

Monitorización del comportamiento porcino mediante tecnología RFID para la prevención de pérdidas.

Rubén Molina Casasnovas.

Grado en Tecnologías de la Telecomunicación
Sistemas de Comunicación

Profesor colaborador: **Raúl Parada Medina**
Profesor responsable: **Carlos Monzo Sánchez**

11 de enero de 2018



Esta obra está sujeta a una licencia de
Reconocimiento-NoComercial-
SinObraDerivada [3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)
[España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Monitorización del comportamiento porcino mediante tecnología RFID para la prevención de pérdidas.</i>
Nombre del autor:	<i>Rubén Molina Casasnovas</i>
Nombre del consultor/a:	<i>Raúl Parada Medina</i>
Nombre del PRA:	<i>Carlos Monzo Sánchez</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	01/2018
Titulación:	<i>Grado en tecnologías de la Telecomunicación</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Sistemas de Comunicación</i>
Idioma del trabajo:	<i>Castellano</i>
Palabras clave	<i>RFID, Monitorización, Porcino, Análisis de comportamiento, Prevención, Productividad, Aprendizaje automático, Minería de datos.</i>
Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras): <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.</i>	

En el sector porcino, existen muchas granjas donde se confinan gran multitud de cerdos. Por este motivo, si hay un brote de enfermedad, es importante hacer una detección precoz, ya que ésta, puede proliferar en poco tiempo y tener un gran impacto económico. Pero hay un inconveniente; supervisar con cierta frecuencia el estado de todos los animales es inviable debido a la aglomeración, por lo tanto, sería interesante buscar una solución.

Se han diseñado varios sistemas de monitorización con la finalidad de hacer una detección precoz frente a estos brotes. Unos, utilizan la visión computacional mediante cámaras, otros, sensores y acelerómetros a nivel individualizado. Estos sistemas, son fiables y precisos, pero tienen un precio elevado lo cual priva su implementación a nivel industrial.

Este Trabajo, consiste en diseñar un sistema de monitorización RFID (identificación por radio frecuencia), haciendo uso de etiquetas pasivas de bajo coste, que ofrezca una solución más económica y escalable a nivel industrial en comparación con los sistemas citados anteriormente.

El objetivo, es reportar al granjero la frecuencia con la que los cerdos se alimentan. De esta forma, se podrá observar si algún animal presenta alguna anomalía, ya que, una disminución en la frecuencia de la alimentación refleja muchas veces el inicio de una enfermedad.

El sistema, permitirá la monitorización por pantalla en la granja, pero también podrá avisar mediante la telefonía móvil, según las circunstancias, para ganar tiempo y aumentar la eficacia en detectar y erradicar la epidemia.

Abstract :

In the pig sector, there are many farms where large numbers of pigs are confined. For this reason, if there is an outbreak of disease, it is important to make an early detection, since it can proliferate in a short time and have a great economic impact. But there is a drawback; To supervise with certain frequency the state of all the animals is not viable due to the agglomeration, therefore, it would be interesting to look for a solution.

Several monitoring systems have been designed with the purpose of making an early detection in front of these outbreaks. Some use computer vision through cameras, others, sensors and accelerometers at the individual level. These systems are reliable and precise, but have a high price which deprives their implementation at the industrial level.

This work, consists of designing an RFID monitoring system (radio frequency identification), making use of low cost passive tags, which offers a more economical and scalable solution at an industrial level compared to the systems mentioned above.

The objective, is to report to the farmer the frequency with which the pigs feed. In this way, it will be possible to observe if any animal presents an anomaly, since a decrease in the frequency of feeding often reflects the onset of a disease.

The system, will allow screen monitoring on the farm, but it can also notify through mobile telephony, depending on the circumstances, to save time and increase the effectiveness in detecting and eradicating the epidemic.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Contexto y justificación del Trabajo.....	1
1.1.1 Incidente que motivó el proyecto.....	4
1.2 Objetivos del Trabajo.....	6
1.2.1 Matices importantes sobre los objetivos.....	6
1.3 Enfoque y método seguido.....	7
1.4 Planificación del Trabajo.....	8
1.5 Breve resumen de productos obtenidos.....	12
1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	13
2. Estado del Arte.....	15
2.1 Introducción.....	15
2.1.1 Sistemas de trazabilidad para el control de producción.....	15
2.1.2 Sistemas de trazabilidad para analizar el comportamiento.....	17
2.1.3 Sistemas de monitorización para el control sanitario.....	18
2.2 Finalidad del Trabajo.....	20
3. Esquemas de diseño.....	22
3.1 Esquema del montaje físico.....	22
3.2 Esquema de monitorización interacción animal-tolva.....	24
3.3 Esquema de monitorización más “Ground Truth”.....	25
4. Hardware del sistema.....	26
4.1 Tags Crotales.....	26
4.2 Antenas.....	27
4.3 Cables.....	28
4.4 AdvanReader-60.....	30
4.5 RaspBerry Pi3.....	30
4.6 Cámara USB.....	31
4.7 Módulo GSM.....	32
5. Software del sistema.....	33
5.1 Sistema operativo de la unidad de procesamiento RaspBerry.....	33
5.2 Configuración de la interfaz lector – RaspBerry.....	34
5.3 Software del lector AdvanNet.....	35
5.3.1 Configuración de los parámetros de lectura del lector.....	35
5.3.2 Codificación de las tags.....	36

5.4 Registro de datos en memoria	38
5.5 Comandos Linux.....	39
5.5.1 Diagrama de flujo del script de monitorización	39
5.5.2 Automatización del script mediante Cron.....	41
5.6 Programa estadístico R.....	41
5.6.1 Diagrama flujo Algoritmo R	41
5.7 Programación de Avisos GSM.....	42
5.8 Grabación de video del sistema “Ground truth”	43
6. Diagrama de flujo de todo el sistema de monitorización.....	44
7. Sistema de verificación “Ground Truth”.....	44
8. Comprobación práctica del sistema.....	46
8.1 Introducción.....	46
8.2 Primera prueba.....	47
8.2.1 Prueba del sistema RFID	47
8.2.2 Prueba del sistema de Análisis.....	54
8.3 Segunda prueba.....	56
8.3.1 Prueba del sistema RFID	56
8.3.2 Prueba del sistema de Análisis.....	60
9. Trabajo futuro.....	63
9.1 Propuestas de mejora.....	63
9.2 Propuesta de escalado del sistema a toda la granja.....	65
10. Bibliografía.....	66
11. Anexos.....	69
Anexo 1. Especificaciones de la antena Advantenna-p11.....	69
Anexo 2. Especificaciones de la antena Advantenna-SP12.....	70
Anexo 3. Tabla de especificaciones del cable Coaxial Siretta LLC200A.....	70
Anexo 4. Tabla de especificaciones de la RaspBerry Pi3 modelo B.....	71
Anexo 5. Ejemplos de código Python con comandos AT.....	71
Anexo 6. Diagrama de radiación de la tag FROG-3D.....	72
Anexo 7. Código de R.....	73
Anexo 8. Videos.....	74

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Producción y consumo de carne de cerdo 2013-2025(Millones de toneladas) ___	1
Ilustración 2. Foto de las pocilgas, los cerdos confinados y el suministro automatizado _____	2
Ilustración 3. Simulación de la evolución de un brote de enfermedad _____	3
Ilustración 4. Foto del exterior de la granja _____	4
Ilustración 5. Foto tomada mientras se supervisa el abastecimiento de la granja _____	5
Ilustración 6. Crotales. Etiquetas (Tags) para ganado porcino _____	7
Ilustración 7. Diagrama de Gantt de las 5 fases _____	8
Ilustración 8. Diagrama de Gantt extendido de la fase 1 _____	9
Ilustración 9. Diagrama de Gantt extendido de la fase 2 _____	10
Ilustración 10. Diagrama de Gantt extendido de la fase 3 _____	10
Ilustración 11. Diagrama de Gantt extendido de la fase 4 _____	11
Ilustración 12. Diagrama de Gantt extendido de la fase 5 _____	11
Ilustración 13. Sistema RFID trazabilidad. Proyecto Pigtracker _____	16
Ilustración 14. Ingeniera Brown-Brandl evaluando el comportamiento alimenticio del cerdo ___	19
Ilustración 15. Esquema del montaje físico _____	22
Ilustración 16. Fotos del soporte para la antena y la cámara _____	23
Ilustración 17. Foto del montaje físico, zona limpia y sucia _____	23
Ilustración 18. Esquema completo del sistema de monitorización _____	24
Ilustración 19. Esquema completo del sistema de monitorización más "Ground Truth" _____	25
Ilustración 20. Diferentes tipos de tags en diferentes modelos de crotales _____	26
Ilustración 21. Advantenna-p11 _____	28
Ilustración 22. Advantenna-SP12 _____	28
Ilustración 23. AdvanReader-60 _____	30
Ilustración 24. RaspBerry Pi 3 Modelo B _____	31
Ilustración 25. Cámara USB Kebidu _____	31
Ilustración 26. Módulo GSM _____	32
Ilustración 27. Imágenes de sistemas operativos disponibles para RaspBerry Pi3 _____	33
Ilustración 28. Captura de pantalla de la wiredconnection _____	34
Ilustración 29. Página inicial de acceso al software AdvanNet_ _____	35
Ilustración 30. Pestaña de configuración de los parámetros del lector y la antena _____	36
Ilustración 31. Ventana donde se codifican las tags _____	37
Ilustración 32. Codificación de las tags de los crotales _____	38
Ilustración 33. Captura de pantalla de las carpetas de Registro _____	38
Ilustración 34. Diagrama de flujo script de monitorización _____	40
Ilustración 35. Diagrama de flujo script del programa R _____	42
Ilustración 36. Esquema del conexionado físico entre la RaspBerry Pi y el módulo GSM _____	43
Ilustración 37. Diagrama de flujo del sistema de monitorización _____	44
Ilustración 38. Esquema "Ground Truth" _____	45

Ilustración 39. Esquema completo. Sistema RFID y sistema de Análisis _____	46
Ilustración 40. Cerdos numerados con los crotales implementados _____	48
Ilustración 41. Cerdos en la pocilga donde está instalado el sistema de monitorización _____	48
Ilustración 42. Zona limpia. Monitor con las imágenes del sistema “Ground Truth” _____	49
Ilustración 43. Crotal implementado sobre la base del plano de la oreja del cerdo _____	50
Ilustración 44. Instalación del amplificador RF en el lector _____	51
Ilustración 45. Tag FROG 3D _____	54
Ilustración 46. Tag FROG 3D excede las dimensiones del crotal tipo C _____	56
Ilustración 47. Montaje del nuevo sistema RFID para el segundo ensayo _____	57
Ilustración 48. Antena Advantenna-SP12 montada en el soporte _____	58
Ilustración 49. Montaje del nuevo sistema RFID para el segundo ensayo _____	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tres características del sistema industrial porcino, ventajas y desventajas	2
Tabla 2. Tabla de simulación de lecturas desde las 00h hasta las 11h	60
Tabla 3. Tabla de Análisis.CSV, actualizada en la hora 7	61
Tabla 4. Tabla de Análisis.CSV, actualizada en la hora 11	61

1. Introducción

En este primer capítulo, se realiza una introducción general al tema propuesto. Nos sitúa en el contexto del Trabajo, su justificación, qué motivó el Trabajo, los objetivos que se persiguen y la metodología seguida para alcanzarlos. En los últimos puntos del capítulo, se detalla la planificación temporal para llevar a cabo el proyecto, un breve resumen de los productos obtenidos y una breve descripción de los siguientes capítulos.

1.1 Contexto y justificación del Trabajo

La carne de cerdo, es la una de las más consumidas mundialmente y el consumo se incrementa año tras año. (Ver *Ilustración 1*) [1]

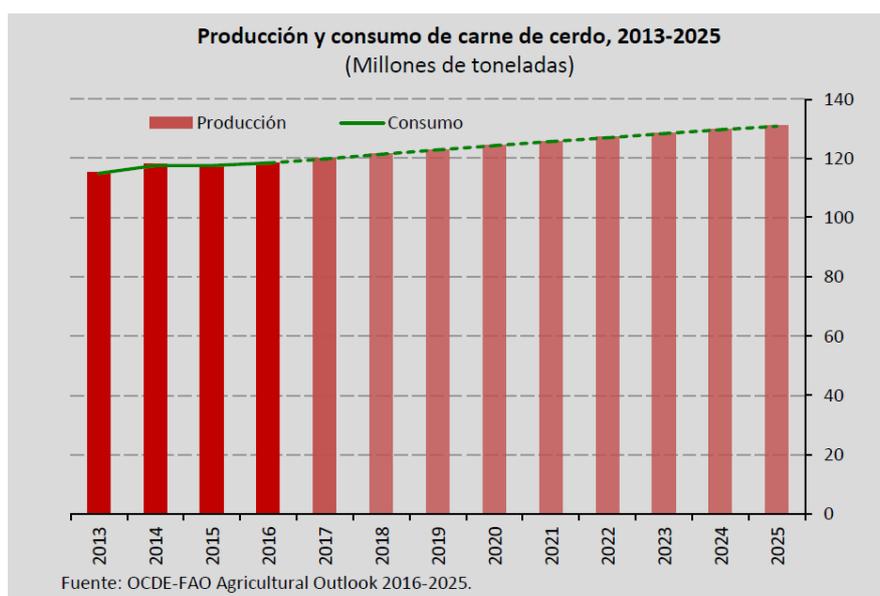


Ilustración 1. Producción y consumo de carne de cerdo 2013 – 2025 (Millones de toneladas)[1].

Para satisfacer la gran demanda, el sector porcino utiliza sistemas industriales especializados (granjas), que permiten el engorde masivo y automatizado. (Ver *Ilustración 2*). Además, otro aspecto que favorece a la producción, es que el cerdo posee la característica de tener un rápido crecimiento.



Ilustración 2. Foto de las pocilgas donde los cerdos están confinados y el suministro automatizado.

Hasta aquí, podemos observar algunas de las principales características del sector industrial porcino: el confinamiento masivo de los animales, la gran demanda y que el cerdo es un animal de rápido crecimiento.

Ahora, analicemos las ventajas y desventajas de estas características. Veamos primero la tabla que las resume y luego comentamos su deducción. (*ver Tabla 1*).

Características del sistema industrial porcino.	Ventajas	Desventajas
Confinamiento masivo de los animales.	Permite engordar a los animales en granjas automatizadas.	Favorece la rápida propagación de la enfermedad y esto deriva en pérdidas.
Gran demanda.	Mucha producción y gran cantidad de negocios dedicados.	La pérdida de animales reduce la gran producción. Ésta, no satisface la gran demanda y finalmente, se traduce en grandes pérdidas económicas para muchos negocios.
Animal de rápido crecimiento.	Ciclos de producción cortos. En meses, el cerdo ya se puede comercializar.	Rechaza la viabilidad de implementar muchos sistemas diseñados para la detección precoz de enfermedades, ya que, estos sistemas, requieren una elevada inversión en los dispositivos utilizados cada poco tiempo debido a la brevedad de los ciclos de producción.

Tabla 1. Tres características del sistema industrial porcino con sus respectivas ventajas y desventajas.

Respecto a las ventajas, éstas se pueden deducir fácilmente. Ahora bien, para deducir las desventajas, vamos a preguntarnos lo siguiente; ¿Qué ocurre cuando una enfermedad azota a los cerdos criados mediante este sistema?

Cuando se da esta situación, se puede observar como las ventajas anteriores se convierten en desventajas.

En primer lugar, y lo más crítico, es que el confinamiento masivo favorece drásticamente la propagación de la enfermedad. En el siguiente gráfico, se muestra como el número de animales infectados crece exponencialmente con el tiempo. (ver *Ilustración 3*) [2].

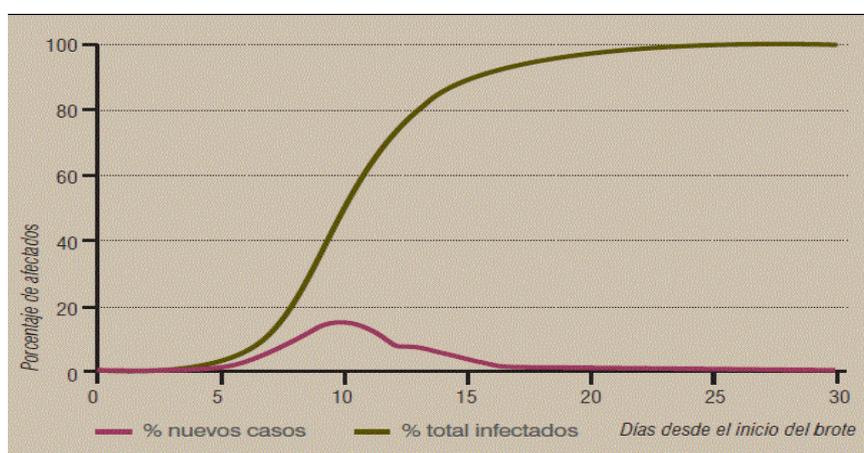


Ilustración 3. Simulación de un brote de enfermedad. [2]

En segundo lugar, y como consecuencia del primero, es que la elevada producción se ve afectada y las pérdidas pueden provocar un gran impacto económico.

La tercera desventaja, la del rápido crecimiento del cerdo, es la que hace incrementar la frecuencia con la que se invierte en la implantación de los dispositivos individuales de monitorización.

Dicho de una forma simple; cada pocos meses, una remesa de cerdos está lista para comercializar y entra otra nueva. Entonces, en función del dispositivo individual que utilice el sistema, si hay que implementarlo en miles de animales y, además, cada pocos meses, su coste puede hacer que sea inviable la implementación a nivel industrial.

Merece la pena hacer hincapié en la tercera desventaja del rápido crecimiento del cerdo, puesto que ésta, priva la implementación de muchos sistemas de monitorización que podrían detectar precozmente una enfermedad y reducir el número de pérdidas, lo cual repercute directamente en poder mitigar el impacto de la primera y segunda desventaja.

Una vez introducido el contexto del sistema industrial porcino, la gran controversia es; si queremos un sistema de monitorización muy preciso y fiable, deriva en que el coste de los dispositivos puede privar su propia implementación. Por lo tanto, la justificación de este proyecto es lidiar con dicha controversia. Lograr un sistema, cuyo coste permita poder implementarlo a nivel industrial y que sea capaz de avisar si hay alguna anomalía antes de que la perciba visualmente el granjero. De esta forma, si la anomalía se corresponde a un brote de enfermedad, se puede ganar tiempo y reducir el número de contagios.

1.1.1 Incidente que motivó el proyecto.

En el 2016, se invirtió en una granja porcina en Huesca (*ver Ilustración 4*).



Ilustración 4. Foto del exterior de la granja.

La granja alberga a unos 2000 cerdos y está en proyecto una nave gemela para ampliar el número a 4000 ejemplares.

La dinámica de producción diaria es la siguiente. Sobre las 8h, se conecta manualmente la maquinaria de abastecimiento. Acto seguido, se tiene que recorrer los pasillos para supervisar que las tolvas se llenen de pienso y que llegue el agua a los abrevaderos. El mismo procedimiento, se repite a las 20h, doce horas después. (ver Ilustración 5).



