



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA

RECOGIDA INTELIGENTE DE DESECHOS URBANOS MEDIANTE UNA SOLUCIÓN IOT

Autora: Irene Carmen Quintana de San Antonio

Director: Jocelyn Fiorina

Madrid

Agosto 2017

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**RECOGIDA INTELIGENTE DE DESECHOS URBANOS MEDIANTE UNA
SOLUCIÓN IOT**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2016/17 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Irene Carmen Quintana de San Antonio

Fecha: 03 / 09 / 2017

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Jocelyn Fiorina

Fecha: / /

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: David Contreras Bárcena

Fecha: / /

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

La autora Dña. IRENE CARMEN QUINTANA DE SAN ANTONIO

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: RECOGIDA INTELIGENTE DE DESECHOS URBANOS MEDIANTE UNA SOLUCIÓN IOT, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

- El autor se compromete a:
 - a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
 - b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
 - c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 3 de septiembre de 2017

ACEPTA



Fdo. Irene Quintana de San Antonio

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA

RECOGIDA INTELIGENTE DE DESECHOS URBANOS MEDIANTE UNA SOLUCIÓN IOT

Autora: Irene Carmen Quintana de San Antonio

Director: Jocelyn Fiorina

Madrid

Agosto 2017

Agradecimientos

Este Proyecto Fin de Grado ha sido realizado en el contexto de un proyecto mayor junto a tres de mis compañeros franceses de la Escuela de Ingeniería Supélec (Francia).

En primer lugar, me gustaría agradecer a Antoine Françon, Guillaume Freisz y Jed Sophonie Koboude la oportunidad que me ofrecieron de trabajar con ellos y desarrollar juntos un proyecto tan interesante y que tanto me ha aportado.

En segundo lugar, agradecer el apoyo y seguimiento de los profesores del Departamento de Telecomunicaciones de mi universidad de acogida, en concreto a Jacques Antoine y Jocelyn Fiorina.

Por último, y no por ello menos importante, mi reconocimiento y agradecimiento a la empresa Objenious por la confianza que ha depositado en nosotros y a las diferentes Asociaciones de Supélec que nos han proporcionado el material necesario para realizar este trabajo.

RECOGIDA INTELIGENTE DE DESECHOS URBANOS MEDIANTE UNA SOLUCIÓN IOT

Autor: Quintana de San Antonio, Irene Carmen.

Director: Fiorina, Jocelyn.

Entidad Colaboradora: Objenious by Bouygues Telecom.

RESUMEN DEL PROYECTO

La recogida de desechos urbanos de manera tradicional implica tiempo, gasto económico y contaminación medioambiental que pueden ser disminuidos. Instalando un sensor de llenado en cada contenedor se puede conocer, en tiempo real, el nivel de basura acumulado en cada uno de ellos y así poder tomar la decisión de vaciarlo o no.

Palabras clave: sensor, contenedor, LoRa

1. Introducción

Este proyecto, realizado en la Escuela de Ingeniería CentraleSupélec (Francia) y financiado por la empresa francesa Objenious by Bouygues Telecom (en adelante Objenious), pretende optimizar la recogida de desechos urbanos, con el fin de limitar al máximo los recursos empleados y su impacto ecológico.

La solución propuesta pasa por la concepción de un sensor de llenado, que enviará los datos recogidos a un servidor, gracias a la tecnología LoRa. Este trabajo es un claro ejemplo de “objeto conectado” (IoT) que forma parte de las nuevas *Smart Cities*, cuyo objetivo es mejorar las condiciones de los centros urbanos.

2. Definición del proyecto

El producto desarrollado se compone de un sensor ultrasonidos, un clon de Arduino Fio y un módulo LoRaWAN. El sensor toma las medidas necesarias para poder conocer el porcentaje de llenado de un contenedor. El clon de Arduino Fio, el *Airboard* proporcionado por Objenious, recoge estas distancias y las envía al servidor gracias al módulo LoRaWAN. Dicho módulo cuenta con una antena que le permite transmitir la información por la red LoRa. Posteriormente, los datos son transferidos a una página web, analizados y tratados para poder ser mostrados al usuario (esta última etapa no forma parte de este proyecto).

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Por una parte, el sensor ultrasonidos envía un pulso de alta frecuencia que rebota en los objetos y es reflejado hacia el sensor [1]. Midiendo el tiempo entre pulsos y conociendo la velocidad del sonido, se puede calcular la distancia del sensor al objeto más cercano (Figura 1). Colocando el sensor en la parte interior más alta del contenedor, la distancia medida es la que hay del sensor a la superficie de los desechos, es decir, la altura de contenedor que aún no se ha llenado. Conociendo además la altura total del contenedor, se puede obtener el porcentaje de llenado de dicho recipiente.

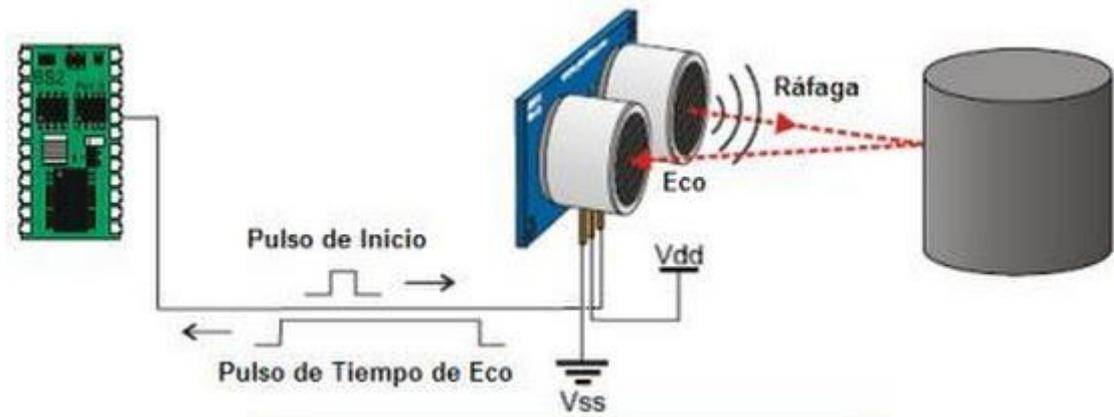


Figura 1: Esquema del funcionamiento de un sensor ultrasónicos [2]

Por otra parte, el *Airboard* se encargará de calcular la distancia mencionada y de enviarla al servidor de *Objenious*. El módulo *LoRaWAN* envía los datos por la red *LoRa*, que posteriormente son accesibles en el servidor. *LoRa* es una tecnología de transmisión radio que permite transferir la información sin cable. Esta nueva tecnología conlleva poco consumo energético, un gran alcance (15 km) y una fuerte resistencia a interferencias (gracias la técnica de espectro ensanchado *-spread spectrum-*) [3].

Como muestra la Figura 2, en una red *LoRaWAN* los objetos conectados se asocian a varias estaciones de base (*gateways*). Cada una de ellas transmite la información recibida hacia el servidor de gestión (*network server*) que está conectado a internet. Este servidor gestiona, entre otras cosas, la redundancia de información y confirma la recepción de los datos.

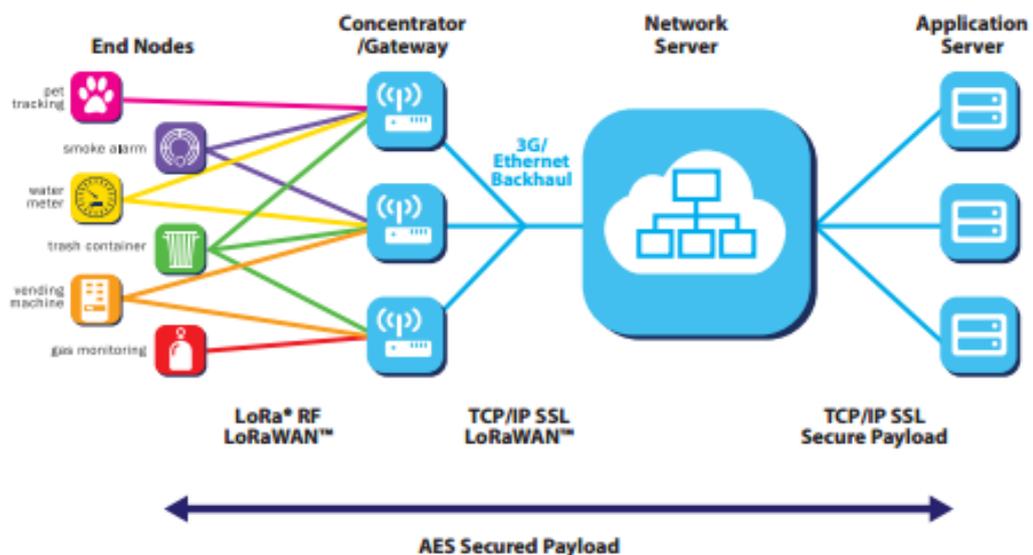


Figura 2: Esquema del funcionamiento de la tecnología *LoRa* [4]

4. Resultados

El resultado de este proyecto es la creación de un sensor de llenado para los contenedores inteligentes de las nuevas *Smart Cities*. Este sensor está destinado a ofrecer información continua y sin cables sobre el nivel de desechos del interior de las grandes papeleras. El producto final (Figura 3 y Figura 4) permite realizar un trayecto de recogida de residuos más corto. Así se consigue ahorrar tiempo de recorrido, dinero en combustible y se consigue contaminar menos.

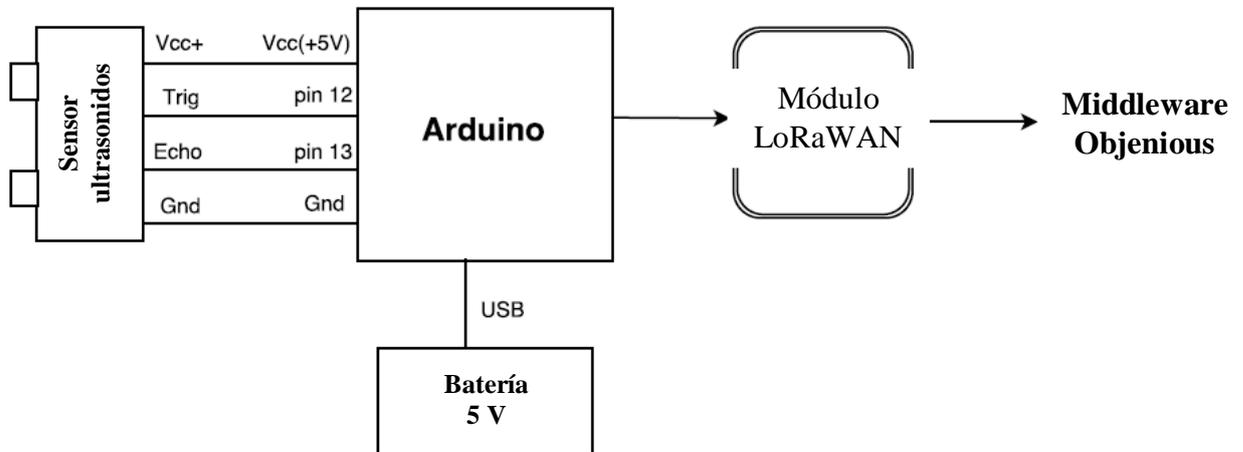


Figura 3: Esquema de los componentes del producto final

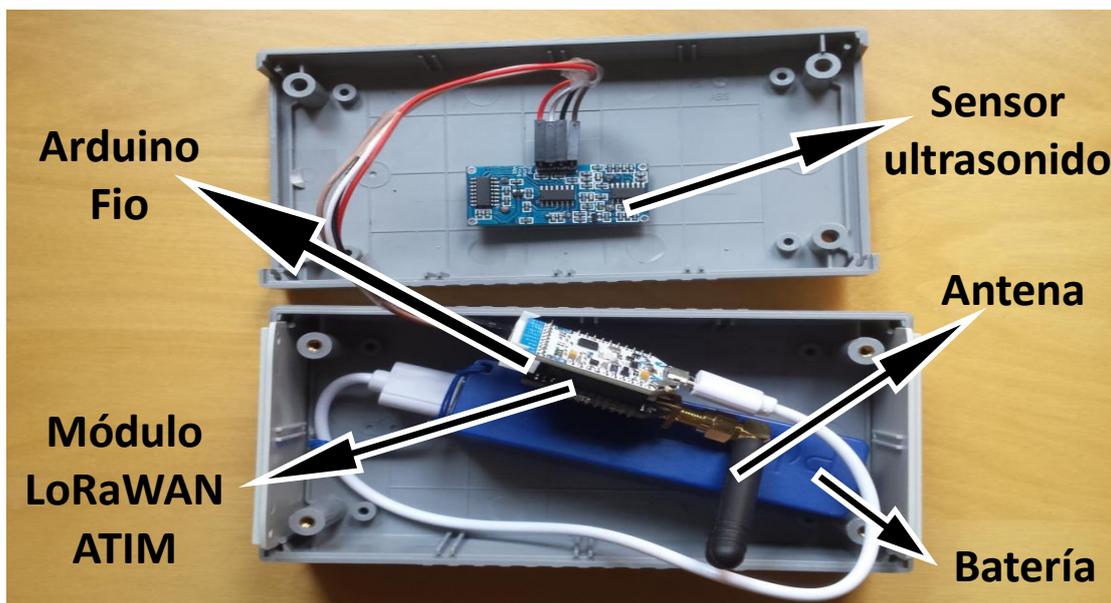


Figura 4: Foto de los componentes del producto final

5. Conclusiones

La tecnología LoRa tiene un futuro prometedor y el concepto de “*Internet of Things*” va a revolucionar nuestras vidas. Cada vez hay más objetos inteligentes conectados a la red LoRa que proporcionan más y mejores servicios al usuario. La tendencia de hoy en día es instalar sensores de todo tipo en casi todos los objetos que nos rodean, tratar la información que nos transmiten y actuar de manera inteligente.

6. Referencias

- [1] Luis Llamas. “¿Qué es un sensor ultrasonidos?”, 16 de junio de 2015.
<https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>
- [2] E-Tools. Esquema del funcionamiento de un sensor ultrasonidos.
<http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/sensor-ultrasonido-us-100/>
- [3] Dmic. Expertos en gestión de recursos móviles. “Todo lo que siempre has querido saber de LoRa”. <https://www.dmic.fr/lora.html>
- [4] Atim. “¿Qué es LoRa?”. <http://www.atim.com/fr/technologies/lorawan/>

INTELLIGENT COLLECTION OF URBAN WASTE THROUGH AN IOT SETTLEMENT

Author: Quintana de San Antonio, Irene Carmen.

Supervisor: Fiorina, Jocelyn.

Collaborating Entity: Objenious by Bouygues Telecom.

ABSTRACT

The collection of urban waste in a traditional way implies time, economic expense and environmental pollution that can be diminished. Installing a filling sensor in each container can know, in real time, the level of garbage accumulated in each of them and thus can make the decision to empty or not.

