como el usuario. |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 08

|  |  |
| --- | --- |
| RSF-09 | |
| Nombre | Activación o desactivación del sistema de seguridad. |
| Descripción | El usuario podrá activar o desactivar el sistema cuando lo requiera. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito funcional 09

* + 1. Requisitos no funcionales

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-01 | |
| Nombre | Lenguaje de la aplicación del *Gateway*. |
| Descripción | El Gateway alojado en la Raspberry Pi estará desarrollado en Python. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Deseable. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios | La aplicación del servidor en Python se desarrolla de una manera más interactiva. Sin embargo, otros lenguajes están permitidos. |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 01

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-02 | |
| Nombre | Lenguaje de la aplicación del cliente |
| Descripción | El cliente estará desarrollado en Python. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Deseable. |
| Prioridad | Alta |
| Comentarios | La aplicación del servidor en Python se desarrolla de una manera más interactiva. Sin embargo, otros lenguajes están permitidos. |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 02

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-03 | |
| Nombre | Sistema operativo del *Gateway*. |
| Descripción | El Gateway alojado en la Raspberry Pi tendrá como sistema operativo Raspbian. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 03

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-04 | |
| Nombre | Base de datos \*\*\*de la humedad |
| Descripción | La base de datos del sistema se alojará en la interfaz web \*\*\*ThingSpeak. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 04

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-05 | |
| Nombre | Comunicación con la base de datos (interfaz web) |
| Descripción | La comunicación entre la Raspberry Pi y la interfaz web será posible gracias al uso de la red GSM. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 05

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-06 | |
| Nombre | Comunicación automática vía correo electrónico |
| Descripción | Desde la Raspberry Pi, se enviarán alertas al usuario a su correo electrónico. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 06

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-07 | |
| Nombre | Comunicación automática vía SMS. |
| Descripción | Desde la Raspberry Pi, se enviarán alertas al usuario a su teléfono móvil. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 07

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-08 | |
| Nombre | Paso de datos entre la Raspberry Pi y la interfaz web |
| Descripción | La información enviada a la interfaz web tendrá formato JSON. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 08

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-09 | |
| Nombre | Mensaje IP Global para efectuar la conexión |
| Descripción | La Raspberry Pi enviará al usuario su dirección IP global usando el servidor para que el usuario pueda conectarse a través del puerto 12345. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios | Así podrá funcionar la comunicación vía terminal. |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 09

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-10 | |
| Nombre | Conexión TCP entre la Raspberry Pi y el usuario |
| Descripción | Además de conocer los datos en la interfaz web, también el usuario podrá monitorear el sistema pidiendo instrucciones a la Raspberry Pi vía terminal a través del puerto 12345. |
| Dependencias | RSNF-09 |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta |
| Comentarios | De esta manera, podrá ejecutar más funciones que ver los resultados en la interfaz web. |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 10

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-11 | |
| Nombre | Presentación de los datos en la interfaz web |
| Descripción | La presentación de los datos recopilados por los sensores se hará mediante el uso de gráficos. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 11

|  |  |
| --- | --- |
| RSNF-12 | |
| Nombre | Descarga de la base de datos. |
| Descripción | El usuario podrá descargarse los datos almacenados en la interfaz web en los formatos JSON, XML o CSV. |
| Dependencias | \*\*\*\* |
| Importancia | Esencial. |
| Prioridad | Alta. |
| Comentarios |  |

Tabla 3.X. Requisito de sistema – Requisito no funcional 12

* 1. Arquitectura del sistema
  2. Especificaciones del sistema

De acuerdo con los objetivos establecidos en el capítulo 1 (hipervínculo), las especificaciones que debe tener el sistema en el caso ideal son:

* **Toma de datos**: Se tomarán datos de cinco variables: la humedad del suelo, 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 si lo desea el usuario.
* **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 implementación.
* **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. Funcionamiento

Aplicando el concepto ya mencionado de la red de sensores inalámbricas, en el terreno, se procedería a instalar dos equipos de sensores: uno para recoger información acerca de la humedad en el suelo y otro para obtener información sobre el estado del motor de gasoil.

Estos equipos de sensores serían los dispositivos finales de una red ZigBee. En la misma red, se encontraría un único coordinador que mandaría toda la información a un servidor mediante un módem conectado a Internet.

Anexos

1. Glosario de acrónimos y definiciones
   1. Acrónimos

* TCP: Protocolo de Control de Transporte
* UDP: Protocolo de Datagramas de Usuario
* IP: Protocolo de Internet
* ADC: Conversor Analógica - Digital
* PIR: Sensor Infrarrojo Pasivo
* IDE: Entorno de Desarrollo Integrado
* GPS: Sistema de Posicionamiento Global
* *Modem*: Modulador – Demodulador
* IoT: Internet de las Cosas
* IIoT: Internet Industrial de las Cosas
* WSN: Redes de Sensores Inalámbricas
* TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación
* GNU: *GNU’s not Unix*. El diseño de GNU es de tipo *Unix* pero difiere de éste ya que es software libre y no contiene código *Unix*.
* IDC: Corporación de Datos Internacionales
* AI: Inteligencia Artificial
* WiFi
* GSM
  1. Definiciones
* Módem: es un dispositivo que convierte las señales digitales en analógicas (modulación) y viceversa (desmodulación) que sirve para enviar la señal moduladora mediante otra señal llamada portadora. [https://es.wikipedia.org/wiki/Modem]
* *Big Data*: En español, datos masivos, son archivos de información de gran volumen, alta velocidad y/o gran variedad que exigen formas rentables e innovadoras de procesamiento de información que permitan una mejor comprensión, toma de decisiones y automatización de procesos [<https://www.gartner.com/it-glossary/big-data/>].
* *Unix*: es un sistema operativo portable, multitarea y multiusuario; desarrollado en 1969 por un grupo de empleados de los laboratorios Bell de AT&T, entre los que figuran Dennis Ritchie, Ken Thompson y Douglas McIlroy [<https://es.wikipedia.org/wiki/Unix>]

1. Ampliación de conceptos sobre la vid
2. Mapa del Acuífero “¿Número?”

139.74 $ + 45 $ + 4.99$= 184.74$ +4.99$ = 189.73$

900 – 189.73 = 710.27$ 🡪 **634.53€**

