

DISEÑO E IMPLMETACIÓN DE LA SENSORIZACIÓN INALÁMBRICA Y MONITOREO DE UNA GRANJA CUNÍCOLA

Ignacio Sáez Garijo

Tutor: Héctor García Miquel

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2020-21

Valencia, 14 de abril de 2021



Resumen

El proyecto consistirá en la creación de una red de sensores en una granja cunícola con el objeto de mejorar el control del proceso en tiempo real, mejorar las condiciones de cría de los conejos y optimizar la productividad. En primer lugar, se realizará un estudio de todas las posibles mejoras que se pueden incorporar en una granja cunícola, al respecto de los procesos de sensorización y control. Para ello se va a utilizar la tecnología Arduino y Zigbee, con la que se distribuirán varios nodos a lo largo de la granja y la de un nodo central que recoja la información. Los sensores incluirán condiciones ambientales, como temperatura y humedad, nivel de agua en el depósito y caudal, nivel de los silos de pienso, calidad del aire, midiendo CO₂ y O₂ y control de la climatización. Algunos de estos sensores se distribuirán a lo largo de los túneles y dispondrán de comunicación inalámbrica para enviar la información al nodo central.

Resum

El projecte consistirà en la creació d'una xarxa de sensors en una granja cunícola amb l'objecte de millorar el control de l'procés en temps real, millorar les condicions de cria dels conills i optimitzar la productivitat. En primer lloc, es realitzarà un estudi de totes les possibles millores que es poden incorporar en una granja cunícola, a l'respecte dels processos de sensorització i control. Per a això es va a utilitzar la tecnologia Arduino i Zigbee, amb la qual es distribuiran diversos nodes al llarg de la granja i la d'un node central que reculli la informació. Els sensors d'incloure condicions ambientals, com temperatura i humitat, nivell d'aigua en el dipòsit i cabal, nivell de les sitges de pinso, qualitat de l'aire, mesurant CO₂ i O₂ i control de la climatització. Alguns d'aquests sensors es distribuiran al llarg dels túnels i disposaran de comunicació sense fil per enviar la informació a el node central.

Abstract

The project will consist of the creation of a sensor network in a rabbit farm in order to improve the control of the process in real time, improve the conditions for raising rabbits and optimize productivity. In the first place, a study will be carried out of all the possible improvements that can be incorporated in a rabbit farm, regarding the sensorization and control processes. For this, Arduino and Zigbee technology will be used, with which several nodes will be distributed throughout the farm and that of a central node that collects the information. The sensors will include environmental conditions, such as temperature and humidity, level of water in the tank and flow, level of feed silos, air quality, measuring CO₂ and O₂ and climate control. Some of these sensors will be distributed throughout the tunnels and will have wireless communication to send the information to the central node.



Índice

Introducción.....	Pg. 3
Objetivos.....	Pg. 4
Capítulo 1. Redes de sensores con XBee.....	Pg. 6
1.1 Historia de XBee.....	Pg. 6
1.2 ¿Qué es XBee?.....	Pg. 7
1.3 Hardware XBee.....	Pg. 7
1.4 Software XBee.....	Pg. 8
Capítulo 2. Arduino.....	Pg. 9
2.1 ¿Qué es Arduino?.....	Pg. 9
2.2 Hardware Arduino.....	Pg. 9
2.3 Software Arduino.....	Pg. 10
2.4 ¿Cómo se comunican Arduino y XBee entre sí?.....	Pg. 11
Capítulo 3. Pasos que seguir para el montaje de nuestra red de sensores.....	Pg. 12
3.1 Descripción del entorno de trabajo.....	Pg. 12
3.2 Pasos generales para la creación del proyecto.....	Pg. 13
Capítulo 4. Descripción técnica.....	Pg. 14
4.1 Descripción del estándar 802.15.4	Pg. 14
4.2 ZigBee.....	Pg. 16
4.3 Redes WPAN	Pg. 17
4.4 Topología de red	Pg. 17
4.4.1 Modelo de red	Pg. 17
4.4.2 Tipos de topología de red.....	Pg. 18
4.7 Transporte de datos a través de la red	Pg. 19
4.7.1 Protocolo de transporte de XBee.....	Pg. 19
4.7.2 Modelo de trabajo de XBee.....	Pg. 20
4.7.3 XCTU.....	Pg. 21
4.7.3.1 Disposición de la red.....	Pg. 21
4.7.3.2 Configuración de los dispositivos.....	Pg. 22
4.7.3.2.1 Versiones del firmware.....	Pg.22
4.7.3.2.2 Configuración del coordinador.....	Pg.23
4.7.3.2.3 Configuración del end device.....	Pg. 24
Capítulo 5. Sensores implementados en el proyecto.....	Pg. 25
5.1 Ámbito de trabajo	Pg. 25
5.2 Sensores	Pg. 26
5.2.1 Sensor Temperatura.....	Pg. 26
5.2.2 Sensor Humedad.....	Pg. 31
5.2.3 Sensor Caudalímetro.....	Pg. 34
5.2.4 Sensor Detección de Agua.....	Pg. 36
5.2.5 Sensor Ultrasonidos.....	Pg. 39
5.2.6 Sensor Gas.....	Pg.42
Capítulo 6. Presupuesto.....	Pg. 44



Capítulo 7. Resultados.....	Pg. 45
Capítulo 8 Desarrollo en la vida real.....	Pg. 50
8.1 Aplicaciones	Pg. 50
Capítulo 9 Bibliografía.....	Pg. 51

INTRODUCCIÓN

Si nos situamos en los últimos años, el sector de la ganadería ha sufrido un cambio muy importante. La aparición de las nuevas tecnologías en un sector como la ganadería donde la automatización es la gran protagonista, tienen como objetivo principal la mejora de la productividad de las explotaciones ganaderas y junto a ello, hacer una vida más cómoda al ganadero, además de poder mejorar y aprovechar los recursos naturales.

Hoy en día las tecnologías inciden de forma positiva en las cadenas productivas de animales, ya que reducen considerablemente los costes de producción, agregan mayor valor a los productos y destacan la calidad. El acceso a toda esta información que se tiene de forma actualizada y en sistemas de gestión hacen que la toma de decisiones de las empresas se facilite y los costes y el manejo de los riesgos sean más fáciles de controlar.

Dentro de la tecnología hay gran variedad de posibilidades en la que domina la domótica y donde se están empezando a conocer las primeras granjas inteligentes, que cuentan con sistemas automáticos para un mayor control y mejorar la productividad, y en la que los avances en este campo no paran de crecer.

Más concretamente, la domótica consiste en la conexión de distintos dispositivos con la red digital, o lo que también se conoce como IoT (*Internet of Things*). La domótica cuenta con gran variedad de beneficios en la automatización de las tareas y el control de procesos gracias a la conectividad a través de un dispositivo móvil.

En Europa se estima que únicamente un 24% de la comunidad utiliza este tipo de soluciones para sus explotaciones, lo que significa que es un valor considerablemente bajo, teniendo en cuenta que incrementa la sostenibilidad y el aumento de la productividad basándose en una forma más precisa y eficiente utilizando los recursos.

El reto global y principal es nutrir mejor y a más personas, y si eso se hace utilizando mejor los recursos como pueden ser espacio y tiempo entre otros, aún incrementa más su importancia. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “*para el año 2050 se necesitará alrededor de un 60% más de proteína de origen animal de la que se produce hoy para poder satisfacer la demanda mundial*”.

La aplicación de estas ventajas que traen los nuevos desarrollos tecnológicos está influyendo directamente en la forma de producción de los animales, con la finalidad de buscar la sostenibilidad y facilitar recursos de alimentación. En el sector ganadero donde la automatización es la protagonista tienen como objetivo claro mejorar la productividad de las explotaciones ganaderas y hacer la vida más fácil al ganadero.

También, hay que indicar que la aplicación de la domótica en las granjas se conoce como *Smart Farming* y que a una primera vista se observa como una gran ayuda para las grandes extensiones, pero también puede ayudar a las explotaciones más pequeñas para conseguir mayor transparencia y mejor rendimiento.

Nos encontramos en un punto en el que gracias a los avances tecnológicos se abren nuevos caminos, tanto en la obtención como en la gestión de los datos, por lo que se convierte la cadena alimentaria en un proceso en el cual se puede obtener gran información para un mayor control, ya sea desde la producción, elaboración, distribución...se pueden controlar cualquier tipo de problemas en cualquiera de las distintas fases.

Uno de los grandes objetivos que presenta abordar el *Smart Farming* es controlar los problemas en el sector de la alimentación, como pueden ser la contaminación cruzada, la transmisión de enfermedades y el alto coste que se tiene al retirar productos, por lo que se observa la falta de información y trazabilidad de los productos. Según la Organización Mundial de la Salud, “*la contaminación en los alimentos provoca enfermedades en 1 de cada 10 personas al año y unas 420.000 muertes al año*”. Por lo que con los sistemas tradicionales determinar donde se encuentra el foco de la contaminación de un producto o encontrar donde se encuentra la enfermedad dentro de una explotación agrícola puede llevar días o incluso meses, lo que acaba provocando pérdidas económicas.

Teniendo en cuenta todas las facilidades y ventajas que se aporta a la ganadería con la tecnología, hay que señalar que una granja en la actualidad debe de contar con todos estos avances, por lo que primero que se ha llevado a cabo es un estudio junto al propietario, de los problemas y de las posibles mejoras que se pueden realizar.

OBJETIVOS

El proyecto se va a llevar a cabo en una granja cunícola. Una granja que se encuentra situada en Fuenterrobles, en el interior de la provincia de Valencia. La granja cuenta con dos túneles para la cría de conejos y en cada uno de ellos se realiza una actividad diferente.



Figura 1 Granja vista desde el aire



Figura 2 Granja vista lateral

En esta granja se cuenta con la capacidad de 800 madres aproximadamente, lo que se traduce en 80.000-90.000 kilos de carne anuales. Para poner en situación, una granja cunícola mide su capacidad por el número de madres que puede albergar. En este tipo de granjas se realiza el ciclo completo de la vida del conejo y hay que tener capacidad para todo ello. Es decir, se preparan las madres tras un largo proceso de alimentación y cuidado específico, se inseminan seguidamente, para por último criar a sus hijos, que es lo que más tarde saldrá a la venta, y así este ciclo se repite continuamente, para ser más exactos cada 65 días.



Figura 3 Vista interior de un túnel

Hay en fechas determinadas del ciclo del conejo que se pueden llegar a tener más de 10.000 conejos en la granja, por lo que en una granja de estas dimensiones hay que tener en cuenta todos los detalles y para ello se emplean técnicas que se han basado en la investigación y en la rentabilidad junto al a producción final.

Haciendo un estudio cuidadoso de la granja y de su funcionamiento junto al granjero, se puede extraer las primeras conclusiones, en la que hay que señalar como principal que la ayuda de la tecnología y en este caso la domótica facilitará todos los procesos que se llevan a cabo.

Una vez situados en el interior de la granja encontramos dos túneles especialmente diferenciados, ya que a cada uno se accede por una entrada diferente, su interior es como se puede observar en la *ilustración 3*.

Una vez dentro, observamos la distribución de las jaulas y los sistemas de ventilación de la granja que se encuentran al fondo y en los laterales. Conociendo más la situación y hablando con el ganadero se exponen los principales parámetros que afectan a la vida del conejo, se plantea el control de la temperatura, el control de la humedad y el control de los gases. Es decir, mantener un control del interior del túnel de estos parámetros que son los principales, y a partir de ahí dar una mayor seguridad al ganadero con la finalidad de establecer una mayor productividad, mayor bienestar para los animales y aportar mayor control y seguridad al ganadero.

Hay que decir que ambos túneles son semejantes en el aspecto físico, pero la actividad que se desarrolla en el interior de cada uno se diferencia según el ciclo de vida en el que se encuentre el conejo, por lo que los parámetros para cada túnel son diferentes, entonces se realizará un control específico de los parámetros obteniendo información independiente uno de otro.

Observando también en el interior del túnel, la importancia de la ventilación sobre los animales es un aspecto el cual también hay que tener en cuenta para tener un control óptimo. Haciendo saber que el control de las ventanas ya se encuentra automatizado, pasamos a ver la importancia de la climatización por medio del cooling; sistema de refrigeración que se explica más adelante, por tanto, ese es otro objetivo que cobra gran importancia para poder asegurar y controlar en todo momento que la temperatura en el interior es la idónea para la cría de conejo.

Ahora hacemos referencia al exterior de la granja y se observan diferentes aspectos que pueden influir en la vida del conejo, concretamente la alimentación y la hidratación, ya que los silos y depósitos se encuentran fuera, por tanto, se plantea como objetivo el poder controlar las reservas de pienso y agua con las que cuenta en todo en la granja, ya que un descuido en la alimentación o hidratación puede tener problemas irreversibles para el ganadero, por lo que es de vital importancia controlar estos aspectos.

Todo lo anteriormente comentado se puede resumir en un objetivo principal que es el de comenzar a crear una granja sostenible no sólo lo es respecto al medio ambiente, sino que también destaque por su eficiencia y rentabilidad, y en aportar una gran seguridad al ganadero.

Capítulo 1.- Redes de sensores con XBee

1.1- Historia de XBee

En estos tiempos la tecnología avanza a un ritmo trepidante. Día tras día aparecen nuevos avances que facilitan que nos enfoquemos a un futuro dominado por la tecnología.

En 1971 apareció por primera vez una red inalámbrica y con el paso de los años estas redes han ido evolucionando. Del comienzo de ondas infrarrojas se pasó a ondas electromagnéticas y de ahí aparecieron las redes WIFI. Con el tiempo aparecieron estándares de comunicación bajo la norma 802.11 los cuales cuentan con los avances de las redes inalámbricas, clasificándolos en función de algunas de sus características como puede ser el espectro de banda en el cual emiten o la velocidad.

Para el proyecto que vamos a llevar a cabo se ha utilizado un tipo de red inalámbrica que se conoce por WSN (*Wireless sensor network*), también llamadas redes de sensores y actuadores (*Wireless sensor and actuator networks, WSAN*) son sensores autónomos espacialmente distribuidos para monitorizar condiciones físicas o ambientales. Son redes de sensores que trabajan bajo el estándar 802.15.4 definidos para redes de área personal (*WPAN*).

Es un tipo de red que se encuentra implementada con dispositivos que no necesitan una gran cantidad de energía, y que recogen la información de su entorno y la transmiten a un nodo receptor el cual procesa la información y coordina el resto del funcionamiento. La transmisión de estos datos se realiza a baja velocidad y en donde el área de comunicación oscila en torno a los 100 metros.