Ilustración 5. Foto tomada mientras se supervisa el abastecimiento de la granja.

Como se puede apreciar, una persona, visualmente no puede controlar el estado de todos los cerdos, puesto que no todos están en movimiento cuando pasa la persona, están en aglomeración y, además, hay un gran número de pocilgas.

Un día, se dio el siguiente acontecimiento. A las 8h, como cada día, se siguió la rutina y todo parecía dentro de la normalidad. Cuando se regresó a las 20h, al supervisar el abastecimiento, se encontraron 5 ejemplares muertos. El motivo fue un brote de meningitis. Desde que se detectó el brote, hasta que se erradicó, la enfermedad provocó 20 pérdidas.

Al recordar la explicación de este suceso, surgió la motivación de este Trabajo; idear un sistema para monitorizar el comportamiento de los cerdos. Un sistema, capaz de detectar anomalías en el comportamiento del animal, que avisara y que permitiera ganar tiempo, por mínimo que fuera, para combatir el brote de una enfermedad.

1.2 Objetivos del Trabajo

El principal objetivo de este trabajo, es lidiar con la controversia de cumplir los dos propósitos que justifican su desarrollo. Por un lado, detectar y avisar de una anomalía antes de que la perciba la persona visualmente, y por el otro, conseguir que el coste permita la viabilidad de poderlo implementar industrialmente.

Una vez se consiga el principal objetivo, se abordarán los siguientes objetivos secundarios:

- Dar información ordenada, por pantalla y/o impresa, de las horas que llevan los cerdos sin ir a la tolva.
- Mandar un aviso al móvil cuando un cerdo no haya pasado por la tolva en un límite de horas.
- Ofrecer la visualización e impresión de distintos gráficos analíticos, según el interés.

1.2.1 Matices importantes sobre los objetivos

Para concluir la explicación de los objetivos, añadir unos matices importantes:

- El sistema diseñado en este Trabajo, solo monitoriza la interacción del animal con la tolva. Por lo tanto, solo avisa de las anomalías en dicho comportamiento.
- Por lo presente del punto anterior, los avisos de las anomalías, podrán corresponderse a enfermedades cuya sintomatología se asocie al movimiento y/o inanición. También, pueden ser fracturas que afecten al movimiento o cualquier circunstancia que mengüe la interacción con la tolva.

- Durante todo el desarrollo del proyecto, se intentará simplificar al máximo el sistema de monitorización, para minimizar el coste y permitir la viabilidad de su implementación a gran escala.
- Finalmente, confirmar la aprobación del sistema con una demostración de que, por mínimo que sea el tiempo, es capaz de anticiparse a la percepción visual de una anomalía. La importancia temporal de un solo día, puede prevenir una gran cantidad de infectados, recordar la gráfica de la ilustración 3.

1.3 Enfoque y método seguido

El planteamiento para diseñar el sistema de monitorización, consiste en identificar a los animales que se aproximen a la tolva mediante la tecnología RFID (Radio Frequency Identification). Concretamente, se trabajará en la frecuencia UHF (Ultra High Frequency) a 868 MHz.

Las etiquetas de identificación serán crotales y se implantarán en la oreja de los cerdos. (*ver Ilustración 6*).



Ilustración 6. Crotales. Etiquetas (Tags) para ganado porcino.

Al lado de la tolva, y a una altura donde no alcancen los animales, se instalará la antena conectada al lector. Cada cierto tiempo, el sistema de procesamiento solicitará al lector una descarga de las lecturas. Posteriormente, el software analizará la información y extraerá los datos estadísticos que nos interesen, además de gestionar los avisos.

Con el fin de comprobar la eficacia del sistema, se analizará la fiabilidad de las lecturas mediante un método “Ground Truth”. Éste, consistirá en marcar los cerdos y establecer una correspondencia entre marcas y crotales. Después, mediante una cámara, se hará una grabación simultánea a la identificación por radio frecuencia. De esta forma, podremos evaluar el porcentaje de fiabilidad en las lecturas.

1.4 Planificación del Trabajo

El Trabajo está planificado en cinco fases. El motivo de que tenga este número de fases, es porque viene determinado por las entregas de las Pruebas de Evaluación Continuada.

En la siguiente imagen (*ver Ilustración 7*), se muestra el diagrama de Gantt donde pueden verse las cinco fases, la duración de éstas y sus correspondientes fechas de comienzo y fin.

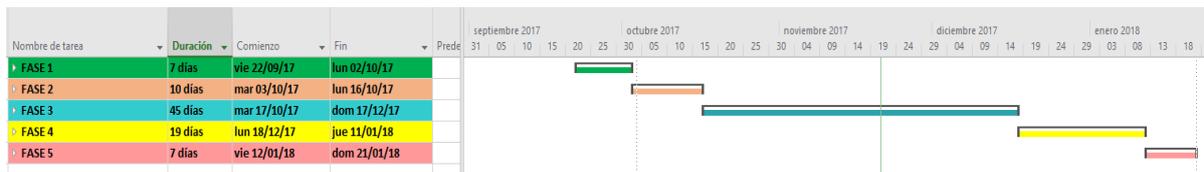


Ilustración 7. Diagrama de Gantt de las 5 fases.

Fase 1.

En este primer hito, se hace la propuesta del TFG, el análisis y la planificación. Se hace un estudio del material necesario para la implementación y se contacta con los proveedores.

En cuanto a la memoria, se realiza el primer capítulo, el cual comprende el contexto, el objetivo, la motivación, el enfoque, la metodología empleada, la planificación temporal, un breve resumen de los productos obtenidos y una breve descripción de los siguientes capítulos. La fase finaliza con la entrega de la PEC1.

A continuación, se muestra la fase 1 del diagrama de Gantt extendida (ver Ilustración 8) en la que se pueden ver las tareas, la duración de éstas y sus correspondientes fechas de comienzo y fin.

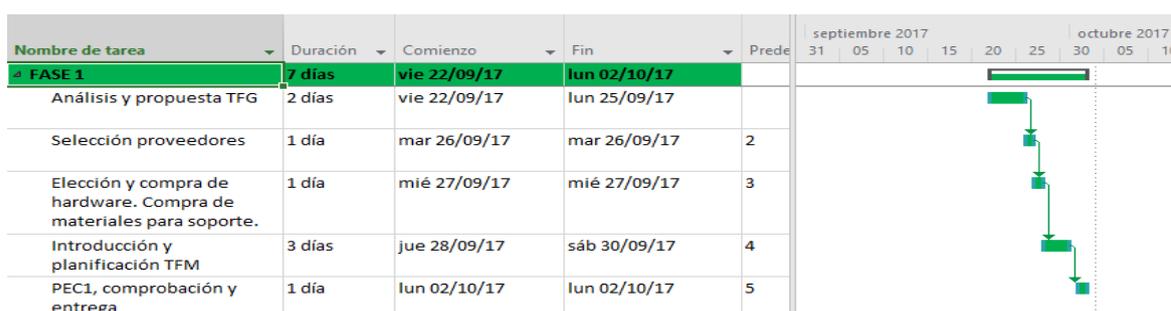


Ilustración 8. Diagrama de Gantt extendido de la fase 1.

Fase 2.

En la segunda fase, la tarea principal es el estudio del Estado del Arte. Éste, se documenta en el capítulo dos de la memoria y consiste en recopilar información sobre proyectos similares al que ocupa este Trabajo.

Una vez recopilada la información, se redacta el Estado del Arte con todas las referencias bibliográficas y, para finalizar, en el último punto del capítulo, se explican las mejoras y/o las novedades que propone el Trabajo respecto a los proyectos similares que se han hallado y explicado en los puntos anteriores.

Para concluir, comentar que la fase finaliza con la entrega de la PEC2. Ésta es la fase con más peso teórico, ya que, respecto a la parte práctica, solo se confirma la recepción y se preparan los materiales para la siguiente fase.

A continuación, se muestra la fase 2 del diagrama de Gantt extendida (ver Ilustración 9) en la que se pueden ver las tareas, la duración de éstas y sus correspondientes fechas de comienzo y fin.

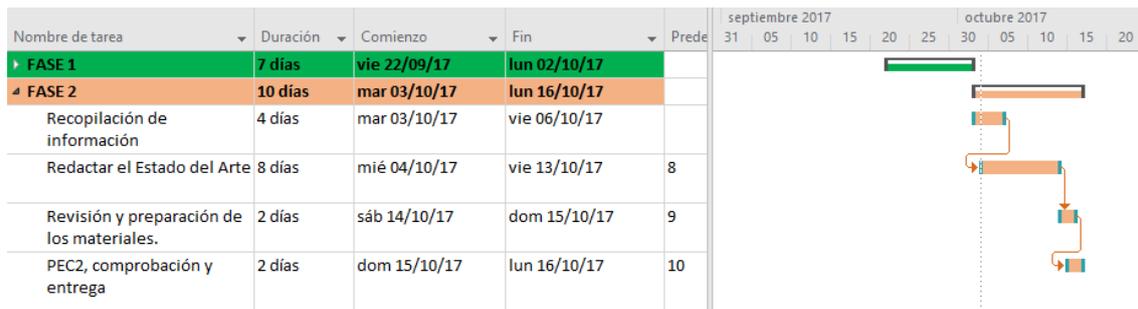


Ilustración 9. Diagrama de Gantt extendido de la fase 2.

Fase 3.

La tercera fase, es la que tiene la duración más extensa. El motivo, es que abarca todo lo referente a la implementación práctica y los resultados obtenidos.

Las principales tareas consisten en: el montaje físico, la configuración del hardware, la instalación del software, el desarrollo del script para automatizar el sistema de monitorización, el desarrollo del algoritmo de procesado, el diseño del sistema de monitorización, el diseño del sistema “Ground Truth”, las pruebas y el análisis de los resultados obtenidos.

La fase finaliza con la entrega de la PEC3, la cual comprende la mayoría de capítulos del Trabajo. A continuación, se muestra la fase 3 del diagrama de Gantt extendida (ver Ilustración 10) en la que se pueden ver las tareas, la duración de éstas y sus correspondientes fechas de comienzo y fin.

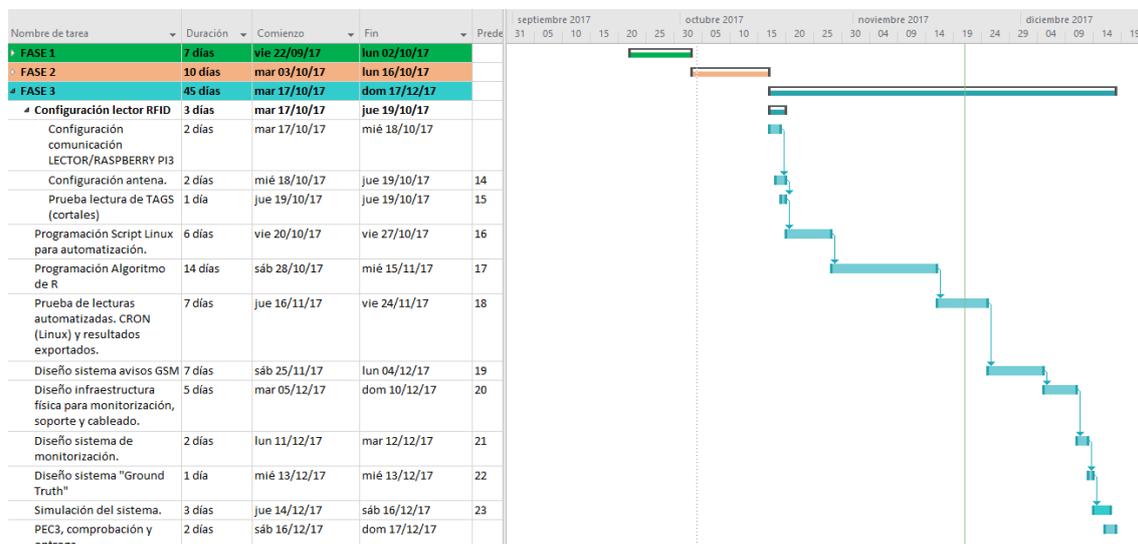


Ilustración 10. Diagrama de Gantt extendido de la fase 3.

Fase 4.

La cuarta fase corresponde a la PEC4. Consiste en la redacción de la versión final de la memoria.

A continuación, se muestra la fase 4 del diagrama de Gantt extendida (ver Ilustración 11) donde se puede ver que contiene la tarea “Versión final memoria TFG” y la duración de ésta.

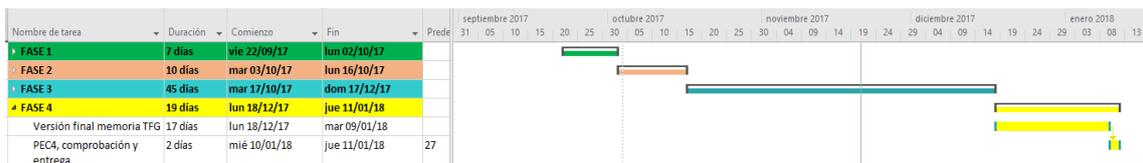


Ilustración 11. Diagrama de Gantt extendido de la fase 4.

Fase 5.

La quinta y última fase, consiste en la edición de un video explicativo y la defensa del TFG (Trabajo final de Grado).

A continuación, se muestra la fase 5 del diagrama de Gantt extendida (ver Ilustración 12) donde se muestran las dos últimas tareas y la fecha en la que concluye el Trabajo.

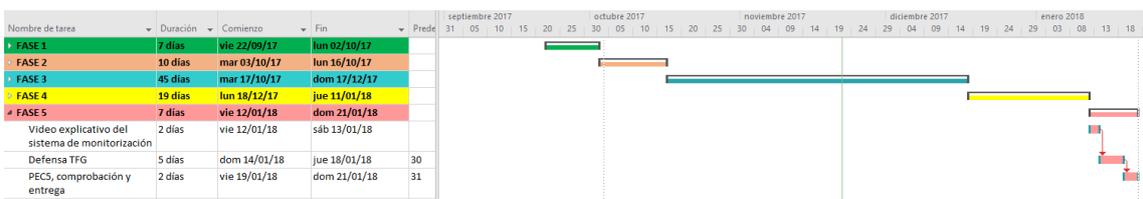


Ilustración 12. Diagrama de Gantt extendido de la fase 5.

1.5 Breve resumen de productos obtenidos

El propósito de este Trabajo, es conseguir un sistema de monitorización capaz de detectar las anomalías en cuanto a la frecuencia con la que se alimentan los cerdos. Además, tal como se ha comentado en el punto 1.2 *Objetivos del Trabajo*, el sistema estará constantemente condicionado por el coste, ya que, la segunda finalidad, es que dicho sistema pueda implementarse a nivel industrial.

Tal como se explicará en el capítulo 8. *Comprobación práctica del sistema*, para analizar la respuesta del sistema de monitorización, se dividirá en dos bloques. Por un lado, estará el sistema RFID, y por otro lado, el sistema de Análisis.

Como breve introducción, el sistema RFID, es el que se encargará de detectar y registrar la presencia de los cerdos en la tolva mediante la lectura de las tags insertadas en los crotales. El sistema de Análisis, se encargará de la manipulación de los datos registrados, la presentación de la información y los avisos.

La mayor complejidad y la base del éxito del sistema de monitorización, es la fiabilidad del sistema RFID, ya que, tal como se ha comentado en el párrafo anterior, se encargará de detectar la frecuencia con la que los cerdos se alimentan.

En el capítulo 8. *Comprobación práctica del sistema*, concretamente en las pruebas del sistema RFID, se presentará la problemática existente de este sistema con la lectura de las tags pasivas sobre el tejido vivo. Tal es la complejidad, que existen diversidad de estudios, incluso tesis, para intentar solventar dicha problemática.

Por este motivo, y por los plazos establecidos para la realización de este Trabajo, así como la sincronización con los ciclos de la granja porcina para poder realizar las pruebas, no se ha llegado a poder solventar la problemática, pero, gracias a los ensayos, se han podido definir las líneas de trabajo futuro para su continuidad, tal como se comenta en el capítulo 9. *Trabajo futuro*.

Por último, comentar que, posteriormente a la entrega oficial del Trabajo, y vista la aceptación de la idea de este sistema de monitorización, tanto por parte de los ganaderos como por parte de la docencia, la intención es continuar con el trabajo futuro para seguir desarrollando e intentar implementar a gran escala el sistema diseñado.

1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

En cada uno de los siguientes capítulos de la memoria, se profundizan y analizan las distintas temáticas relacionadas con el desarrollo de este Trabajo Final de Grado, de la siguiente forma y manera:

El segundo capítulo, es el del Estado del Arte. Es el capítulo con mayores referencias bibliográficas sobre los proyectos similares existentes que hay. Estos proyectos, se podrán clasificar en tres temáticas: los que utilizan la trazabilidad para el control de producción, los que utilizan la trazabilidad para el análisis del comportamiento y finalmente los que utilizan sistemas de monitorización para el control sanitario. Una vez comentados algunos ejemplos de los proyectos existentes en las temáticas descritas, en el último punto, se comentará la finalidad del Trabajo. Dicha finalidad, consistirá en adoptar algunas de las metodologías de los proyectos de ejemplo expuestos, para optimizar el sistema propuesto y hacer viable su implementación a nivel industrial.

El tercer capítulo, es puramente esquemático y muy visual. Mediante los esquemas de diseño presentados, se podrá tener una idea de cómo se implementará el sistema de monitorización.

El cuarto y quinto capítulo, detallan el hardware y el software respectivamente, presentes en los esquemas de diseño del tercer capítulo.

El sexto capítulo, consistirá en un único diagrama de flujo donde se podrá ver cómo funciona todo el sistema de monitorización a nivel de procesos.

En el séptimo capítulo, se presentará el sistema de verificación "*Ground Truth*", realidad sobre el terreno. Se detallará cómo se llevará a cabo el método para evaluar la fiabilidad de las lecturas obtenidas. Es importante destacar, que el sistema de verificación "*Ground Truth*", únicamente se implementará para evaluar la fiabilidad del sistema y no formará parte de la implementación final del sistema de monitorización.

El octavo capítulo, explica cómo fue el funcionamiento del sistema totalmente implementado. Consta de dos fases o pruebas, ya que en el primer ensayo, no se obtuvo el resultado esperado. Cada una de las dos pruebas detalla los resultados obtenidos, las conclusiones y las propuestas de mejora.

En el noveno capítulo, se explican las principales directrices para un trabajo futuro. Por un lado, las mejoras en cuanto a una posible integración de los dispositivos, y por otro lado, una breve propuesta de cómo sería el escalado del sistema a nivel industrial.

2. Estado del Arte

2.1 Introducción

Con el fin de facilitar los procesos y poder responder a la creciente demanda de la industria porcina, las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) han diseñado varios sistemas para lograr la trazabilidad de la cadena productiva, el control sanitario y la automatización. *“Telemática en la Industria Porcina”* [3].

En los siguientes puntos de este capítulo, se comentarán algunos sistemas de trazabilidad existentes para el control de la producción del ganado, para analizar el comportamiento de los animales y algunos sistemas de monitorización para el control sanitario de éstos. Al final del capítulo, se detallarán algunas de las metodologías que adoptará este Trabajo de los sistemas comentados y la mejora que propone.