Keywords: sensor, container, LoRa

1. Introduction

This project, carried out at the School of Engineering CentraleSupélec (France) and financed by the French company Objenious by Bouygues Telecom (henceforth, Objenious), aims to optimize the collection of urban waste, in order to limit to the maximum the resources used and their ecological impact.

The proposed solution involves the design of a filling sensor, which will send the collected data to a server, thanks to LoRa technology. This work is a clear example of "connected object" (IoT) that is part of the new Smart Cities, whose objective is to improve the conditions of urban centers.

2. Project Definition

The product developed consists of an ultrasonic sensor, an Arduino Fio clone and a LoRaWAN module. The sensor takes the necessary measures to know the percentage of filling of a container. The Arduino Fio clone, the Airboard provided by Objenious, collects these distances and sends them to the server thanks to the LoRaWAN module. This module has an antenna that allows you to transmit the information through the LoRa network. Subsequently, the data are transferred to a web page, analyzed and processed to be able to be displayed to the user (this last stage is not part of this project).

3. Model/System Description

On the one hand, the ultrasonic sensor sends a high-frequency pulse that bounces off objects and is reflected towards the sensor [1]. By measuring the time between pulses and knowing the speed of sound, the distance of the sensor can be calculated to the nearest object (Figure 1). By placing the sensor in the upper inner part of the container, the distance measured is the distance from the sensor to the surface of the waste, ie the height of the container that has yet to be filled. Knowing also the total height of the container, the percentage of filling of said container can be obtained.

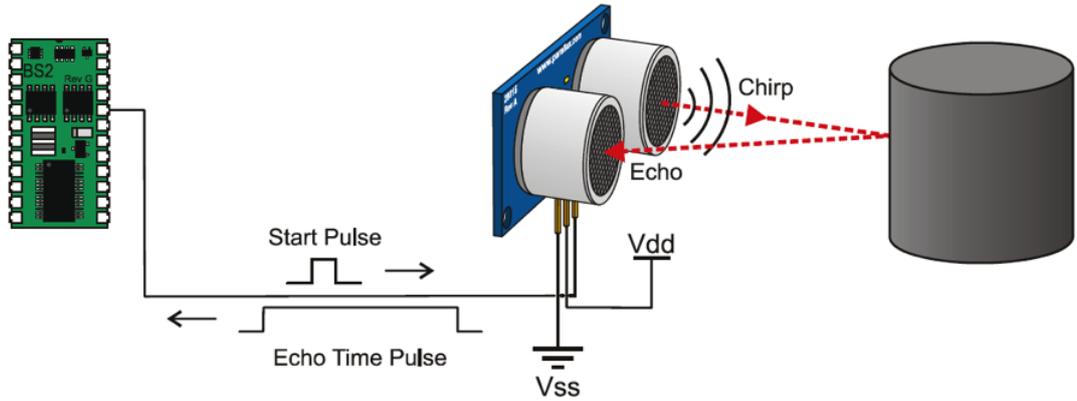


Figure 1: Schematic of the operation of an ultrasonic sensor [2]

On the other hand, the *Airboard* will be responsible for calculating the distance mentioned and sending it to the Objenious server. The LoRaWAN module sends the data over the LoRa network, which is later accessible on the server. LoRa is a radio transmission technology that allows wireless information transfer. This new technology has low power consumption, a large range (15 km) and strong resistance to interference (thanks to the spread spectrum technique) [3].

As shown in Figure 2, in a LoRaWAN network the connected objects are associated with several base stations (gateways). Each of them transmits the received information to the management server (network server) that is connected to the internet. This server, among other tasks, manages the redundancy of information and confirms the reception of the data.

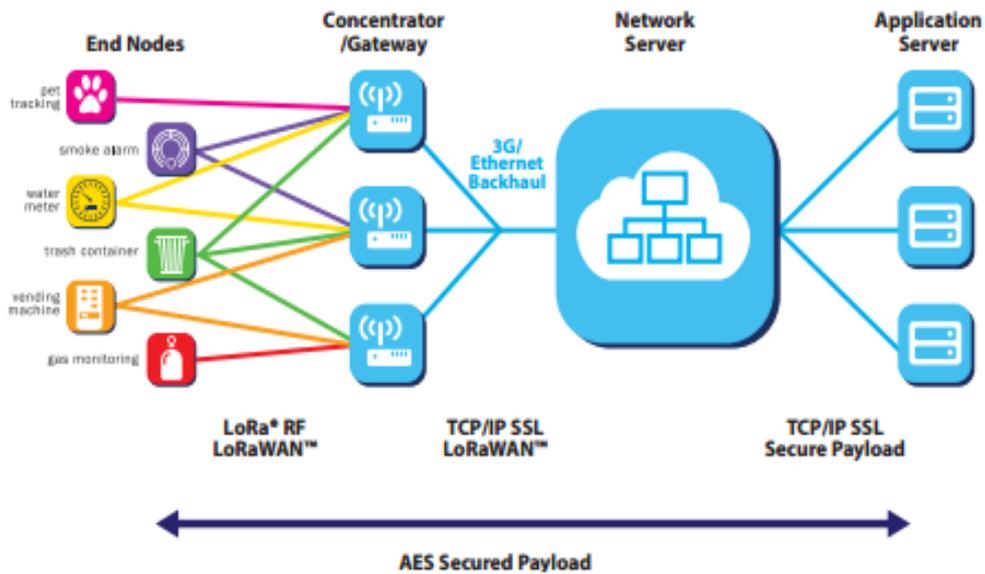


Figure 2: LoRa technology operation diagram [4]

4. Results

The result of this project is the creation of a filling sensor for the smart containers of the new Smart Cities. This sensor is intended to provide continuous and wireless information on the waste level inside the large bins. The final product (Figure 3 and Figure 4) makes it possible to carry out a shorter waste collection path. This is achieved by saving travel time, money in fuel and less contamination.

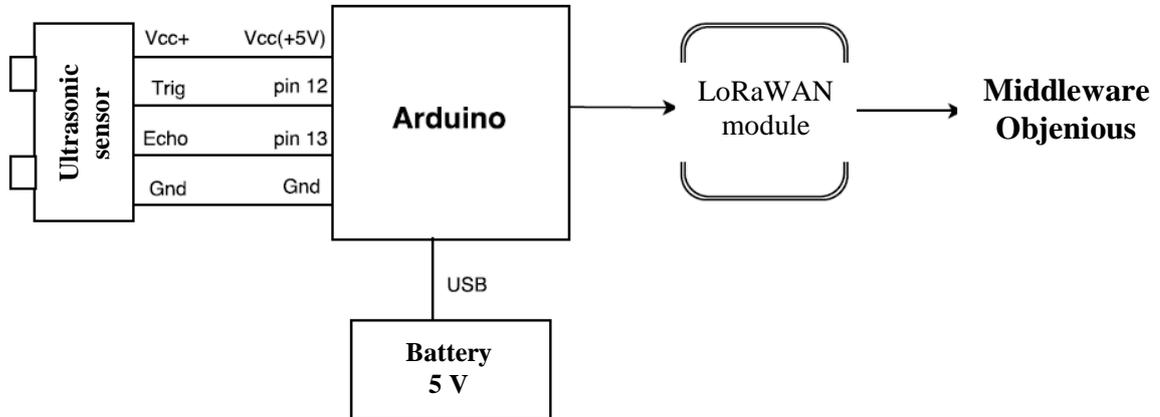


Figure 3: Outline of the components of the final product

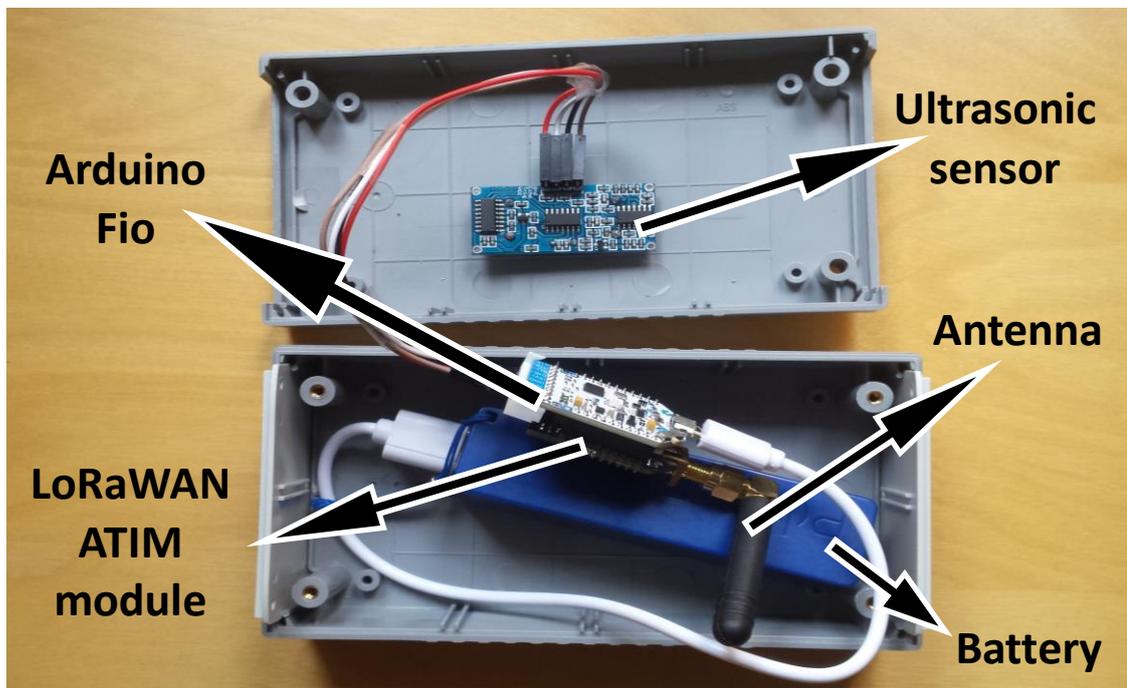


Figure 4: Photo of the components of the final product

5. Conclusions

LoRa technology has a promising future and the “Internet of Things” concept is going to revolutionize our lives. There are more and more intelligent objects connected to the LoRa network that provide more and better services to the user. The trend today is to install sensors of all kinds on almost all the objects around us, to treat the information they transmit to us and to act intelligently.

6. References

- [1] Luis Llamas. “What is an ultrasonic sensor?”, 16 June 2015.
<https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>
- [2] E-Tools. Esquema del funcionamiento de un sensor ultrasonidos.
<http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/sensor-ultrasonido-us-100/>
- [3] Dmic. Experts in management of mobile resources. “Everything you ever wanted to know about LoRa”. <https://www.dmic.fr/lora.html>
- [4] Atim. “What is LoRa?”. <http://www.atim.com/fr/technologies/lorawan/>

RAMASSAGE INTELLIGENT DES DECHETS URBAINS PAR UNE SOLUTION IOT

Auteur: Quintana de San Antonio, Irene Carmen.

Directeur : Fiorina, Jocelyn.

Enterprise Collaborateur : Objenious by Bouygues Telecom.

RESUME DU PROJET

Le ramassage des déchets urbains de façon traditionnelle nécessite du temps, une dépense économique et génère de la pollution environnementale, qui peuvent être réduits. En installant un capteur de remplissage dans chaque conteneur, on peut connaître en temps réel le niveau déchet introduit dans chacun d'entre eux et donc décider de le vider ou pas.

Mots clés : capteur, conteneur, LoRa

1. Introduction

Ce projet, guidé par l'École d'Ingénierie CentraleSupélec (France) et financé par l'entreprise française Objenious by Bouygues Telecom (désormais Objenious), a pour but l'optimisation du ramassage des déchets urbains, afin de limiter au maximum les ressources mis en œuvre et son impact écologique.

La solution proposée suppose la conception d'un capteur de remplissage, qui envoie les données collectées à un serveur, grâce à la technologie LoRa. Ce projet est un exemple d'« objet connecté » (IoT en anglais) qui fait partie des nouvelles *Smart Cities*, dont l'objectif est d'améliorer la conception des zones urbaines.

2. Définition du projet

Le produit final est composé d'un capteur ultrason, un clone d'Arduino Fio et un module LoRaWAN. Le capteur prend les mesures nécessaires pour connaître le taux de remplissage d'un conteneur. Le clone d'Arduino Fio, l'*Airboard* fourni par Objenious, prend les mesures et les envoie au serveur, grâce au module LoRaWAN. Ce module a une antenne avec laquelle il peut transmettre les données via le réseau LoRa. Ensuite, les données sont transférées à un site web, analysées et traitées pour les montrer au client (cette dernière phase ne fait pas partie de ce projet).

3. Description du model/système

D'un côté, le capteur ultrason émet une impulsion haute fréquence qui rebondit sur les objets et qui est reflétée vers le capteur [1]. Si l'on mesure le temps inter-impulsions et que l'on connaît la vitesse du son, on pourra calculer la distance entre le capteur et l'objet le plus proche (Figure 1). En installant le capteur à l'intérieur du conteneur, dans la partie la plus haute, la distance mesurée est celle entre le capteur et la surface des déchets, c'est-à-dire, la hauteur du conteneur qui n'est pas remplie. Si l'on connaît aussi la hauteur totale du conteneur, on peut obtenir le pourcentage de remplissage de ce conteneur.

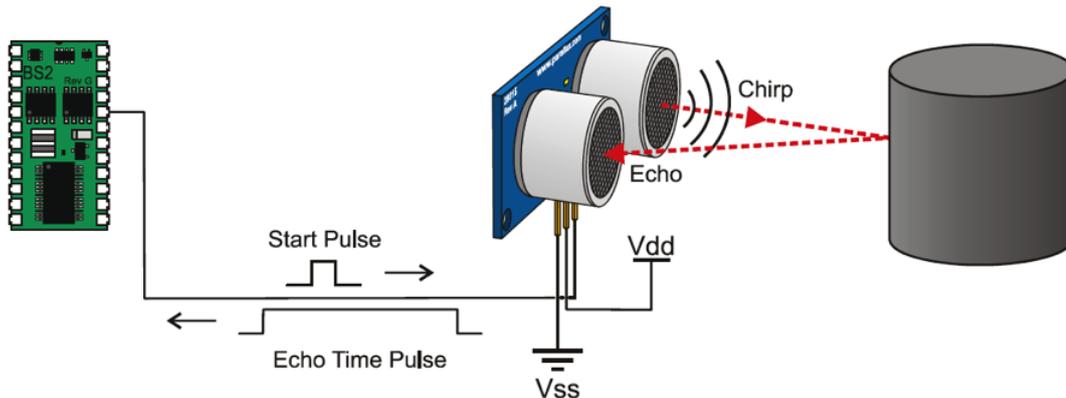


Figure 1: Schéma de fonctionnement d'un capteur ultrason [2]

De l'autre côté, l'*Airboard* calcule la distance mentionnée et l'envoie au serveur d'Objenious. Le module LoRaWAN transmet les données via le réseau LoRa, qui sont par la suite accessibles sur le serveur. Cette nouvelle technologie implique une basse consommation énergétique, une longue portée (15 km) et une forte résistance aux interférences (grâce à une technique d'étalement de spectre) [3]

Comme indiqué sur la Figure 2, dans un réseau LoRaWAN les objets connectés sont associés à plusieurs stations de basse (*gateways*). Chacune d'entre elles transmet l'information reçue vers le serveur de gestion (*network server*) qui est connecté à l'Internet. Ce serveur gère, entre autres, la redondance d'informations et confirme la réception des données.