1.2- ¿Qué es XBee?

XBee son módulos de comunicación inalámbrica que se componen de un transreceptor de ZigBee y un microcontrolador en el mismo módulo, con el que se pueden desarrollar diversas aplicaciones de comunicación.

Estos módulos se suelen encontrar unidos a placas de Arduino que controlan el funcionamiento de estos módulos y tienen la capacidad de poder formar redes de comunicación de diversos tipos.

El coste de estos módulos es muy bajo al igual que el consumo, que oscila entre unos 45-50 mA a pleno rendimiento, en cambio, la velocidad de transmisión no puede ser muy alta por lo que se encuentra en el orden de los 256kbps.

La banda de trabajo de estos módulos es de 2.4Ghz y dispone de varios canales para sus comunicaciones, dependiendo de la antena que se utiliza varía su alcance y también depende de los espacios, libres o abiertos, variando de 30-50 metros en cerrados a 100-120 en abiertos.

Teniendo en cuenta las prestaciones que tiene la comunicación XBee y por otro lado conociendo el ámbito de trabajo en el que se va a realizar el proyecto, se ha valorado como la mejor opción para abordar el proyecto.

1.3- Hardware XBee

En la familia de los XBee se pueden encontrar dos tipos de módulos, cada uno pertenece a una versión diferente y como consecuencia sus prestaciones difieren. Cada uno tiene unas características diferentes y hay que indicar que, entre ellos, si son de diferente versión no pueden comunicarse.

SERIE 1: son módulos formados por un procesador fabricado por Freescale y que son capaces de crear varias tipologías de red, como pueden ser multipunto o punto a punto. Se basan como anteriormente se ha comentado, en el estándar IEEE 802.15.4 y tienen una gran facilidad para la programación y para su uso.

Pin	Name(s)	Description
1	VCC	3.3 V power supply
2	DOUT	Data Out(Tx)
3	DIN	Data In (Rx)
4	DIO12	Digital I/O 12
5	RESET	Module reset
6	PWM0/RSSI/DIO10	Pulse-width modulation analog
7	DIO11	Digital I/O 11
8	Reserved	Do not connect
9	DTR/SLEEP_RQ/DIO8	Data Terminal Ready
10	GND	Ground
11	DIO4	Digital I/O 4
12	CTS/DIO7	Clear to send
13	ON/SLEEP	Sleep indicator
14	VREF	Not used in Series 2
15	ASSOC/DIO5	Association indicator
16	RTS/DIO6	Request to Send
17	AD3/DIO3	Analog Input 3
18	AD2/DIO2	Analog Input 2
19	AD1/DIO1	Analog Input 1
20	ADO/DIO0/COMMIS	Analog Input 0

Figura 4 Distribución de pines de XBee S1 PRO

SERIE 2: como bien indica su propio nombre es una familia más evolucionada que la anterior, entre esas características se puede destacar que cuenta con un mayor rango de comunicación y un consumo de energía menor. En este caso el procesador es fabricado por Ember, y el árbol de tipologías es mucho más amplio ya que se pueden crear hasta redes tipo mesh con repetidores. Se basan en el estándar ZigBee y su configuración nodo a nodo puede ser mucho más técnica. Hay que señalar que los serie 2 tienen una configuración más compleja y que permite poder subir datos a la nube

Para cada una de las series existe una versión llamada PRO, en la cual, lo único que cambia es el tamaño de su módulo y junto a que tiene un mayor rango de comunicación.

La elección en nuestro caso ha sido la de S1 PRO, ya que las características físicas de uno y otro eran muy similares, y la estructura que le íbamos a dar a nuestro proyecto se podía realizar con el módulo S1 PRO.



Figura 5 XBee S1 PRO Digi International

1.4- Software XBee

Describiendo más detalladamente los módulos XBee, hay que indicar que tienen la capacidad de ejecutar programas gracias al pequeño microcontrolador con el que cuentan. Los programas se conocen como el firmware y por medio de unas instrucciones al módulo se le indica con quién tiene que conectarse, como y qué funciones realizar. Para nuestro proyecto hemos realizado las configuraciones del firmware con el programa X-CTU, que pertenece a DIGI, es un programa de código libre y sólo funciona con Windows. Más adelante se explica más concretamente cómo se trabaja en X-CTU.



Capítulo 2. Arduino

2.1- ¿Qué es Arduino?

Arduino es una plataforma mundialmente conocida, es de código abierto y su uso es muy fácil e intuitivo. Le complementan un hardware y software sencillos también, por lo que el rango de uso es enorme, ya que se pueden programar las entradas y salidas con gran variedad de sensores que se adaptan a todo tipo de proyectos.

Para una gran cantidad de proyectos, Arduino es la base, ya que cuenta con gran número de soluciones gracias a que la comunidad que se ha formado alrededor de esta familia es muy grande y a la hora de aprender y tomar nuevos conocimientos en el aspecto de la electrónica y la informática es un elemento primordial.

2.2- Hardware de Arduino

Físicamente consiste en una pequeña placa que tiene todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador. Es decir, es una placa impresa con los componentes necesarios para que funcione el microcontrolador y su comunicación con un ordenador a través de la comunicación serial. Hay que señalar que hay gran variedad de tipos de placas, cada una con unas prestaciones y en este proyecto nos hemos decantado por Arduino MEGA.

Las características principales del Arduino MEGA 2560 son las siguientes:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje de operación 5V
- Voltaje de entrada recomendado: 7-12V
- Voltajes de entrada mínimo y máximo: 6-20V
- Pines de E/S digital 54 (de los cuales 15 son PW/M)
- Pines de entrada analógica: 16
- Corriente CC por cada pin E/S: 20Ma
- Corriente CC para el pin de 3.3V: 50mA
- Memoria Flash: 256KB, de los cuales 8KB son usados por el gestor de arranque
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Frecuencia de reloj: 16MHz
- Longitud: 101.52 mm
- Ancho: 53.3 mm
- Peso: 37g



Figura 6 Arduino ATMEL MEGA 2560

2.3.- Software Arduino

Como se ha comentado en los apartados anteriores, Arduino es como un pequeño ordenador, una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje que de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE.

Los programas que se cargan en la placa se hacen a través del puerto serie al puerto USB del ordenador y la programación se realiza en lenguaje muy similar a C++.

Todo el desarrollo del programa de Arduino se realiza en el entorno Arduino IDE, muy sencillo de utilizar, un programa de código libre y que se encuentra disponible para todo tipo de plataformas.

En la *figura 7* se muestra el editor de texto donde se escribe el programa que queremos programar en el lenguaje C++. Para verificar que no tenga errores y compilar sólo se tiene que ir a la esquina de arriba izquierda y con el botón (V) se verifica y con el de al lado se compila, si ocurre cualquier error en la pantalla en negro de abajo se muestra el error explicado.

Una vez tenemos el programa compilado correctamente, el siguiente paso es llevarlo a nuestra placa de Arduino. Este paso se realiza seleccionando la placa que estamos utilizando y el COM (*puerto*) al que nuestra placa se encuentra conectada, por último, cargamos el programa y ya se podría poner en marcha nuestro proyecto.



Figura 7 Arduino IDE

2.4- ¿Cómo se comunican Arduino y XBee entre sí?

Como se ha descrito anteriormente Arduino es una plataforma que utiliza código abierto, fácil de usar y la cual permite que gran cantidad de fabricantes compatibilicen sus productos junto con ellos. Un claro ejemplo es el de nuestro proyecto, ya que XBee quiere utilizar lo desarrollado por ellos para la comunicación entre dispositivos como puede ser Arduino.

Una opción de conectar estos dos dispositivos es usar la placa SHIELD, la cual se coloca entre el Arduino y el módulo XBee y su función es realizar todas las conexiones para que se cree una buena comunicación.



Figura 8 XBee conectado a la placa Shield

En nuestro caso no la hemos utilizado porque no disponíamos de ellas y la conexión que realizamos de los módulos era bastante sencilla y por lo que hemos utilizado como medio de unión la placa XBee USB Adapter; que es la que se ha utilizado para programar el XBee.



Figura 9 XBee USB Adapter

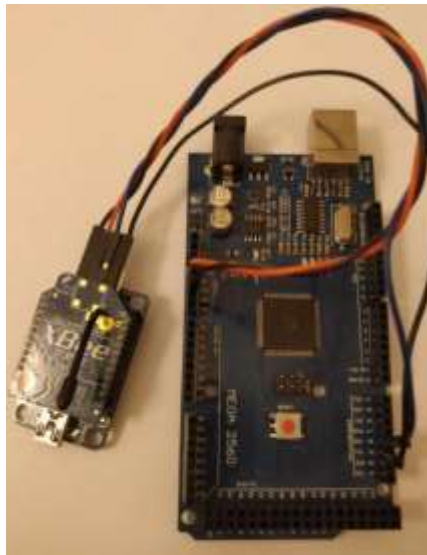


Figura 10 Conexión XBee con Arduino Mega

Una vez tenemos unidos el módulo Arduino con el XBee conectado como se muestra en la *ilustración 10* se puede dar paso a la construcción del proyecto.

Capítulo 3.- Pasos que seguir para el montaje de nuestra red de sensores

3.1- Descripción del entorno de trabajo

Todo comienza por realizar una breve introducción hacia el sector donde se va a realizar el proyecto y en la que hay que señalar que las tecnologías hoy en día mejoran la productividad en el sector ganadero. En el sector de la ganadería se ha evolucionado con gran rapidez estos últimos años.

En nuestro caso es una explotación cunícola que tiene como finalidad la alimentación. Actualmente se encuentra integrada por el grupo HERMI, un grupo líder en este sector,



el cual busca aplicar los últimos avances en sus explotaciones y obtener la máxima productividad.

La explotación fue construida en el año 2007, pero desde ahí año tras año se han ido aplicando mejoras como puede ser la incorporación de ventilación automática, calefacción y refrigeración automática...entre otros muchos avances. Pero ahora queremos dar un paso más allá de todo esto, y el objetivo que se plantea es el poder dar al ganadero la tranquilidad de que su explotación se encuentra en las mejores condiciones en todo momento.

Se ha planteado la instalación de una red de sensores inalámbrica, los cuales sean capaces de medir los parámetros más importantes que nos ha planteado el ganadero. Estos sensores son de todo tipo y los parámetros que se van a medir son los siguientes: temperatura, humedad, gases, capacidad de depósitos tanto de agua como de pienso, caudalímetro, cooling... Por otro lado, también se podrán introducir ideas al ganadero como pueden ser de seguridad con la finalidad de mantener la explotación alejada de los robos.

Una vez se ha planteado el objetivo principal que se busca conseguir con este proyecto se pasa a realizar un estudio más concreto con el ganadero, el cual nos plantea los principales problemas y preocupaciones que le suceden habitualmente, para nosotros así poder realizar un estudio más detallado de que soluciones adoptar y entre ellas adoptar la más correcta.

Cuando ya tenemos analizado el terreno y el entorno sobre el que vamos a trabajar, es la hora de pasar a adoptar las mejores soluciones y para ello utilizaremos los elementos anteriores con lo que se puede dar paso a montar una red de sensores, junto a Arduino y los XBee necesarios.

3.2 Pasos generales para la creación del proyecto

1.-Tener claro cuál es nuestro objetivo y qué queremos obtener de nuestros sensores. Hay que tener muy en cuenta las prestaciones de los sensores y demás que se van a utilizar.

2.- Haciendo referencia a los dispositivos, se tiene que determinar con claridad qué queremos obtener, y las diversas opciones de cómo conseguirlos y elegir la que mejor se nos adapte a nuestras condiciones.

3.- En el siguiente paso se debe de seleccionar la topología de red que mejor se adapta a nuestro proyecto para tener una mayor eficiencia.

4.- Ahora damos paso a la configuración de los equipos, definir el objetivo de cada uno de ellos e implementarlo dentro de la red que forman todos juntos.

5.- Como penúltimo paso será realizar una serie de pruebas para poder detectar los posibles errores que se hayan cometido y llevar a cabo su corrección para el montaje final

6.- Terminamos montando la red en el lugar deseado y construir físicamente paso a paso todo el proyecto para poder ponerlo en marcha cuanto antes y obtener los resultados que se han perseguido

Capítulo 4.-Descripción técnica

4.1-Descripción del estándar 802.15.4

Para poder hablar de este protocolo primero nos tenemos que remontar a hablar de la asociación IEEE la cual se encarga de recoger un gran número de estándares en el campo de la tecnología. Esta asociación aparece en el año 1884, pero hasta el año 1963 tras fusionarse con IRE (*Institute of Radio Engineers*) no pasó a llamarse IEEE.

El estándar IEEE 802 es uno de los protocolos más conocidos en el mundo por el gran avance que ha supuesto para la tecnología. Su misión se centra en desarrollar estándares de redes de área local (*LAN*) y redes de área metropolitana (*MAN*), principalmente en las dos capas inferiores al modelo OSI.

IEEE 802 fue creado en 1980 paralelamente al diseño OSI. Su finalidad era que diferentes tipos de tecnologías pudieran integrarse y trabajar juntas. El proyecto 802 define aspectos relacionados con el cableado físico y la transmisión de datos.

Con el paso del tiempo, el número de estándares con dicho nombre fue aumentando significativamente, aunque mantienen la misma estructura hay otras muchas características que van variando.

Nombre	Descripción
IEEE 802.1	Normalización de interfaz
802.1D	Spanning Tree Protocol
802.1Q	Virtual Local Area Networks
802.1aq	Shortest Path Bridging (SPB)
IEEE 802.2	Control de enlace lógico
IEEE 802.3	CSMA/CD (ETHERNET)
IEEE 802.4	Token bus
IEEE 802.5	Token ring
IEEE 802.6	Metropolitan Area Network (ciudad) (fibra óptica)
IEEE 802.7	Grupo Asesor en Banda ancha
IEEE 802.8	Grupo Asesor en Fibras Ópticas
IEEE 802.9	Servicios integrados de red de Área Local
IEEE 802.10	Seguridad
IEEE 802.11	Redes inalámbricas WLAN (Wi-Fi)
IEEE 802.12	Prioridad por demanda
IEEE 802.13	Se ha evitado su uso por superstición
IEEE 802.14	Modems de cable
IEEE 802.15	WPAN (Bluetooth)
IEEE 802.16	Redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha (WIMAX)
IEEE 802.17	Anillo de paquete elástico
IEEE 802.18	Grupo de Asesoría Técnica sobre Normativas de Radio
IEEE 802.19	Grupo de Asesoría Técnica sobre Coexistencia
IEEE 802.20	Mobile Broadband Wireless Access
IEEE 802.21	Media Independent Handoff
IEEE 802.22	Wireless Regional Area Network

Figura 11 Grupos de trabajo del estándar IEEE 802

Si nos fijamos en la tabla anterior, el grupo de trabajo 802.15 es el estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos.