2.1.1 Sistemas de trazabilidad para el control de producción

Primero definiremos el concepto de trazabilidad. La trazabilidad [4], determina los diversos pasos que recorre un producto desde su nacimiento hasta su ubicación actual en la cadena de abastecimiento.

Para hacer el seguimiento del producto, se utilizan sistemas RFID-UHF (Identificación por Radio Frecuencia – Ultra alta frecuencia). Éstos, están muy extendidos en las cadenas de producción, ya que permiten la identificación de varios elementos del mismo tipo, sin visión directa y al mismo tiempo (a diferencia del código de barras que solo identifica el tipo y necesita visión directa), y a su vez, abaratan los costes.

En el ámbito porcino, se han diseñado sistemas RFID-UHF que permiten hacer un seguimiento del ganado y saber en cada momento en qué punto de la cadena productiva está cada animal. Un ejemplo, es el proyecto: *“Pigtracker: Using UHF-RFID for Pig Traceability”* [5].

El proyecto Pigtracker, permite leer los crotales (tags auriculares porcinos) de varios animales simultáneamente y a una cierta distancia. De esta forma, hace un seguimiento de la ubicación de cada cerdo en la cadena productiva lo cual permite la trazabilidad del producto.

En la ilustración 13, se pueden ver las antenas RFID en el techo del pasillo y los crotales en los cerdos.



Ilustración 13. Sistema RFID trazabilidad. Proyecto Pigtracker. [5]

Con el fin de ver que cada día toma más relevancia el seguimiento del producto, mediante el uso de la tecnología RFID en combinación con otras tecnologías para reducir costes, a continuación, se citan varios proyectos de ejemplo.

- Debido a una partida de carne porcina en mal estado, en Taiwán desarrollaron un sistema de tracking para ofrecer al consumidor con detalle, la evolución del producto porcino y así ganar su confianza. *“Development of a management system with RFID and QR code for matching and breeding in Taiwan pig farm”* [6]. El seguimiento de cada animal, se hacía manualmente mediante tarjetas. Era una faena muy laboriosa y tenía un elevado gasto en mano de obra. El sistema RFID abarató los costes y facilitó la labor.

- La industria alimentaria, usa sistemas de tracking basados en RFID para mejorar el historial de la vida del cerdo, *“Food Company Pilots UHF RFID to Enhance Pig Life History”* [7]. El objetivo, es analizar los procesos de alimentación y tratamiento desde el nacimiento hasta el matadero para permitir a los granjeros poder mejorar dichos procesos.
- El proyecto europeo *“Pig Affairs”* [8], tiene como objetivo rastrear y obtener la trazabilidad de cada animal, desde el nacimiento hasta el matadero, con su información individualizada (número de identificación propio, nacimiento, vacunación, etc.) almacenada en un chip.

2.1.2 Sistemas de trazabilidad para analizar el comportamiento

Además de usar los sistemas de trazabilidad para hacer el seguimiento del animal en todas las fases de producción, estos sistemas, también se utilizan para analizar el comportamiento de los animales y conocer su ubicación. A continuación, se citan varios proyectos de ejemplo.

- Unos científicos analizaron el comportamiento de las gallinas y descubrieron que siguen un patrón como los humanos, *“Scientists tracked chickens and found they have their own daily routines, just like us”* [9]. Para poder hacer la monitorización, tuvieron que recurrir a un sistema de tracking basado en RFID con etiquetas pasivas.
- El proyecto *“Wildlife animal tracking using RFID and GSM technology”* [10], se usa para seguir la ubicación de los animales silvestres en las reservas o parques nacionales. Para poder conseguir este propósito, se hace uso de la tecnología RFID y la tecnología GSM (Global System Mobile) [11].
- *WWF (World Wildlife Fund)* [12] usa un sistema RFID simple, de bajo coste, en un proyecto complejo. Está empleando etiquetas pasivas RFID, para monitorizar el comportamiento de ciertas especies para el estudio de biodiversidad en el Amazonas.

- Laboratorios de ensayo que hacían el seguimiento de animales por video secuencias, *“Laboratory animals tracking in videosequences”* [13], han reducido los costes mediante el uso de sistemas de seguimiento RFID, en vez del uso de cámaras y visión artificial.

Como se ha podido observar, muchos sistemas de trazabilidad para seguimiento, añaden la implementación de la tecnología RFID junto a las tecnologías que utilizan inicialmente, e incluso la implementan como sustituta. En especial, los proyectos como el citado en el último punto, ya que éstos, hacen uso de sistemas de visión computacional, necesitan un equipo de procesado potente para reducir el tiempo de respuesta y esto deriva en una inversión considerable.

Por lo comentado en el párrafo anterior, podemos ver la importancia de implementar la tecnología RFID en sistemas de trazabilidad, principalmente por las siguientes ventajas:

- Permite reducir costes de implementación.
- Permite reducir el tiempo de procesado.
- Por los dos puntos anteriores, permite escalar el sistema a nivel industrial.

2.1.3 Sistemas de monitorización para el control sanitario

Se han diseñado varios sistemas de monitorización para poder detectar con antelación las enfermedades y reducir las pérdidas. La mayoría de ellos, hacen uso de sensores, cámaras, acelerómetros y algunos utilizan la tecnología RFID únicamente como sistema de identificación. A continuación, unos ejemplos:

- El proyecto *“The Pig Breeding Management System Based on RFID and WSN”* [14]. La combinación de un sistema RFID y WSN [15] (Wireless sensor network), ha permitido hacer un seguimiento a gran escala de la cría de cerdos. La tecnología RFID identifica cada ejemplar y la red de sensores el estado de salud y las condiciones ambientales.

- El proyecto de la Universidad Complutense de Madrid, *“Diseñan un sistema para monitorizar en tiempo real la salud animal”* [16]. Este sistema, propone el uso de dispositivos como cámaras, biosensores y acelerómetros, los cuales permiten obtener información precisa sobre la temperatura corporal y el movimiento de los animales. Los datos obtenidos, son determinantes para detectar la sintomatología de las enfermedades y poder hacer una detección precoz de éstas.

Tal como se comentó al final del apartado 2.1.2 *Sistemas de trazabilidad para analizar el comportamiento*, los sistemas de monitorización cuyas tecnologías hacen uso de cámaras, sensores, acelerómetros, etc... debido al coste y mantenimiento de estos dispositivos, será inviable implementarlos industrialmente.

Existe un sistema de monitorización basado exclusivamente en la tecnología RFID, *“Measuring the Feeding Behavior of Livestock”* [17]. Este sistema, lo han desarrollado dos ingenieros norteamericanos, Tami Brown-Brandl y Roger Eigenberg. En la ilustración 14 [17], se puede ver a la ingeniera Tami Brown-Brandl evaluando el comportamiento alimenticio del cerdo mediante el sistema de monitorización.



Ilustración 14. Ingeniera Tami Brown – Brandl evaluando el comportamiento alimenticio del cerdo.[17]

Según la publicación, el diseño consiste en monitorizar el tiempo que cada cerdo pasa en el comedero, mediante el uso de la tecnología RFID. A partir de los datos recogidos, según el tiempo que dediquen a alimentarse los animales, pueden detectar las anomalías.

2.2 Finalidad de este trabajo

Como se ha comentado en los apartados anteriores, en un principio, la tecnología RFID se ha utilizado para sistemas de trazabilidad o seguimiento. Posteriormente, ésta se ha utilizado para diseñar sistemas que monitorizan el comportamiento de los animales. Y finalmente, mediante la monitorización de las anomalías en el comportamiento, se ha diseñado un sistema para el control sanitario.

Un sistema de monitorización para el control sanitario, basado exclusivamente en RFID, que permite reducir los costes frente a los sistemas que utilizan sensores, visión computacional o acelerómetros, ya que, utilizar cualquier tipo de estos dispositivos y su tecnología asociada, permite una monitorización de gran precisión y fiabilidad, pero también incrementa el coste debido a una serie de factores:

- Por poco que sea el coste del sensor, hay que multiplicarlo por miles de animales. Esto supone una gran inversión, y ésta, está enfocada únicamente a la prevención, no a la producción.
- El tiempo que se pierde al implantar el dispositivo en el animal, deriva en un coste.
- Al final de cada ciclo de producción, recordemos que es de pocos meses, o se recuperan los dispositivos, lo cual añade un coste extra de desimplantación, u obliga a hacer otra nueva inversión de compra para adquirir nuevos e implementárselos a la nueva remesa.
- Otros aspectos como: duración de las baterías si son activas, el tiempo de procesado, el desgaste físico del dispositivo, la óptima ubicación en el cuerpo del animal para que no interfiera en la rutina de éste, la fijación del dispositivo que evite la pérdida, etc....

Por lo tanto, el coste de estos sistemas, puede privar de su implementación a nivel industrial, ya que, el balance de prevención de pérdidas frente a la inversión de implementarlos, la mayoría de las veces, puede resultar negativo.

Apostando por un sistema RFID, haciendo uso de etiquetas pasivas y siguiendo la línea de los investigadores norteamericanos Tami Brown-Brandly y Roger Eigenberg, este Trabajo, pretende diseñar un sistema de monitorización, con la finalidad de simplificar todo lo posible el hardware y el software, tanto en procesos como en costes, para hacer posible la viabilidad de su implementación a gran escala.

3. Esquemas de diseño

En este capítulo, se presentarán los dos esquemas principales del diseño del sistema, el físico y el de monitorización. En el esquema físico, se representará el montaje del soporte y las dos zonas de trabajo. En el esquema de monitorización, los elementos de hardware y los tres bloques principales del sistema: el bloque de entrada, el bloque de procesado y el bloque de salida.

3.1 Esquema del montaje físico

El montaje físico, principalmente consiste en el soporte para la antena y la cámara. Antes de montar la estructura del soporte, se han tenido presentes las siguientes premisas:

- Que permita establecer una zona, que llamaremos “zona limpia”, dónde está la maquinaria y montaremos el sistema de monitorización, y una zona, que llamaremos “zona sucia”, que será la zona de la granja donde están las pocilgas. Como esquema, se presenta la siguiente imagen (*ver Ilustración 15*).

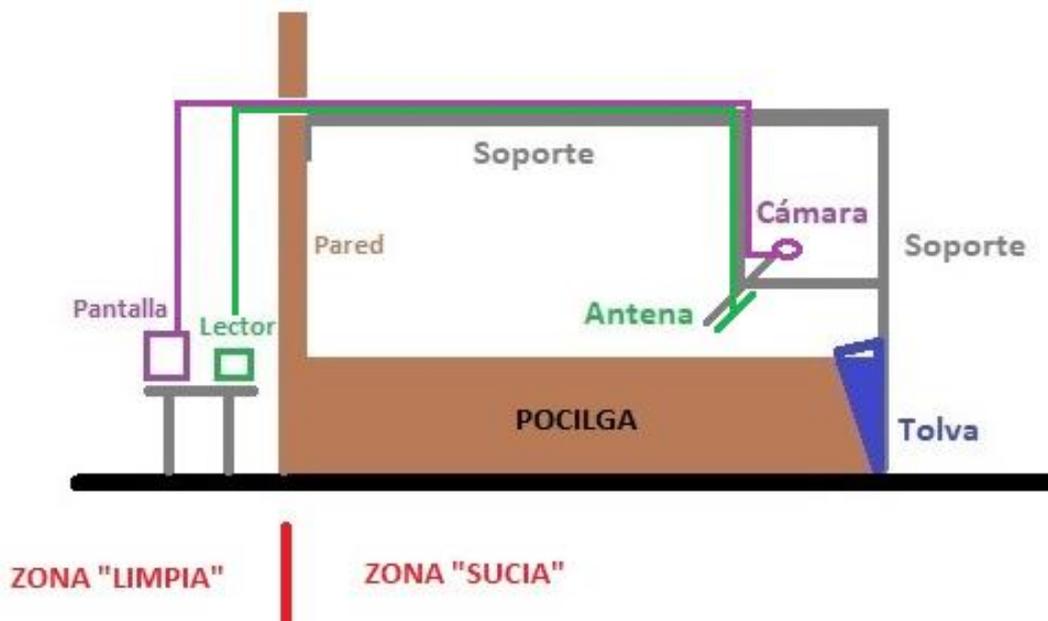


Ilustración 15. Esquema del montaje físico.

- Que no interfiera en el hábitat de los animales.
- Que los cerdos no alcancen ni a la antena, ni a la cámara, puesto que si alcanzan, las destrozarían (*ver Ilustración 16*).



Ilustración 16. Fotos del soporte para la antena y la cámara.

A continuación, se muestra la imagen (*ver Ilustración 17*) de cómo quedó el montaje final. Se puede observar cada uno de los componentes del esquema del montaje físico (*ver Ilustración 15*) y las dos zonas de trabajo, la limpia y la sucia.



Ilustración 17. Foto del montaje físico, zona limpia y sucia.

3.2 Esquema de monitorización interacción animal-tolva

En la siguiente imagen (ver Ilustración 18), se muestra el esquema completo de monitorización. Para describirlo mejor, en los siguientes puntos se explicarán los tres bloques principales en los que se ha dividido: el bloque de entrada, el bloque de procesado y el bloque de salida.

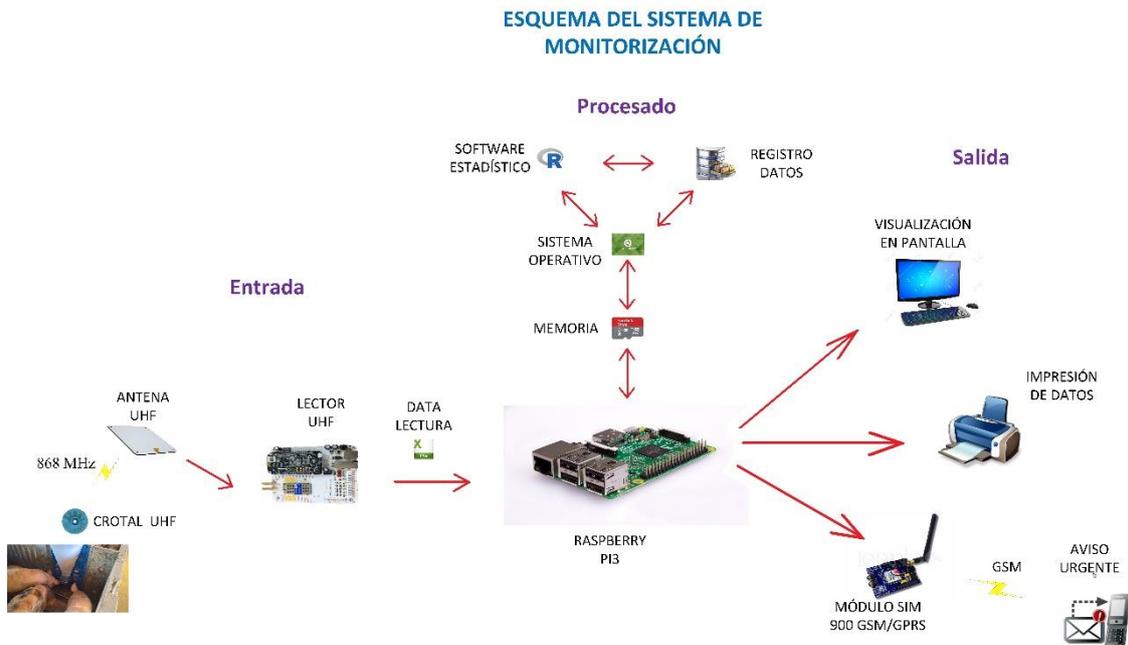


Ilustración 18. Esquema completo del sistema de monitorización.

El bloque de entrada, está compuesto por: los crotales que portan las tag's implementados en la oreja de los cerdos, la antena que emite y recibe la señal de las tag's, y el lector que registra las lecturas, las cuales se importan desde la unidad central de procesado RaspBerry Pi3.

El bloque de procesado, está compuesto por el software instalado en la memoria física de la unidad central de procesado RaspBerry Pi3. En el capítulo 5 *Software del sistema*, se explicará con más detalle el software utilizado, pero básicamente, consistirá en: Linux como sistema operativo, el programa estadístico R para analizar los datos y un registro que almacenará las lecturas importadas del lector y los análisis exportados por el programa R.

Finalmente, el bloque de salida, está compuesto por tres salidas: la pantalla que permite visualizar la información, la impresora para imprimir la información y un módulo GSM automatizado, que, según los datos analizados, mandará una alerta al teléfono móvil.

3.3 Esquema de monitorización más “Ground Truth”

En la siguiente imagen (ver Ilustración 19), se muestra el esquema del sistema de monitorización más el esquema “Ground Truth”. Éste último, solo se implementará para analizar la fiabilidad de las lecturas del sistema de monitorización, luego se retirará. El procedimiento para hacer la comprobación de explicará en el capítulo 7. *Sistema de verificación “Ground Truth”*

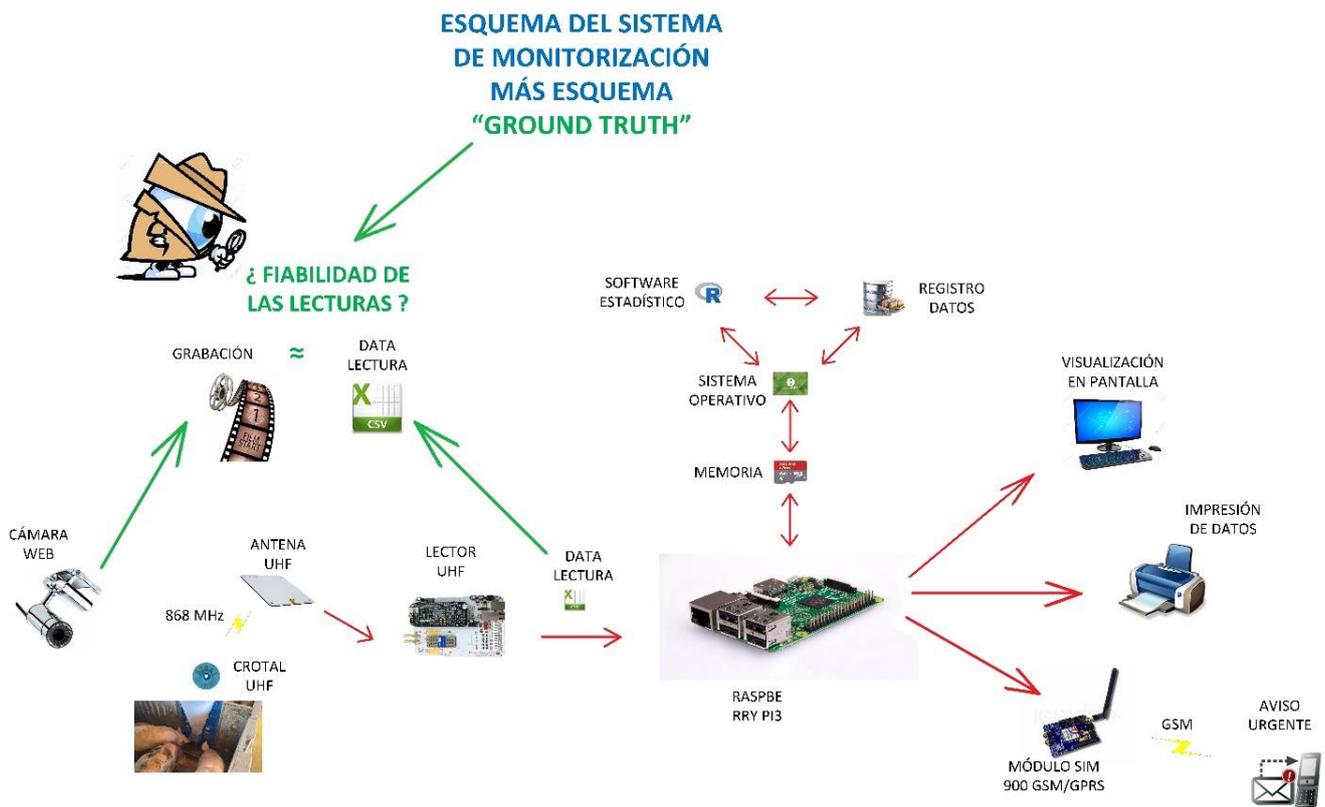


Ilustración 19. Esquema completo del sistema de monitorización más "Ground Truth".