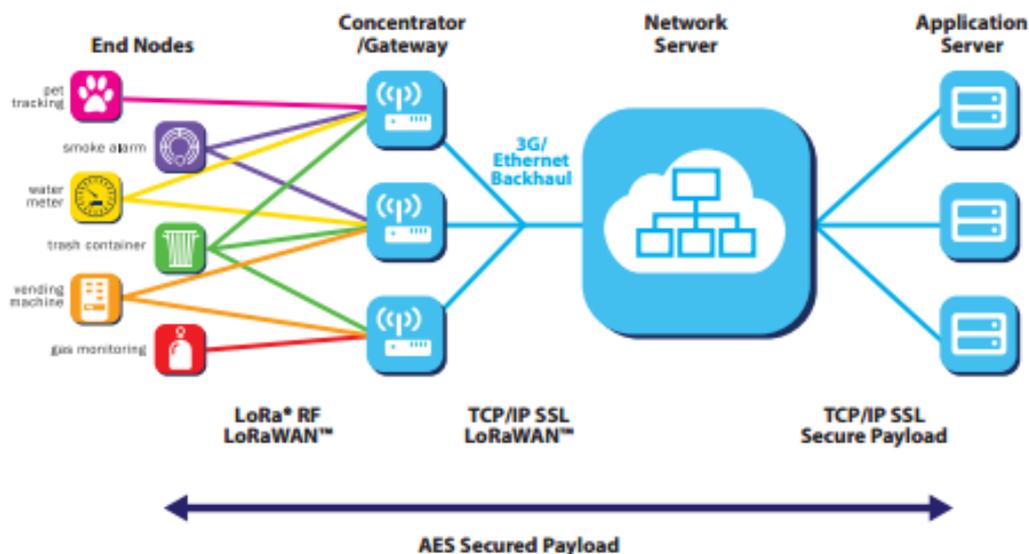


Figure 2: Schéma du fonctionnement de la technologie LoRa [4]

4. Résultats

Le résultat de ce projet est la conception d'un capteur de remplissage pour les conteneurs intelligents des nouvelles *Smart Cities*. Ce capteur est destiné à informer, en continu et sans fils, le niveau des déchets à l'intérieur de grandes poubelles. Le produit final (Figure 3 et Figure 4) permet de désigner un trajet de ramassage optimal. On économise ainsi du temps, de l'argent sur le carburant et on est bénéfique à l'environnement.

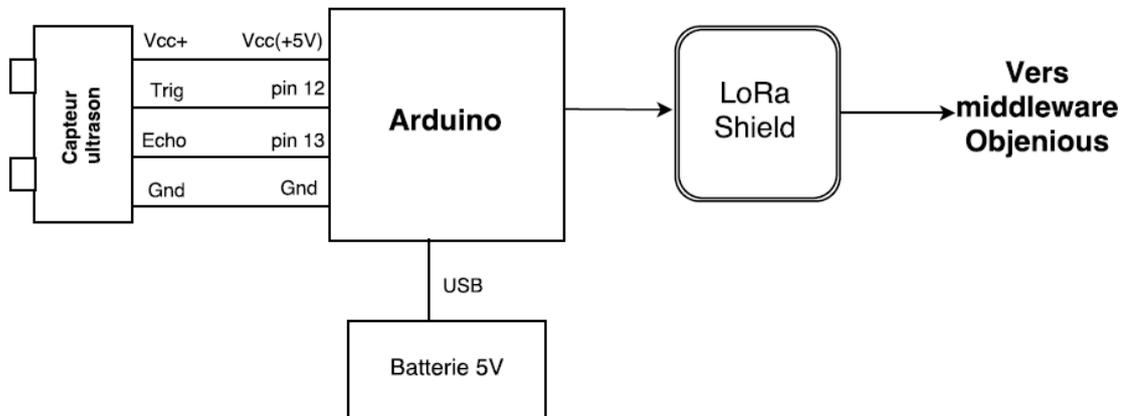


Figure 3: Schéma des composants du produit final

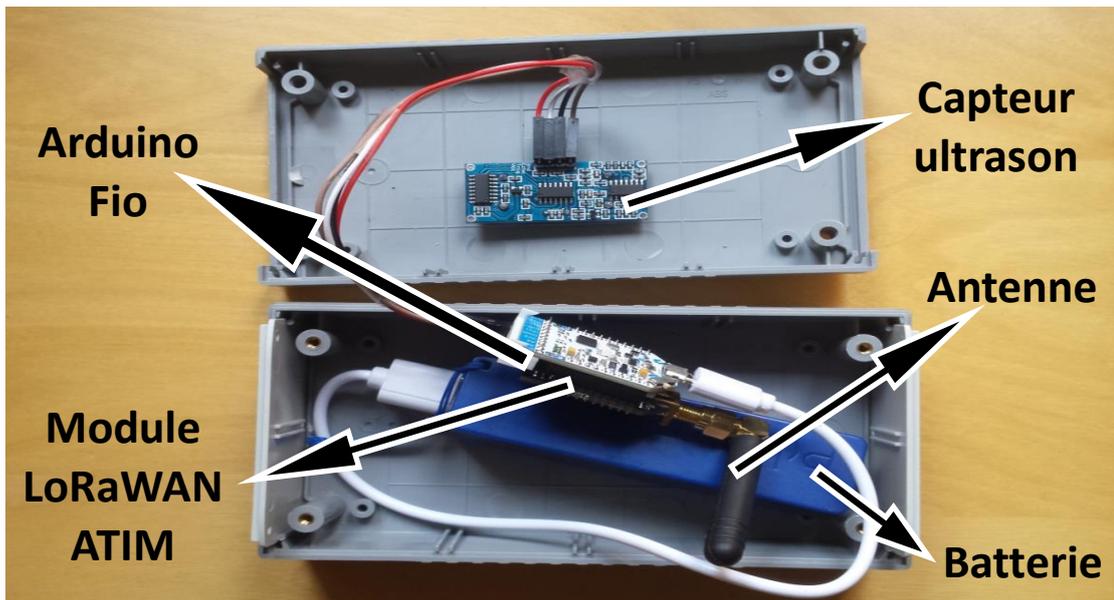


Figure 4: Photo des composants du produit final

5. Conclusions

La technologie LoRa a un avenir prometteur et le concept "Internet of Things" ("Objets connectés") va révolutionner nos vies. Chaque jour, il y a de plus en plus d'objets intelligents, connectés au réseau LoRa, nous offrant pertinemment de meilleurs services. Aujourd'hui la tendance est d'installer des capteurs de tous types dans la majorité des systèmes, interpréter l'information que l'on reçoit et répondre de façon intelligente.

6. Références

- [1] Luis Llamas. “Qu'est-ce qu'un capteur ultrason ?”, le 16 Juin 2015.
<https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>
- [2] E-Tools. Schéma de fonctionnement d'un capteur ultrason.
<http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/sensor-ultrasonido-us-100/>
- [3] Dmic. Experts en gestion de ressources mobiles. “Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur LoRa”. <https://www.dmic.fr/lora.html>
- [4] Atim. “Qu'est-ce que LoRa ?”.<http://www.atim.com/fr/technologies/lorawan/>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
Capítulo 2. Descripción de la Tecnología LoRa.....	7
2.1 Aspectos técnicos	8
2.2 Modos de Funcionamiento	10
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	12
Capítulo 4. Definición del Trabajo	14
4.1 Justificación.....	14
4.2 Objetivos	15
4.3 Metodología	16
4.4 Planificación y Estimación Económica.....	16
Capítulo 5. Concepción del sensor Iwaste	18
5.1 Elección del tipo de sensor	18
5.2 Aspectos técnicos del sensor HC-SR04	20
5.3 Tests	21
5.4 Control del sensor	22
Capítulo 6. Análisis de Resultados.....	24
6.1 El sensor	26
6.2 La batería.....	30
6.3 El servidor de Objenius	30
6.4 Sleep mode	31
6.5 Cuantificación del ahorro conseguido.....	31
Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros	33
Capítulo 8. Divulgación del proyecto.....	34
8.1 Hackaton Objenius - J2S	34
8.2 Concurso Huawei	36
8.2.1 El Bootcamp	37
8.2.2 Entrega de premios.....	38

8.3 Futuros Concursos	40
Capítulo 9. Bibliografía.....	41
ANEXO A. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	43
ANEXO B. KIT OBJENIOUS	44
ANEXO C. DATASHEET DEL SENSOR HC-SR04	46
ANEXO D. CÓDIGO DE ARDUINO.....	47

Índice de figuras

Figura 1: logo del equipo y del producto final	6
Figura 2: punto alto GSM + LoRa [3]	8
Figura 3: esquema de una red de Redes en Estrella [4].....	9
Figura 4: protocolo LoRa [6].....	10
Figura 5: ejemplo de trayecto óptimo de recogida de basuras	15
Figura 6: Gantt propuesto a principios de curso.....	17
Figura 7: sensor ultrasonidos HC-SR04	20
Figura 8: funcionamiento del sensor ultrasonidos [12]	20
Figura 9: proceso completo de medición del sensor ultrasonidos	21
Figura 10 : objetos irregulares	22
Figura 11: el Airboard utilizado	22
Figura 12: interfaz de Arduino. Código simple para el sensor ultrasonidos	23
Figura 13: esquema de la cadena desde el sensor hasta la plataforma de Objenius	23
Figura 14: sensor Iwaste	24
Figura 15: sensor instalado en un contenedor	25
Figura 16: el interior de la caja Iwaste	25
Figura 17: resultados del test del sensor a diferentes distancias.....	26
Figura 18: sensor Iwaste instalado en la basura de un apartamento	27
Figura 19: gráfico de los resultados del test del sensor Iwaste instalado en un basura	29
Figura 20: distancias recibidas en la plataforma de Objenius	30
Figura 21: afluencia de datos recibidos en la página web de Objenius	31
Figura 22: dos miembros del equipo Iwaste delante del jurado del hackaton	35
Figura 23: cartel del concurso de Huawei	36
Figura 24: Antoine presentando Iwaste en el concurso de Huawei.....	38
Figura 25: jurado 2017 del concurso Talentos Digitales	39
Figura 26: foto de los participantes premiados.....	40

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de los tres sensores estudiados [11]	19
Tabla 2. Resultados de un test del sensor Iwaste instalado en una basura	28

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La expansión de zonas urbanas y el aumento de la producción de contenedores de basura implican que la recogida eficiente de desechos sea una apuesta de futuro importante. A raíz de la novedosa concienciación medioambiental y el actual uso de basuras para reciclar, la recogida de desechos urbanos debe ser óptima con el fin de limitar al máximo los medios empleados y su impacto ecológico.

Esto es un problema que hoy en día necesita una solución de cara a un futuro mejor. La propuesta de este Proyecto de Fin de Grado es analizar alternativas más económicas y ecológicas con ayuda de la tecnología. Además, este proyecto se apoya en la revolución tecnológica del “internet de las cosas” (IoT). Este concepto se refiere a objetos electrónicos sin cable (llamados también “objetos conectados”), que permiten recoger información de su entorno y posteriormente mandarla a un servidor donde estos datos pueden ser analizados [1].

Este trabajo se realiza tras haber cursado dos años de Ingeniería Telemática en la Universidad Pontificia de Comillas (ICAI) y dos años en la Escuela Superior de Ingeniería (CentraleSupélec). El objetivo principal de dicho trabajo es la optimización de la recogida de desechos en un medio urbano. En pocas palabras, este proyecto prevé equipar cada contenedor de basura público con un sensor que mide su tasa de llenado. Esta medida se enviará a un servidor, gracias a la tecnología LoRa, y acto seguido estará disponible en tiempo real en una página web ligada a dicho proyecto. De igual modo, se propondrá un trayecto óptimo de recogida que pase únicamente por los contenedores de basura que superen un nivel de llenado establecido. Con esto, sólo los desechos de los contenedores de basura llenos serán recogidos y por tanto la colecta será optimizada. Igualmente, analizando los datos recogidos, se puede determinar dónde sobra un contenedor porque no se use demasiado, y dónde es necesario instalar uno nuevo porque los de esa zona se llenen con mucha frecuencia.

El proyecto completo ha sido desarrollado, en equipo, con 3 alumnos más de Supélec, una de las mejores escuelas de ingeniería de Francia. En dicho país, además de las cualidades de ingeniería, se aprecian mucho los aspectos de *marketing*. Uno de los requisitos importantes del proyecto era tener un nombre y un logo para el producto final. Nuestro equipo pasó a llamarse “Iwaste” y nuestro sensor de llenado tiene el logo mostrado en la Figura 1. Dentro del plan de estudios de la Universidad, se encuentra la asignatura de “Proyecto de Concepción”, cuyo objetivo es replicar procesos tecnológicos ya existentes para que el alumno amplíe sus conocimientos y su contacto con la realidad profesional.



Figura 1: logo del equipo y del producto final

En esta memoria se describe el trabajo llevado a cabo desde principios del curso 2016/2017 para obtener el producto final Iwaste. En primer lugar, se expondrá una breve descripción de la tecnología empleada, la parte más teórica de la tecnología LoRa. A continuación, se definirá el trabajo realizado y el sistema desarrollado, es decir, la concepción del sensor de llenado y la transmisión de datos. Y finalmente, se explicarán los resultados y las conclusiones obtenidos. La creación de la página web, que muestra y analiza los datos recibidos, y el diseño del trayecto de recogida óptimo, han sido desarrollados por otros miembros del equipo.

Se puede concluir que el proyecto tiene una relevancia social, económica y ecológica, además de un trasfondo tecnológico.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA LORA

LoRa (*Longe Range*) es una red de la familia LPWAN (*Low Power Wide Area Network*, redes WAN de Baja Potencia) que permite la comunicación inalámbrica entre objetos conectados a Internet, generalmente objetos que incluyen sensores. El propósito de que determinados objetos transmitan información que toman de su alrededor, es el de analizar estos datos y tratarlos para poder ofrecer mejores servicios, en el caso de este proyecto, una recogida de desechos óptima. Las redes LPWAN son redes de “bajo consumo – largo alcance” que han aparecido recientemente para satisfacer las necesidades del IoT. El bajo consumo de energía, conseguido por la desactivación periódica, permite una durabilidad de una batería estándar (AA, AAA,...) de entre 5 y 8 años, lo que implica un bajo coste de mantenimiento. El largo alcance, gracias a la modulación *Spread Spectrum*, llega a 5 km en áreas urbanas y hasta 65 km en áreas abiertas, llegando además a equipos de difícil acceso. Estas cualidades permiten la independencia de servicios demasiado costosos, propios de las redes celulares clásicas. Las nuevas redes adoptan una estructura en forma de estrella, con tramos cortos y velocidades bajas que típicamente se encuentran entre las décimas y las decenas de kbits/s. Su ligera infraestructura funciona bien en zonas urbanas, aunque haya mucha densidad de conexiones, y da cobertura a una zona amplia (una ciudad como Múnich se puede cubrir con sólo 7 *gateways* [2], miles de objetos se pueden conectar a un *gateway*). Las frecuencias más comúnmente usadas por las redes LPWAN se sitúan en las bandas libres sub-GHz (868 MHz en Europa, 902-928 MHz en EEUU).