Versión	Característica clave
802.15.1	WPAN/Bluetooth
802.15.2	Varias redes WPAN
802.15.3	WPAN alta velocidad
802.15.4	WPAN baja velocidad
802.15.5	WPAN en malla
802.15.6	Body Area Network (BAN)
802.15.7	Visible Light Communication (VLG)
802.15.8	Comunicación por pares (PAN)
802.15.9	Protocolo de administración de claves (KMPO)
802.15.10	Enrutamiento de capa 2

Figura 12 Versiones 802.15

El propósito del estándar es definir los niveles de red básicos para dar servicios a un tipo específico de red inalámbrica de área personal (WPAN) centrada en la habilitación de comunicación entre dispositivos con bajo coste y velocidad. Se enfatiza el bajo coste de comunicación con nodos cercanos y sin infraestructura o con muy poca, para favorecer aún más el bajo consumo.

Al mismo tiempo, el protocolo 802.15 fue desarrollando grupos de trabajo basándose en él para poder estudiar diferentes tecnologías de conexión en redes WPAN y obtener mejores resultados y especialidades diversas.

En este proyecto como se ha comentado anteriormente, se va a explicar más detalladamente el estándar 802.15.4, que es el que se ha utilizado. Es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (*LR-WPAN*). El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

En la siguiente tabla se van a mostrar las características más significativas del protocolo 802.15.4:

PROPIEDAD	RANGO
Rango de transmisión de datos	868 MHz ----- 20 Kbps 915 MHz ----- 40 Kbps 2,4 GHz ----- 250Kbps
Alcance	10 – 20 metros
Canales	868/915 MHz ----- 11 canales 2,4 GHz ----- 16 canales
Bandas de frecuencia	868/915 MHz o 2,4 GHz
Direccionamiento	Corto de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de acceso	CSMA-CA y CSMA-CA ranurado
Temperatura	-40°C a +85°C

Figura 13 Características del protocolo 802.15.4

También hay que señalar que entre los aspectos más importantes se encuentra la adecuación de su uso para tiempo real por medio de los slots de tiempo garantizados, evasión de colisiones por CSMA/CA y soporte integrado a las comunicaciones seguras. También se incluyen funciones de control del consumo de energía como calidad del enlace y detección de energía.

4.2.- ZigBee

ZigBee es un estándar desarrollado por la ZigBee Alliance para comunicaciones digitales inalámbricas bidireccionales, de bajo consumo y bajo coste. Su nombre proviene de la comunicación que utilizan las abejas, pero no se debe confundir XBee con ZigBee, ya que son cosas muy diferentes, XBee es el hardware que utilizan diversos protocolos (*Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee...*) para la construcción de redes inalámbricas.

Está destinado a dispositivos embebidos empleados en electrónica de consumo, automatización de hogares y edificios, control industrial, aplicaciones de sensores médicos, juguetes y juegos. Se basa en el estándar 802.15.4 y su objetivo principal es la transmisión de comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos, maximizando de la vida útil de baterías.

ZigBee se estructura por encima del protocolo 802.15.4 para redes WPAN, el protocolo cuenta con el nivel físico y de enlace y el ZigBee incorpora transporte, red y aplicación.

	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth
Rango	10 - 100 metros	50 - 100 metros	10 - 100 metros
Topología de red	Estrella, malla, peer to peer	Hotspot	Punto a punto, multipunto...
Velocidad	< 250Kbps	<50Mbps	1Mbps
Consumo transmisión	30 mA	400 mA	40 mA
Consumo reposo	3 μ A	20 mA	0.2 mA
Coste	Bajo	Alto	Medio
Configuración	Fácil	Compleja	Compleja
Aplicaciones	Domótica y monitoreo	Internet	Informática y móviles

Figura 14 Tabla comparativa entre Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee

4.3- Redes WPAN

Anteriormente ya han aparecido estas siglas que hacen referencia a Wireless Personal Area Network, lo que viene a ser redes inalámbricas de área personal que es el tipo de red que constituye este proyecto.

Son un tipo de red cuyo uso se da en área reducidas, de ahí su nombre. Su objetivo principal es conectar dispositivos como tablets, teléfonos móviles, ordenadores... sin la necesidad de utilizar cables para ello. Nos permite una conexión directa siempre y cuando estos aparatos estén dentro del rango.

Son redes que tienen un coste bastante reducido y que se crearon para la conexión y comunicación de varios dispositivos en un espacio reducido. Tanto Bluetooth como ZigBee se basan en el estándar que anteriormente se ha hablado.

He de señalar que WPAN no es una tecnología única. Es decir, que dentro de este estándar podemos incluir diferentes tecnologías que permiten conectar dispositivos de manera inalámbrica. Tienen un alcance limitado como se ha comentado y de ahí viene su nombre.

4.4. Topología de red

4.4.1-Modelo de red

En este punto vamos a hablar de diferentes tipos de topologías y conceptos de red. Una red se puede definir como un conjunto de equipos nodos y software conectados entre sí. Esta red puede tener diferentes diseños y como consecuencia cada una tendrá unas características, por lo que adaptaremos lo mejor posible nuestra red a nuestro proyecto o a lo que queramos obtener de ella.

En nuestra red ZigBee es necesario definir a cada tipo de nodo y la función que van a llevar a cabo dentro de la red. Cada nodo puede ser coordinador, router y end device; en nuestra red router no utilizaremos porque no es necesario.

Componentes de nuestra red ZigBee:

- **Coordinador:** este es el nodo que se encarga de inicializar y controlar la red. En él se señala el modo de funcionamiento que queremos en la red, aparte de otros parámetros que se verán más adelante. Hay que indicar que un nodo coordinador siempre es indispensable para que la red ZigBee funcione.
- **End Device:** este nodo tiene como objetivo y función únicamente el envío y recepción de los datos de la red. Este dispositivo se comunica a un router o un coordinador directamente como en nuestro caso. He de señalar que tras este nodo no puede haber ningún otro.

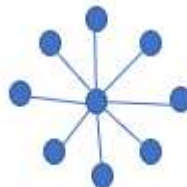
4.4.2-Tipos de topología de red

Una vez se han descrito los diferentes dispositivos que pueden implementar la red, pasamos a hablar de las topologías que se pueden montar usando estos dispositivos. Junto a cada topología se muestra un pequeño esquema de la figura resultante.

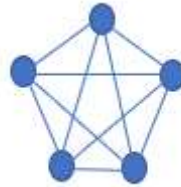
- **Punto a punto:** es el tipo de red más simple que se puede implementar. Está formada por dos dispositivos, un coordinador y un router o end device. Este tipo de red se caracteriza por su simplicidad y la facilidad de crear redes que no requieran un gran desarrollo.



- **Estrella:** la característica más significativa de este tipo de red es que en el centro se coloca el coordinador y el resto de los dispositivos se conectan directamente a él. No existen routers en esta topología, todos son end device ya que el coordinador es el que se encarga de hacer la función del router. El problema que presenta esta topología es que su limitación viene dada por el coordinador ya que no hay dispositivos intermedios.



- **Mesh:** esta es la topología más compleja, ya que se puede realizar comunicación directa entre nodos. Aquí sí que aparecen coordinador, routers y end device, por lo que el alcance de la propia red es mayor y su fiabilidad también es mayor porque no dependen todos los dispositivos de uno único. Seguramente sea la topología más utilizada por la gran flexibilidad que aporta a la red y también por su mayor fiabilidad.



4.7. Transporte de los datos a través de la red

4.7.1- Protocolo de transporte de XBee

Como se ha comentado en apartados anteriores, el protocolo de XBee cuenta con capa de red y aplicación, lo que eso significa es que no cuenta con una capa de transporte.

Se puede decir que el gran inconveniente de ZigBee es que no permite relacionarse con redes externas que difieran en su arquitectura, y eso viene a ser que no se puede relacionar con el protocolo IP, con lo que ello significa hoy en día.

La finalidad de ZigBee es adaptar sus redes a diferentes tipos de sensores, y eso justamente es lo que crea las dificultades con los protocolos de transporte TCP y UDP. La finalidad de un protocolo y otro es diferente, pero debido a la gran necesidad de poder realizar conexiones con redes externas se han creado algunos protocolos.

Los problemas que aparecen con el protocolo TCP son la pérdida de paquetes, aunque cuente con un protocolo fiable de extremos a extremo, retransmisiones costosas de energía, topología dinámica de red, transmisión en tiempo real y red asimétrica.

Por otro lado, con UDP la fiabilidad de entrega de paquetes no es compatible con la fiabilidad que presentan las redes de sensores ZigBee, aparte del consumo de energía que aumentaría considerablemente y eso en las redes de sensores crea problemas porque es algo que se encuentra muy controlado.

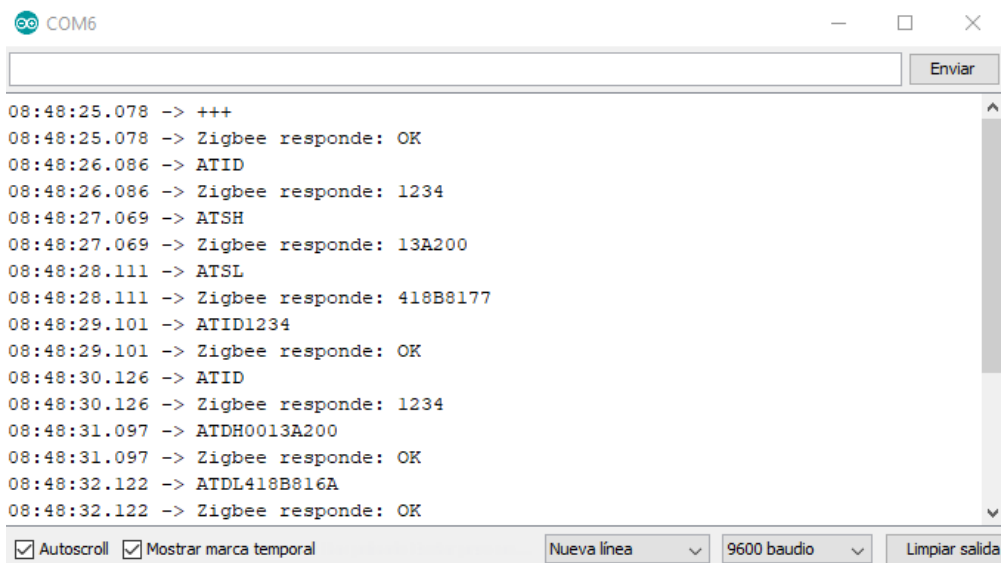
A continuación, se van a nombrar los diferentes protocolos que se han creado para conseguir el objetivo que TCP y UDP no son capaces de obtener. Los protocolos son CODA, RMST, GARUDA, ESRT, SenTCP, TSS, DTC...

En este proyecto se va a realizar una conexión con red externa para llevar un control de datos a través de una aplicación y por ello se ha realizado una pequeña introducción en este campo, pero se desarrollará más en la parte 2 de este proyecto.

4.7.2 Modo de trabajo del XBee

El XBee es capaz de trabajar en diferentes modos dependiendo de la configuración que se realice acorde con el resultado que se quiera obtener.

- **Modo de comando:** en este modo permite al usuario introducir comando para poder configurar, modificar o ajustar algunos parámetros. Para este modo es necesario usar algún programa que sea capaz de manejar comandos, en nuestro caso se utiliza XCTU. Para entrar en este modo se tiene que introducir los siguientes caracteres “+++” y cuando responda “OK” significa que se encuentra en modo comando, para salir sólo es necesario esperar un tiempo.



```

COM6
Enviar
08:48:25.078 -> +++
08:48:25.078 -> Zigbee responde: OK
08:48:26.086 -> ATID
08:48:26.086 -> Zigbee responde: 1234
08:48:27.069 -> ATSH
08:48:27.069 -> Zigbee responde: 13A200
08:48:28.111 -> ATSL
08:48:28.111 -> Zigbee responde: 418B8177
08:48:29.101 -> ATID1234
08:48:29.101 -> Zigbee responde: OK
08:48:30.126 -> ATID
08:48:30.126 -> Zigbee responde: 1234
08:48:31.097 -> ATDH0013A200
08:48:31.097 -> Zigbee responde: OK
08:48:32.122 -> ATDL418B816A
08:48:32.122 -> Zigbee responde: OK
 Autoscroll  Mostrar marca temporal
Nueva línea 9600 baudio Limpiar salida

```

Figura 15 Comandos para iniciar la comunicación con ZigBee

- **Modo AT:** es el modo de transmisión serial transparente, en el cual la comunicación es similar a como sería a través de un puerto serial, ya que el propio dispositivo se encarga de crear la trama y hacer que el dato llegue al pin Tx (*transmisión*) para ser enviado de forma inalámbrica. Es el modo más sencillo de utilizar, y, por otro lado, su gran inconveniente es que para enviar información a distintos nodos es necesario entrar constantemente al modo configuración para cambiar la dirección de destino. En la siguiente ilustración se muestran los pines utilizados en modo AT, el elegido para nuestro proyecto.

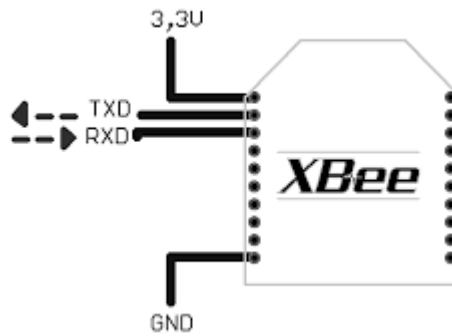


Figura 16 Pines en modo AT

- Modo API:** es un modo más complejo de comunicación, en este caso un microcontrolador externo es el que se encarga de crear una trama específica al tipo de información que se va a enviar. Este modo se recomienda para redes muy grandes donde no se puede perder tiempo entrando y saliendo del modo configuración de los dispositivos. Es ideal para utilizarlo en redes con topología malla.

4.7.3 XCTU

4.7.3.1 Disposición de la red

En esta parte se va a explicar la configuración que se lleva a cabo en nuestro proyecto paso a paso y más detalladamente en el programa XCTU.

El objetivo de la red, como ya sabemos, consiste en la creación de una red punto-multipunto de sensores, que se encargue de obtener diversos parámetros ambientales de una explotación cunícola. Los end-device (*nodos finales*) obtendrán la información que se enviará a un nodo coordinador el cuál procesará la información. La aplicación está desarrollada con la tecnología XBee para la transmisión de datos de forma inalámbrica y el Arduino para el procesamiento de los datos que recibe de los sensores.