4. Hardware del sistema

En este capítulo, se describirá el hardware utilizado para la implementación práctica del sistema de monitorización. Los elementos que componen el hardware son: los crotales que portan las tags insertadas, las propias tags, las antenas, los cables, el lector, la unidad de procesamiento RaspBerry, la cámara y el módulo GSM. Todos ellos se explicarán en el orden citado.

4.1 Tags Crotales

Las etiquetas o tags en un sistema RFID, es el elemento que se añade al objeto, al animal o a lo que queramos identificar. En el caso de los animales como el ganado, estas etiquetas se insertan en lo que se llaman crotales. Los crotales, se utilizan para etiquetar al ganado y poder identificar cada animal. El método de identificación, puede ser solo visual, o visual y electrónico, según si el crotal porta insertadas las etiquetas o tags RFID. Para entender mejor la diferencia entre los conceptos de crotal y tag como etiquetas, en la siguiente imagen (*ver Ilustración 20*), se pueden ver identificados físicamente los diferentes tipos de crotales utilizados en este Trabajo y algunas tags insertadas.

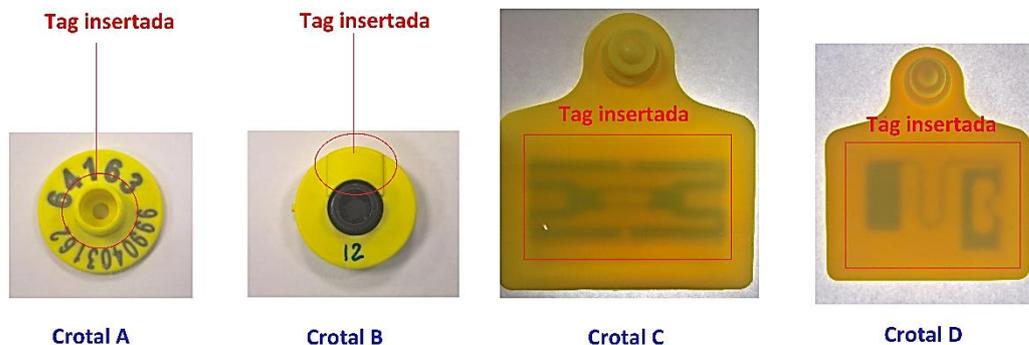


Ilustración 20. Diferentes tipos de tags en diferentes modelos de crotales.

Una vez vista la imagen, el concepto de etiqueta o tag RFID y la etiqueta de ganado o crotal queda más claro. En los crotales tipo A y B, no se puede apreciar la tag insertada, pero en los tipos C y D, con la foto a trasluz, se pueden observar las tags internas.

De un modo simple, sin dar una explicación extensa sobre los tipos de tags RFID y su funcionamiento, comentar que las tags se basan en un circuito impreso, tal como los que se pueden ver en los crotales tipo C y D.

El circuito impreso, emite una señal que capta la antena y entonces, el lector puede leer el código de la tag. En función de cómo obtenga la energía el circuito para emitir la señal de respuesta, la tag pertenecerá a un tipo activo, semi-activo o pasivo. En este Trabajo se utilizarán las tags pasivas, ya que son las más baratas, y cuyo circuito, se alimenta únicamente de la señal emitida por la antena del lector.

Después de esta breve explicación de lo que son las tags RFID y cómo funcionan, debemos escoger el tipo de crotal para la práctica. Una decisión indispensable, es que los crotales deben utilizar tags pasivas, debido al coste, requisito para la viabilidad de poder implementar el proyecto a nivel industrial.

Otro aspecto importante a tener en cuenta para la elección del tipo de crotal, es que, en el ámbito porcino, se añade un problema bastante crítico debido al comportamiento de estos animales, la durabilidad. Y no principalmente en el sentido del desgaste que pueda tener el crotal y la tag, sino en que no se desprendan de él y perdure la portabilidad.

Por las razones explicadas en los dos párrafos anteriores, se optó por los tipos de crotal más pequeños, los A y B, aunque al final, se utilizó el tipo B debido a tener una mejor respuesta de lectura respecto al tipo A.

Merece la pena avanzar, que los crotales y las tags serán la clave de este Trabajo. La elección de los crotales más pequeños, para tener una mayor durabilidad respecto al porte, generará otra problemática más crítica. Los detalles de cómo fue la prueba y dicha problemática se explicarán en el punto 8.2 *Primera prueba*.

4.2 Antenas

En el apartado de antenas, se comentarán los dos modelos utilizados para la realización práctica del Trabajo. El motivo de adquirir una segunda antena, se explica en el punto 8.2 *Primera prueba*.

Las dos propiedades básicas en común de ambas antenas, son la polarización circular y la banda frecuencial de operación europea RFID, 865 - 868 MHz (ETSI EN 302 208) [18].

A continuación, una breve descripción de las antenas. Para consultar los diagramas de radiación y las especificaciones (*ver Anexo 1 y Anexo 2*).

Advantenna-p11



La Advantenna-p11(*ver Ilustración 21*) [19], es una antena RFID UHF compacta, con un factor de forma muy fino, polarización circular y un patrón de radiación caracterizado por un haz amplio en todas las direcciones de un hemisferio.

Ilustración 21. Advantenna – p11. [19]

Advantenna-SP12

La Advantenna-SP12 (*ver Ilustración 22*)[19], es una antena UHF RFID ultraligera con una ganancia muy alta, polarización circular y un patrón de radiación caracterizado por un ancho de haz de 70 ° en la dirección broadside y un ancho de haz de 40 ° en la dirección endfire.

La combinación de una alta ganancia, un factor de forma delgado y un diseño ultraligero, hacen que esta antena sea ideal para muchas aplicaciones RFID como portales RFID, túneles RFID, sistemas de seguimiento, etc...



Ilustración 22. Advantenna – SP12. [19]

4.3 Cables

En la implementación práctica del sistema de monitorización, se utilizarán dos tipos de cable. Un cable RF, para la señal de lectura de radiofrecuencia entre el lector y la antena, y un cable USB, para conectar la cámara que se utiliza en el sistema “*Ground Truth*”.

Cable RF

Según se puede apreciar en el esquema del montaje (*ver Ilustración 15*), la longitud del cable de radiofrecuencia debe tener una longitud que permita conectar al lector, que está en la zona limpia, la antena que está próxima a la tolva en la zona sucia. Para poder hacer la conexión holgadamente y que permita cierta movilidad para hacer pruebas, según los estándares de fabricación, la distancia escogida ha sido de 10 metros.

Un tema muy importante en todo sistema de transmisión, son las pérdidas. Para que el receptor capte la señal y el sistema funcione, debe llegarle un mínimo de potencia que supere la sensibilidad de éste, sino, no capta la señal. Por lo tanto, es importante tener presente la pérdida que generará el cable, y más, siendo un cable de 10 metros. El cable escogido ha sido el Coaxial Siretta LLC200A, 10m, Macho SMA a Macho SMA, 50 Ω (*ver Anexo 3*).

Con los datos de la tabla del Anexo 2, podemos calcular una aproximación de cuál será la pérdida del cable. Según la tabla, a una frecuencia de 900 MHz, el cable pierde 32 dB en 100 m, por lo tanto, a la frecuencia RFID de aproximadamente 868 MHz, un poco inferior a los 900 MHz (a menor frecuencia menor pérdida), y una longitud de 10 metros, la pérdida será aproximadamente de 3 dB's.

A modo de ejemplo, para ver la importancia en la selección de la tipología del cable, si buscamos un cable común, por ejemplo el tipo RG174, las pérdidas a una frecuencia de 900 MHz son de unos 75 dB's a los 100 metros, que a los 10 metros serían 7,5 dB's. Si ahora comparamos las pérdidas del cable adquirido, que son unos 3 dB's, con los 7,5 dB's del genérico, la diferencia son 4 dB's más, que tratándose de dB's, supone perder más del doble de la potencia con éste último. De ahí la importancia de hacer una buena selección en la tipología del cable cuando éste tiene cierta longitud.

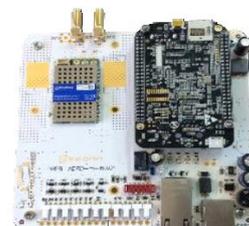
Cable USB

Para la conexión de la cámara del sistema "*Ground Truth*", se utiliza un cable USB 2.0 de una longitud de 10 metros. Al igual que el cable de RF, se escogió dicha longitud para poder conectar la cámara que está en la tolva, la zona sucia, al sistema de monitorización que está en la zona limpia.

4.4 AdvanReader-60

El AdvanReader-60 (*ver Ilustración 23*) [19], es un lector de UHF flexible, con una microcomputadora de a bordo y sistema operativo Linux totalmente libre.

Gracias a su microordenador de a bordo, AdvanReader-60 puede trabajar de forma independiente, sin necesidad de estar conectado a una computadora externa, lo que reduce los costos de los equipos, costos de instalación y mantenimiento.



AdvanReader-60 presenta dos modelos:

- 1 puerto, 27 dBm de potencia máxima de salida.
- 2 puertos, 30 dBm de potencia máxima de salida.



Ilustración 23. AdvanReader – 60 . [19]

Para el Trabajo, se optó por el modelo de 27 dBm. Principalmente por la diferencia de coste y que para hacer las pruebas basta con un puerto. En el punto 8.2 *Primera prueba*, se hará un comentario sobre el tema de la potencia de los lectores.

Debido a la cantidad de tablas de especificaciones, tanto de hardware como de software, si se desea ampliar la información sobre el lector [19].

4.5 RaspBerry Pi3

Como unidad central de procesamiento, inicialmente se planteó utilizar un miniPC. Finalmente, a mejor coste y con unas especificaciones suficientes como para procesar el sistema de monitorización, se optó por comprar la RaspBerry Pi, concretamente el nuevo modelo RaspBerry Pi 3 Modelo B (*ver Ilustración 24*)[20]. Entre las principales características, este dispositivo presenta un procesador Quad Core a 1.2 GHz y varias interfaces de conexión. Para ampliar el detalle de las especificaciones (*ver Anexo 4*).



Ilustración 24. Raspberry Pi 3 Modelo B . [20]

Memoria ROM de la RaspBerry Pi3

Como se puede apreciar en la tabla de especificaciones de la Raspberry Pi 3 Modelo B (*ver Anexo 4*), en el penúltimo punto, vemos que la memoria ROM donde se instalará el sistema operativo y demás software, debe ser una tarjeta tipo Micro SD. La tarjeta Micro SD escogida, fue una Tarjeta Microsdhc Sandisk. Sin entrar en detalle, la tarjeta es de tipo SDXC Extended Capacity [Capacidad Extendida], con una capacidad de 64 GB, suficiente para la necesidad del sistema.

4.6 Cámara USB

Para el sistema “*Ground Truth*” se utiliza una cámara USB bastante sencilla, puesto que basta que tenga una mínima definición, la cual permita discernir el número que tenga el animal escrito en el lomo. (*ver Ilustración 25*).



Ilustración 25. Cámara USB Kebidu.

4.7 Módulo GSM

El hardware GPRS / GSM está basado en el módulo SIM900 de SIMCOM y es compatible con Arduino y Raspberry. Proporciona una forma de comunicarse utilizando la red de teléfonos celulares GSM y permite obtener SMS, MMS, GPRS y audio a través de UART mediante el envío de comandos AT (GSM 07.07, 07.0 5 y SIMCOM Enhanced AT Commands) (*ver Ilustración 26*) [21]. Algunas de las aplicaciones más comunes son:

- M2M (Machine 2 Machine).
- Control remoto de electrodomésticos.
- Estación meteorológica remota o una red inalámbrica de sensores.
- Sistema de seguimiento de vehículos con un módulo de GPS.



Ilustración 26. Módulo GSM. [21]

5. Software del sistema

En este capítulo, se describirá el software utilizado para la implementación práctica del sistema de monitorización. Los elementos que componen el software son: el sistema operativo Linux, el software del lector AdvanNet, el registro de datos en memoria, el script de monitorización, el programa estadístico R, la programación de avisos del módulo GSM y el software para la grabación de video del sistema “Ground truth”. Todos ellos se explicarán en el orden citado.

5.1 Sistema operativo de la unidad de procesamiento RaspBerry

En la RaspBerry Pi3, pueden instalarse varios sistemas operativos. Tenemos la opción de sistemas Linux, como Ubuntu, y el nuevo sistema operativo Windows IoT, que es una versión de Windows menos pesada desarrollada para adaptarse al “Internet of Things” [Internet de las Cosas], tal como indican las siglas IoT. También, tenemos la posibilidad de instalar algunos sistemas operativos propios de RaspBerry e incluso otros diferentes. En la siguiente imagen, se pueden ver los diferentes sistemas operativos que ofrece la página oficial para descargar (*ver Ilustración 27*) [22].

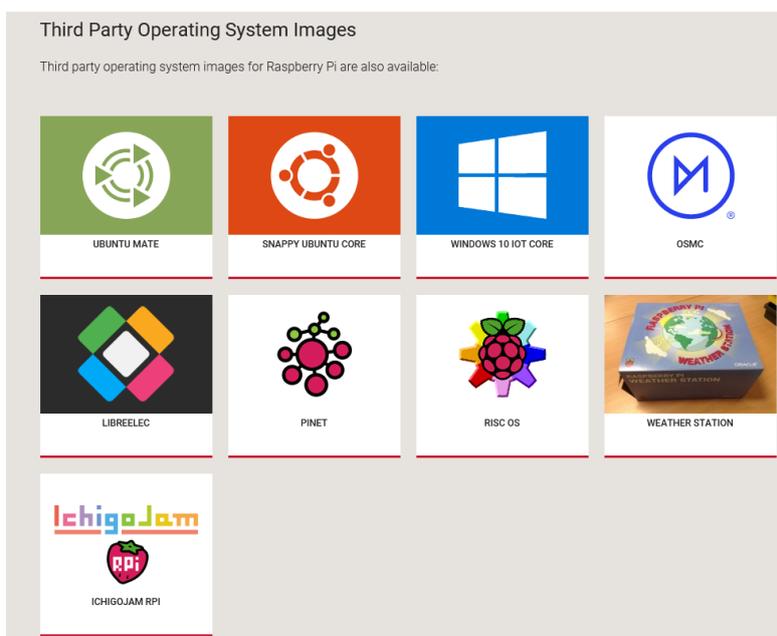


Ilustración 27. Imágenes de sistemas operativos disponibles para RaspBerry Pi3. [22]

Aunque inicialmente se instaló el sistema operativo Windows IoT para ver la apariencia (similar a la consola cmd) e indagar un poco sobre esta nueva versión de Windows, al final, se optó por instalar un sistema Linux. Se escogió Linux, debido a la gran diversidad de comandos que tiene para realizar el script del sistema de monitorización y su capacidad de automatización mediante Cron. Además, es un sistema operativo libre, estable y ligero, lo cual disminuye la carga de procesamiento. Finalmente, se instaló el sistema Ubuntu Mate basado en Linux.

5.2 Configuración de la interfaz lector – RaspBerry

La conexión del lector con la unidad de procesamiento RaspBerry puede hacerse de dos maneras, mediante una conexión Ethernet, con un cable de red UTP, o mediante una conexión cableada llamada “Wired connection”, con un cable USB tipo (A/B).

Las dos conexiones necesitan una dirección IP, la diferencia, es que la conexión Ethernet necesita de una IP asignada dinámicamente y con la conexión Wired connection, podemos establecer una IP fija. Al final, se optó por utilizar una Wired connection con IP fija. La configuración se puede ver en la imagen siguiente (*ver Ilustración 28*).

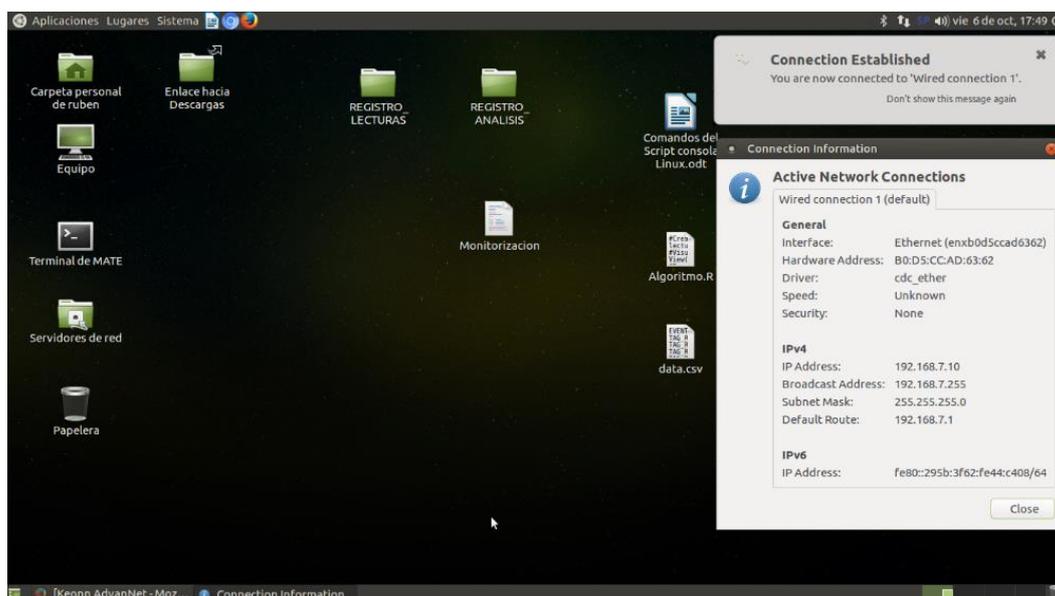


Ilustración 28. Captura de pantalla de la wired connection.

5.3 Software del lector AdvanNet

El software AdvanNet es el proporcionado por el proveedor del lector AdvanReader-60. Éste, viene preinstalado en el lector y nos permitirá realizar todas las operaciones de configuración, lectura y volcado de datos de las propias lecturas.