La seguridad es otro punto importante en las tecnologías, por lo que ésta cuenta con encriptación a nivel de red, aplicación y dispositivo. Dispone de una estructura de protección de datos personales y funciones esenciales, contra ataques físicos o ciberataques. Las conexiones bidireccionales de esta tecnología son seguras.

LoRaWAN es una solución inicialmente desarrollada por la *start-up* francesa Cycleo (obtenida en 2012 por Semtech). Hoy en día, la tecnología LoRa es promovida por un consorcio, la LoRa Alliance, compuesta por grandes empresas (Bouygues, Cisco, IBM, Sagemcom...). Testada desde 2015 por varios operadores, como Bouygues Telecom, esta tecnología se apoya en redes de antenas ya existentes en puntos altos (Figura 2). En España, el despliegue LoRa comenzó en 2016.

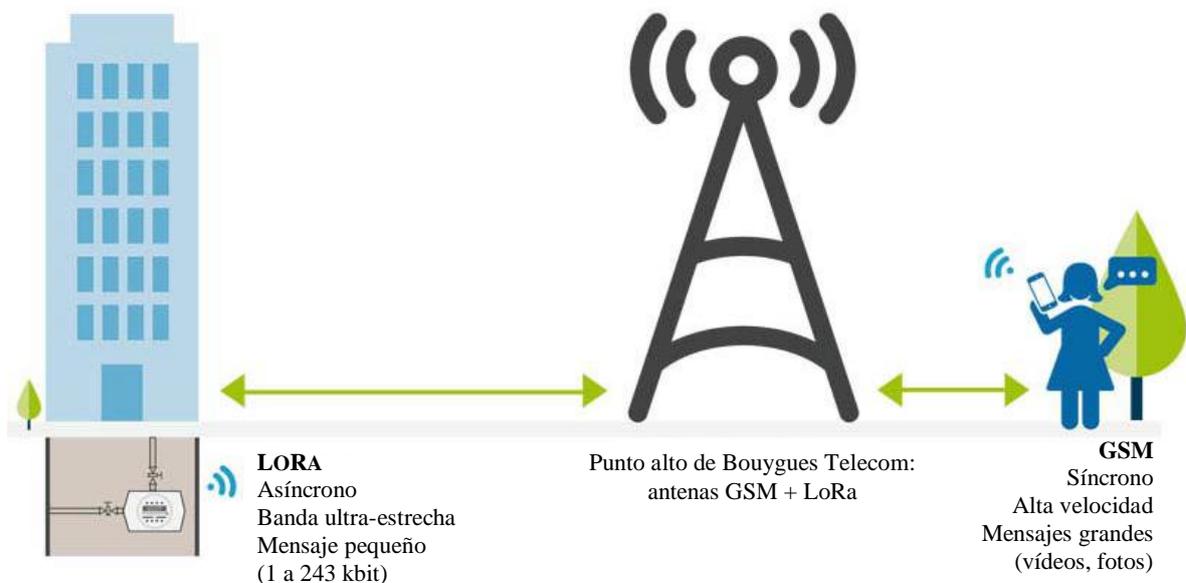


Figura 2: punto alto GSM + LoRa [3]

2.1 ASPECTOS TÉCNICOS

- La tecnología LoRa es una tecnología de radiofrecuencia basada en receptores ultrasensibles (-148dBm) emparejados a emisores de 20 dBm (100mW), lo que permite una conexión de 168 dBm.
- **Modulación *Spread Spectrum***, una técnica de modulación para la transmisión de datos digitales y por radiofrecuencia. Una señal es transmitida por una banda espectral más grande que el conjunto de frecuencias que componían la señal original, si ésta había sido transmitida por los métodos clásicos de modulación. Esta técnica disminuye

el impacto de interferencias con otras señales parásito, garantizando “confidencialidad”.

- Se opta por la **transmisión en estrella**, una arquitectura simple. Esta tendencia es una red de Redes en Estrella. La primera estrella está formada por los objetos inteligentes y los *gateways*, y la segunda está formada por los *gateways* y el servidor (Figura 3). Uno o más dispositivos se conectan a uno o más *gateways* mediante conexión inalámbrica LoRa, y uno o más *gateways* se conectan al servidor mediante conexiones IP estándar (3G, WIFI o Ethernet). LoRa se combina con otras tecnologías para ser más eficiente.

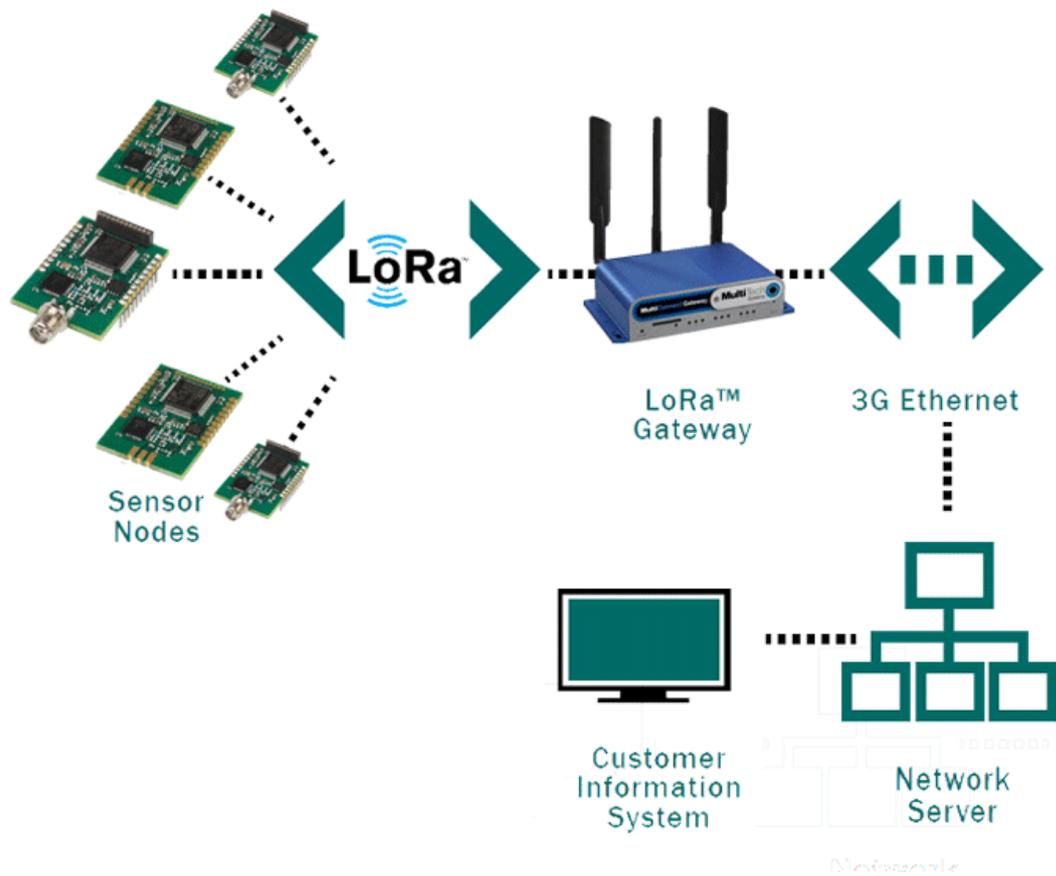


Figura 3: esquema de una red de Redes en Estrella [4]

La comunicación entre objetos y *gateways* se hace en diferentes canales de frecuencias y a distintas velocidades de datos (en función de la distancia de alcance, la duración del mensaje y el consumo de energía del mensaje) [5].

- Mensajes cortos. Tamaño máximo de los mensajes: 243 bytes.

- Codificación: **AES 128** – Dos métodos de cifrado.
- Banda ultra-estrecha: de 0,3 kbit/s a 50 kbit/s.
- Frecuencias: de 137 a 1.020 MHz (para el módulo Semtech) – 868 MHz en Francia – Canales de 120 kHz.
- Acceso a la red por ALOHA.
- Stack propietario que garantiza la compatibilidad de los sensores y la interconexión entre objetos inteligentes.
- Geolocalización: LoRa intenta ser la tecnología actual más precisa para aportar una localización en interiores.

2.2 MODOS DE FUNCIONAMIENTO

LoRaWAN es un protocolo multifuncional (Figura 4), que permite un importante ahorro energético gracias a tres modos de funcionamiento.

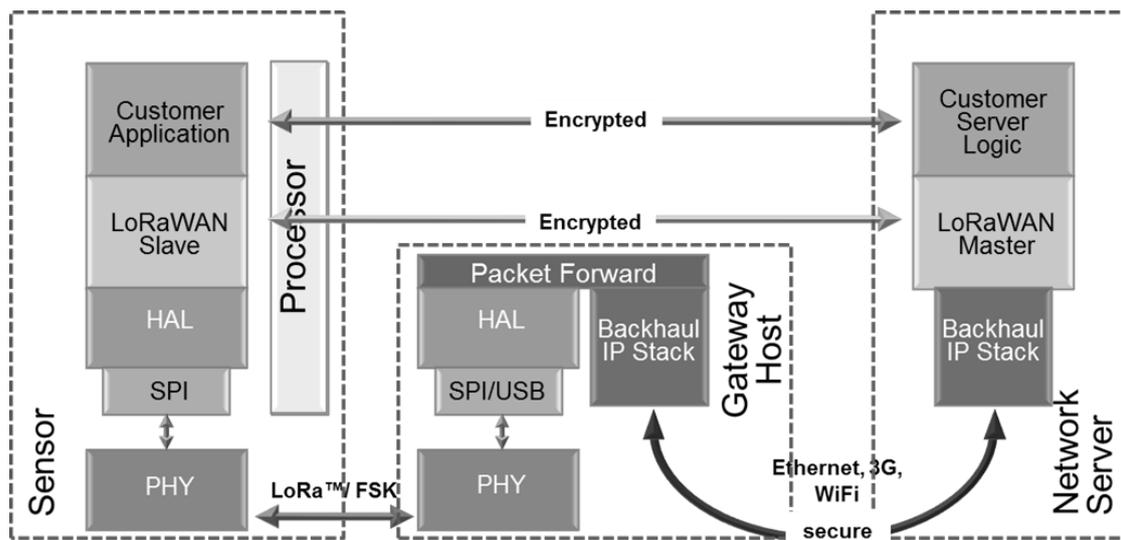


Figura 4: protocolo LoRa [6]

El primer modo permite a un objeto enviar información a la red y recibir una respuesta inmediatamente después. Si el servidor quiere enviar información al objeto, éste deberá esperar al siguiente ciclo de envío. Es comparable a los contadores de agua que

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA LORA

envían los datos de manera regular y espaciada en el tiempo. Este funcionamiento es el de menor consumo.

El segundo, permite al objeto conectado recibir los datos a intervalos de tiempo regulares y recibir parámetros por adelantado.

Finalmente el tercero, permite al receptor recibir los datos de manera continua. Éste último genera un gran gasto energético.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

A día de hoy, los métodos de recogida de residuos urbanos se están modernizando y buscan alcanzar el ahorro económico y medioambiental. Las nuevas tecnologías están permitiendo un reciclaje más personalizado y óptimo. Estos sistemas detectan al usuario, reconocen el tipo de residuo, reembolsan a la persona que recicla, compactan las basuras y están adaptados a personas con discapacidad [7].

En cuanto a contenedores inteligentes se refiere, en una de las ciudades de Holanda, país famoso por su compromiso medioambiental, existen unos contenedores que identifican al usuario. El objetivo principal del Ayuntamiento de Groningen es poder cobrar a cada ciudadano por los desechos generados y los reciclados.

Otras modalidades de contenedor inteligente son los que reembolsan al consumidor la parte correspondiente al producto reciclado, como ocurre en Alemania con los envases reciclables. También cabe destacar los contenedores de Barcelona, que compactan la basura mediante energía solar; los contenedores de Cádiz, que avisan a los operarios si ocurre alguna incidencia en los contenedores de aceite usado; y los contenedores de Londres, que muestran las noticias, los datos bursátiles y la información del tráfico.

En dos ciudades de Colombia, Ibagué y Santa Marta, el año pasado se instalaron 130 contenedores inteligentes que avisan cuándo están llenos, tienen pantallas LED que se alimentan de energía solar y además ofrecen señal Wi-fi. El fin de este proyecto es disminuir el impacto ambiental, tratar de reducir la cantidad de desechos y estimular el correcto reciclaje [8].

Aquí en España, en la ciudad de Santander, ya existen los contenedores inteligentes que identifican a los usuarios y las características de los residuos. Además, este sistema electrónico identifica la posición geográfica de cada contenedor, indicando al usuario cuál es el más cercano, cuál es su tasa de llenado y el tipo de residuo [9]. Santander es la capital

española del medio ambiente, que ha apostado por las *Smart Cities*, habiendo instalado ya en 2012 cerca de 12.000 sensores de todo tipo: temperatura, presión, nivel de ruido, tráfico, aparcamiento, ...

En Francia, el propósito de la empresa SigrenEa es que los contenedores produzcan información de múltiples maneras. Recibiendo información de diferentes sensores, la información se complementa y se generan datos más complejos. El tratamiento del *Big Data* les permite ofrecer servicios de una calidad y precisión inigualables. Los contenedores de envases envían información sobre su nivel de llenado dos veces al día para optimizar su recogida y evitar el desbordamiento. Los contenedores de vidrio, sin embargo, no tienen sensores de llenado porque han detectado que su uso es bastante regular, y por tanto cuentan con un programa de autoaprendizaje para simular su nivel de llenado. En cuanto a los contenedores de desechos orgánicos, esta empresa ha decidido dotarlos de un acceso controlado, es decir, identifican al usuario y además permiten conocer el nivel de llenado del contenedor. Además de esto, si un usuario detecta desechos fuera del contenedor, puede mandar una foto a la plataforma de SigrenEa para que inmediatamente alerte al equipo de recogida [10].

Estos son algunos ejemplos de los nuevos contenedores inteligentes que se han estado instalando desde 2010 en diferentes ciudades del mundo y que pretenden mejorar poco a poco la calidad de vida de los ciudadanos.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, el personal encargado de recoger los desechos urbanos realiza su trabajo de forma sistemática, es decir, unos días determinados a una hora concreta llevan a cabo el vaciamiento de todos los contenedores. Este proyecto se dirige a las empresas, públicas y privadas, de recogida de desechos urbanos, evitándoles pasar por todos los contenedores si no todos están llenos.