Nuestra red está formada por varios nodos, pero todos son similares. Se configuran primero los end device, que tienen como función recoger los datos que toman los sensores, procesar esa información y transmitirla al coordinador. El end-device está formado por una placa Arduino Uno, por el módulo de transmisión XBee Serie 1 Pro y por los sensores, que en cada nodo son unos u otros como se ha comentado anteriormente.

4.3.7.2 Configuración de los dispositivos

La configuración de la red como se ha descrito en el apartado anterior va a ser punto-multipunto, y señalar que la comunicación va a ser unidireccional. Los end-device serán los que transmitan la información al coordinador.

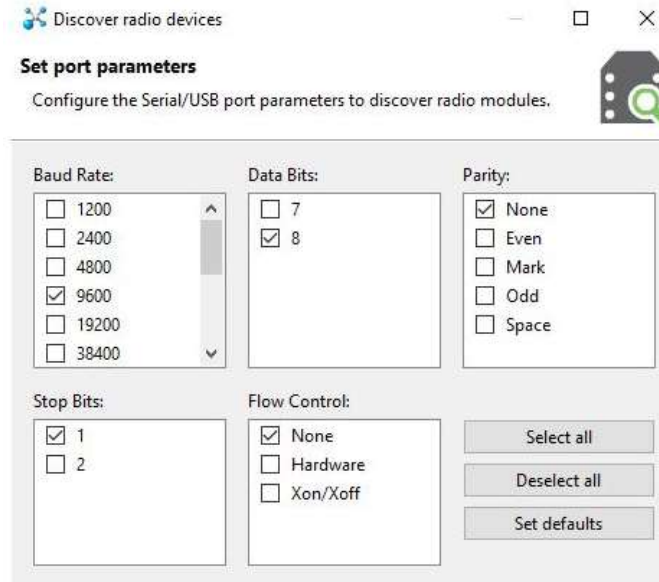


Figura17 Parámetros de configuración XCTU

En la *ilustración 17* nos encontramos los primeros parámetros que se deben de configurar en X-CTU para nuestro módulo XBee.

4.7.3.2.1 Versiones del firmware

Para la configuración se ha utilizado el programa X-CTU, un programa gratuito y compatible con diversos sistemas operativos, que se utiliza para configurar, inicializar, actualizar firmware y testear módulos XBee, comunicándose por puerto serie a los módulos. La gran ventaja de este software es que puedes ver rápidamente un resumen de todos los parámetros del módulo y una descripción de ellos.

Todos los equipos se han configurado con un firmware en modo AT, ya que para nuestro proyecto tiene las prestaciones que necesitamos, aparte de que es un modo más sencillo que el API, en el cual hay que utilizar alguna conversión en las tramas de envío de mensaje por lo que es más complejo.

La versión de firmware que ha sido instalada en todos los nodos es 10ef (*Newest*), era la última versión disponible y es la que se muestra en azul en la *figura 18*.



Figura 18 Firmware

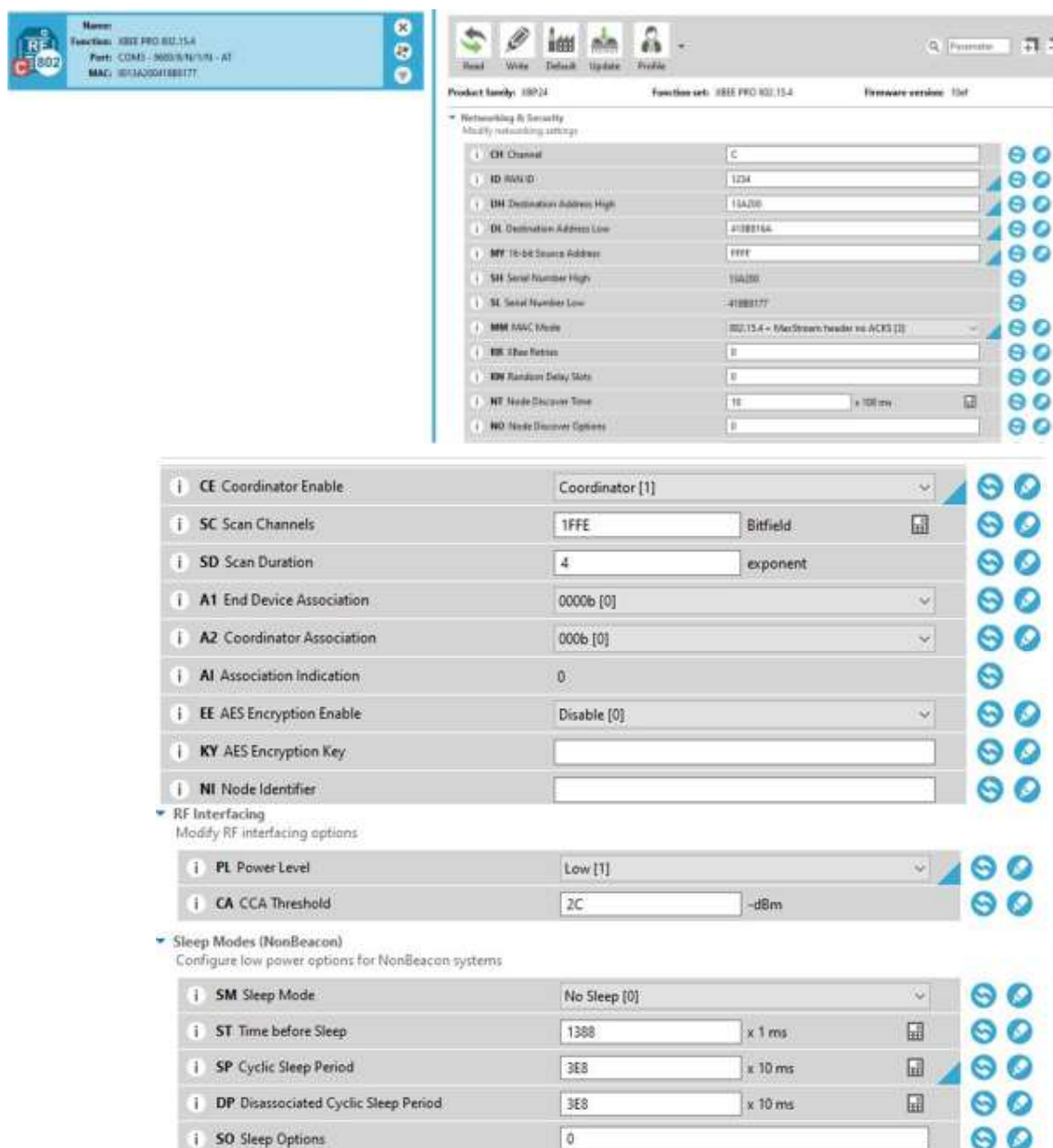
4.7.3.2.2 Configuración del coordinador

Como ya se ha comentado anteriormente este nodo será el encargado de recoger los datos y realizar las siguientes funciones o tareas que nosotros deseemos.

-Parámetros de la red

Se debe de indicar la dirección PAN ID correspondiente a la red para poder diferenciarla del resto. En este caso se ha elegido 1234 como valor, aunque podría haberse elegido cualquier otro.

El siguiente paso es elegir los canales en el campo SC (Scan Channels) con lo que vamos a trabajar. En este caso concreto, como va a ser una red que se encuentre en solitario y no va a interferir con ninguna otra se deja el valor que viene por defecto "1FFE" y el propio coordinador elegirá un valor aleatorio entre los posibles.



The screenshot displays the configuration interface for a ZigBee Coordinator. It is divided into several sections:

- Network & Security:** This section contains various network parameters:
 - CH Channel: C
 - ID PAN ID: 1234
 - DH Destination Address High: 15A200
 - DL Destination Address Low: 41080164
 - MY 16-bit Source Address: FFFF
 - SH Serial Number High: 15A200
 - SL Serial Number Low: -41080177
 - MM MAC Mode: IEEE 15.4 - MaxStream Header no ACKS (2)
 - BR Base Retries: 0
 - EW Random Delay Slots: 0
 - WT Wake Discover Time: 10 x 100ms
 - WD Wake Discover Options: 0
- Coordinator Settings:**
 - CE Coordinator Enable: Coordinator [1]
 - SC Scan Channels: 1FFE (Bitfield)
 - SD Scan Duration: 4 (exponent)
 - A1 End Device Association: 0000b [0]
 - A2 Coordinator Association: 000b [0]
 - AI Association Indication: 0
 - EE AES Encryption Enable: Disable [0]
 - KY AES Encryption Key: [Empty field]
 - NI Node Identifier: [Empty field]
- RF Interfacing:**
 - PL Power Level: Low [1]
 - CA CCA Threshold: 2C (-dBm)
- Sleep Modes (NonBeacon):**
 - SM Sleep Mode: No Sleep [0]
 - ST Time before Sleep: 1388 x 1 ms
 - SP Cyclic Sleep Period: 3E8 x 10 ms
 - DP Disassociated Cyclic Sleep Period: 3E8 x 10 ms
 - SO Sleep Options: 0

Figura 19 Parámetros de configuración del coordinador

-Parámetros de seguridad

En nuestro caso este apartado no tiene ninguna importancia, ya que las condiciones de la red y los datos que va a manejar no son de gran importancia, por lo que no se ha configurado ningún parámetro de seguridad

-Parámetros de ahorro de energía

No se han configurado parámetros de ahorro de energía ya que el consumo del coordinador es muy bajo.

El resto de los parámetros que no se han nombrado es porque toman su valor por defecto, ya que no afecta a la aplicación que se ha llevado a cabo.

4.7.3.2.3 Configuración End Device

El end device es el nodo cuya función es captar información a través de los sensores y transmitírsela al coordinador. Es necesario realizar una configuración al igual que en el coordinador para que la comunicación sea la correcta.

-Parámetros de red

En este apartado se necesitan los mismos valores de configuración que en el coordinador para que puedan unirse a la misma red. Por lo que el valor del PAN ID es 1234.

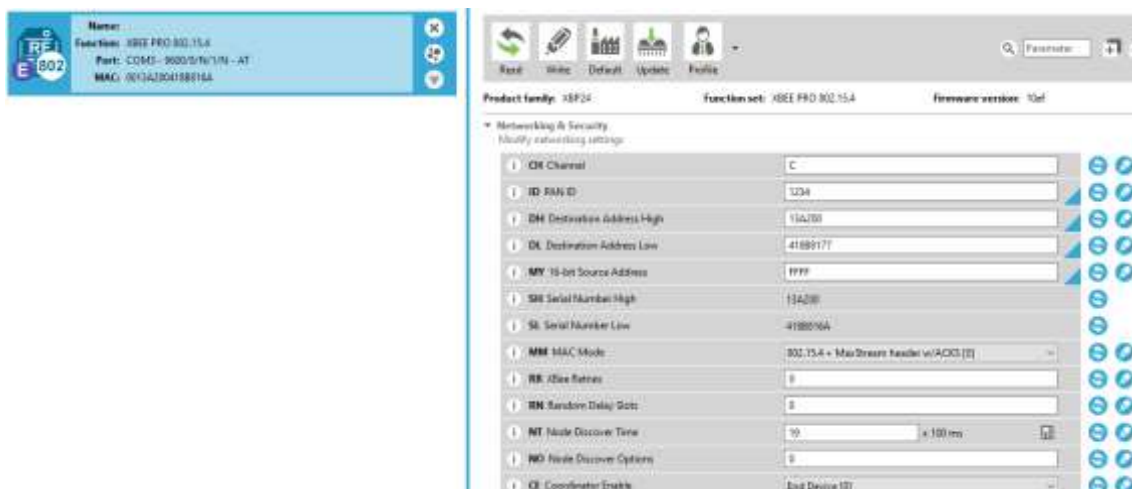
En el parámetro SC (Scan Channels) al estar ahora en el end device se debe de poner un valor que incluya los canales que se han colocado en el coordinador para que puedan coincidir, en este caso colocaremos "1FFE".

-Parámetros de direccionamiento

Para que se envíen los datos correctamente entre los dos nodos se pueden aplicar dos posibles soluciones.

Opción 1: Ha sido la elegida en este proyecto y es colocar las direcciones alta y baja en los parámetros correspondientes al coordinador y viceversa.

Opción 2: Colocar el valor "0" en los parámetros de configuración DH y DL para que envíe directamente al coordinador.



i	CE Coordinator Enable	End Device [0]							
i	SC Scan Channels	1FFE	Bitfield						
i	SD Scan Duration	4	exponent						
i	A1 End Device Association	0000b [0]							
i	A2 Coordinator Association	000b [0]							
i	A1 Association Indication	0							
i	EE AES Encryption Enable	Disable [0]							
i	KY AES Encryption Key								
i	NI Node Identifier								
RF Interfacing									
Modify RF interfacing options									
i	PL Power Level	Low [1]							
i	CA CCA Threshold	2C	-dBm						
Sleep Modes (NonBeacon)									
Configure low power options for NonBeacon systems									
i	SM Sleep Mode	No Sleep [0]							

Figura 20 Parámetros configuración end device

-Parámetros de seguridad

Si en el coordinador no se ha realizado configuración de seguridad en el end device tampoco puede configurarse.

-Parámetros de ahorro de energía

No se han configurado parámetros de ahorro de energía, ya que el consumo que realiza el end device es muy bajo y no tiene mayor importancia.

Capítulo 5. Sensores implementados en el proyecto

5.1 Ámbito de trabajo

A continuación, se va a realizar una explicación sensor a sensor que se va a implementar en nuestra red, aparte de su configuración.

Como se ha comentado anteriormente nos encontramos en un proyecto para una granja cunícola, y como todo hoy en día, cuanto más información conozcamos y cuantos más parámetros podamos manejar, mejores resultados se pueden obtener, que es el gran objetivo, tener una mayor producción junto a un menor coste y a un menor trabajo.

La topología de red que se va a utilizar en este proyecto es punto a punto o también punto-multipunto, la cual los sensores se encargaran de medir los parámetros que se describen a continuación y enviarán la información a un coordinador el cual se encargará de procesar la información.

La red estará formada por diversos nodos finales, todos ellos configurados a lo largo del túnel de la granja con los sensores precisos y junto a los XBee necesarios para la transmisión de los datos.

5.2 Sensores

Para poder elegir el sensor que mejor se adopte a nuestros objetivos hay que analizar la gran variedad de este tipo de sensores que nos proporciona Arduino.

Se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

Sensibilidad: es la variación de la señal de salida por unidad de la magnitud de entrada. Cuanto mayor sea la variación de la señal de salida producida por una variación en la señal de entrada, el sensor es más sensible.