A continuación, se añade la referencia donde podemos acceder a una guía de usuario en la wiki del proveedor Keonn [19] y una imagen de la captura de pantalla cuando accedemos a la página inicial (ver *Ilustración 29*).

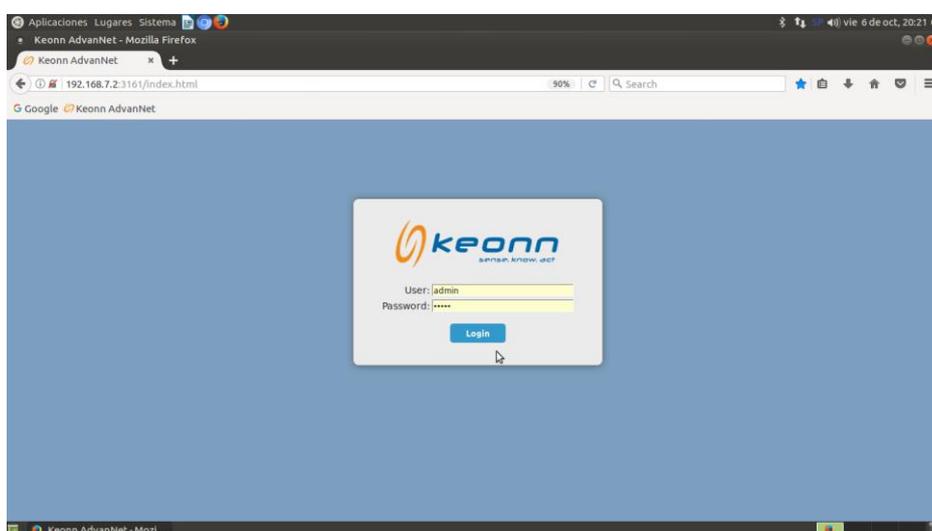


Ilustración 29. Página inicial de acceso al software AdvanNet.

5.3.1 Configuración de los parámetros de lectura del lector

Hay muchos parámetros para configurar el modo de lectura del lector, pero en este apartado, se comentarán los parámetros básicos que debemos configurar, que son la potencia de salida y la sensibilidad. Para la práctica, se utiliza una potencia máxima de salida de 27dBm (que son 0,5 W) y una sensibilidad también máxima de -100 dBm. Nunca se alcanzará un valor real de sensibilidad de -100 dBm, como máximo tendremos valores en torno a -70 dBm, pero al menos, garantizaremos que no sea un factor que limite la recepción.

A continuación una imagen con la captura de pantalla de la configuración (ver Ilustración 30).

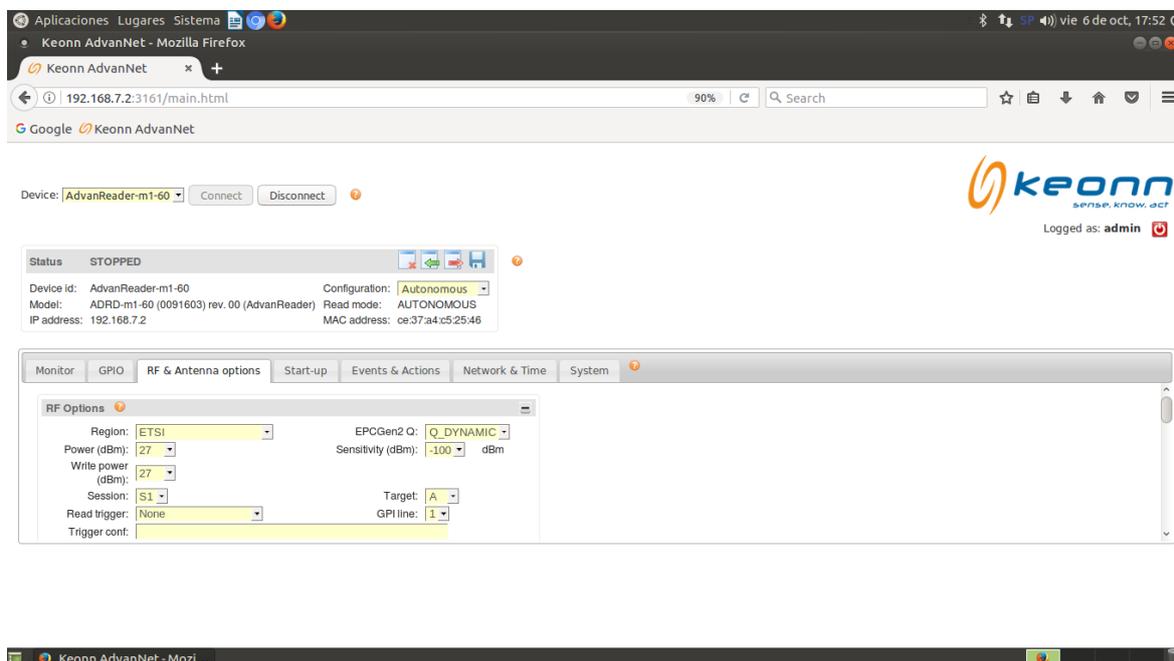


Ilustración 30. Pestaña de configuración de los parámetros del lector y la antena.

Para más información acerca de las diferentes configuraciones del modo de lectura que permite el lector, consultar la wiki de Keonn [19], apartado 2.4.3 *AdvanReader-60*.

5.3.2 Codificación de las tags

Para codificar una tag, con el lector activo, la ponemos delante de la antena para que la lea. Después, paramos el sistema y hacemos click sobre la codificación de la tag que viene por defecto, y luego, escribimos la codificación que queramos. En la siguiente imagen (ver Ilustración 31), a la izquierda, se puede ver como se aproximaron las tags a la antena para realizar la codificación, y a la derecha, la ventana del software que muestra la codificación por defecto y la opción de escribir una nueva.

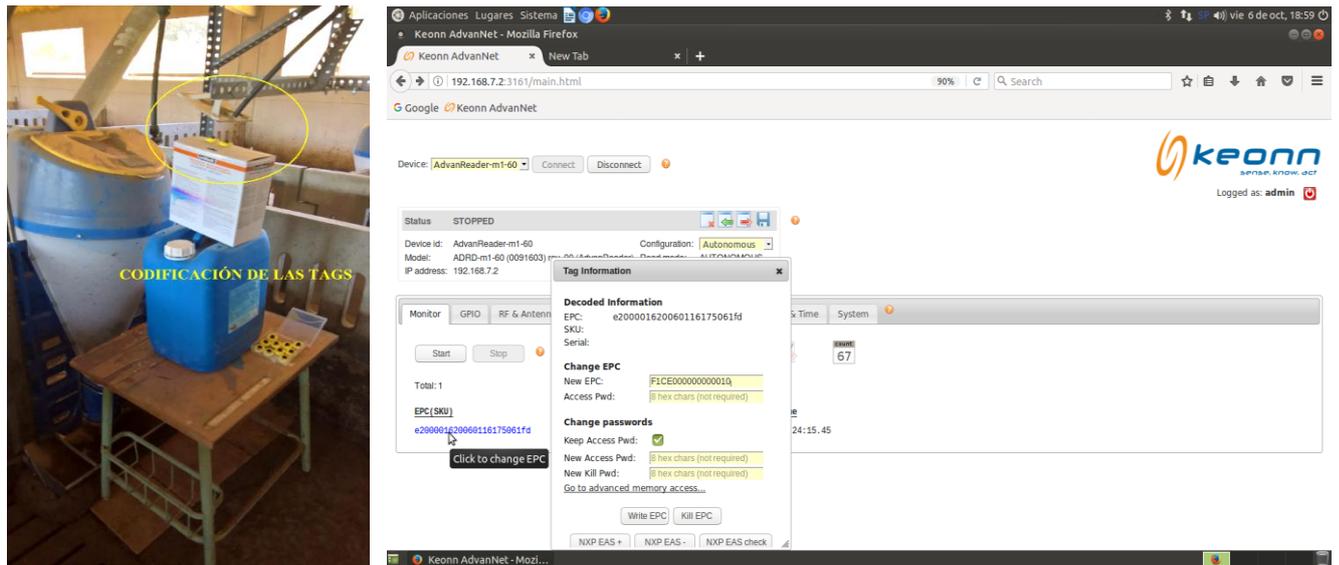


Ilustración 31. Ventana donde se codifican las tags.

Para más información, acerca de las operaciones que se pueden realizar con las tags mediante el software Advannet, consultar la wiki de Keonn [19], apartados 2.2 *Writing tags*, 2.3 *Tag commissioning* y 2.4 *Advance-Tag-operations*.

Por último, comentar la codificación diseñada.

La codificación debe tener un mínimo de 16 caracteres y éstos deben ser hexadecimales. Como se puede observar, la codificación permite añadir datos individualmente a cada tag. Recordemos, que ésta era una de las ventajas de la tecnología RFID frente al código de barras. RFID permite una identificación individual (no solo tipología) y además puede leer sin necesidad de visión directa.

Una vez comentada la posibilidad de identificación y la cantidad de información que se puede almacenar en el chip de la tag, a continuación, se describe la codificación que se diseñó para las tags utilizadas. Es una codificación muy simple, la cual solo registra el sexo del cerdo y el número. El sexo va precedido por la letra F, es un 1 si es hembra y si es 0 es un macho. El número de cerdo, va precedido por las iniciales CE. No hace falta más información para la práctica de este Trabajo, pero es importante saber, tal como se comentó en el párrafo anterior, que se pueden recodificar las tags y añadir más datos en caso de ampliar el proyecto. En la siguiente imagen, se muestra la codificación diseñada (ver Ilustración 32) .

1- Female (Hembra)
0- Male (Macho)

Sexo		Número de cerdo													
F	1	C	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Ilustración 32. Codificación de las tags de los crotales.

5.4 Registro de datos en memoria

Los datos que almacenaremos, son listados en archivos con formato .CSV. Tendremos dos tipos de archivos, los de las lecturas que se descarguen del lector y los de los análisis que se obtengan del algoritmo de R.

Tal como se puede ver en la captura de pantalla (ver Ilustración 33), los archivos se guardan en dos carpetas que hemos llamado REGISTRO LECTURAS y REGISTRO ANÁLISIS. Cada archivo, se guarda en su correspondiente carpeta, con el nombre de lectura o análisis más la fecha y la hora en la que se guardó.

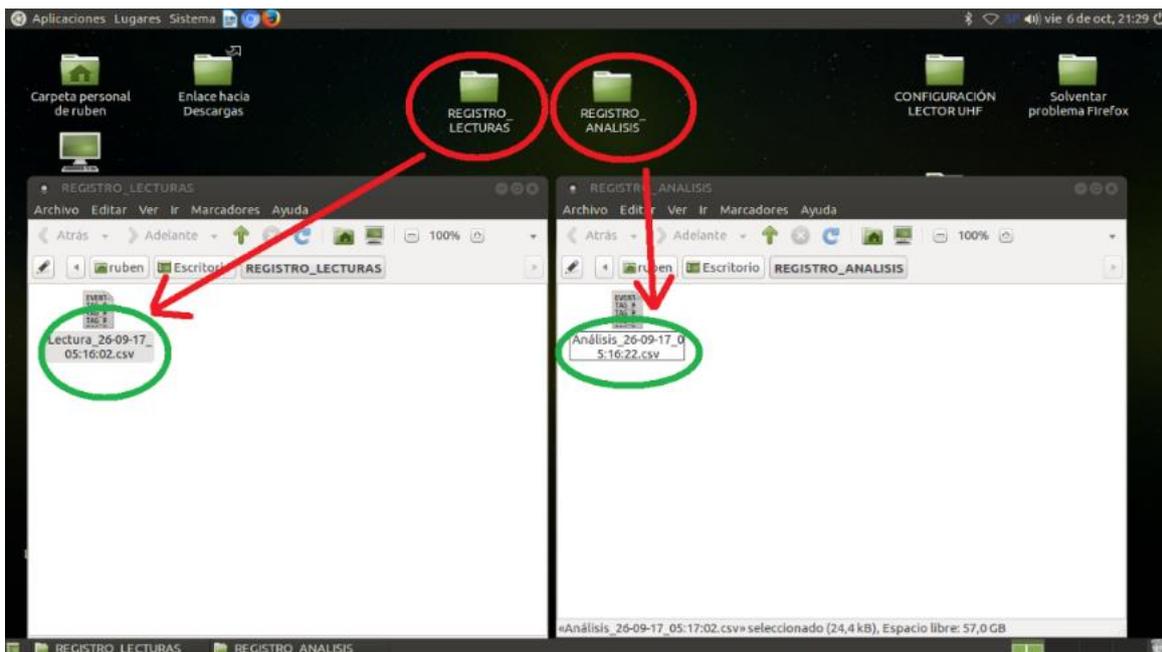


Ilustración 33. Captura de pantalla de las carpetas de Registro.

¿Por qué no se utiliza una base de datos?

A pesar de que se puede implementar una base de datos, ya que el software lo permite, para el Trabajo no se optó por hacer uso de ella. Principalmente, porque se busca simplificar al máximo la tarea de procesado, y con los listados .CSV, es suficiente para poder almacenar los datos del sistema de monitorización diseñado. De hecho, el archivo en el que se basará la respuesta del sistema, será siempre el último archivo de análisis .CSV, donde se registrarán las horas que lleva cada animal sin pasar por la tolva.

Por último, hacer hincapié en que, si se ampliase el proyecto y fuera necesario, el sistema permite implementar una base de datos.

5.5 Comandos Linux

En el apartado 5.1 *Sistema operativo de la unidad de procesado RaspBerry*, uno de los motivos por los que se escogió el sistema operativo Linux, es por la diversidad de comandos que tiene para realizar el script de monitorización y su capacidad de automatización mediante Cron. En los siguientes subapartados, se comentará el diagrama de flujo de los procesos del script de monitorización, la edición de los comandos correspondientes y su automatización mediante el comando Cron.

5.5.1 Diagrama de flujo del script de monitorización

En la página siguiente, se muestra el diagrama de flujo con la secuencia de procesos que realizará el script de monitorización (*ver Ilustración 34*).



Ilustración 34. Diagrama de flujo script de monitorización.

Edición del Script de monitorización

A continuación, los comandos para ejecutar los procesos del diagrama de flujo del script de monitorización anterior.

```

#!/bin/bash
#COMANDOS DENTRO DEL SCRIPT DE MONITORIZACIÓN.

#1.- Comando para descargar el fichero data.csv del lector.
wget http://192.168.7.2:3161/system/fs/retrieveFile/AdvanNetCSVs

#2.- Comando para ejecutar el script de R desde la consola.
#El algoritmo de R cargará el fichero data.csv de la carpeta descargas y se ejecutará.
/usr/bin/Rscript /home/ruben/Escritorio/Algoritmo.R

#3.- El fichero data.csv hay que renombrarlo como Lectura_fecha_hora y moverlo a la carpeta REGISTRO DE LECTURAS. (Acordarse de configurar la fecha y hora en la RaspBerry, no tiene pila).
mv /home/ruben/Descargas/data.csv /home/ruben/Escritorio/REGISTRO_LECTURAS/Lectura_$(date +%d-%m-%y_%X).csv

#4.- Comando para borrar el fichero data.csv del lector.
wget http://192.168.7.2:3161/system/fs/removeFile/AdvanNetCSVs

#5.- Comando para renombrar con Analisis_fecha_hora el fichero que exporte R a la carpeta REGISTRO_ANALISIS.
mv /home/ruben/Escritorio/REGISTRO_ANALISIS/Analisis.csv /home/ruben/Escritorio/REGISTRO_ANALISIS/Analisis_$(date +%d-%m-%y_%X).csv
  
```

5.5.2 Automatización del script mediante Cron

El nombre cron viene del griego chronos que significa “tiempo”. En el sistema operativo Unix, cron es un administrador regular de procesos en segundo plano, que ejecuta procesos o guiones a intervalos regulares (por ejemplo, cada minuto, día, semana o mes).

Los procesos que deben ejecutarse automáticamente y a la hora en la que deben hacerlo se especifican en el fichero crontab. Como usuario, podemos agregar comandos o scripts con tareas a cron, para automatizar algunos procesos. Para más información, consultar “*Cron & crontab, explicados*” [23].

En este Trabajo, utilizaremos cron para automatizar la ejecución del script de monitorización cada hora. El comando que se utilizará será @hourly y el script se ejecutará el primer minuto de cada hora. La codificación genérica para que se ejecute cada hora es: 0 * * * *.

5.6 Programa estadístico R

El programa escogido para realizar el análisis estadístico del sistema de monitorización ha sido R [24]. R, es un entorno y lenguaje de programación libre con un enfoque al análisis estadístico. Se trata de uno de los lenguajes más utilizados en investigación por la comunidad estadística, siendo además muy popular en el campo de la minería de datos, la investigación biomédica, la bioinformática y las matemáticas financieras. R es parte del sistema GNU y se distribuye bajo la licencia GNU GPL. Está disponible para los sistemas operativos Windows, Macintosh, Unix y GNU/Linux.

5.6.1 Diagrama flujo del algoritmo R

En la página siguiente, se muestra el diagrama de flujo con la secuencia de procesos que realizará el script del programa R (*ver Ilustración 35*).



Ilustración 35. Diagrama de flujo script del programa R.

5.7 Programación de Avisos GSM

Para que el sistema pueda enviar avisos al móvil, la unidad de procesado Raspberry Pi se comunicará con el módulo GSM a través del puerto serie.

Esquema y cableado.

El módulo GSM, dispone de 6 pins I/O, enumerados como VCC, GND, Tx, Rx, PWR y RST. Se alimenta de 3 a 5V y puede ir conectado directamente a la Raspberry Pi sin necesidad de una fuente de alimentación externa siempre y cuando alimentemos la Raspberry con un transformador de 2A mínimo. Los pines Tx y Rx, van conectados a los de la Raspberry, pero cruzados, y los pines 'PWR' y 'RST', pueden ir conectados a cualquier pin GPIO. Éstos, sirven para lo mismo que los botones que vienen soldados, pero para llamar a su función a través de software.

En la siguiente ilustración (ver Ilustración 36) [21], se muestra el esquema del conexionado físico entre la RaspBerry Pi y el módulo GSM.

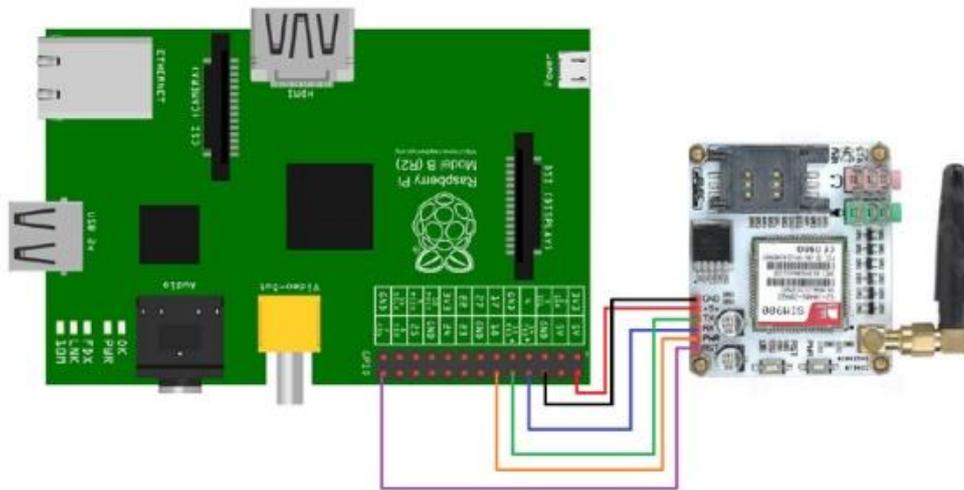


Ilustración 36. Esquema del conexionado físico entre la RaspBerry Pi y el módulo GSM. [21]

Software y comandos AT.