Con esta solución tecnológica se consigue economizar el tiempo y el dinero. Además, equipando cada contenedor de un sensor de llenado, se consigue conocer el consumo por zonas, detectar la necesidad de más contenedores en un determinado barrio o incluso la retirada de alguno de ellos. Trazando un camino óptimo de recogida, se ahorra tiempo de trabajo, dinero en combustible y se contamina menos. En el ejemplo de la Figura 5, el trayecto del camión de basuras pasa únicamente por los contenedores que sobrepasan el 60% de llenado. En cada contenedor (representado con una estrella) se indica el porcentaje de llenado.

4.3 METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo principal del proyecto, medir la tasa de llenado de un contenedor, el prototipo diseñado debe cumplir unas características. En primer lugar, el sensor debe ser adecuado para el uso en dicho caso, es decir, se estudiarán las características de diferentes sensores para elegir el más conveniente (precisión, precio, alcance,...). A continuación, habrá que asegurarse de que el sensor elegido funciona bien en diferentes tipos de contenedores (de vidrio, de plástico, de cartón,...). Además, habrá que tener en cuenta la autonomía del sensor, su volumen y su robustez. El producto final tiene que tener una autonomía de un año como mínimo, un volumen máximo de 1 dm³ (con el fin de que sea discreto y fácilmente instalable) y debe resistir los golpes y la degradación que pueda sufrir en el interior de un contenedor de basura.

Después de tener la parte del sensor terminada, se estudiará el servidor de Objenius (empresa con la que se realiza este proyecto) y se realizarán las pruebas necesarias de envíos de datos con la antena del módulo de LoRa.

Al tener los datos recogidos por el sensor, registrados en el servidor, mis compañeros podrán recuperar esta información y mostrarla en una página web de propia creación. En esta página se mostrarán los datos de todos los contenedores, las estadísticas, el trayecto óptimo de recogida, etc.

4.4 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Este proyecto, llevado a cabo durante un año, está compuesto por diferentes etapas, todas ellas tan importantes como difíciles. El trabajo ha sido organizado funcional y técnicamente para hacer posible su realización. La buena planificación ha hecho posible las diferentes presentaciones realizadas a lo largo del curso, con el fin de llevar un seguimiento controlado del proyecto. A finales de septiembre se propuso un *Gantt* para repartir las tareas a lo largo del año (Figura 6 y Anexo A). El 17 de octubre tenía lugar la primera reunión en la que se expondrían nuestros planes y métodos. A partir de entonces y

hasta mediados de diciembre, se trabajó en la concepción del sensor y en la programación del Arduino. A continuación, se realizaron diferentes tests con el prototipo obtenido y el 10 de enero se presentó el trabajo realizado hasta el momento. Después de esto, se investigó sobre la tecnología LoRa y el funcionamiento del servidor de Objenious. A lo largo del resto del curso, se programaron reuniones todas las semanas con los profesores del departamento de telecomunicaciones y el tutor del proyecto.

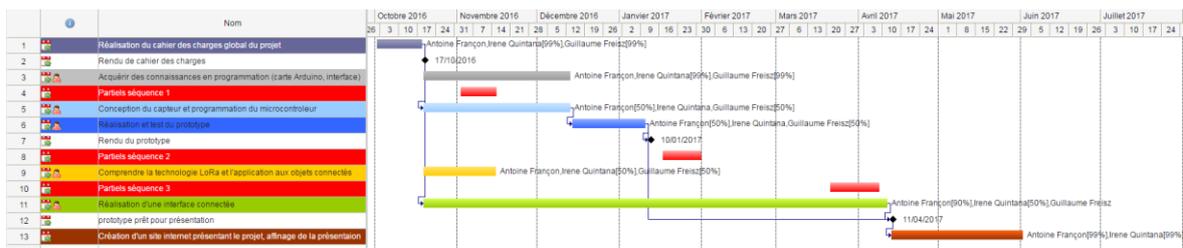


Figura 6: Gantt propuesta a principios de curso

En cuanto al presupuesto, para ser un proyecto rentable e interesante, los costes deben mantenerse dentro de unos límites. En este caso, el producto final asegura un ahorro a largo plazo, así que interesarse por este sensor de llenado es una buena inversión.

Sin embargo, para este primer prototipo, la empresa francesa Objenious, filial de Bouygues Telecom, nos ha financiado el proyecto proporcionándonos el “Kit Objenious”, compuesto del *Airboard* (un clon de Arduino Fio con una batería recargable), el módulo LoRaWAN ATIM con una antena (que permite conectarse a la red LoRa de Objenious) y el cable USB – mini USB (Anexo B). Por otro lado, la asociación SUMO de robótica de Supélec nos ha proporcionado el sensor ultrasonidos HC-SR04 y la asociación Rezo, encargada de proporcionar internet al Campus, ha acogido nuestra página web en su servidor.

Capítulo 5. CONCEPCIÓN DEL SENSOR IWASTE

El sensor Iwaste es un “objeto conectado” gracias a la conexión LoRa que permite conocer el nivel de llenado de un contenedor urbano. Para poder llegar al producto final, se necesita un sensor que mida la tasa de llenado de los contenedores, es decir, la distancia entre la superficie de los desechos y la parte alta del contenedor. Conocer esta distancia permite saber si la basura está llena o no, y tomar una decisión al respecto.

5.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE SENSOR

Tres tipos de sensor han sido contemplados: sensor láser, sensor infrarrojos y sensor ultrasonidos.

El primero, el sensor láser, es un sensor que mide distancias entre algunos metros y decenas de metros, pero que no detecta los objetos que reflejan la luz láser (vidrios, objetos cromados,...). Además es un sensor muy direccional y relativamente caro. A pesar de su precisión, no responde a las necesidades de este proyecto.

El sensor infrarrojos mide la distancia entre 5 y 80 cm, y la transmite en forma de señal analógica. Es un sensor sensible al color y a la naturaleza de los obstáculos, por lo que tampoco se adapta a las necesidades requeridas.

Por último, el sensor ultrasonidos, es capaz de detectar los obstáculos que están dentro de un ángulo de 15° y a una distancia de 2 a 400 cm. Sus resultados son estables y relativamente precisos. Comparado al sensor infrarrojos, el ultrasonidos es más barato y tiene un rango de medidas más amplio.

En la Tabla 1 se recogen las características principales de dichos sensores.

	Ultrasonidos	Infrarrojos	Láser
Alcance	de 2 a 400 cm	de 5 a 80 cm	de algunos metros a varias decenas de metros según el modelo
Direccionalidad	15° aprox.	5° aprox.	entre 0,5° y 1°
Precisión	relativamente preciso, pero la precisión disminuye con la distancia, el ángulo de medida y las condiciones de temperatura y presión	relativamente preciso, pero la precisión disminuye con la distancia	preciso, con error de algunos centímetros en medidas de varios metros
Coste	barato	barato	relativamente caro
Sensibilidad a interferencias	sensible a la temperatura y la presión	sensible a las fuentes de luz que contienen infrarrojos y al color y la naturaleza de los obstáculos	no detecta los objetos que reflejan la luz láser (vidrios, objetos cromados,...)

Tabla 1. Comparación de los tres sensores estudiados [11]

Por su alcance, su direccionalidad y su precio, el sensor elegido ha sido el sensor ultrasonidos HC-SR04 (Figura 7). Aunque este sensor no es extremadamente preciso, en este caso no es necesaria una precisión excesiva.



Figura 7: sensor ultrasonidos HC-SR04

5.2 ASPECTOS TÉCNICOS DEL SENSOR HC-SR04

El módulo HC-SR04 (Anexo C) dispone simplemente de 4 pines: VCC, TRIG, ECHO y GND. El pin “TRIG” emite un impulso a nivel alto (5V) durante al menos 10 μ s y entonces el módulo comienza la lectura (una ráfaga de 8 impulsos ultrasónicos). Después de haber realizado la medida, si se detecta un objeto, el pin “ECHO” pasa a nivel alto (5V).

En la Figura 8 se explica el funcionamiento de dicho sensor.

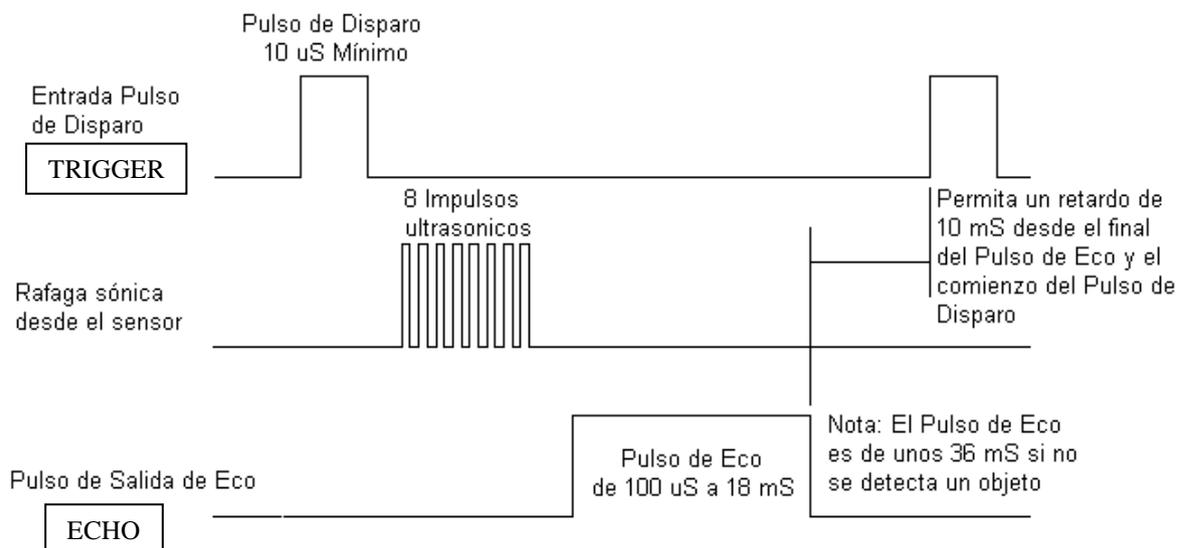


Figura 8: funcionamiento del sensor ultrasonidos [12]

La distancia a la cual se sitúa el obstáculo es proporcional a la duración del impulso. Esto permite calcular fácilmente la separación al objeto detectado con la siguiente fórmula [13]:

$$\text{Distancia} = ((\text{Duración del impulso a nivel alto}) * (\text{velocidad del sonido: } 340 \text{ m/s})) / 2$$

La siguiente imagen (Figura 9) resume el proceso de medición del sensor ultrasonidos.

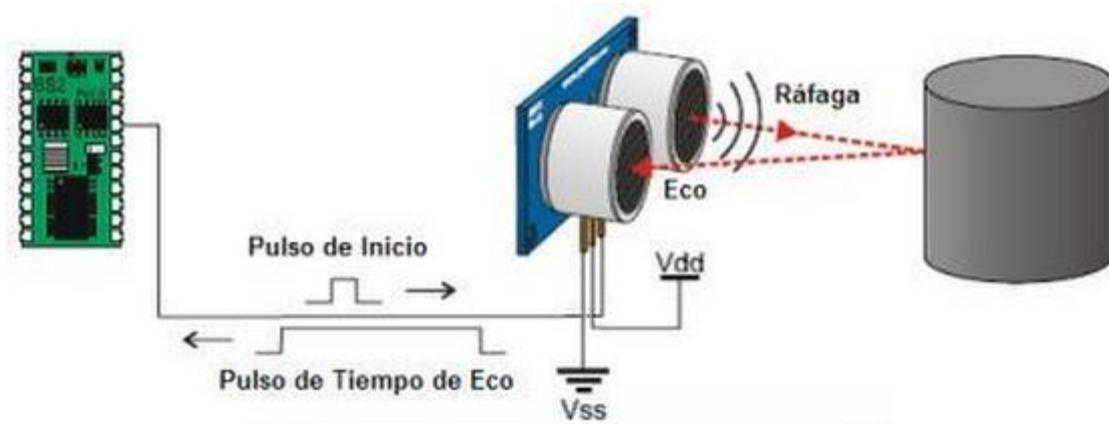


Figura 9: proceso completo de medición del sensor ultrasonidos

5.3 TESTS

Después de haber comprendido el funcionamiento del sensor HC-SR04, se ha llevado a cabo la realización de algunos experimentos para determinar el comportamiento del ultrasonidos de cara a distintos materiales. Se ha comprobado la reacción del sensor al papel, al plástico, al vidrio y al textil. Funciona muy bien con el papel y el plástico, incluso con objetos que tienen una forma irregular (Figura 10). También se han hecho pruebas en un contenedor de vidrio y las medidas obtenidas han sido las correctas. Sin embargo, en un contenedor de ropa, las medidas no son razonables si la ropa es negra o rugosa (por ejemplo, con una bufanda de lana gorda las medidas obtenidas son muy pequeñas y muy grandes alternativamente, como cuando no se detecta ningún obstáculo).

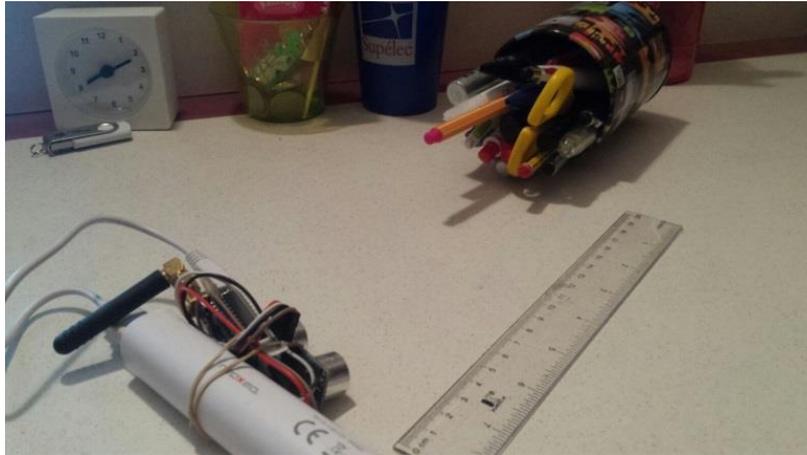


Figura 10 : objetos irregulares

5.4 CONTROL DEL SENSOR

Para controlar el sensor, se ha utilizado el *Airboard* (un clon de Arduino Fio proporcionado por Objenious, Figura 11) y el programa informático de Arduino (Figura 12 y Anexo D). Además, se ha añadido una batería externa de 5V para alimentar el sensor.