Rango de valores: es el intervalo de valores de determinada variable que es capaz de medir un determinado instrumento de precisión.

Precisión: es el máximo error esperado en la medida.

Resolución: es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la señal de salida.

Tiempo de respuesta: es el tiempo que transcurre desde que se aplica una entrada constante, hasta que el transductor produce una respuesta en consecuencia a la salida correspondiente.

Offset: es el valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, se establece otro punto de referencia para definir el offset.

5.2.1 Sensor Temperatura

Señalar, que el parámetro de la temperatura que desea tener en cuenta el granjero se encuentra dentro de los dos túneles con los que cuenta la explotación cunícola. Es un parámetro que se debe tener en cuenta, ya que hay que destacar la importancia del confort térmico dentro de la granja, entendiéndolo como ese intervalo de temperaturas de producción óptima.

El objetivo principal que se presenta es el de tener un control en todo momento de que la temperatura siempre se encuentra entre los valores óptimos de producción lo que eso significará que todo se encuentra funcionando correctamente.

La importancia de la temperatura en el interior de los túneles es vital, y desde el primer momento así ha sido transmitida por el ganadero. El objetivo principal que se quiere abordar con la medida de este parámetro es el de asegurar al ganadero en todo momento que el túnel donde se encuentran los conejos tiene la temperatura adecuada y así asegurar a los animales un mayor bienestar, con el tiempo una mayor productividad elevando el aumento de peso de los animales antes de ir al matadero y reduciendo el número de bajas diarias.

Los objetivos anteriormente presentados se deben a que la situación geográfica en la que se encuentra, hace que durante el invierno se puedan alcanzar temperaturas en el exterior de hasta los -10°C , por lo que se necesita un control muy importante sobre la temperatura

en el interior en todo momento, ya que debido a las bajas temperaturas, en lo referente a la primera semana de vida de los conejos hay que tenerla muy controlada, ya que son muy sensibles al frío y que también es un muy buen aliado para promover o potenciar el síndrome respiratorio y digestivo.

Más en concreto en las hembras podemos señalar que aparecen los siguientes problemas:

- Poca receptividad, presentado las vulvas blancas y sin turgencia.
- Disminución de la fertilidad, palpaciones positivas sobre cubriciones, situándose en algunos casos por debajo del 50%
- La prolificidad también se ve afectada, ya sea por una menor tasa de ovulación o por un incremento de la mortinatalidad.
- Decece la producción lechera por efectos colaterales y la poca viabilidad de las crías.
- Una disminución del consumo de alimento y del crecimiento
- Alteración en la viabilidad embrionaria
- Reducción del tamaño de las camadas

Por lo contrario, debido a la situación geográfica en la que se encuentra esta explotación, en la época estival podemos alcanzar en el exterior con gran facilidad los 38°C – 40°C, por lo que se ve seriamente afectada ya que perjudica el proceso de todos los ciclos productivos cunícolas, debido a que con altas temperaturas influyen negativamente incentivando problemáticas entéricas, desequilibrios digestivos y la muerte de los animales, donde también durante los partos afecta a las madres causando bajas.

El mayor peligro con las altas temperaturas se produce en la primera oleada de calor del año, pues está demostrada una adaptación progresiva de los animales a nuevos picos térmicos. El conejo no suda y por tanto tiene dificultad para eliminar el exceso de temperatura. Los mecanismos que emplea para ello son la vasodilatación y el incremento de la frecuencia respiratoria. Ante una temperatura muy elevada el animal es incapaz de eliminar el exceso de calor por lo que se incrementa su temperatura corporal hasta un nivel incompatible con la vida.

También señalar, que con el incremento de las temperaturas incrementa la cantidad de agua que beben por lo que se aumentan los problemas digestivos, lo que directamente hace que el número de muertes aumente.

Una vez tenemos claros los problemas y la importancia de poder tener información del parámetro de la temperatura pasamos a afrontarlo de la mejor manera posible.

Pasamos a ver las opciones que tenemos ahora para conseguir nuestro objetivo de medir la temperatura.

Una de las primeras opciones que se nos presenta en nuestro camino es el sensor LM35, una opción de tipo analógico y de bajo coste (por debajo del euro la unidad). El problema que presenta es que las temperaturas que se pueden medir se encuentran en el rango de entre 2°C y 150°C a no ser de utilizar voltajes negativos y también el diseño que muestra no cumple nuestras características, ya que para colocarlo en la posición que el granjero nos indica no sería posible.

Otro muy parecido es el TMP 36, que la única diferencia que se presenta con el anterior es que este sí que puede medir temperaturas negativas sin suministrar voltaje negativo.

Señalando los dos anteriores como sensores analógicos, indicar, que son más sensibles que los digitales al ruido y que observando el precio respecto a las prestaciones de cada uno nos decantamos por la siguiente opción es el DS18B20.

Es un sensor de bajo coste y bastante avanzado, ya que dispone de un rango de medición de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ y con una precisión superior a $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en el rango de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$.

Al ser de forma de sonda impermeable, es más fácil el montaje óptimo que nosotros buscamos, ya que si por casualidad le cae algún líquido o algo parecido no sufrirá ninguna alteración, y es más cómodo de colocarlo en la posición que el granjero nos ha indicado, ya que como se explicará más abajo, hay una gran dificultad en encontrar el punto exacto donde medir la temperatura.

El sensor DS18B20 es bastante complejo, ya que está formado por múltiples módulos, los cuales se encarga de la comunicación, medir la temperatura, y gestionar el sistema de alarmas con el que cuenta y también indicar que utiliza un bus de comunicación denominado 1-Wire.

Por ello también hay que destacar que su mayor ventaja es con un único cable permite realizar la transmisión empleando únicamente el cable de datos, es capaz de realizar esto por el sistema complejo que tiene entre el emisor y receptor basado en *timings* de la señal.

Por otro lado, cuenta con desventajas, donde la más significativa es lo que supone una alta carga del procesador para consultar el estado de los sensores, aunque en nuestro caso esto nos supone una desventaja ya que el número de consultas no es alto y por tanto la carga del procesador no causa ningún inconveniente.

Como hemos indicado arriba, señalar, que nos hemos decantado por esta opción ya que es un sensor de tipo digital, de bajo coste que cumple con garantías el rango de temperaturas de trabajo, la sensibilidad y el offset, y el diseño que tiene es el óptimo con las características de montaje que tenemos ya que la colocación tiene gran dificultad debido a que las corrientes de aire que se crean para la ventilación de la granja hacen que entre apenas 15 cm se encuentren diferencias de temperatura por encima de 1°C , por lo que al ser tipo sonda se puede colocar a la altura que deseemos sin ningún problema.

Las características principales que presenta este sensor tan versátil son las siguientes:

Voltaje de alimentación	3V a 5.5V
Rango de temperaturas	-55°C a 125°C
Error (-10°C a 85°C)	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Error (-55°C a 125°C)	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
Resolución programable	9-bit, 10-bit, 11-bit o 12-bit (default)

Figura 21 Características sensor temperatura

Cuando ya se ha elegido el sensor que vamos a utilizar, tenemos que pasar a la programación del sensor de una forma ordenada y teniendo claro lo que queremos obtener. Lo primero que se realiza es buscar las librerías necesarias, en este caso las librerías que se han utilizado han sido:

DallasTemperature.h

OneWire.h

Lo siguiente que se realiza es determinar el montaje sobre la placa de Arduino. A continuación, se muestra el sensor DS18B20 que es el que hemos decidido utilizar.

Señalamos el esquema de montaje que hemos llevado a cabo:

Cable amarillo, línea de datos (DQ)

Cable rojo, línea de alimentación (VDD)

Cable negro, línea de tierra (GND)



Figura 22 Sensor de temperatura

Y cuando ya tenemos el sensor, pasamos a realizar el montaje en el que hay que señalar que el protocolo 1-Wire necesita una resistencia de pull-up de 4k7.

Nuestro esquema final de montaje es el siguiente:

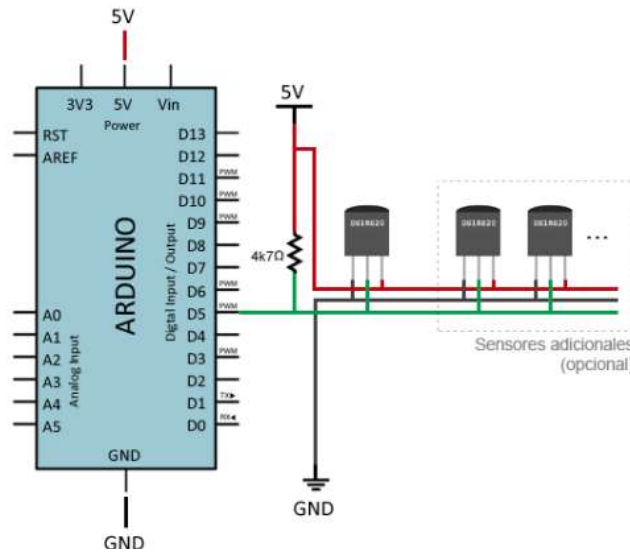


Figura 23 Circuitería del sensor de temperatura

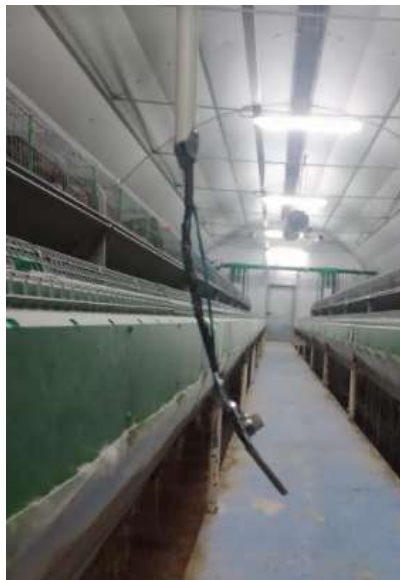


Figura 24 Colocación sensor de temperatura

En la *ilustración 23* se muestra las conexiones que hay que realizar y en la *ilustración 24* se señala la colocación del sensor de temperatura en el interior del túnel. La altura a la que se sitúa es muy importante porque es exactamente dónde se encuentran los conejos, no debe ser más arriba ni más abajo. Nos hemos guiado por la altura en la que se encuentran las sondas que controlan las ventanas y los ventiladores que ya se encuentran instaladas en la granja. Por lo que hablando con el granjero y observando que con esos valores de temperatura que obtienen las sondas en ese punto, el funcionamiento de la granja es óptimo, nos guiaremos por colocar nuestro sensor de temperatura en ese mismo punto.

Hay que aclarar que sólo se utiliza un sensor DS18B20 en cada placa Arduino, es decir, en total se utilizan dos sensores, uno para cada túnel de la granja y en Arduinos independientes uno de otro.

Retomando la estructura interior de los túneles, es decir, el lugar de donde se quiere extraer el parámetro de la temperatura. Se observa como a lo largo de todo el túnel en la zona central se cuenta con una toma de luz, por lo que no será muy costoso alimentar el Arduino correctamente y se ahorrará en cableado.

5.2.2 Sensor Humedad

El siguiente objetivo que ha sido planteado por el granjero es de vital importancia, ya que controlar el grado higrométrico del aire, es decir, la humedad relativa por cuanto su exceso puede originar una exaltación del microbismo existe en la explotación cunícola, y por lo contrario crea un ambiente seco con notables repercusiones en enfermedades respiratorias.

En invierno es más importante reducir la humedad que elevar la temperatura, aunque por definición física al dar calor se reduzca el vapor de agua, y en este caso aparecen la importancia de una buena ventilación y de un correcto aislamiento.

En verano, es, al contrario, cuando la temperatura es elevada, la humedad suele ser baja. Es entonces cuando el sistema de climatización introducirá agua en la explotación agrícola para aumentar la humedad y reducir con ello la temperatura.

Los niveles de humedad relativa deben situarse entre los siguientes valores:

MATERNAL		ENGORDE	
Idóneo	60-75%	Idóneo	55-75%
Máximo	85%	Máximo	85%
Mínimo	0%	Mínimo	50%

Figura 25 Niveles de humedad óptimos

Cuando la temperatura ambiental es elevada y también la humedad relativa, el calor latente, en forma de vapor de agua, no puede evaporarse fácilmente. El animal sufre al no disponer de suficientes glándulas sudoríparas y se postra, ocasionando graves problemas que pueden llevar a la muerte.

También hay que señalar, que, si la temperatura es baja y, por el contrario, la humedad está cerca de la saturación, se observa el agua condensada, así como en jaulas y en nidales. Entonces es cuando existe la sensación de frío que origina pérdidas de calor por convección y por conducción a nivel de los animales, los cuales manifiestan enfermedades respiratorias y digestivas, causándoles la muerte.

Por lo que queda mostrado la importancia de poder regular el exceso o déficit de humedad, y llevar un control en todo momento, para así crear dentro de los túneles un confort ideal con la finalidad de una mayor producción.

Lo primero que hay que señalar es que la medición de la humedad que se va a llevar a cabo es ambiental, y así descartamos los sensores como el FC-28, el cual mide la humedad en el terreno.

Por ello los sensores los cuales miden humedad en el ambiente y, por tanto, permiten obtener la humedad son el DHT11 y el DHT22 son dos modelos de una misma familia de sensores, que permiten realizar la medición simultánea de temperatura y humedad.

Estos sensores disponen de un procesador interno que realiza el proceso de medición, proporcionando la medición mediante una señal digital, por lo que resulta muy sencillo obtener la medición de un microprocesador como Arduino.

Ambos sensores presentan un encapsulado de plástico similar, la única diferencia que presentan a simple vista es que el encapsulado del DHT22 es blanco y la del DHT11 es azul.

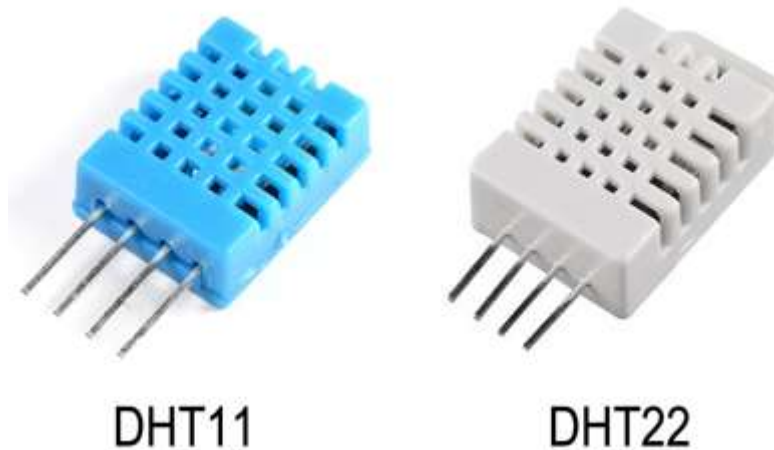


Figura 26 Sensores de humedad

Indicar, que el DHT11 cuenta con peores características técnicas, que el DHT22, por lo contrario, este último tiene un precio superior.