Una vez conectado el módulo GSM, tal como indica el esquema, instalaremos el programa Minicom. Este programa hará de terminal, y desde él, enviaremos los comandos AT al módulo GSM. El código es en lenguaje Python.

Para ver los ejemplos de código que se utilizan para mandar SMS o realizar una llamada (ver Anexo 5).

5.8 Grabación de video del sistema “Ground truth”

La grabación de video para el sistema “Ground truth”, no se llevará a cabo en la unidad central de procesamiento RaspBerry, se utilizará una Tablet con sistema Windows. La misma aplicación que tiene dicho sistema operativo para el uso de la cámara web, tiene la opción de grabar. Únicamente, como apunte, tener presente que se ajustará la calidad de la imagen, suficiente como para ver los números de cada animal, para que la grabación no exceda de un determinado espacio en memoria.

6 Diagrama de flujo de todo el sistema de monitorización.

A continuación, el diagrama de flujo con la secuencia de procesos que realizará el sistema monitorización (ver Ilustración 37).



Ilustración 37. Diagrama de flujo del sistema de monitorización.

7 Sistema de verificación “Ground truth”

El sistema de verificación “Ground truth”, consiste en grabar un número de horas, por ejemplo, 12h, y paralelamente estar leyendo el sistema RFID. Una vez haya transcurrido el plazo de horas determinado, por un lado, se obtiene la grabación, y por el otro, el archivo data.csv con las lecturas del sistema RFID.

En el video grabado, se podrá observar los animales que van a la tolva, identificarlos mediante el número escrito en el lomo, y mediante el temporizador, saber el momento en el que han ido a la tolva. A su vez, en el archivo data.CSV, habrá quedado registrado el número de tag correspondiente a cada animal y también el tiempo en el que se leyó, es decir, el tiempo en el que el animal fue a la tolva.

De esta forma, contrastando los dos registros, se podrá estudiar la fiabilidad del sistema RFID (ver Ilustración 38).

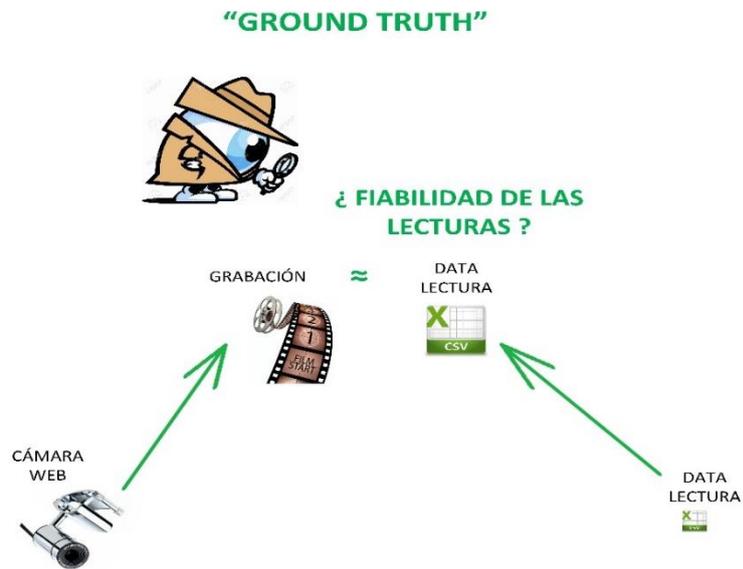


Ilustración 38. Esquema "Ground Truth".

El punto que separa los dos subsistemas, es el archivo de lectura data.CSV obtenido por el sistema RFID. Por un lado, se analiza la fiabilidad de las lecturas del sistema RFID, es decir, la fiabilidad del fichero data.CSV, y por otro lado, el automatismo y la información obtenida mediante el sistema de análisis, después de procesar las lecturas registradas en el archivo data.CSV.

A lo largo de este capítulo, se explicarán las dos pruebas que se realizaron del sistema, los resultados de éstas, las conclusiones y las propuestas de mejora.

8.2 Primera prueba

Para evaluar el diseño y el funcionamiento del sistema de monitorización, tanto del hardware como del software, se realizó una primera prueba centrada en analizar la fiabilidad del sistema RFID. El motivo de centrarse en el sistema RFID, es porque la fiabilidad en las lecturas es lo que da sentido a este Trabajo.

En esta primera prueba, a pesar de focalizarse en el sistema RFID, también se comentan las pruebas iniciales en el sistema de Análisis o procesado

.

8.2.1 Prueba del sistema RFID

Prueba

Una vez montado todo el sistema de monitorización, se hizo la prueba de acercar un crotal a la tolva manualmente y ver si el lector lo detectaba. Efectivamente, el sistema RFID detectaba la tag del crotal y el contador incrementaba. Por último, para centrar el haz de la antena, se comprobó el aproximar un crotal por ambos lados de la tolva y ver si era detectado. También detectaba la tag del crotal, el sistema ya cubría perfectamente la zona de la tolva.

El siguiente paso, fue poner los crotales a los cerdos y numerarlos en el lomo poniendo el número correspondiente al crotal que se les implementaba. De esta forma, mediante la cámara del sistema "*Ground Truth*", al ver el número del animal, el lector debería leer la tag con el número correspondiente.

A continuación, unas imágenes de los cerdos numerados con los crotales y el sistema de monitorización. Para ver el video de las pruebas (ver Anexo 8 video 1).



Ilustración 40. Cerdos numerados con los crotales implementados.



Ilustración 41. Cerdos en la pocilga donde está instalado el sistema de monitorización.

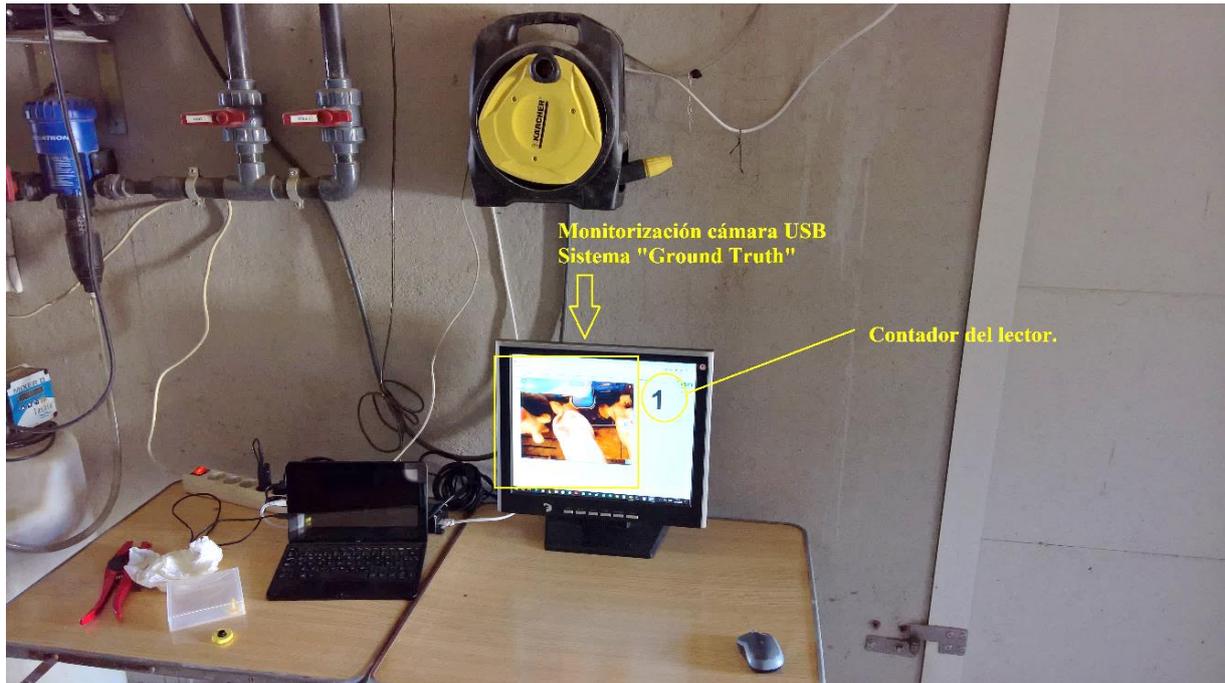


Ilustración 42. Zona limpia. Monitor con las imágenes del sistema "Ground Truth".

Resultados

En esta primera prueba, el sistema RFID no fue capaz de detectar ningún crotal cuando los cerdos se acercaban a la tolva. Fue algo inesperado y sorprendente. Después de haber comprobado el sistema RFID acercando los crotales manualmente y ser leídos, cómo podía ser que, implementados en las orejas, no leyese ninguno.

Conclusiones

La primera conclusión ante tal hecho, fue pensar que estaba fallando el sistema de lectura, o bien el lector, o la antena, o el cable o cualquier conexión. Para comprobar rápidamente si se trataba de un error del sistema de lectura, se acercó manualmente un crotal a la tolva a una altura similar al de la oreja de los cerdos. El crotal, fue leído inmediatamente y el contador se incrementó tal como se ha podido observar en la imagen (ver Ilustración 42).

Una vez descartado el fallo en el sistema de lectura RFID, la segunda conclusión era evidente. Algo pasaba con la respuesta del circuito de las tags, al estar el crotal implementado sobre el plano de la oreja de los cerdos (*ver Ilustración 43*).



Ilustración 43. Crotal implementado sobre la base del plano de la oreja del cerdo.

La siguiente prueba, fue desinstalar la antena del soporte e ir acercándola al crotal de la oreja de un cerdo, a ver si en algún momento, podía leer la tag. Con ayuda del contador del software AdvanNet y mirando el monitor, se fue aproximando la antena a un crotal. El contador se incrementó, es decir, la tag fue leída, cuando ésta estaba a una distancia de escasos centímetros a la antena.

Propuestas de mejora

Para solventar la problemática, se pensó en que era una cuestión de potencia y atenuación, debido a que el tejido vivo debía atenuar la respuesta del circuito integrado de la tag. Por lo tanto, se plantearon varias opciones para aumentar la potencia y disminuir la atenuación. Fueron las siguientes:

- Intentar aumentar la potencia del lector.
- Consultar al proveedor si se podía aumentar la potencia del lector.
- Adquirir una antena con más ganancia.
- Estudiar cambiar la tipología del cable con menores pérdidas.
- Estudiar diferentes tipologías de crotales con sus correspondientes tags insertadas.

A continuación, una breve explicación de cada opción y si se aprobó, o no, para aportar alguna mejora en la segunda prueba.

Intentar aumentar la potencia del lector.

Para intentar aumentar la potencia del lector, se adquirió un simple amplificador de RF con un margen de amplificación frecuencial de entre 5 y 1500MHz (recordar que la banda frecuencial de operación europea RFID es de 865 - 868 MHz, la cual está aproximadamente en la frecuencia intermedia).

El amplificador, se acopló entre el lector y la antena y se alimentó con 5V mediante una salida del propio lector (*ver Ilustración 44*). En el momento que se inició el software del lector, éste reconoció la antena eléctricamente, hasta aquí todo correcto. Cuando se hizo una prueba con un crotal, el lector no lo leía. Sin entrar en detalle, se supuso que el motivo era porque el amplificador degradaba la codificación de la señal. Opción descartada.

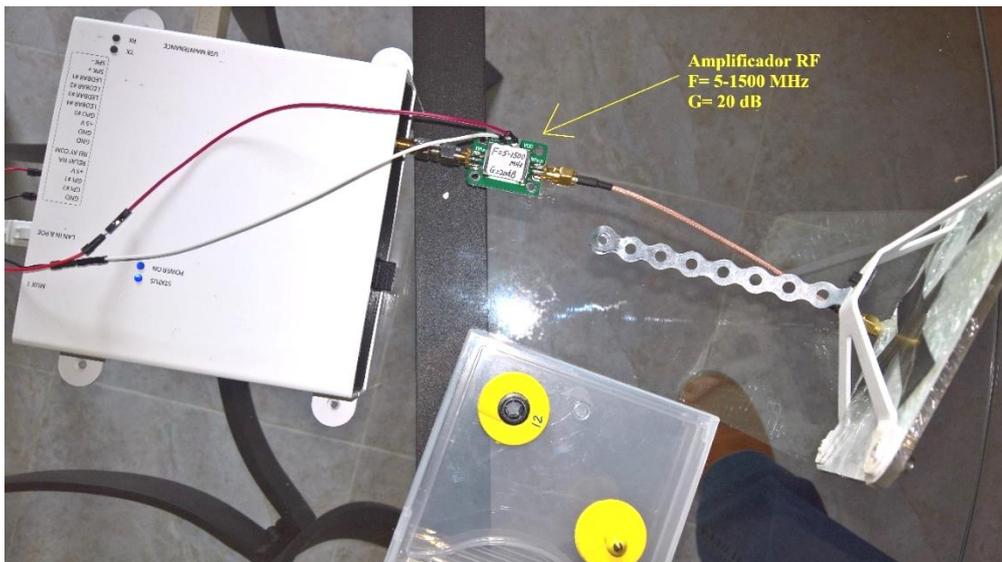


Ilustración 44. Instalación del amplificador RF en el lector.

Consultar al proveedor si se podía aumentar la potencia del lector.

Se contactó con el proveedor, y contestó que no había manera de amplificar la potencia del lector, la única solución, era comprar otro más potente. En vez del adquirido de 27 dBm, el de 30 dBm (recordar el punto 4.4 *AdvanReader-60* en el que se comentaron los dos tipos de lectores y el porqué se optó por el de 27 dBm).

A pesar de que 3 dB's más, implica tener el doble de potencia, no se decidió invertir más en el lector y centrarse en los otros componentes del sistema para aumentar la ganancia y disminuir la atenuación del sistema. Opción descartada.

Adquirir una antena con más ganancia.

La antena con la que se hizo la prueba (ver punto 4.2 *Advantenna-p11* del capítulo de hardware) tiene una ganancia de 3,2 dBi. Para mejorar la ganancia, se optó por adquirir la antena (ver punto 4.2 *Advantenna-SP12* del capítulo de hardware). Esta nueva antena, tiene una ganancia de 9,5 dBi, es más directiva, pero tiene un ancho de haz suficiente para cubrir la zona de la tolva. Opción aprobada, ya que aporta un incremento de ganancia de 6,3 dB's, lo cual implica cuadruplicar la ganancia respecto a la primera antena.

Estudiar cambiar la tipología del cable con menores pérdidas.

El cable que se utilizó en esta primera prueba, era uno genérico de tipología RG174. Tal como se comentó en el capítulo de hardware punto 4.3 *Cable RF*, las pérdidas de este cable, con una longitud de 10 metros, son unos 7,5 dB's. En cambio, si utilizamos un cable de tipología LLC200A, con una longitud de 10 metros, las pérdidas son de unos 3 dB's. Por lo tanto, si adquirimos el cable de tipología LLC200A, la atenuación se reducirá 4 dB's, lo cual supone no perder más del doble de la potencia con el nuevo cable. Opción aprobada.

Estudiar diferentes tipologías de crotales con sus correspondientes tags insertadas.

Tal como se comentó en el apartado de hardware 4.1 *Tags Crotales*, en el ámbito porcino, existe un compromiso entre el diseño del crotal y la duración de su portabilidad. Debido al tamaño, los crotales tipo A y B tienen mucha más durabilidad que los tipos C y D (ver *Ilustración 20*). El motivo, es que los crotales tipo A y B son más pequeños y no pueden morderlos tan fácilmente.

Por otro lado, se ha podido comprobar que, el crotal tipo B implementado en la primera prueba, no ha podido ser detectado por el lector. Al ser tan pequeño y estar pegado justo en el centro de la oreja, ésta hace de plano de masa e interfiere en el circuito impreso de la tag.

Llegados a este punto, se hizo una extensa labor de búsqueda bibliográfica para hallar una solución a este problema.

Se han realizado varios estudios sobre el problema de las interferencias en la lectura de los crotales sobre tejidos vivos, varios a nivel de tesis doctoral. De toda la información consultada, para solventar el problema, se consideró seguir la línea del estudio “*Comparison of different ultra-high-frequency transponder ear tags for simultaneous detection of cattle and pigs*” [24]. Las diferentes pruebas del estudio, indican que el mayor rating de éxito en la lectura de los crotales, son los de tipo morfológico como el C y D.

Con lo experimentado en esta primera prueba, lo que comenta el estudio parece totalmente lógico, ya que este tipo de tags no van tan pegadas a la oreja, tienen cierta holgura, y así se supone que pueden evitar más las interferencias. También, las tags insertadas son mucho más grandes, lo cual implica que el circuito integrado también lo es, y al tener mayor superficie, mejor de cara a captar la radiación de la antena.

Por lo tanto, para la segunda prueba se optó por adquirir los crotales tipo C y D. Se sacrificará la portabilidad, ya que se lo podrán arrancar más fácilmente, pero se podrá estudiar si se pueden captar mediante el sistema RFID diseñado.

Otro aspecto a favor que se puede obtener al utilizar este tipo de crotales, es el poder intentar insertar en ellos alguna tag, al igual que ya vienen insertadas de fábrica. La idea de intentar insertar otra tag, es porque hay una gran diversidad de tags con diferentes diseños de circuitos impresos, los cuales tienen diferentes características como el diagrama de radiación. Como ejemplo, para ver varios tipos de tag y el diseño de sus circuitos, podemos consultar el proveedor Smartrac [25].

Tal como se ha podido observar en los estudios consultados, la orientación del crotal (la orientación de la tag insertada), es muy importante a la hora de ser captado por el lector. Por lo tanto, cuanto más omnidireccional sea el diagrama de radiación de la tag, mayor será la probabilidad de lectura.

Después de consultar los diagramas de radiación de varias tags del proveedor Smartrac, se encontró el tipo FROG 3D (*ver Ilustración 45*) [26].

Este tipo de tag, tiene un diagrama de radiación bastante omnidireccional en comparación con el resto (*ver Anexo 6*). Por lo tanto, si se optase por insertar una tag en el crotal, ésta sería la ideal.

FROG 3D, Impinj Monza 4



Ilustración 45. Tag FROG 3D . [26]

En resumen, de cara al segundo ensayo, se probarán los crotales tipo C y D, y si no hay un resultado satisfactorio en las lecturas, se intentará insertar una tag FROG 3D en uno de ellos para probar.