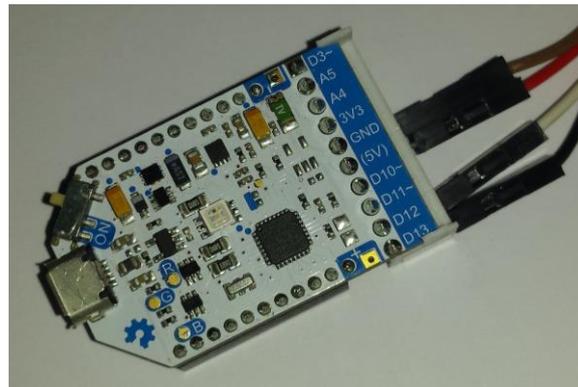


Figura 11: el Airboard utilizado

```

ProjetLonginical$
#define trigPin 12
#define echoPin 13

void setup() {
  Serial.begin (9600);
  pinMode (trigPin, OUTPUT); //Emite el pulso de disparo
  pinMode (echoPin, INPUT); //Recibe el reflejo del pulso enviado
}

void loop() {
  digitalWrite(trigPin,LOW); //Para asegurar un pulso limpio
  delayMicroseconds(5); //se pone el TRIG a LOW durante 5 us

  digitalWrite(trigPin, HIGH); //Se genera el disparo (nivel alto)
  delayMicroseconds(10); //durante 10 us

  digitalWrite(trigPin,LOW); //Se vuelve al nivel bajo para acabar el pulso
  temps = pulseIn(echoPin, HIGH); //Se calcula el tiempo (us) entre pulso y pulso

  dist = int(0.017*temps); //Se aplica la fórmula para convertir el tiempo en distancia (cm)
  Serial.print("Distance = ");
  Serial.print(dist);
  Serial.println(" cm");|

```

Figura 12: interfaz de Arduino. Código simple para el sensor ultrasonidos

El siguiente esquema (Figura 13) describe bien la cadena desde el sensor ultrasonidos hasta la plataforma de Objenius.

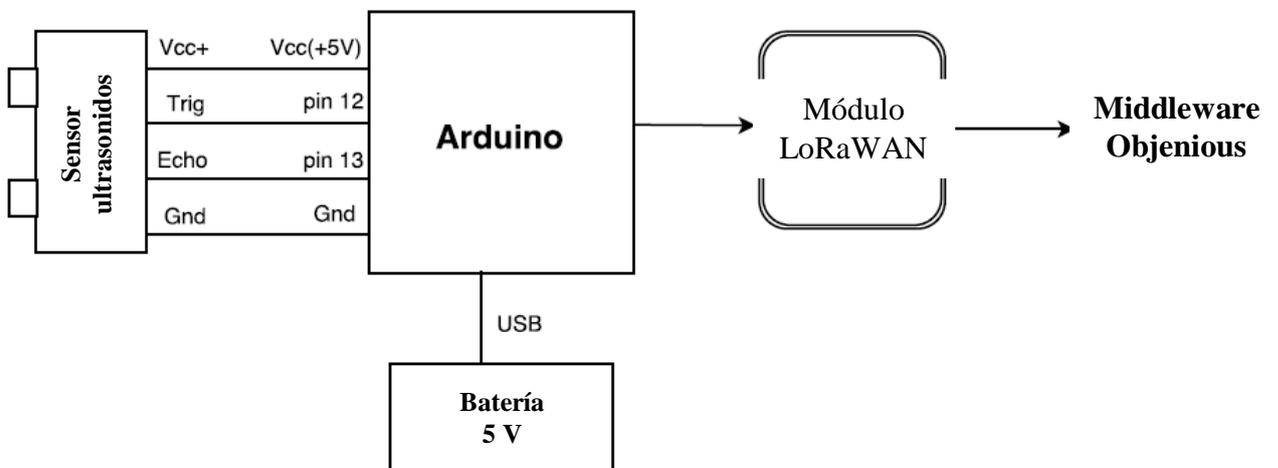


Figura 13: esquema de la cadena desde el sensor hasta la plataforma de Objenius

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El producto final de este Proyecto de Fin de Grado es un sensor de llenado destinado a los contenedores de una *Smart City*. En la Figura 14 y la Figura 15 se muestra el sensor Iwaste y su instalación en un contenedor de basuras. El resultado se compone de un sensor ultrasonidos, un clon de Arduino Fio con su batería recargable y un módulo LoRaWAN ATIM con una antena (Figura 16). Dicho módulo permite conectarse a la red LoRa de Objenious y transmitir al servidor las medidas tomadas por el sensor.



Figura 14: sensor Iwaste

La caja Iwaste fue subvencionada por Supélec y el diseño fue confeccionado por nosotros mismos. El logo del producto es visible por los dos laterales. Se trata de un objeto de 15 x 8 x 4,5 cm, con dos orificios por los que asoman el emisor y el receptor del sensor ultrasonidos. Dicha caja es de un tamaño manejable, fácilmente instalable y pesa 260 gr.



Figura 15: sensor instalado en un contenedor

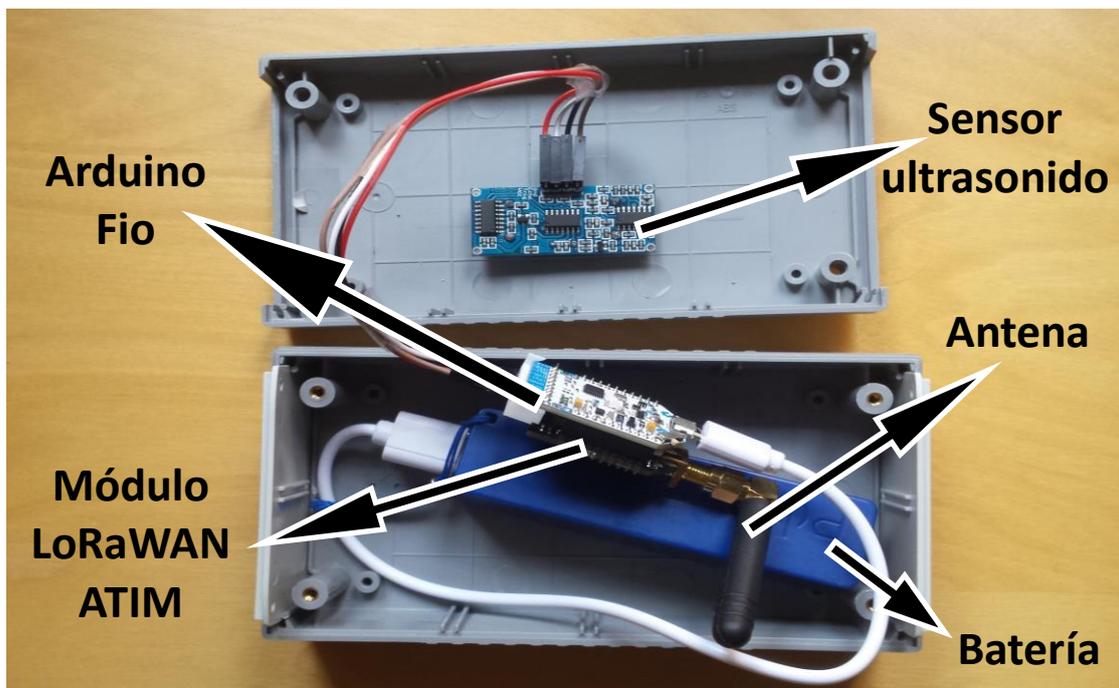


Figura 16: el interior de la caja Iwaste

6.1 EL SENSOR

El sensor ultrasonidos ha sido probado sobre una superficie ideal para determinar su fiabilidad. Los resultados obtenidos (Figura 17) muestran que si la distancia real está entre 2 y 40 cm, las medidas son exactas; si la distancia es de 40 a 80 cm, las medidas contienen un error de 1 ó 2 cm; y finalmente si la distancia real es superior a 80 cm, el error es de hasta 5 cm.

Distancia real (cm)	Distancias medidas (cm)						
2	2	2	2	2	2	2	2
4	4	3	4	4	4	4	4
6	6	6	6	6	6	6	6
12	12	12	12	12	12	12	12
20	20	20	20	20	20	20	20
40	39	39	39	39	39	39	39
60	59	59	59	59	59	59	59
80	78	78	78	78	78	78	78
100	96	96	97	96	96	97	97
120	115	115	115	116	116	116	115
140	137	136	137	136	135	136	136
160	155	157	156	155	156	155	156

Figura 17: resultados del test del sensor a diferentes distancias

Asimismo, se ha llevado a cabo una prueba en situación real, en la basura de un apartamento (Figura 18).



Figura 18: sensor Iwaste instalado en la basura de un apartamento

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos durante 24 horas de un día cualquiera. La columna de la izquierda corresponde a la fecha y hora de la medida tomada (realizando una medida por hora) y la de la derecha es la distancia entre la superficie de la basura (más 40 cm, distancia a la que está colocado el sensor de la basura) y la superficie de los desechos. La distancia máxima se alcanza cuando la basura está vacía y la mínima cuando está llena.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

11/05/2017 13:02:03	32.87
11/05/2017 14:00:28	32.7
11/05/2017 15:00:32	33.42
11/05/2017 16:00:37	33.83
11/05/2017 17:00:42	54.29
11/05/2017 18:00:47	64.53
11/05/2017 19:00:52	63.78
11/05/2017 20:00:58	63.81
11/05/2017 21:01:04	77.28
11/05/2017 22:01:09	46.58
11/05/2017 23:01:13	70.95
12/05/2017 00:01:18	46.51
12/05/2017 01:01:23	45.93
12/05/2017 02:01:29	45.69
12/05/2017 03:01:34	45.9
12/05/2017 04:01:40	45.11
12/05/2017 05:01:45	45.32
12/05/2017 06:01:49	45.11
12/05/2017 07:01:54	45.93
12/05/2017 08:01:58	45.69
12/05/2017 09:02:03	45.93
12/05/2017 10:02:09	45.73
12/05/2017 11:02:14	45.9
12/05/2017 12:02:20	45.96
12/05/2017 13:02:25	46.37

Tabla 2. Resultados de un test del sensor Iwaste instalado en una basura

A partir de esta tabla se pueden sacar varias conclusiones. En primer lugar, se puede comprobar que entre las 16h y las 17h la basura ha sido vaciada (el sensor medía 34 cm a las 16h, es decir, los desechos rebosaban el límite de la papelera porque no tiene tapa). La medida de las 17h es algo menor que la de las 18h porque la bolsa estaba vacía y por tanto el fondo de la misma no estaba suficientemente abierto, sin embargo a las 18h ya se ha introducido algo. A continuación, se puede observar que las medidas tomadas a las 21h y las 23h son falsas (son medidas que no tienen sentido). Asimismo, las medidas pasan de 63 cm a 46 cm entre las 20h y las 22h, acontecimiento derivado de los desechos de la cena. Finalmente, las medidas tomadas entre las 22h y las 13h varían entre 45.11 cm y 46.58 cm para una misma distancia real (aquí se refleja que la precisión del sensor no es exacta al 100%). El siguiente gráfico (Figura 19) resume el contenido de la tabla en porcentajes de llenado cada hora del día.

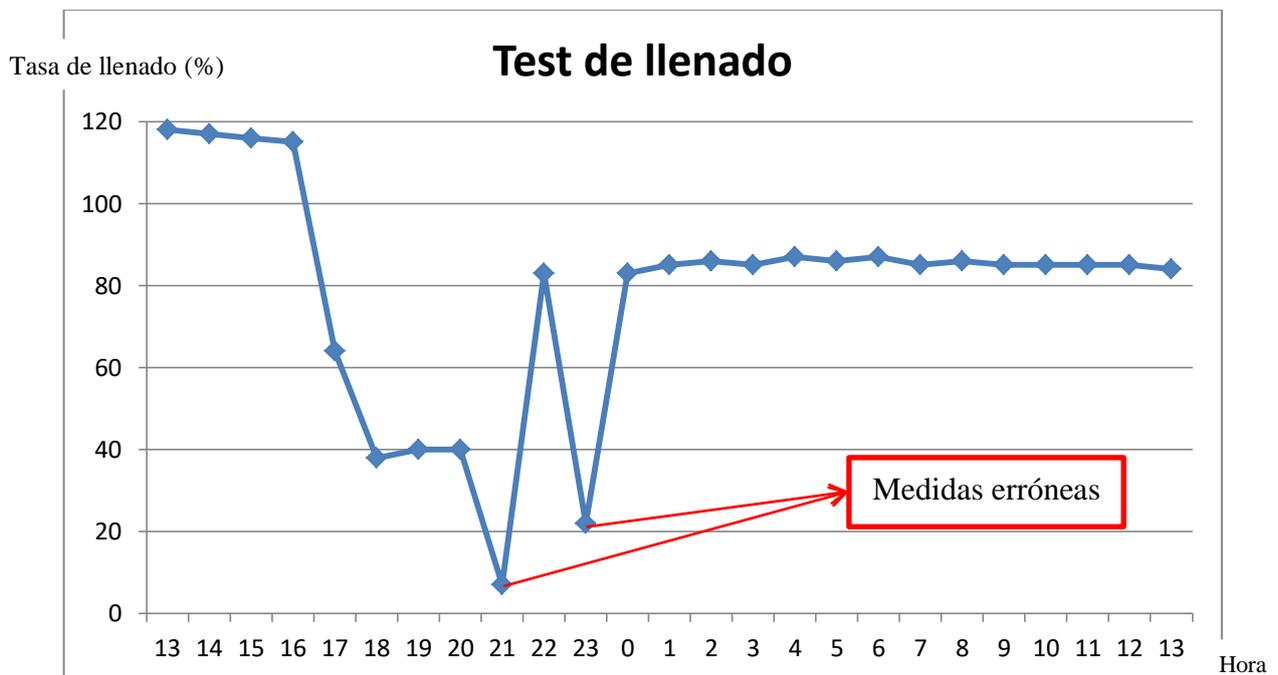


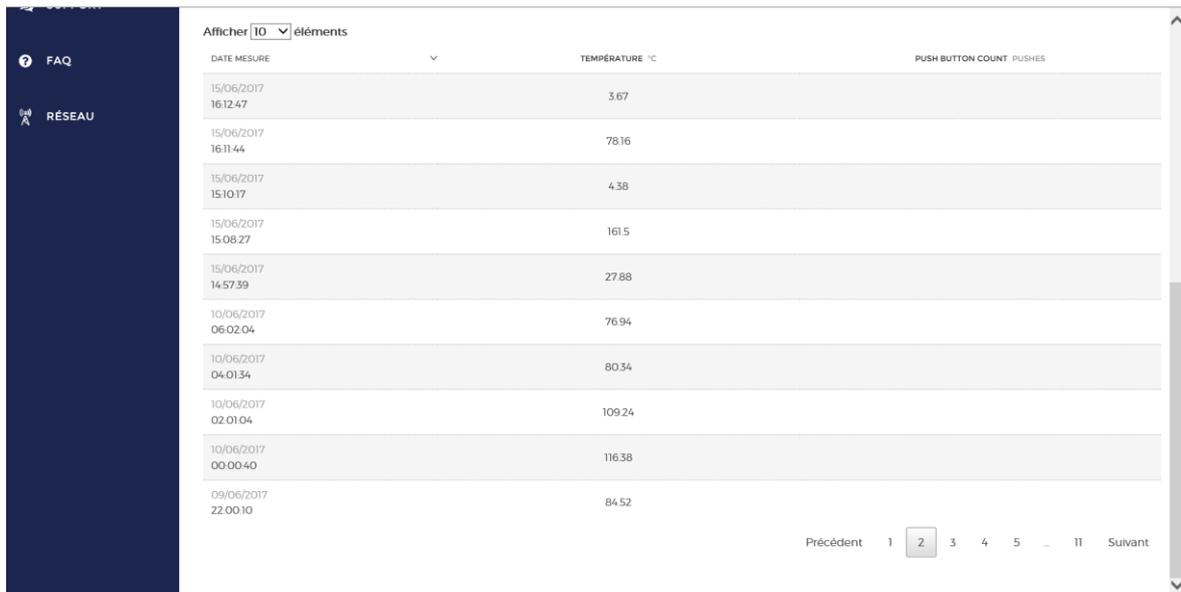
Figura 19: gráfico de los resultados del test del sensor Iwaste instalado en un basura

6.2 LA BATERÍA

Para conseguir un buen funcionamiento del sensor, la batería incorporada en el Arduino (3.3V) no era suficiente. En un principio, se barajaron tres soluciones para dicho problema: la primera fue buscar un sensor que funcionase con 3.3V, la segunda diseñar un circuito para aumentar la tensión disponible y por último se barajó la posibilidad de añadir una batería de 5V (o dos baterías de 3.3V en serie con un divisor de tensión). Al final, se optó por añadir una batería externa de 5V, la solución más simple.