Las características más significativas de ambos sensores se muestran a continuación:

DHT11 tiene unas características escasas, sobre todo en rango de medición y precisión.

- Medición de temperatura entre 0 a 50, con una precisión de 2°C
- Medición de humedad entre 20 a 80%, con precisión del 5%
- Frecuencia de muestreo de 1 muestras por segundo (1Hz)

Cabe decir que es un sensor muy limitado, por lo contrario, el DHT22 tiene unas características más aceptables como se muestran a continuación:

- Medición de temperatura entre -40 a 125°C, con una precisión de 0.5°C
- Medición de humedad entre 0 a 100% con precisión entre 2 y 5%
- Frecuencia de muestreo de 2 muestras por segundo (2Hz)

Señalar, que nos hemos decantado por el sensor DHT22, ya que las prestaciones que tiene son mayores que el DHT11, especialmente en el parámetro de humedad que es la finalidad que tiene este sensor, ya que como medida de temperatura no lo vamos a utilizar.

He de destacar que este tipo de sensores tienen elevada inercia y tiempos de respuesta elevados, por lo que son “lentos” para reflejar los cambios en la medición.

Respecto al precio, como hemos señalado antes, el DHT11 al tener menos prestaciones, tiene un precio más bajo que el DHT22, la diferencia de ambos es de apenas 1€, por lo

que el precio en este caso pierde importancia, ya que se puede encontrar el DHT22 por 2-3€.

Pasamos ahora al esquema de montaje que se debe de llevar a cabo con este sensor. Lo primero de todo hay que indicar que disponemos de 4 patillas, de las cuales usaremos 3, Vcc, GND y Output.

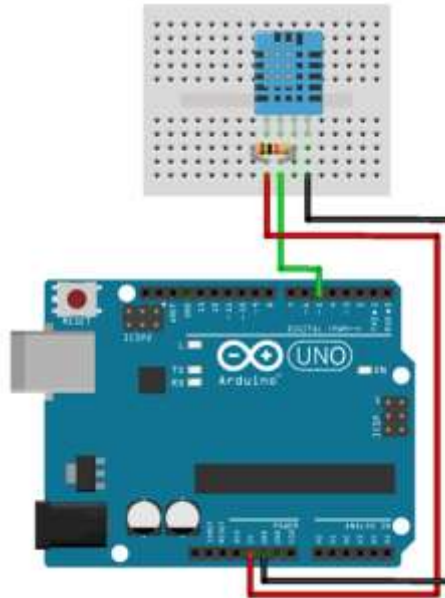


Figura 27 Circuitería Sensor de Humedad



Figura 28 Colocación sensor de humedad

En la *ilustración 27* se muestra la circuitería que hay que realizar para el sensor de humedad y en la *ilustración 28* aparece el sensor de humedad junto al de temperatura, ya que se ha considerado que debe de medirse en la misma posición que la temperatura.

La conexión del sensor es sencilla, simplemente alimentamos desde Arduino al sensor a través de los pines GND y Vcc, y, por otro lado, se conecta la salida Output a una entrada digital de Arduino. Se necesita colocar una resistencia de 10k entre Vcc y el pin de Output que hemos utilizado.

5.2.3 Sensor Caudalímetro

Un caudalímetro es un sensor que permite medir la cantidad de agua que atraviesa una tubería. Podemos conectar un caudalímetro a un procesador como Arduino para obtener la medición del sensor.

El caudalímetro proviene del término caudal, que realmente es la relación entre volumen y tiempo. Las unidades en las que se mide el volumen en el sistema internacional son m³/s. El caudal depende de diversos factores, principalmente de la sección de tubería y la presión de suministro.

El objetivo que se presenta en nuestro caso es poder contar con la medida de este parámetro, ya que así podremos hacer estimaciones de la cantidad de agua que necesitan los animales, se podrán detectar posibles averías y llevar una cuenta del gasto de agua que lleva la explotación ganadera en todas las fases de los animales.

Las tuberías tienen diferentes diámetros, desde 1", 3/4" y 1/2" y en cada caso un sensor caudalímetro diferente el cual se adapta correctamente a la tubería, y en nuestro caso más específico la tubería en la que vamos a instalar el caudalímetro es una tubería de 3/4".

Antes de realizar la instalación no contamos con ningún tipo de información sobre el gasto de agua que lleva a cabo la explotación ganadera, pero el caudalímetro que vamos a instalar en la tubería de 3/4" es capaz de soportar caudales de 20 l/min.

En nuestro caso se elige el sensor FS-300A que es el que se acopla a la tubería en la que vamos a realizar la medida. Este sensor está compuesto por una carcasa plástica estanca y un rotor con paletas en su interior y entonces cuando el fluido atraviesa el interior del sensor el caudal hace girar el rotor.

La velocidad de giro se determina mediante un imán que se encuentra fijado al rotor, que es detectado mediante un sensor de efecto hall que se encuentra en el exterior de la carcasa, por lo que como era de esperar, ninguna parte eléctrica del sensor se encuentra en contacto con el fluido.

El sensor tiene como salida una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal atravesado, como se puede expresar en la siguiente ecuación.

$$f (Hz) = K \cdot Q (l/min) \Rightarrow Q (l/min) = \frac{f(Hz)}{K}$$

Figura 29 Ecuación caudalímetro

En esta ecuación aparece el factor K de conversión que depende de los parámetros del sensor entre el caudal (l/min) y la frecuencia que viene dada en (Hz). La constante depende de las medidas del caudalímetro, y cuando se ajusta a nuestro caudalímetro

podemos tener una precisión de $\pm 10\%$ de error, pero realizando varios ensayos podemos obtener una precisión con un error menor al $\pm 5\%$.

Pasando a realizar el esquema de montaje, la conexión es sencilla. En este caso el sensor cuenta con 3 patillas diferentes, que corresponde Vcc, GND y Data que en este caso debe de ir conectado a un pin digital del Arduino el cual permita emplear interrupciones.



Figura 30 Sensor Caudalímetro

Para ver la respuesta del caudalímetro se debe de calcular la frecuencia de la señal de la salida del sensor, y para ello se utiliza una interrupción que sea capaz de contar los pulsos en un determinado intervalo, y dividiendo el número de pulsos entre el intervalo que se toma en segundos, obtenemos la frecuencia.

Como lo que se quiere calcular es el volumen, lo único que se tendrá que realizar es la integración respecto del tiempo.

ESPECIFICACIONES

- Modelo: FS300A
- Voltaje de operación: 5V - 24V DC
- Consumo de corriente: 15mA (5V)
- Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)
- Salida: Onda cuadrada pulsante
- Rango de Flujo: 1-60L/min
- Volumen promedio por pulso: 3.03mL
- Pulsos por litro: 330
- Factor de conversión: 5.5
- Rosca externa: 3/4" NPS
- Presión de trabajo máx.: 1.2MPa (12 bar)
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C
- Material: Plástico color negro



Figura 31 Colocación del sensor caudalímetro

5.2.4 Sensor detección de agua

El sistema de cooling, en una explotación agraria se conoce como el sistema de refrigeración, cuando se supera una temperatura marcada por el ganadero, en este caso, el sistema activa el sistema de refrigeración. El funcionamiento de este sistema consiste en mojar automáticamente con agua unos cartones colocados de forma específica que se encuentran en las ventanas por las que entra el aire, por lo que cuando pasa el aire al interior de la granja a través de esos paneles hace que se reduzca la temperatura en el interior hasta que se consigue la temperatura programada por el propietario. Es un sistema que actúa muy rápido, debido a que en el interior del túnel se encuentra un ventilador que hace efecto de succión, entonces el aire frío entra rápidamente.

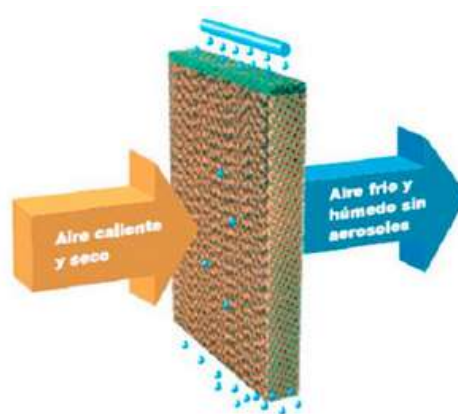


Figura 32 Sistema cooling

Es de vital importancia para los conejos que tengan una temperatura estable y sin altibajos, por lo que es muy importante que este sistema funcione correctamente. Por lo que el objetivo que se persigue con el control de este sistema es tener un control en todo

momento de cuando se enciende y cuando se encuentra apagado para observar que dentro de los túneles siempre se encuentran los conejos con la temperatura idónea, por ello la salida digital del sensor cumple nuestro objetivo.

El control de este sistema se va a llevar a cabo con un sensor que detecta la presencia del agua por la variación de la conductividad del sensor al entrar en contacto con el agua.

Existen varios modelos respecto a lo que son este tipo de sensores muy parecidos, entre ellos están el FC-37, YL-83 y MH-RD, este último es por el que nos hemos decantado.

Las características que tienen estos sensores son prácticamente iguales, pero el tamaño se ajustaba mejor el del sensor MH-RD, ya que las dimensiones que con las que cuenta la canal son pequeñas.



Figura 33 Canal del sistema de cooling

En la *ilustración 32* se muestra la canal y los paneles de cartón del sistema de cooling, se encuentra en los 2 laterales de los dos túneles a lo largo de todo lo que es el túnel y funciona en cada túnel de forma independiente.

Este tipo de sensor cuenta con dos contactos, estos se encuentran unidos con dos pistas conductoras entrelazadas y que se encuentran a una muy pequeña distancia, por lo que cuando se deposita agua en la superficie del sensor, ambos conductores se activan eléctricamente y que entonces es detectado por el sensor. Estos sensores incorporan una placa de medición que está formada entre otras cosas por un comparador LM393, el cual



Figura 34 Sensor de detección de agua

hace que se pueda obtener el valor en forma digital como analógica. En nuestro caso nos decantamos por la forma digital, ya que lo único que nos interesa es saber si se encuentra activa o apagado, y también señalar que se puede regular el umbral de agua que debe de detectar para activarse por medio de un potenciómetro que se encuentra en la placa que hemos comentado.

Este sensor se va a colocar en la canal que recoge el agua que se derrama por los cartoneros y que forman un circuito cerrado, como se muestra en la *ilustración 34*.



Figura 35 Colocación Sensor de Detección de Agua

Una vez tenemos ya el sensor pasamos a realizar el montaje eléctrico, que en este caso es sencillo. Se conecta el sensor a la placa de medición que viene con el sensor, y la placa de medición se conectará con los pines correspondientes al Arduino.



Figura 36 Conexiones del Sensor de Detección de Agua y Potenciómetro

En la siguiente imagen se muestra el potenciómetro donde se puede ajustar la sensibilidad del sensor, en nuestro caso nos conviene que tenga una sensibilidad baja porque en el canal siempre queda un poco de agua residual.

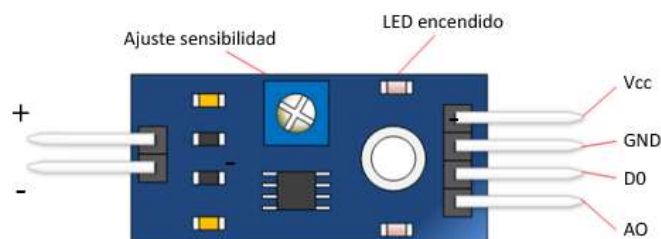


Figura 37 Potenciómetro Sensor de Detección de Agua

5.2.5 Sensor ultrasonidos

En este caso el objetivo del sensor ultrasonidos es poder medir la cantidad de pienso que se encuentra depositado en los silos y también poder medir la cantidad de agua que se encuentra en el depósito.

Fijando el primer objetivo en el depósito del agua, hay que decir que es un depósito cilíndrico, como se puede observar en la siguiente fotografía, y cuenta con unas dimensiones de 5 metros de altura y 1.5 metros de radio. Tiene una capacidad total de 30000 litros, ya que la finalidad de este depósito es almacenar el agua que llega a la explotación ganadera para que siempre haya una reserva de agua con la que abastecer a los animales.



Figura 38 Depósito de agua

Por tanto, siendo más concretos en el objetivo, es tener un control y una seguridad de que la cantidad de agua almacenada en el depósito es la correcta y no haya ningún riesgo de que los animales se queden sin reservas de agua.

Hemos optado en este caso por la opción de un sensor de ultrasonidos, ya que, conociendo la capacidad total del depósito, calculado la distancia en vacío que tiene, se puede calcular la cantidad de agua que hay almacenada en el depósito.

Como segundo objetivo, en la explotación ganadera se cuenta en este caso con 3 silos de pienso, en los que cada uno se almacena un tipo de pienso. Los silos de pienso tienen una forma geométrica bastante peculiar, y para poder calcular el volumen y realizar el código se han tenido que hacer diferentes cálculos matemáticos.



Figura 39 Silo de pienso

Siendo más concretos el objetivo que se tiene con los silos del pienso, es tener un control y una seguridad de la cantidad de pienso que hay almacenada, ya que los animales en ningún momento se pueden quedar sin alimento y tiene que existir un abastecimiento óptimo por parte de la empresa que trae el pienso.

Un sensor de ultrasonidos es un dispositivo para medir distancias y en este caso se ha usado el sensor de ultrasonidos modelo HC-SR04. Su funcionamiento se basa en el envío de un pulso de alta frecuencia, y este impulso cuando rebota en los objetos cercanos, rebota y es captado por el micrófono con el que cuenta el sensor para recibir esa frecuencia.

El funcionamiento es tan simple como la medición del tiempo entre los pulsos, la velocidad del sonido es conocida, por lo que se puede estimar la distancia del objeto contra cuya superficie ha impactado el impulso emitido por el sensor de ultrasonidos. Básicamente se basa en medir el tiempo entre el envío y la recepción de un pulso sonoro, ya que la velocidad del sonido es de 343 m/s, en unas condiciones de temperatura de 20°C, de 50% de humedad y con una presión atmosférica a nivel del mar.

$$343 \frac{m}{s} \cdot 100 \frac{cm}{m} \cdot \frac{1}{1000000} \frac{s}{\mu s} = \frac{1}{29.2} \frac{cm}{\mu s}$$

Figura 40 Fórmula para Sensor Ultrasonidos

Se muestra la ecuación anterior en la que el sonido recorre 1cm en 29.2μs, por lo que ya se puede calcular la distancia que existe entre la emisión y la recepción del pulso, pero hay que tener en cuenta que hay que dividir por 2 en la siguiente ecuación, ya que el tiempo que se ha medido es lo que tarde el impulso en ir y volver, pero realmente el obstáculo se encuentra en donde rebota el impulso, por lo que es la mitad del tiempo.