8.2.2 Prueba del sistema de Análisis

Prueba

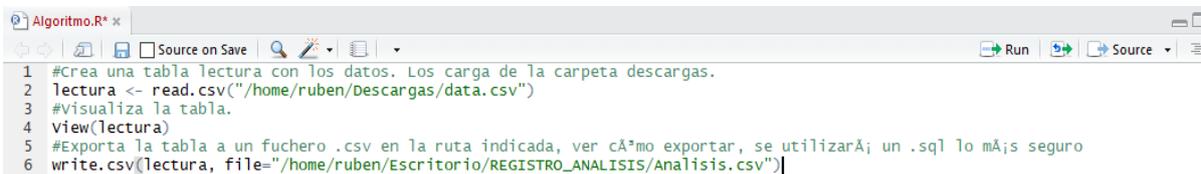
La primera prueba del sistema de análisis, consistió en dos fases. Una primera fase, que consistía en comprobar la ejecución manual del script de LINUX descrito en el apartado 5.5.1 *Edición del Script de monitorización*, y una segunda, que consistía en comprobar la ejecución automatizada del mismo script mediante el comando Cron, descrito en el apartado 5.5.2 *Automatización del script mediante Cron*.

La finalidad principal, era comprobar la correcta ejecución de los comandos editados en el script y los procesos del diagrama de flujo descrito en el apartado 5.5.1 *Diagrama de flujo del script de monitorización*. En especial, había que observar la correcta ejecución de los dos comandos que comunicaban con el lector y el software R. El primero, es el comando que ejecuta la llamada al lector, para la descarga del fichero de lectura data.CSV a la carpeta descargas de la unidad de procesado, y el segundo, el comando que llama a la consola de R y ejecuta el script de R que contiene el algoritmo del propio R.

Por último, comentar un par de matices.

El fichero data.CSV, era una lectura simulada, ya que solo teníamos que comprobar que se descargara correctamente.

Respecto al algoritmo de R, como solo había que comprobar que la consola ejecutaba correctamente la llamada al software R, el algoritmo, simplemente consistía en leer el fichero data.CSV de la carpeta descargas, cambiar el nombre y volcarlo a la carpeta análisis, con el nombre Analisis.CSV. El código de prueba se puede ver continuación.



```
1 #Crea una tabla lectura con los datos. Los carga de la carpeta descargas.
2 lectura <- read.csv("/home/ruben/Descargas/data.csv")
3 #Visualiza la tabla.
4 View(lectura)
5 #Exporta la tabla a un fichero .csv en la ruta indicada, ver cómo exportar, se utilizará un .sql lo más seguro
6 write.csv(lectura, file="/home/ruben/Esritorio/REGISTRO_ANALISIS/Analisis.csv")
```

Resultados

En la ejecución manual del script de LINUX no hubo errores. Se realizaron todos los procesos del diagrama de flujo correctamente.

En cambio, cuando se utilizó el comando Cron para automatizar la ejecución del script de Linux, la llamada al software R para que ejecutara la consola, y que ésta, a su vez, ejecutara el propio script de R que contiene el algoritmo, no se ejecutaba. En otras palabras, al automatizar el script de Linux mediante el comando Cron, al llamar a la consola de R para que ejecutara el propio script de R, éste, no se ejecutaba.

Conclusiones

Sin entrar en detalle, ya que no es el objetivo de este Trabajo, según las consultas en varios foros y leer algunas problemáticas similares respecto al comando de automatización Cron, la conclusión que se obtuvo, es que no se ejecutaba la llamada a la consola de R, porque al automatizar el script, los comandos pasan a ejecutarse en segundo plano y éste podía ser el problema.

Propuestas de mejora

Según varias respuestas de los foros, ante esta problemática, lo mejor es hacer que el script de Linux abra una ventana de terminal y ejecute los comandos en dicha ventana, de esta forma, se supone que la ejecución de los comandos vuelve a ser en primer plano aunque esté automatizada con cron.

8.3 Segunda prueba

8.3.1 Prueba del sistema RFID

Prueba

Para el segundo ensayo, se adoptaron las propuestas de mejora descritas en la primera prueba. Recordemos que eran las siguientes:

- Adquirir una antena con más ganancia.
- Estudiar cambiar la tipología del cable con menores pérdidas.
- Estudiar diferentes tipologías de crotales con sus correspondientes tags insertadas.

Antes de montar la nueva antena Advantenna-SP12 en el soporte de la pocilga (zona sucia), en la zona limpia, se probó el sistema RFID con el nuevo hardware adquirido. Se conectó la antena con el nuevo cable RF de bajas pérdidas, tipo LLC200A, y se codificaron los nuevos crotales, tipo C y D. También, comentar que se estudió la posibilidad de insertar una tag FROG 3D en los crotales tipo C y D, pero físicamente es imposible, la dimensión de la tag FROG 3D excede el espacio físico del crotal donde alberga la tag (*ver Ilustración 46*).



Ilustración 46. Tag FROG 3D excede las dimensiones del crotal tipo C.

A continuación, una imagen del escenario en la zona limpia, para los primeros ensayos del sistema RFID con el nuevo hardware: la antena Advantenna-SP12, el cable RF de bajas pérdidas tipo LLC200A y los crotales tipo C y D (ver Ilustración 47).



Ilustración 47. Montaje del nuevo sistema RFID para el segundo ensayo.

Esta segunda prueba consistió en 3 fases. Las dos primeras, se realizaron en la zona limpia para evaluar la mejora en la respuesta del sistema RFID respecto a la primera prueba. La tercera y última, se llevó a cabo en la zona sucia (pocilga), para ver la respuesta real con el crotal implementado en el animal.

La primera fase del ensayo, consistió en probar la lectura de los crotales a una distancia superior a 3 metros. Para ello, tal como se puede ver en la imagen anterior, se fueron mostrando los crotales a la antena, desde el mostrador donde se ven. (ver Anexo 8 video 2).

La segunda fase del ensayo, consistió en probar la lectura de un crotal pegado a la palma de la mano (tejido vivo) y ver qué ocurría con la lectura. Para realizar la prueba, se sujetó un crotal con la mano y se fue acercando paulatinamente a la antena mirando el contador, para saber en qué momento leía la tag. (ver Anexo 8 video 3).

En la tercera y última fase, se montó la antena Advantenna-SP12 en el soporte de la pocilga, se conectó al lector con el cable RF de bajas pérdidas tipo LLC200A (ver Ilustración 48) y se implementó el nuevo crotal tipo C en un cerdo (ver Ilustración 49).

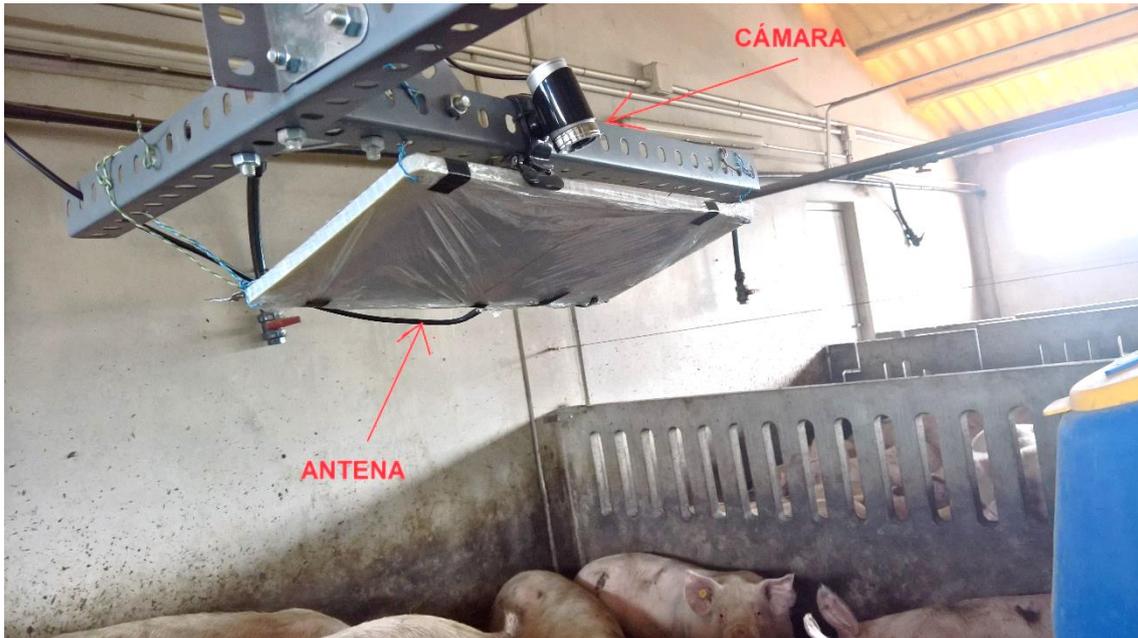


Ilustración 48. Antena Advantenna – SP12 montada en el soporte .



Ilustración 49. Montaje del nuevo sistema RFID para el segundo ensayo.

Resultados

A continuación, se comentan los resultados obtenidos después de la prueba de cada fase.

La primera fase del ensayo fue cien por cien exitosa. Tal como se ha podido apreciar en el video (*ver Anexo 8 video 2*), todos los crotales fueron leídos a una distancia superior a 3 metros, nada más mostrarlos a la antena.

En la segunda fase del ensayo, se volvió a observar la problemática en la lectura de las tags sobre tejido vivo. Tal como se ha podido apreciar en el video (*ver Anexo 8 video 3*), hasta que no se aproximó el crotal a la antena a una distancia inferior a medio metro, el sistema no pudo leer la tag. Además, se puede apreciar, que cuando el sistema leyó el crotal, éste no estaba totalmente pegado a la palma de la mano, lo cual quiere decir, que, en el plano de la oreja del cerdo, incluso se vería más reducida la distancia de lectura.

En la tercera y última fase, se confirmó el resultado de la prueba anterior. Al poner el crotal al animal, el sistema RFID no fue capaz de detectar la tag cuando el cerdo fue a la tolva. En el video (*ver Anexo 8 video 4*), se puede observar mediante el sistema “*Ground Truth*”, como la tag no es detectada ya que no se incrementa el contador.

Por último, comentar que se hizo la prueba de ir a la tolva y llamar la atención del cerdo que portaba el nuevo crotal para que se acercase. Cuando estaba debajo de la antena, con la mano se separó el crotal de la base de la oreja y el sistema RFID pudo leer la tag.

Conclusiones

Con las mejoras adoptadas en esta segunda prueba en cuanto al hardware, se ha podido observar, que ha habido una mejora en la potencia del sistema RFID lo cual ha permitido una mayor distancia de lectura. Pero a pesar de esta mejora, la problemática en la lectura de las tags sobre tejido vivo sigue presente.

Por lo tanto, se puede concluir que, para un trabajo futuro, la principal directriz es estudiar el diseño de un crotal que albergue una tag, el cual permita que el sistema RFID pueda leer la tag sobre el tejido vivo.

En el siguiente capítulo, 9. *Trabajo futuro*, se detallarán las principales directrices para continuar con el desarrollo del sistema de monitorización.

8.3.2 Prueba del sistema de Análisis

Gracias a la separación del sistema de monitorización en los dos bloques, sistema RFID y sistema de Análisis, aunque no se haya resuelto la problemática del sistema RFID, podemos seguir avanzando con los ensayos del sistema de Análisis independientemente.

Para ello, crearemos unos archivos data.CSV manualmente, simulando las lecturas del sistema RFID, se explica a continuación.

Prueba

La prueba simula el sistema de monitorización desde las 00h a las 11h de un día cualquiera, suficiente para comprobar el sistema de aviso. En la siguiente tabla de simulación (*ver Tabla 2*), se pueden ver las veces que frecuenta cada cerdo la tolva en una hora determinada. (Recordar que cada hora se descarga un archivo de lecturas data.CSV del lector).

Veces que frecuenta la tolva cada cerdo en cada hora.

NÚMERO DE CERDO	Horas del día = un archivo .CSV para cada hora											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	1	0	0	0	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	1	0	0	0	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0
7	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	1	0	0	0	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	1	0	0	0	2	2	2	2	2
11	2	2	2	2	1	0	0	0	2	2	2	2

Lanzar aviso. 4 horas sin ir.

Tabla 2. Tabla de simulación de lecturas desde las 00h hasta las 11h.

Para continuar con la simulación, se crearon 12 archivos de lecturas de extensión .CSV que corresponden al archivo de lectura data.CSV, el cual se descarga del lector cada hora.

El algoritmo de R, cada hora que se descarga una nueva lectura, tiene que actualizar una tabla en la que aparece el número de cada cerdo y las horas que lleva sin ir a la tolva. El archivo que contiene dicha tabla, lo llamaremos Análisis.CSV. Por ejemplo, la tabla siguiente (*ver Tabla 3*) sería la tabla Análisis.CSV, actualizada en la hora 7, donde podemos ver las horas que lleva cada cerdo sin ir a la tolva.

Análisis (hora 7). Horas que lleva cada cerdo sin ir a la tolva.

NÚMERO DE CERDO	Horas sin ir a la tolva.
1	0
2	0
3	0
4	0
5	3
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	3

Tabla 3. Tabla de Análisis.CSV, actualizada en la hora 7.

Y en la hora 11, la tabla Análisis.CSV sería (*ver Tabla 4*):

Análisis (hora 11). Horas que lleva cada cerdo sin ir a la tolva.

NÚMERO DE CERDO	Horas sin ir a la tolva.
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	4
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0

Alerta! 4h sin ir.

Tabla 4. Tabla de Análisis.CSV, actualizada en la hora 11.

En resumen, el algoritmo de R, lee el registro de lecturas data.CSV del lector cada hora y va actualizando la tabla Análisis.CSV, en la cual registra el cómputo de las horas que lleva cada cerdo sin frecuentar la tolva. En el momento que un cerdo exceda cierto número de horas fijadas, en este caso 4, sin ir a la tolva, el sistema mandará la alerta al móvil.

Resultados

Mediante la edición manual de los ficheros .CSV, que simulan las lecturas de una situación real, se logró editar un algoritmo de R que fuera cargando las lecturas y actualizando la tabla Análisis. Para ver el código de R (*ver Anexo 7*).

Antes de hacer el montaje físico del módulo GSM, se estudió cómo poder sincronizar el “dato crítico” (número de horas máximas) con el comando AT para enviar la alerta al móvil. Por falta de tiempo, no se pudo lograr la sincronización, pero el estudio, sirvió para marcar una directriz de cara al trabajo futuro.

Conclusiones

A pesar de no lograr la sincronización entre el “dato crítico” (número de horas máximas) con el comando AT para enviar la alerta al móvil, se pudo llegar a una conclusión que marca una directriz de cara al trabajo futuro.

Por el estudio del código de R y el código de Python, para lograr la sincronización, podría ser mejor utilizar, en vez de los dos programas, uno u otro. Por lo brevemente consultado debido a la falta de tiempo, teniendo en cuenta la codificación existente de comandos AT en Python, de cara a un trabajo futuro, debería plantearse codificar el algoritmo de R en Python. De esta forma, al editar todo el código en Python, se podría sincronizar más fácilmente el “dato crítico” (número de horas máximas) con el comando AT para enviar la alerta al móvil

9 Trabajo futuro

En este capítulo, se explican las directrices del trabajo futuro. Por un lado, las mejoras en de los dispositivos y su posible integración, y por el otro, una breve propuesta de cómo sería el escalado del sistema a nivel industrial.

9.1 Propuestas de mejora.

La principal propuesta, es solventar la problemática en la detección de las tags insertadas en los crotales. Ésta, ha sido el “Talón de Aquiles” del Trabajo. Como segunda propuesta, sería el estudio de la integración de las antenas.

Propuesta de diseño de los crotales y las tags.

La principal línea para continuar con el estudio de la viabilidad en implementar el sistema propuesto, es lograr el diseño de un crotal, en el que pueda insertarse una tag, cuyo conjunto permita que el sistema RFID pueda leer las tags sobre el tejido vivo (la oreja).

Después de los ensayos de este Trabajo, se ha podido deducir, que el diseño del crotal debe reunir los siguientes requisitos:

- Que la durabilidad respecto a la portabilidad, sea igual a la del ciclo de engorde, ya que, en el ámbito porcino, los animales pueden desprenderse de los crotales mordéndolos.
- Que permita albergar la tag diseñada.
- Que esté compuesto de un material que permita reducir las interferencias debido al tejido vivo.

Respecto a la tag:

- Debe ser pasiva para reducir costes.
- El diseño del circuito impreso, debe tener una respuesta lo más omnidireccional posible.

Por último, el conjunto Crotal-Tag, debe tener un coste que permita la viabilidad de poder implementar el sistema a gran escala. Esta condición es indispensable, ya que, se debe recordar, que en cada nuevo ciclo de engorde habrá que implementar nuevos crotales a los cerdos, y que, tratándose de miles de animales, una pequeña variación en el coste unitario, puede incrementar notablemente la partida global y privar la implementación industrial.

Propuesta de una mejor integración de las antenas.

Como segunda línea de un trabajo futuro, sería el estudiar cómo integrar la antena en la tolva. Por ejemplo, una posibilidad sería el implementarla en el mismo diseño de la propia tolva. De esta forma, podrían obtenerse algunos beneficios respecto a la práctica realizada en este Trabajo:

- La integración en la tolva, permitiría poder proteger la antena sin necesidad de un soporte como el diseñado, el cual evitaba que los cerdos alcanzaran la antena y pudieran dañarla.
- Al estar la antena integrada en la misma tolva, permitiría aumentar la proximidad a los crotales, lo cual puede derivar en una reducción de la potencia necesaria para la lectura, que, a su vez, puede reducir el coste de la misma.
- Análogamente al punto anterior, al integrar la antena en la tolva y aumentar la proximidad al crotal, el aumento de potencia sobre el circuito de la tag, podría ser positivo de cara a vencer las interferencias.

Respecto a la inversión, diferenciar que, así como los crotales son un gasto asociado a cada nueva remesa de cerdos, las antenas y el resto de hardware que compone el sistema RFID, sería un gasto inicial, el cual podría incluirse en el diseño de la granja. De esta forma, el coste del hardware podría pasar más desapercibido al incluirlo el diseño completo.

9.2 Propuesta de escalado del sistema a toda la granja.

Para poder escalar el sistema de monitorización a toda la granja, en la tolva de cada pocilga se instalaría una antena. El conjunto de antenas, se conectaría al lector mediante multiplexores. Llegados a este punto, sería necesario tener en cuenta y hacer un estudio de la cantidad de tags que podría leer el lector en un segundo, la cantidad de cerdos que hay en la granja y el tiempo medio que están en la tolva cuando se alimentan. En función de estos parámetros, se optaría por un tipo u otro de lector, o si se utilizaría más de uno.

Respecto al software, concretamente el sistema de Análisis, para poder saber la ubicación de los animales, sería tan simple como diseñar un esquema que relacionase las antenas con las pocilgas, ya que, como se ha comentado en el párrafo anterior, habría una antena en cada pocilga. De esta forma, con el registro de las lecturas, por el número de tag se sabría el número de cerdo, y por la nomenclatura de la antena, dependiendo del multiplexor a la que estuviera conectada, se sabría la pocilga en la que estaría el cerdo ubicado.

10 Bibliografía

[1] Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Panorama Agroalimentario. Carne de cerdo 2017.