6.3 EL SERVIDOR DE OBJENIOUS

Después de haber tomado medidas con el sensor de la tasa de llenado, estos datos se transmiten al servidor de Objenius, gracias a la conexión LoRa. A continuación, mis compañeros reciben la información en nuestra página web de Iwaste y la analizan. En la plataforma de Objenius se pueden visualizar los datos recibidos (Figura 20) y la afluencia de datos, como se muestra en la Figura 21.



DATE MESURE	TEMPÉRATURE °C	PUSH BUTTON COUNT PUSHES
15/06/2017 16:12:47	3.67	
15/06/2017 16:11:44	78.16	
15/06/2017 15:10:17	4.38	
15/06/2017 15:08:27	161.5	
15/06/2017 14:57:39	27.88	
10/06/2017 06:02:04	76.94	
10/06/2017 04:01:34	80.34	
10/06/2017 02:01:04	109.24	
10/06/2017 00:00:40	116.38	
09/06/2017 22:00:10	84.52	

Figura 20: distancias recibidas en la plataforma de Objenius

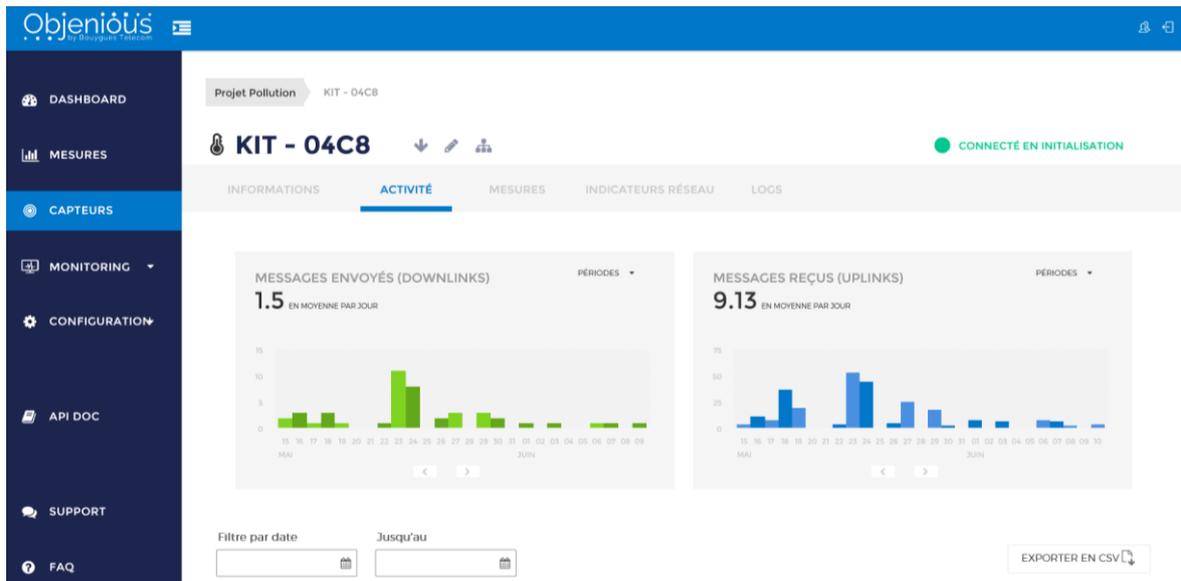


Figura 21: afluencia de datos recibidos en la página web de Objenious

6.4 SLEEP MODE

Además del ahorro de energía que realiza intrínsecamente la tecnología LoRa, se ha añadido un *power management* en el *firmware*. El *power management* consiste en la implementación del *Sleep mode* del microcontrolador ATmega328P incorporado en la tarjeta del Airboard. El *Sleep mode* permite al módulo “dormir” cuando no está transmitiendo ningún dato. En funcionamiento a “pleno régimen” (por ejemplo 1 dato/minuto), la autonomía de la batería es de 6 meses. Con la implementación del *Sleep mode* y una frecuencia de envío de 1 dato/hora, la autonomía de la batería es de 25 meses aproximadamente.

6.5 CUANTIFICACIÓN DEL AHORRO CONSEGUIDO

De manera tradicional, el camión de la basura realiza su recorrido por todos los contenedores, estén más o menos llenos. Utilizando los datos de la página web y los resultados de ocho simulaciones, se ha podido realizar una estimación del ahorro conseguido gracias a este prototipo. El trayecto total estudiado, el que pasa por todos los contenedores observados, es de 41 km. La tasa de llenado de las basuras ficticias se ha

simulado para poder extraer conclusiones próximas a la realidad. El trayecto simulado que transita únicamente por los contenedores llenos es de 18, 20, 21, 23, 24, 24, 26 y 31 km, por lo tanto la media es de 23km aproximadamente. Gracias al producto diseñado, se ahorran 17 km de media por trayecto.

Igualmente, basándose en información de terceros [14], se puede considerar que el consumo de un camión de basura es de 30 L cada 100 km. En consecuencia, se ahorran 5 L de combustible por cada trayecto y 45 min de tiempo que corresponden también a los 17 km ahorrados.

En conclusión, la recogida de desechos urbanos, usando el sensor de llenado en la zona estudiada, supone un ahorro de 17 km de trayecto, 45 minutos y 5 L de combustible, respecto a un trayecto de 41 km que pasaba por todos los contenedores. Estas medidas son aproximadas, pero se acercan bastante a la realidad y nos dan una buena estimación del ahorro conseguido gracias a Iwaste.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A lo largo de este proyecto se ha concebido un sensor de llenado, capaz de medir la tasa de llenado de la basura en la que está instalado. Este sensor de llenado, un “objeto conectado”, transmite el resultado de sus mediciones por la red LoRa hacia el servidor de Objenius. Después estos datos se reciben en la página web creada, donde son tratados para facilitar su interpretación por parte del usuario. La tasa de llenado de las basuras está también disponible en tiempo real en la página web. Finalmente, se propone un trayecto de recogida óptimo, el cual pasa únicamente por los contenedores llenos.

Aunque las medidas tomadas en las pruebas realizadas no carezcan completamente de errores, el resultado de las pruebas es globalmente satisfactorio. El producto propuesto responde bien al objetivo de este Proyecto de Fin de Grado, es decir, permite optimizar la recogida de desechos urbanos. Esta optimización se traduce en ahorro de tiempo, dinero y contaminación.

A pesar de haber llegado el final de este trabajo, todavía se puede aportar alguna mejora a este producto. En un futuro se podrían añadir baterías solares o pantallas que informen al ciudadano y recojan opiniones sobre el estado del contenedor. Con las baterías solares se estaría usando una fuente de energía renovable y con las pantallas se puede mostrar la hora o la previsión del tiempo, o incluso dónde está el contenedor más cercano. Además, estas pantallas podrían recoger las aportaciones del ciudadano, por ejemplo si hay basura que esté fuera del contenedor. Asimismo, este tipo de contenedor inteligente se puede combinar con otros, como el de compresión de los residuos.

Y para la parte de la página web que muestra los datos obtenidos, alguna de las propuestas de futuro sería incluir el estado del tráfico para trazar el camino óptimo de recogida de basuras, evitando así los atascos de ciertas calles.

Capítulo 8. DIVULGACIÓN DEL PROYECTO

En Francia, uno de los retos de las Escuelas de Ingeniería es colocar los proyectos en la esfera socioeconómica y considerar el lanzamiento del producto final al mercado. A lo largo del desarrollo de este proyecto, fuimos cumpliendo nuestro objetivo de divulgar nuestro trabajo e intentar que compitiera contra otros proyectos bajo los ojos de grandes empresas del sector. No llegamos a crear una *start-up*, pero presentamos nuestro prototipo Iwaste a dos concursos organizados por los grandes del sector IoT.

8.1 HACKATON OBJENIOUS - J2S

Para empezar, tuvimos la oportunidad de participar en un *hackaton* organizado a principios de diciembre de 2016 por Objenius en colaboración con J2S (una asociación de alumnos que pone en contacto a las grandes empresas con los futuros ingenieros). Objenius [1] es la filial de Bouygues Telecom (gran empresa francesa de telecomunicaciones) que se encarga de los “objetos conectados” y da servicio con su red LoRa a otras empresas que quieren crear sus propios sensores conectados. Esta empresa fue la que nos proporcionó el kit necesario para crear nuestro propio sensor de llenado. El proyecto Iwaste no fue ganador, porque no cumplía con el formato de concurso, había que diseñar un primer prototipo en tan sólo dos días. Sin embargo, esta experiencia nos sirvió para demostrar a los miembros de Objenius que nuestro proyecto sería interesante.

Nuestra participación consistió en una presentación de quince minutos, delante de un jurado compuesto por miembros de Objenius, entre otros el director general M. Stéphane Allaire (Figura 22). Por aquella fecha, nuestro proyecto estaba en una fase intermedia, el sensor ultrasonidos funcionaba bien (a excepción de algunos problemas con la batería y la recuperación de datos en el servidor de Objenius) pero la plataforma web donde mostraríamos los datos obtenidos estaba aún en construcción.



Figura 22: dos miembros del equipo Iwaste delante del jurado del hackaton

Al final de la presentación, recibimos comentarios muy positivos por parte del jurado. Además, nos explicaron que actualmente están trabajando con *start-ups* en este mercado, lo que constata que nuestra idea es compartida y prometedora, a juzgar por el interés que ya ha suscitado en otras empresas. Otro punto interesante fue confrontar nuestro trabajo con el de empresas que ya habían trabajado en ello y confirmar que habían tenido las mismas dificultades (limitación de la autonomía de la batería o falta de precisión para tomar medidas en contenedores textiles, por ejemplo).

Como conclusión, esta experiencia nos permitió entrar en contacto con la competición de mercado y el saber vender bien un producto, de lo que salimos con más fuerzas para seguir trabajando en el proyecto. Asimismo, pudimos verificar el potencial del prototipo Iwaste y escuchar las propuestas de otros participantes.

8.2 CONCURSO HUAWEI

Cuando el proyecto estaba ya en una fase más avanzada, tuvimos el honor de poder participar en el concurso Huawei Talentos Digitales 2017 (Figura 23), organizado por Huawei Francia.





Le concours Huawei vous ouvre les portes de la Chine !

TALENTS NUMÉRIQUES 2017

À la clé, un séjour d'immersion technologique de deux semaines en Chine (Pékin et Shenzhen)

DÉCOUVRIR LA CULTURE, les valeurs et les produits de Huawei

SE FORMER aux dernières technologies télécoms

RENCONTRER ET ÉCHANGER avec des experts et des entrepreneurs de l'écosystème local et international

- 

Élève ingénieur, avec une spécialité télécoms ou informatique et réseaux : participez au concours !
- 

Déposez en ligne votre contribution : Présentez un projet qui réponde aux enjeux sociétaux de demain grâce aux technologies du futur : IA, IoT...
- 

Les lauréats s'envoleront pour un séjour de 2 semaines d'immersion en Chine :
 • A Pékin au sein de la Beijing Language and Culture University
 • A Shenzhen au cœur du siège social de Huawei

MERCREDI 8 MARS 2017 : date limite de dépôt des candidatures

 <https://twitter.com/HuaweiFr>
 Pour participer : TALENTSNUMERIQUES.FR

Figura 23: cartel del concurso de Huawei

Este concurso forma parte del programa mundial “Seeds for the future”, organizado por Huawei en diferentes países. Los ganadores de cada país ganarían un viaje a China para conocer las infraestructuras de Huawei. Para participar, era necesaria una preinscripción *online* con unas diapositivas que explicaran el proyecto y un vídeo corto de

presentación. Los participantes seleccionados serían convocados a un *bootcamp* de una jornada completa el sábado 25 de marzo en París.

8.2.1 EL BOOTCAMP

El objetivo de *bootcamp* era preparar a los participantes para hacer una buena presentación de sus proyectos y además poder intercambiar opiniones con diferentes miembros de Huawei. Por cuestión de fechas y disponibilidades, sólo un miembro del equipo Iwaste pudo acudir a la cita. Antoine Françon, el compañero que acudió al encuentro, tuvo la oportunidad de charlar y dar a conocer nuestro producto a directores y responsables de la empresa, como:

- **Isabelle Leung**, directora de comunicación externa y actos públicos de Huawei Francia
- **Merouane Debbah**, director del laboratorio de matemáticas de Francia y Rusia de Huawei y antiguo alumno de Supélec
- **Victoria Beltrán López**, responsable de contratación de Huawei Francia
- **Sophie Viger**, directora de Web@cadémie

Al final de la jornada, Antoine presentó el proyecto Iwaste delante de un jurado, el público y las cámaras (Figura 24).