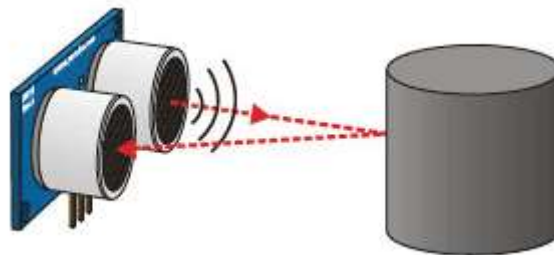


Figura 41 Esquema de funcionamiento Sensor Ultrasonidos

$$Tiempo = 2 * \frac{distancia}{velocidad}$$

$$Distancia = Tiempo * Velocidad / 2$$

Hay que tener en cuenta que son sensores con una precisión baja, y en los que hay que tener muy en cuenta la orientación de la superficie a medir, ya que puede provocar que la onda se refleje de forma errónea y por tanto la medida sea errónea, a la vez que destacar la suciedad en los silos de pienso pueden hacer que realicen mediciones erróneas.

Para llevar a cabo la circuitería de este señor hemos llevado a cabo el siguiente esquema.

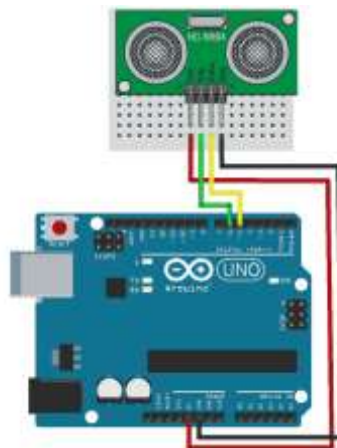


Figura 42 Circuitería Sensor de Ultrasonidos



Figura 43 Colocación del sensor de ultrasonidos en tapa de depósito

5.2.6 Sensor de gas

Ahora damos paso al sensor de gas, cuyo objetivo es controlar los gases que se encuentran en el interior de la granja. Es importante tener en cuenta los gases que se pueden crear dentro de la granja y sobre todo prevenir de posibles riesgos mayúsculos como pueden ser incendios u otro tipo de gases que sean perjudiciales.

Para cumplir este objetivo se han barajado varias opciones, pero finalmente nos hemos decantado por la opción del sensor MQ-135, ya que los precios de otros sensores se disparaban ante el presupuesto de nuestro proyecto.

Los sensores de gases pertenecen a la familia MQ y están especialmente diseñados para detectar la presencia de distintos componentes químicos en el aire. Hay una gran variedad de este tipo de sensores y cada uno tiene un uso específico.

Estos tipos de sensores suelen proporcionarse junto con una placa de medición estándar, en nuestro caso está compuesta con un comparador LM393, el cual permite que la lectura la podamos hacer en analógico o en digital cuando supera el umbral que se haya marcado con el potenciómetro que incorpora en la placa.

Estos sensores tienen que ser calibrados para obtener las medidas precisas y para garantizar un correcto funcionamiento.

Este tipo de sensor se encuentra formado por un sensor electroquímico el cual hace que varíe su resistencia al estar expuesta con determinadas sustancias.

Una característica que hay que señalar de este sensor de gas es que necesitan un largo periodo de tiempo para la estabilizarse tras un cambio en la concentración de los gases que pueda medir. Todo esto se debe a que es necesario que el gas sea capaz de abandonar el material sensible, lo cual es un proceso lento.

Este sensor dispone de un calentador necesario para poder elevar la temperatura del sensor y así hacer que las sustancias se adquieran con mayor sensibilidad, por lo que el sensor tiene que alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento para poder realizar medidas

correctas. Este sensor es de respuesta rápida y con apenas unos minutos obtiene mediciones estables.

El sensor MQ-135 tiene una tensión de alimentación de 5V y el consumo que puede llegar a alcanzar puede llegar a ser de 750mW, esto es debido a que necesita una cantidad de calor elevada para realizar un correcto funcionamiento.

Ahora se pasa a realizar el esquema eléctrico, el cuál es sencillo, alimentamos el módulo de Arduino con 5V y conectamos GND con los pines correspondientes del sensor.

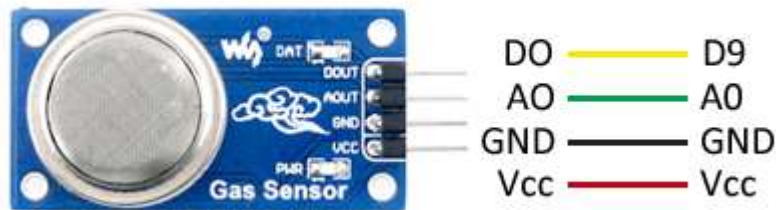


Figura 44 Circuitería Sensor de Gas

En la *ilustración 43* se puede observar como la colocación del sensor de gases se ha realizado en el mismo punto que el sensor de temperatura, por la razón que era un punto de conexión dentro del túnel y porque se debe situar a la misma altura que se encuentran los conejos para conocer cualquier gas en este caso que les pueda afectar.



Figura 45 Colocación Sensor de Gases

En la *ilustración 44* se puede observar una base de Arduino colocada en el interior de la granja, esta base realiza la función de coordinador hacia los sensores que se encuentran en el interior del túnel. Señalar para un avance futuro si los resultados son positivos se podría llevar a cabo la idea de introducirlo en una caja de material transparente para poder observar desde fuera el óptimo funcionamiento e integrarlo mejor en el sistema.



Figura 46 Base Arduino con ZigBee modo Coordinador

Capítulo 6. Presupuesto

En el siguiente documento se muestran los costes asociados a la elaboración del estudio que se ha llevado a cabo, así como son los costes relacionados con el material necesario, dispositivos, sensores y todo lo que se ha necesitado para poder desarrollar toda la propuesta.

Los costes que se va a especificar a continuación son los necesarios para la implementación del sistema y también indicar que los precios que se muestran son los más económicos posibles que se encuentran en venta a un particular. Todos los valores de coste se encuentran claramente especificados.

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los costes del material que ha sido necesario para la implementación y desarrollo de la propuesta.

Material necesario	Concepto	Cantidad	Coste unidad	Coste total
DS18B20	Sensor Temperatura	2	2,11€	4,22€
DHT22	Sensor Humedad	2	1,78€	3,56€
HC-SR04	Sensor Ultrasonidos	4	2,03€	8,12
FS3000A	Sensor Caudalímetro	1	2,79€	2,79€
MQ-135	Sensor Gas	2	3,07€	6,14€
HH-MH	Sensor detector de Agua	4	1,54€	6,16€

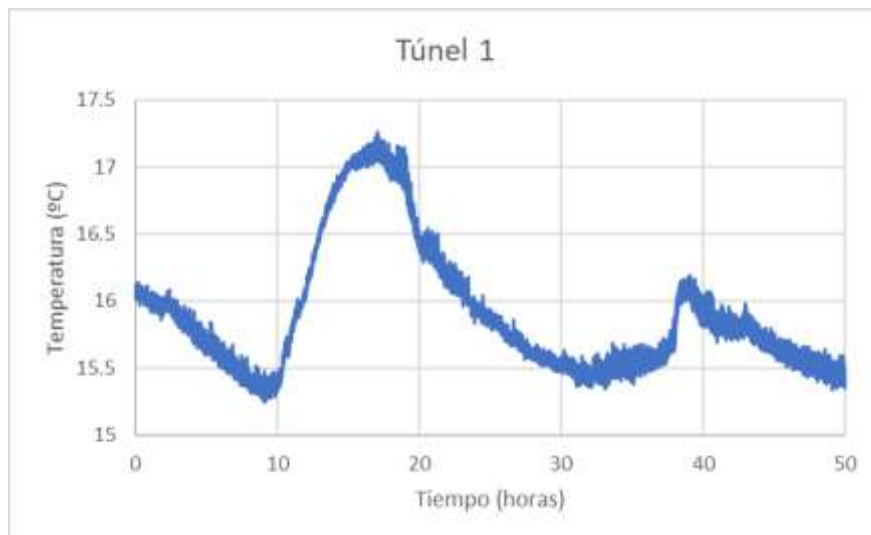
XBee S1 PRO	Comunicación inalámbrica	4	13,01	52,04€
Arduino Mega	Base del proyecto	4	11,12	44,48€
Cable de conexión, 22 CAE (AWG)	Conexiones	6 carretes	14,13€	14,13€

Hay que indicar que en este proyecto se ha buscado realizar el trabajo con una gama media-baja de productos, ya que el presupuesto con el que se contaba no era muy alto. Si en el futuro se pueden realizar mejoras para un funcionamiento óptimo, se tendría que cambiar algún sensor por otro buscando una mayor calidad y precisión a la hora de obtener los datos, pero para tomar una primera impresión y obtener resultados para contrastarlos es más que suficiente.

Capítulo 7. Resultados

Una vez se ha realizado la instalación de todos los sensores se han tenido que testear in situ, para comprobar que se pueden obtener datos valiosos sobre las condiciones ambientales.

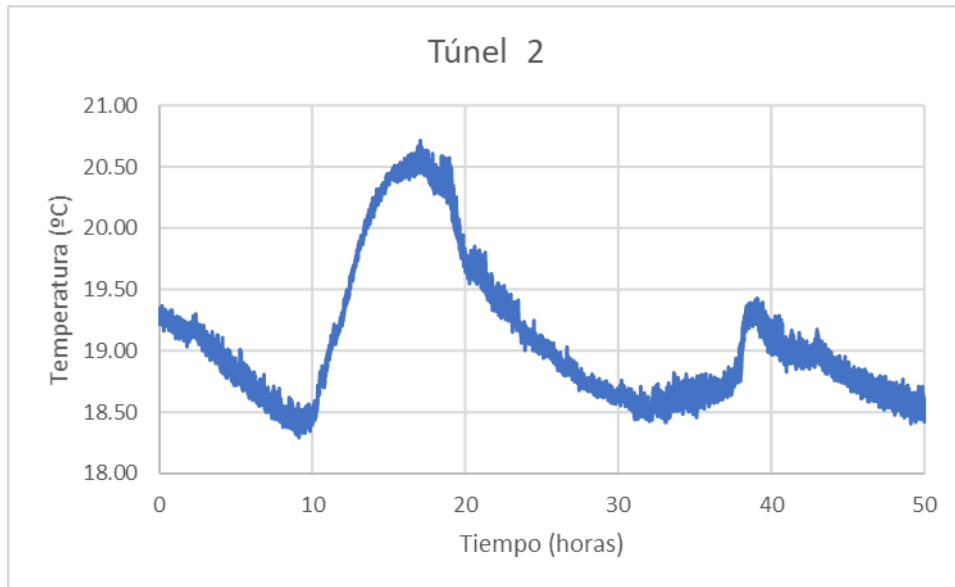
En la primera gráfica que se muestra corresponde a la temperatura del Túnel 1, se ha testado durante 50 horas cada 5 segundos, se puede observar una ligera variación de 2 grados entre el día y la noche, algo normal en las condiciones que nos encontramos.



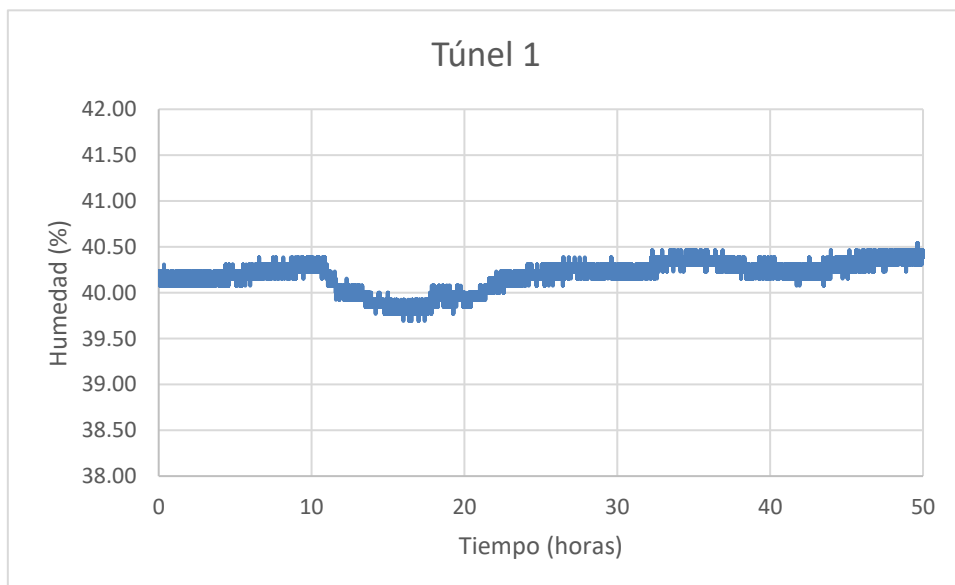
En la gráfica siguiente se muestra la temperatura del túnel 2, también se ha testado durante 50 horas obteniendo una medición cada 5 segundos, se observa también una variación entre el día y la noche, y también se observa que la temperatura es 2 grados superior de media a la del túnel 1, esto se debe en qué en ese momento, el número de

animales que se encuentran en el túnel 2 es muy superior, algo normal dentro de los períodos de vida del conejo.