<http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202017.pdf>
(Último acceso 11/01/2018)

[2] A. Ramírez “Diagnóstico porcino: recogida de datos” Medicina basada en pruebas (II), Albéitar Portal Veterinaria, 2011

<http://m.albeitar.portalveterinaria.com/noticia/8874/articulos-porcino-archivo/diagnostico-en-porcino:-recogida-de-datos.html>
(Último acceso 11/01/2018)

[3] B. García, O. Morales “Telemática en la Industria Porcina” Instituto de Investigaciones Porcinas. Revista Telem@tica. Vol. 10. No. 3, septiembre-diciembre, 2011

<http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/25/17>
(Último acceso 11/01/2018)

[4] J. Pérez, M. Merino “Definición de trazabilidad” Definicion.de, Publicado: 2010. Actualizado: 2012.

<https://definicion.de/trazabilidad/>
(Último acceso 11/01/2018)

[5] P. Baadsgaard “Pigtracker: Using UHF-RFID for PigTraceability” Pig Research Centre, Danish Ministry of Food, Agriculture and Fisheries (Innovationsloven), 2009-2011

<http://rfididk.org/wp-content/uploads/2014/02/11.25-Pigtracker-Using-UHF-RFID-for-Pig-Traceability.pdf>
(Último acceso 11/01/2018)

[6] P. Chen, Y. Chun, A. Cheng, Y. Po “Development of a management system with RFID and QR code for matching and breeding in Taiwan pig farm” Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2016 13th International Conference on Chiang Mai, Thailand 28 June-1 July 2016. IEEE Xplore Digital Library, 08 September 2016

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7561394>
(Último acceso 11/01/2018)

[7] C. Swedberg “Food Company Pilots UHF RFID to Enhance Pig Life History” RFID Journal, 31 Jan, 2017

<http://www.rfidjournal.com/articles/view?15403>
(Último acceso 11/01/2018)

[8] C. Purser “European Project for RFID UHF Animal Ear Tagging of Pigs” The Pig Site, 10 December 2013

<http://www.thepigsite.com/articles/4572/european-project-for-rfid-uhf-animal-ear-tagging-of-pigs/>
(Último acceso 11/01/2018)

[9] S. Fecht “Scientists tracked chickens and found they have their own daily routines, just like us” Popular Science, May 18, 2017

<https://www.popsci.com/tracking-chickens>
(Último acceso 11/01/2018)

- [10] K. Bhise “Wildlife animal tracking using RFID and GSM technology” International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 2, February-2016
<https://www.iiser.org/researchpaper/WILDLIFE-ANIMAL-TRACKING-USING-RFID-AND-GSM-TECHNOLOGY.pdf>
(Último acceso 11/01/2018)
- [11] M. Rouse “GSM (Global System for Mobile communication)” Search Mobile Computing May, 2007
https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles
(Último acceso 11/01/2018)
- [12] C. O'Connor “WWF Using Simple RFID System in Complex Project” RFID Journal, 23 Apr, 2007
<http://www.rfidjournal.com/articles/view?3270>
(Último acceso 11/01/2018)
- [13] D. Koniar, L. Hargas, Z. Loncová, F Duchon, P. Beňo “Laboratory animals tracking in videosequences” Browse Conferences ELEKTO,2016 Strbske Pleso, Slovakia 16-18 May 2016, IEEE Xplore Digital Library, 14 July, 2016
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7512134>
(Último acceso 11/01/2018)
- [14] C. Ma, Y. Wang, G. Ying “The Pig Breeding Management System Based on RFID and WSN” Information and Computing (ICIC), 2011 Fourth International Conference Phuket Island, Thailand 25-27 April 2011, IEEE Xplore Digital Library 14 July, 2011
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5954496>
(Último acceso 11/01/2018)
- [15] National Instruments “¿Qué es una Red de Sensores Inalámbricos?” abr 22, 2009
https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network
(Último acceso 11/01/2018)
- [16] Vicerrectorado de Transferencia del Conocimiento y Emprendimiento “Diseñan un sistema para monitorizar en tiempo real la salud animal” Universidad Complutense de Madrid.
http://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2017-05-22-2017_05_not5.pdf
(Último acceso 11/01/2018)
- [17] T. Brown-Brandl, R. Eigenberg “Measuring the Feeding Behaviour of Livestock” Agricultural Research magazine July, 2013
<https://agresearchmag.ars.usda.gov/2013/jul/livestock>
(Último acceso 11/01/2018)
- [18] Harmonised European Standard “Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W and in the band 915 MHz to 921 MHz with power levels up to 4 W; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU”, 02-2016
http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/302208/03.01.00_20/en_302208v030100a.pdf
(Último acceso 11/01/2018)
- [19] Keonn Technologies Wiki.
<http://wiki.keonn.com/>
(Último acceso 11/01/2018)
- [20] Raspberry Pi Foundation UK registered charity 1129409
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
(Último acceso 11/01/2018)

[21] F. Paez “Llamadas y SMS con Sim900, Python y Raspberry Pi” Blog: info@fpaez.com

<http://fpaez.com/llamadas-y-sms-usando-un-modulo-sim900-y-raspberry-pi/>
(Ultimo acceso 11/01/2018)

[22] Downloads. Raspberry Pi Foundation UK registered charity 1129409

<https://www.raspberrypi.org/downloads/>
(Ultimo acceso 11/01/2018)

[23] DesdeLinux Blog “Cron & crontab, explicados” 8 Agosto, 2016

<https://blog.desdelinux.net/cron-crontab-explicados/>
(Ultimo acceso 11/01/2018)

[24] N. Hammer, F. Adrion, M. Staiger, E. Holland, E. Gallmann, T. Jungbluth “Comparison of different ultra-high-frequency transponder ear tags for simultaneous detection of cattle and pigs” Livestock Science Volume 187, May 2016, Pages 125-137, ScienceDirect May, 2016

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141316300427>
(Ultimo acceso 11/01/2018)

[25] SMARTRAC N.V. 01/2018

<https://www.smartrac-group.com/product-selector.html>
(Ultimo acceso 11/01/2018)

[26] SMARTRAC N.V. “FROG 3D High Performance Product for Supply Chain Applications” 01/2018

https://www.smartrac-group.com/files/content/Products_Services/PDF/0011_SMARTRAC_FROG_3D_2in.pdf
(Ultimo acceso 11/01/2018)

11 Anexos

Anexo 1. Especificaciones de la antena Advantenna-p11

Diagrama de radiación y tabla de especificaciones de la antena Advantenna-p11

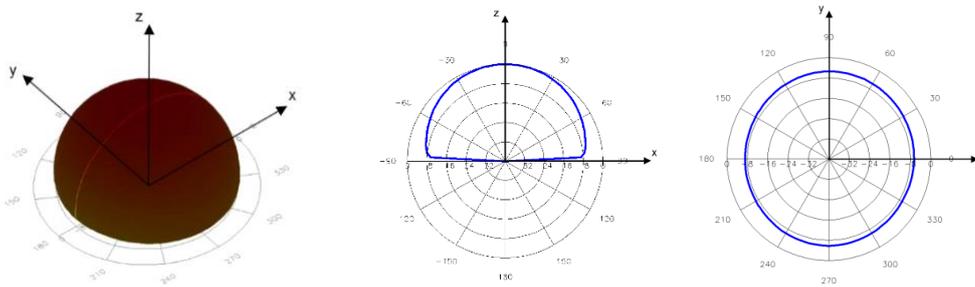


Diagrama de radiación de la antena Advantenna – p11

Specifications

Operating Frequency EU Version	865 - 868 MHz (ETSI EN 302 208)
Operating Frequency US Version	902 - 928 MHz (FCC part 15)
Operating Detection distance	Up to 3 m
Radiation pattern	Wide beam in both directions in one hemisphere
Gain	3.2 dBi (EU version), 3.3 dBi (US version)
Beam width	100° / 100°
Polarization	Circular
Input Impedance	50 Ω

Tabla de especificaciones de la Advantenna – p11.

Anexo 2. Especificaciones de la antena Advantenna-SP12

Diagrama de radiación y tabla de especificaciones de la antena Advantenna-SP12.

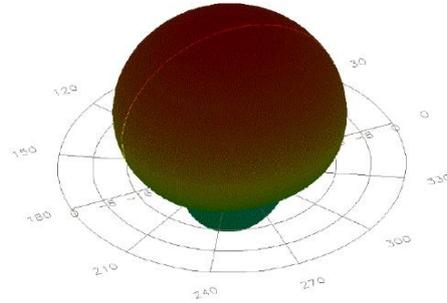


Diagrama de radiación de la antena Advantenna – SP12 .

Specifications

Operating Frequency ETSI Version	865 - 868 MHz (ETSI EN 302 208)
Operating Frequency FCC Version	902,0 MHz - 928,0 Mhz
Operating Detection distance	Up to 8 metres
Gain	9.5 dBi (6.6 dBil) EU version
Beam width	40° / 70°
Polarization	Circular
Input Impedance	50 Ω

Tabla de especificaciones de la Advantenna – SP12

Anexo 3. Tabla de especificaciones del cable Coaxial Siretta LLC200A

Physical & Electrical Characteristics

Item:	LLC200					
Impedance	50 ± 3					
Insulation Resistance:	1000 ↑					
Capacitance:	80.4 ± 3.					
Conductor resistance:	17.9 Ω/KM					
Attenuation	450MHz	900MHz	1500MHz	1800MHz	2500MHz	3000MHz
dB/100m	22.1	32.0	42.5	46.5	54.4	61.5

Tabla de especificaciones Coaxial Siretta LLC200A.

Anexo 4. Tabla de especificaciones de la RaspBerry Pi3 modelo B

The Raspberry Pi 3 is the third-generation Raspberry Pi. It replaced the Raspberry Pi 2 Model B in February 2016.

- Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- 40-pin extended GPIO
- 4 USB 2 ports
- 4 Pole stereo output and composite video port
- Full size HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A

Tabla de especificaciones RaspBerry Pi 3 Modelo B .

Anexo 5. Ejemplos de código Python con comandos AT

Enviar SMS mediante comandos AT

```
1  #!/usr/bin/env python
2
3  import serial
4  import time
5
6  class TextMessage:
7      def __init__(self, recipient="", message=""):
8          self.recipient = recipient
9          self.content = message
10
11     def setRecipient(self, number):
12         self.recipient = number
13
14     def setContent(self, message):
15         self.content = message
16
17     def connectPhone(self):
18         self.ser = serial.Serial('/dev/ttyAMA0', 115200, timeout=5)
19         time.sleep(1)
20
21     def sendMessage(self):
22         self.ser.write('ATZ\r')
23         time.sleep(1)
24         self.ser.write('AT+CMGF=1\r')
25         time.sleep(1)
26         self.ser.write('AT+CMGS="' + self.recipient + '"\r')
27         time.sleep(1)
28         self.ser.write(self.content + "\r")
29         time.sleep(1)
30         self.ser.write(chr(26))
31         time.sleep(1)
32
33     def disconnectPhone(self):
34         self.ser.close()
35
36
37     #Cambiar 666777888 por el número de teléfono del destinatario
38     sms = TextMessage("666777888", "Si leer esto es que he podido enviar un SMS desde Rasperry Pi!")
39     sms.connectPhone()
40     sms.sendMessage()
41     sms.disconnectPhone()
```

Enviar y recibir llamadas mediante comandos AT

```
1 import serial
2 import time
3
4 class ATcommands:
5     def setDialledNumber(self, number):
6         self.dialledNumber = number
7
8     def connectPhone(self):
9         self.ser = serial.Serial('/dev/ttyAMA0', 115200, timeout=5)
10        time.sleep(1)
11
12    def disconnectPhone(self):
13        self.ser.close()
14
15class VoiceCall:
16    def __init__(self, dialledNumber='000000'):
17        self.dialledNumber = dialledNumber
18
19    def dialNumber(self):
20        self.ser = serial.Serial('/dev/ttyAMA0', 115200, timeout=5)
21        self.ser.write('ATZ\r')
22        ## ATZ : Restore profile ##
23        time.sleep(1)
24        self.ser.write('ATD ' + self.dialledNumber + ';\r')
25        ## ATD : Dial command ##
26        ## semicolon : voice call ##
27        time.sleep(1)
28        time.sleep(1)
29        self.ser.write(chr(26))
30        time.sleep(1)
31        time.sleep(1)
32        time.sleep(1)
33
34    def endCall(self):
35        self.ser = serial.Serial('/dev/ttyAMA0', 115200, timeout=5)
36        self.ser.write('ATZ\r')
37        time.sleep(1)
38        self.ser.write('AT+CHUP\r')
39        time.sleep(1)
40        self.ser.write(chr(26))
41        time.sleep(1)
```

Anexo 6. Diagrama de radiación de la tag FROG-3D

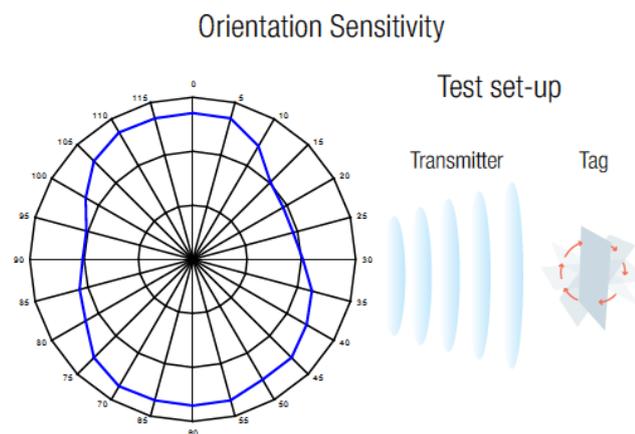


Diagrama de radiación de la tag FROG – 3D

Anexo 7. Código de R

Código de R para la simulación del sistema de Análisis.

```
1 ## Código R para detectar la pasividad de los cerdos
2
3 # Establece dirección donde se encuentran los CSVs
4 setwd("direccion_ficheros")
5 dir<-getwd()
6 #source("processDir.R")
7
8 # Assumiendo que en la primera hora, todos los cerdos han sido leídos por el
9 # lector, podemos crear un contador por animal
10
11 # Tenemos que leer el último fichero generado por el lector, podemos usar
12 # esta aproximación propuesta
13 #https://stackoverflow.com/questions/25000297/import-newest-csv-file-in-directory
14
15 #processDir()
16
17 - ##### PRIMERA PARTE #####
18
19 details = file.info(list.files(pattern="*.csv"))
20 details = details[with(details, order(as.POSIXct(mtime))), ]
21 files = rownames(details)
22
23
24 #datos<-read.csv(files[length(files)], header = FALSE) # este lee el último CSV generado
25 datos<-read.csv("Lectura_1h.csv", header = FALSE)
26 animales<-unique(datos$V3) # esto genera una lista con los IDs únicos contenidos en datos
27 for (i in 1:length(animales))
28 {
29   assign(paste("pig",animales[[i]],sep=""),0)
30   #esto crea un contador por cerdo. se asigna zero, indicando que se ha detectado el animal
31 }
32
33
34 - ##### SEGUNDA PARTE #####
35
36 # la lista animales contiene todos los cerdos de una misma pocilga
37 # ahora analizamos todos los ficheros para ver si encontramos a todos los cerdos
38 # solo para testeo, se usa el mismo código que lee todos los CSV de la carpeta y los ordena por tiempo
39
40 details = file.info(list.files(pattern="*.csv"))
41 details = details[with(details, order(as.POSIXct(mtime))), ]
42 files = rownames(details)
43 log<-c("Hora","Animal","Contador") # esto seria un simple log que registra el fichero de una hora
44 # en concreto, el animal ID y su contador de veces no detectado
45 for (i in 1:length(files)) # esto escanea todos los ficheros CSV de la carpeta
46 {
47   datos<-read.csv(files[i], header = FALSE) # leemos cada csv
48   detectados<-unique(datos$V3)
49   # esto genera una lista con los IDs únicos contenidos en datos
50   # ya que la lista animales contiene todos los animales,
51   #lo usamos para comparar cada ID con la nueva lista de animales por si falta alguno
52   for (j in 1:length(animales))
53   {
54     if(animales[[j]]%in%detectados==FALSE)
55       # comparamos si cada animal se encuentra en la nueva lista y por lo tanto se ha movido a la tolva.
56       #si cumple ==FALSE significa que no se ha encontrado y por lo tanto no detectado
57     {
58       count<-get(paste("pig",animales[[j]],sep="")) #recupera el valor del contador de cada animal por separado
59       count<-count+1 # se suma uno respecto al valor anterior
60       assign(paste("pig",animales[[j]],sep=""),count) # se guarda el nuevo valor
61       if(count==4) # en caso de llegar a 4, se envía aviso GSM
62       {
63         print(paste("pig ",animales[[j]]," en peligro",sep=""))
64       }
65     }
66     else # en caso de encontrarse el animal en la lista, se vuelve el contador a 0
67     {
68       assign(paste("pig",animales[[j]],sep=""),0)
69     }
70
71     #animales[[i]]%in%animales
72     #esto crea un contador por cerdo. le asigno zero indicando que se ha detectado el animal
73     dat<-c(files[i],animales[[j]],get(paste("pig",animales[[j]],sep="")))
74     # esto genera un registro por cada animal y fichero
75     log<-rbind(log,dat) # esto permite adjuntar todos los registros en el mismo log
76   }
77 }
78
79 |
80 #files <- file.info(list.files(dir),pattern = '*.csv')
81 #read.csv(rownames(files)[order(files$mtime)][nrow(files)])
```

Anexo 8. Videos

En este anexo, se muestra la numeración de los videos con sus respectivos títulos y una breve explicación.

Video 1 Primera parte. Primera prueba con el sistema “Ground Truth”.

En esta primera parte del primer video, se puede ver la zona limpia con el sistema “*Ground Truth*” y el contador del lector. Al final, se puede ver cómo se accede a la zona sucia donde está la pocilga.

Video 1 Segunda parte. Primera prueba zona sucia (pocilga).

En esta segunda parte del primer video, se puede ver la zona sucia donde está la pocilga. También, se ven los cerdos numerados para la primera prueba, la antena y la cámara instaladas en el soporte.

Video 2. Lectura de 10 tags a más de 3 metros.

En este video, se puede ver la prueba de lectura de los 10 crotales realizada en la zona limpia. A una distancia superior a 3 metros, lee las 10 tags sin problema.

Video 3. Tag sobre tejido vivo, es leída a menos de medio metro.

En este video, se puede ver la prueba de lectura del crotal número 3 sobre la palma de la mano (tejido vivo) en la zona limpia. Se puede ver como la tag es leída cuando se aproxima a una distancia inferior a medio metro.

Video 4. El sistema Ground Truth confirma que no detecta el crotal en la oreja.

En este video, se puede ver la prueba de lectura del crotal 1 implantado en la oreja del cerdo (tejido vivo). Mediante el sistema “*Ground Truth*”, se puede ver como la tag no puede ser leída. El cerdo está en la tolva y el contador no se incrementa.

Para ver los videos, hay que acceder a la carpeta que se encuentra en el siguiente link:

Link → [Videos TFG. Monitorización del comportamiento porcino mediante tecnología RFID para la prevención de pérdidas. Rubén Molina Casasnovas.](#)