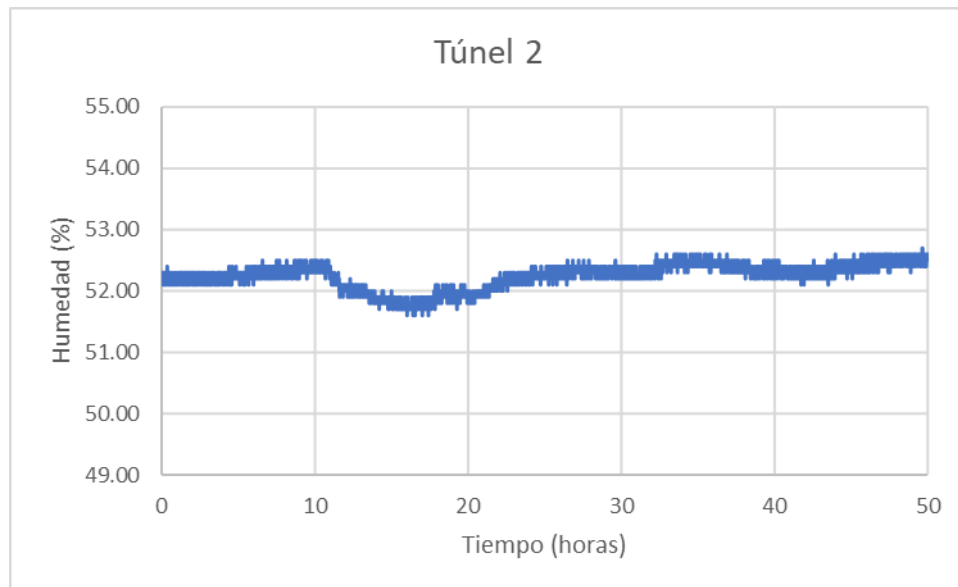
Ahora pasamos a representar gráfica los resultados obtenidos con el sensor de humedad en ambos túneles.



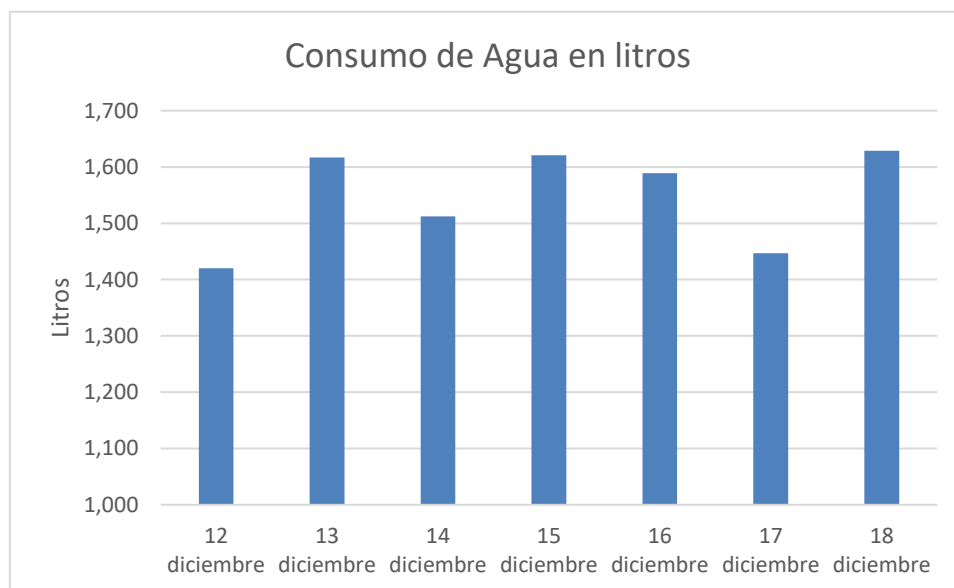
Primeramente, se muestra el testeo de humedad durante 50 horas y una medición cada 5 segundos en el túnel 1, se realizó a la vez que la medición de la temperatura y se puede observar como la variación de la humedad es prácticamente nula, algo esperado por las condiciones que se presentan en el interior del túnel. Señalar, que la humedad se encuentra 4-5 puntos porcentuales por debajo de lo esperado, pero el número de conejos en el interior se encuentra por debajo de lo estimado y puede ser un motivo de ello.



En la gráfica del túnel 2 se ha realizado el testeo también en un tiempo de 50 horas con toma de valores cada 5 segundos, se puede observar que la variación de la humedad respecto del tiempo es nula y que los datos obtenidos son óptimos, ya que cumplen las condiciones de humedad para cuando el túnel se encuentra en situación de engorde como se observa en la *figura 25*.

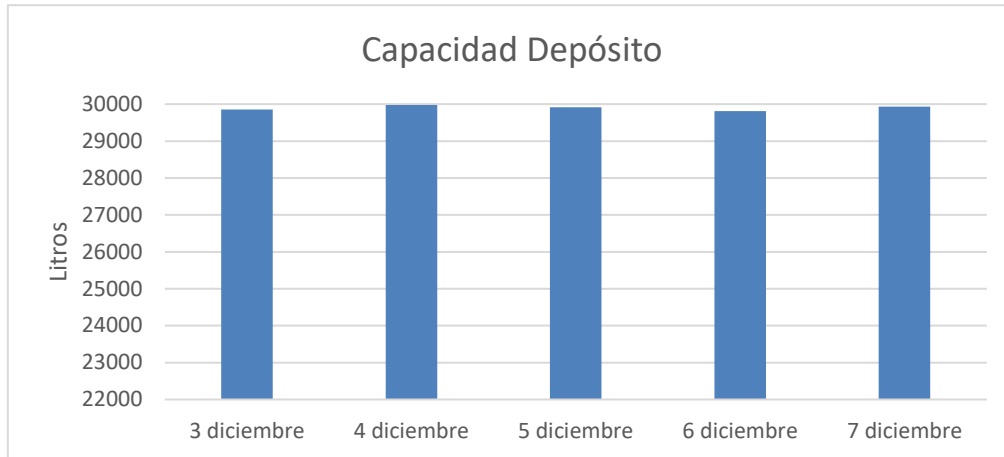


Los siguientes resultados que se muestran son los obtenidos por el sensor caudalímetro durante el testeo de una semana. Se muestra el resultado acumulado durante 24 horas y no se diferencia entre túnel 1 y 2, ya que lo que se busca obtener con este sensor es el consumo diario.



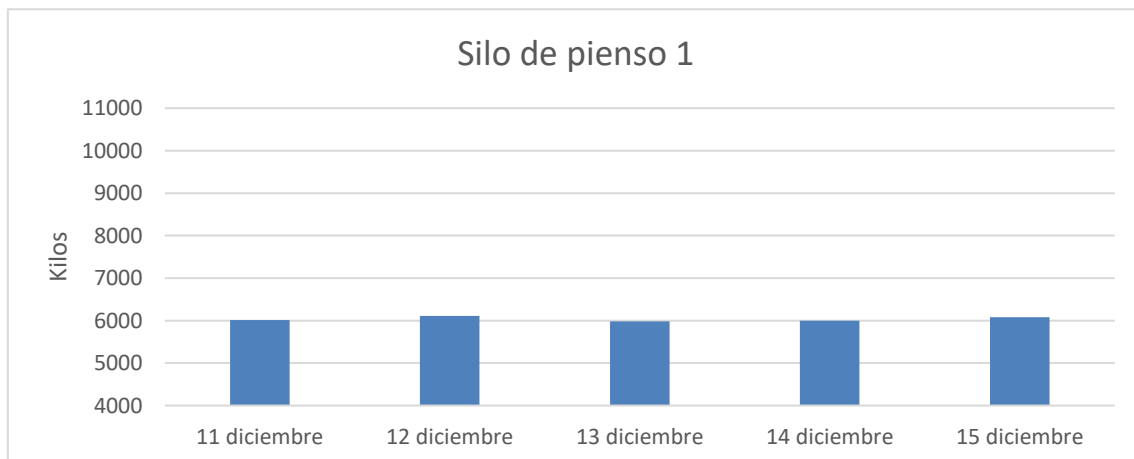
El consumo en esta época del año se puede observar que oscila entre los 1400 y 1700 litros diarios, hay que señalar que en estas fechas la granja contaba con aproximadamente 7500 animales por lo que no hay un consumo excesivo de agua, aparte de señalar que parte del consumo es el que utiliza el propietario para otros usos. Los datos obtenidos sirven para estimar el consumo de agua que realizan y prevenir de posibles fugas en los circuitos del agua.

Seguidamente se van a mostrar los resultados obtenidos por el sensor de ultrasonidos, el cuál ha sido implementado en el depósito y silos como se ha tratado anteriormente.



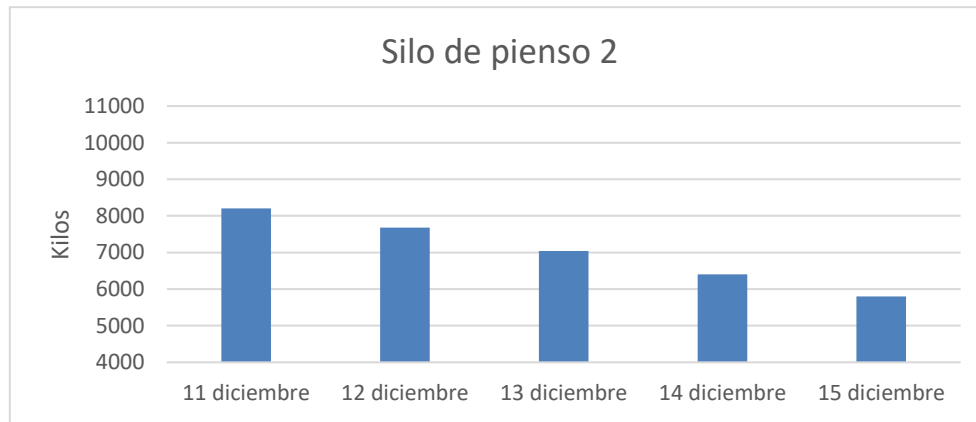
Como se observa en la gráfica anterior, se muestra que el depósito del agua no varía su volumen durante esas fechas, ya que siempre le está entrando agua automáticamente por el funcionamiento del pozo externo.

Ahora se muestra la gráfica correspondiente al silo 1, el cuál alberga el pienso de “retirada” y que tan sólo se utiliza los últimos 5-6 días de vida del conejo.



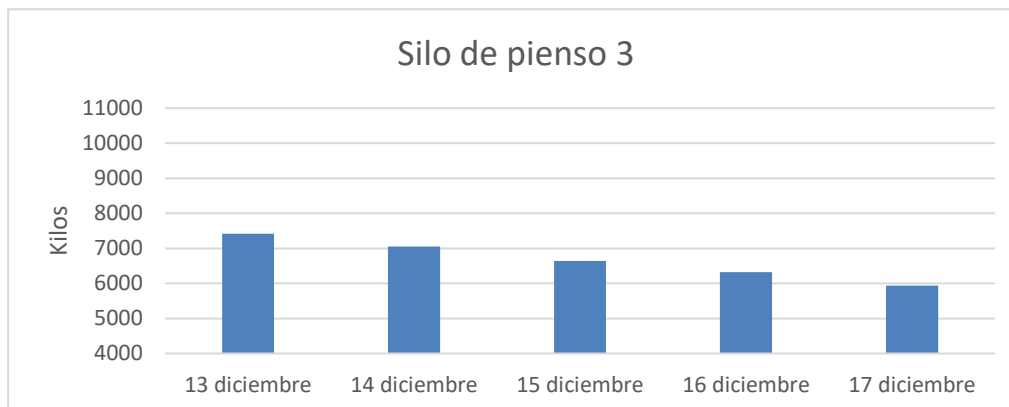
Por lo que se observa en la gráfica como en esos momentos no se encuentra ninguna variación en su capacidad.

A continuación, se muestra la capacidad del silo de pienso correspondiente al pienso de “engorde” y como se puede observar en la gráfica siguiente el consumo es bastante elevado.



Aproximadamente se puede observar un consumo de 600 kilos diarios, es el consumo óptimo que se estima para el crecimiento de los conejos.

Y por último se va a mostrar la capacidad del silo de pienso de “madres”, como bien indica su nombre es el pienso que consumen únicamente las madres y por lo tanto su consumo es menor.



Se observa un consumo aproximado de 400 kilos de pienso diarios, un consumo considerable para el número de madres con el que cuenta la granja, que es de 800.

Respecto a los sensores de gas y detección de agua, no se pueden expresar gráficamente, ya que el sensor de gas se ha implementado finalmente para detección de gas CO₂ con una señal booleana al igual que el de detección de agua como se indica en su propio apartado, ya que la información que se quiere obtener de este sensor es si encuentra activo el cooling o apagado.



Capítulo 8. Desarrollo en la vida real

Hoy en día la tecnología avanza a pasosa agigantados y el entorno que nos rodea cada vez cuenta con más tecnología. Es por ello por lo que las redes de sensores se encuentran en pleno auge por su gran funcionalidad y aparte de su fácil utilización.

Hemos entrado en una era en la que todo son datos, en la que nos interesa conocer todo lo que nos rodea, y a la vez que todo en nuestra vida sea más cómodo de realizar. Por esa sencilla razón se cuenta con todo tipo de sensores y aplicaciones capaces de satisfacer nuestras necesidades y en una gran variedad de campos diferentes.

8.1 Aplicaciones

A continuación, se van a nombrar diversos campos en los que la tecnología en estos últimos años ha avanzado sin parar, gracias al tipo de redes que se han utilizado en este proyecto, es decir, redes de sensores inalámbricas.

- **Monitorización medioambiental:** consiste en la recogida de datos ambientales y de la actividad, ya sean anteriores o posteriores a la implementación de la actividad.
- **Agricultura:** un gran avance en la productividad y en la calidad de los productos, gracias a la información de diversos parámetros como humedad, temperatura...todo ello junto al desarrollo de la maquinaria ha hecho que se pueda realizar un trabajo mucho más preciso sobre los cultivos.
- **Medición de contadores:** en lo que son contadores de luz, agua y gas ya no es necesario ir de puerta en puerta leyendo los contadores, ahora se realiza de forma remota e instantáneo a la vez que se pueden realizar tarifas personalizadas adaptándolas a cada hogar.
- **Ciudades inteligentes:** son el nuevo tipo de ciudad que se está desarrollando con grandes zonas verdes y con una gestión de los servicios públicos muy precisa gracias al uso de los sensores, planificación de tareas y consumo inteligente.
- **Teleasistencia médica:** está enfocado a personas con problemas de salud y gracias a esta tecnología se puede realizar un seguimiento a distancia y en cualquier momento, pudiendo avisar de una emergencia.



Capítulo 9. Bibliografía

<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/xbee-s1-punto-a-punto/>

https://www.digi.com/getattachment/44814c59-d408-4feb-97fb-98ce3e3cee49/ds_xbeemultipointmodules.pdf

<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-xbee-module-interfacing-tutorial>

https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/xctu/>

<https://www.luisllamas.es/tutoriales-de-arduino/>

<https://cunicultura.info/>

https://www.draeger.com/Library/Content/9046703_infoflip_gds_es_13.pdf

<https://www.pocket-lint.com/smart-home/news/129857-what-is-zigbee-and-why-is-it-important-for-your-smart-home>

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/exploring-xbees-and-xctu/all>

<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/xbee-zigbee-wireless-module.pdf>

<https://store.arduino.cc/new-home/components-sensors>

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/zigbeexbee/>