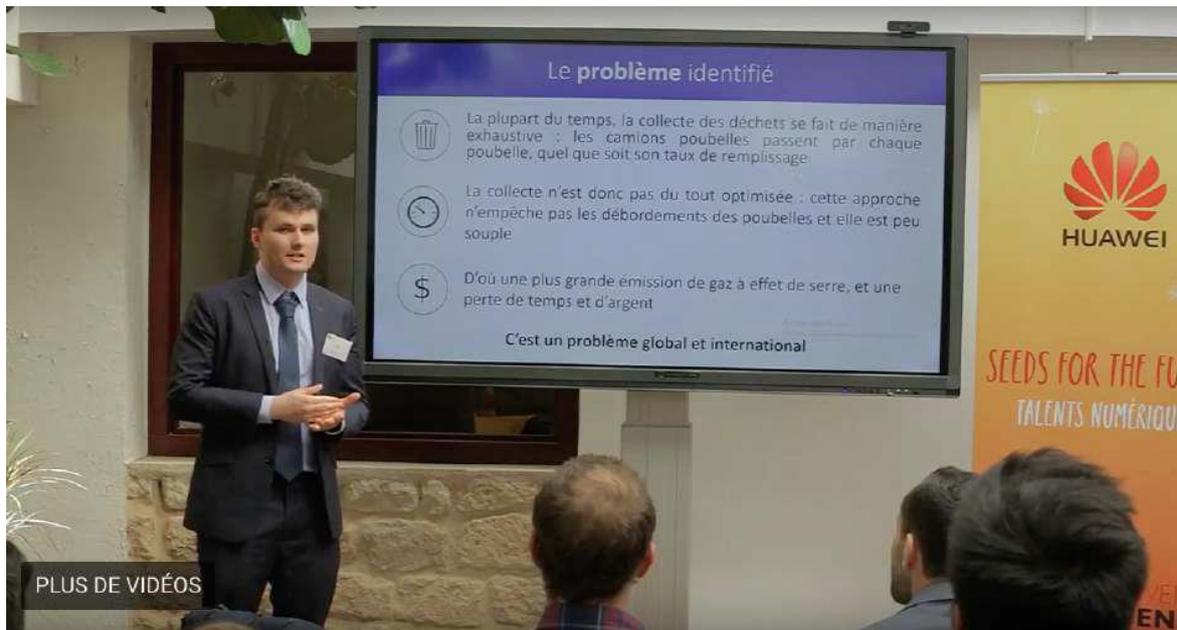


Figura 24: Antoine presentando Iwaste en el concurso de Huawei

Iwaste fue uno de los mejores proyectos presentados en el *bootcamp*, teníamos mucha ventaja por haber trabajado en un equipo de cuatro personas y haber empezado a principios de curso.

8.2.2 ENTREGA DE PREMIOS

El 4 de abril tuvo lugar la entrega de premios del concurso. Había 45 participantes que habían llegado al *bootcamp* y solamente 20 iban a ser premiados. Al acto acudieron Karl Song, el Director General de Huawei Francia, y un prestigioso jurado (Figura 25).

Newsroom Huawei en France

Les membres du jury se sont réunis avant-hier à Paris pour choisir les 20 dossiers les plus convaincants. Le jury était composé de :

- **Benoist Apparu** – Président du Jury ; Ancien Ministre, Député de la Marne
- **Agathe Cagé** – Membre fondateur de Cartes sur table
- **Isabelle Leung** – Directrice des Affaires Publiques et de la Communication de Huawei en France
- **Pascal Pogam** – Rédacteur en chef, Les Echos
- **Robin Rivaton** – Directeur général de l'Association Paris Régions Entreprise
- **Emmanuel Ullmo** – Directeur de l'IHES



Jury 2017 de Talents Numériques

Figura 25: jurado 2017 del concurso Talentos Digitales

Finalmente, el proyecto Iwaste fue elegido ganador y premiado con un viaje a China para conocer la Universidad de Ciencias de Pekín y el “Silicon Valley” chino, dónde se sitúa la sede de Huawei. En la Figura 26 se muestran los ganadores del concurso.



Figura 26: foto de los participantes premiados

8.3 FUTUROS CONCURSOS

El tribunal que nos evaluó en Francia, compuesto por el Director del Departamento de Telecomunicaciones de Supélec, el Director del Departamento de Telecomunicaciones de Centrale Paris, dos representantes de Objenious y además algún representante de otras empresas del sector del IoT, nos felicitó por el trabajo y nos propuso presentarlo a la *Smart City Expo* de Barcelona del 14 al 16 de noviembre de este año. Nos preguntaron si como grupo seguiríamos el proyecto, pero dadas las circunstancias personales de cada uno, el seguir juntos es inviable.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

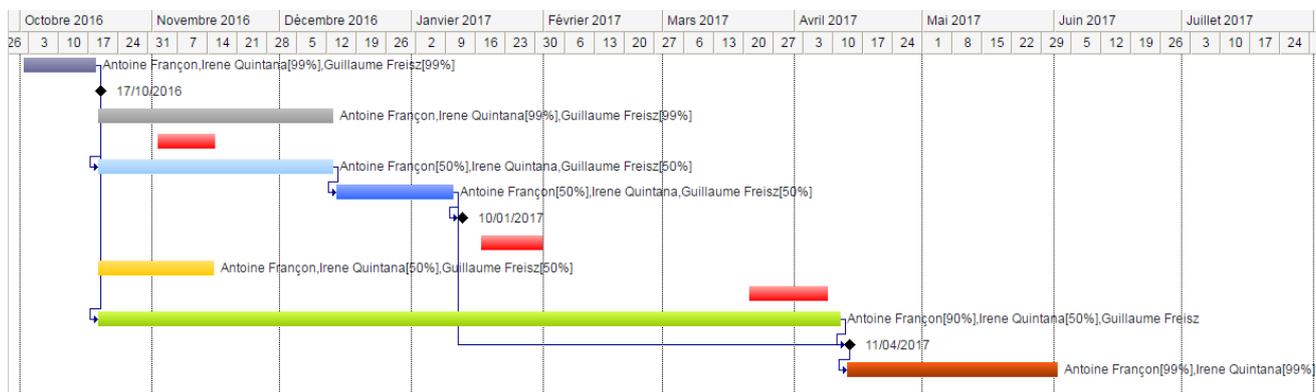
- [1] Página web de la empresa Objenious, operador de una red LoRa para “objetos conectados”: <http://objenious.com/>
- [2] “Tecnología LoRa para sistemas IoT” – Andrew Bickley, Director de Marketing de Arrow Electronics. <http://www.comunicacionesinalambricashoy.com/tecnologia-lora-sistemas-iot/>
- [3] Esquema obtenido de la página web de Bouygues Telecom, donde publicitan su nueva tecnología LoRa de la mano de su filial Objenious. Textos traducidos del francés: <https://www.corporate.bouyguestelecom.fr/nos-activites/linternet-des-objets/>
- [4] “¿Qué es LoRa?” – Luis Miguel García. Agosto 2016. <https://www.google.es/amp/s/unpocodejava.wordpress.com/2016/06/28/que-es-lora/amp/>
- [5] “LoRaWAN” – Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/LoRaWAN>
- [6] Página web de la LoRa Alliance que explica dicho protocolo: <https://www.lora-alliance.org/technology>
- [7] “Reciclaje en contenedores inteligentes” - Red Argentina de Municipios Frente al Cambio Climático: http://www.ramcc.net/index.php?option=com_k2&view=item&id=312:reciclaje-en-contenedores-inteligentes&Itemid=553
- [8] Smart Lighting. Información y negocios para nuevos tiempos. <http://smart-lighting.es/contenedores-inteligentes-colombia-indican-cuando-estan-llenos/>
- [9] Twenergy. Una iniciativa de Endesa por la eficiencia y la sostenibilidad. <https://twenergy.com/a/santander-una-smartcity-con-contenedores-inteligentes-482>
- [10] SigrenEa. Connectivity for Smart Recycling. <http://sigrenea.com/le-conteneur-intelligent/>
- [11] “El sensor ultrasonidos” - Le Blog. Génération Robots : <http://www.generationrobots.com/blog/fr/2017/03/capteur-ultrason-capteur-a-ultrason-en-vente-chez-generation-robots/>
- [12] Diagrama explicativo del funcionamiento del sensor ultrasonidos: https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/infra_y_ultra/aplicaciones_ultrasonidos.htm
- [13] Documentación del sensor ultrasonidos HC-SR04: <https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>

- [14] Experiencias sobre el consumo de combustible de un camión de basura:
<https://fr.answers.yahoo.com/question/index?qid=20071222154834AABJXwt>

ANEXO A. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

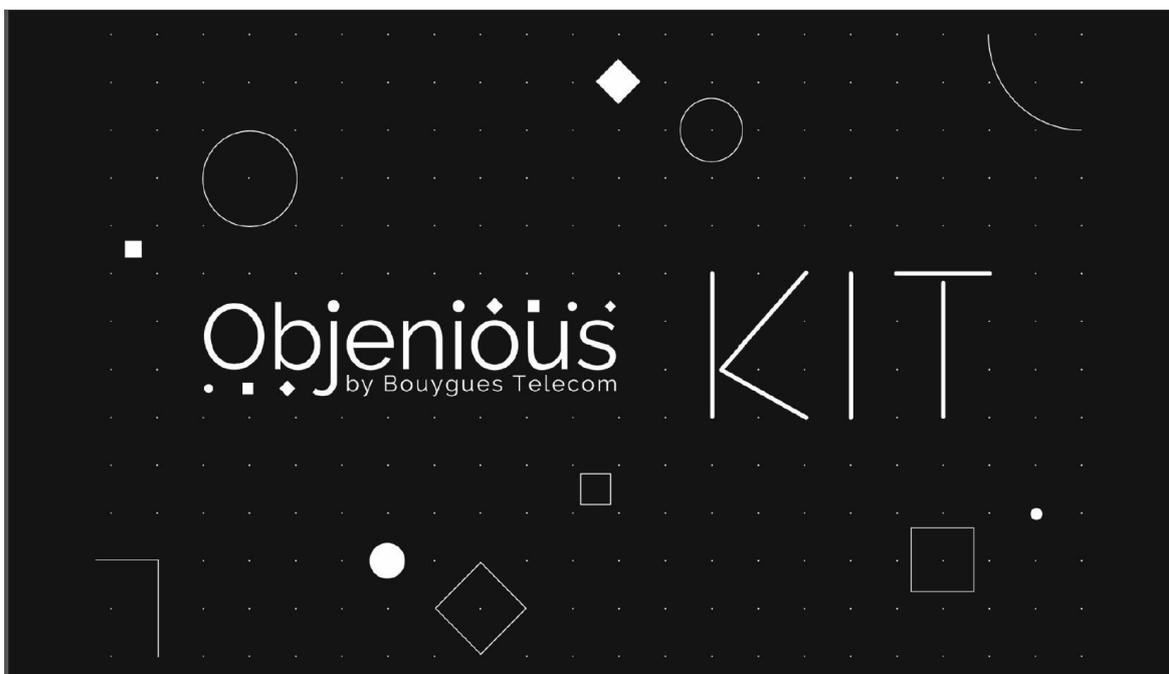
Gantt que presentamos al principio de curso con la repartición de tareas a lo largo del año.

	Réalisation du cahier des charges global du projet
	Rendu de cahier des charges
	Acquérir des connaissances en programmation (carte Arduino, interface)
	Partiels séquence 1
	Conception du capteur et programmation du microcontrôleur
	Réalisation et test du prototype
	Rendu du prototype
	Partiels séquence 2
	Comprendre la technologie LoRa et l'application aux objets connectés
	Partiels séquence 3
	Réalisation d'une interface connectée
	prototype prêt pour présentation
	Création d'un site internet présentant le projet, affinage de la présentation



ANEXO B. KIT OBJENIOUS

Algunas de las diapositivas de la presentación del “Kit Objenius”:



A. INTRODUCTION

- **Le kit d'Objenius a été conçu pour vous aider à tester notre réseau LoRa. Il vous permet de prototyper rapidement pour tester vos projets.**

Le kit est basé sur un clone d'Arduino nommé « the airboard ». Il vous permettra de réutiliser les centaines de fichiers de code et cas d'usage Arduino disponibles sur internet. De plus, il s'agit d'un clone super ergonomique qui vous permettra de créer des objets connectés les plus réduits possibles.

Pour donner de l'autonomie à vos projets, « the airboard » inclut une batterie rechargeable.

Il est donc nécessaire de connaître Arduino pour pouvoir programmer vos propres solutions LoRa avec notre kit.

3/17

B. LE KIT

Module LoRaWAN ATIM + Antenne
Il vous permet de vous connecter au réseau LoRa d'Objenious.

TheAirboard
C'est un clone d'Arduino avec une batterie rechargeable incluse.

Cable USB - mini USB
Il vous permet de programmer votre Airboard (Arduino) et de debugger votre sketch.

Capteurs :

1. Bouton poussoir : Tester un bouton d'urgence LoRa.
2. Résistance thermique : Créer un capteur de température.
3. Deux résistances.
4. Capteur d'ouverture.

Câbles

4/17

D. REPROGRAMMER LE AIRBOARD

a. Relier le FTDI au airboard

FTDI <-> AirBoard
GND <-> GND
TX <-> RX
RX <-> TX
DTR <-> BWR

Attention au sens du connecteur sur la AirBoard!
Le bout métallique est vers dehors pour une connexion facile :

- N'oubliez pas d'enlever la batterie pour voir apparaître les bons connecteurs ;
- Orientez les câbles comme sur la photo (entouré en rouge) le côté avec l'encoche métallique vers l'extérieur.

8/17

ANEXO C. DATASHEET DEL SENSOR HC-SR04

Datasheet del sensor ultrasonidos HC-SR04:

www.AccuDIY.com

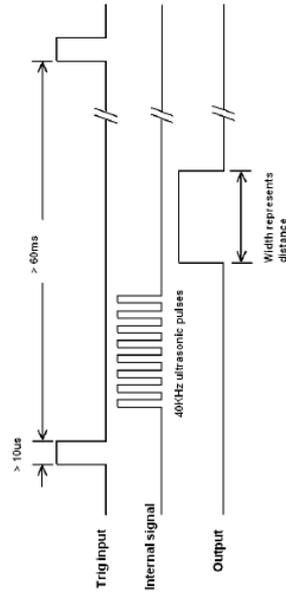


Fig. 4

- Notes:
1. The width of trig signal must be greater than 10µs
 2. The repeat interval of trig signal should be greater than 60ms to avoid interference between connective measurements.

Specifications

Parameters	Specification
Operating Voltage	+5V DC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Maximum Distance	400cm
Minimum Distance	2cm
Detect Angle	15 degree
Resolution	0.3cm
Input Trig Signal	> 10µs TTL pulse
Output Signal	TTL pulse with width representing distance
Weight	
Dimension	45 x 20 x 15 mm

Copyright 2011 AccuDIY.com All rights reserved

HC-SR04 Ultrasonic Range Finder Manual



Fig. 1

Features

- Distance measurement range: 2cm - 400cm
- Accuracy: 0.3cm
- Detect angle: 15 degree
- Single +5V DC operation
- Current consumption: 15mA

How It Works

HC-SR04 consists of ultrasonic transmitter, receiver, and control circuits. When triggered it sends out a series of 40KHz ultrasonic pulses and receives echo from an object. The distance between the unit and the object is calculated by measuring the traveling time of sound and output it as the width of a TTL pulse.

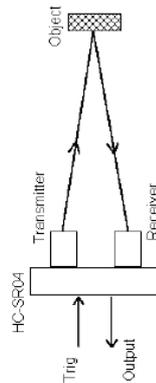


Fig. 2

How To Use It

To measure distance you need to generate a trig signal and drive it to the Trig Input pin. The trig signal level must meet TTL level requirements (i.e. High level > 2.4V, low level < 0.8V) and its width must be greater than 10µs. At the same time you need to monitor the Output pin by measuring the pulse width of output signal. The detected distance can be calculated by the formula below.

$$\text{Distance} = \frac{\text{Pulse Width} * \text{Sound Speed}}{2}$$

where the pulse width is in unit of second and sound speed is in unit of meter/second. Normally sound speed is 340m/s under room temperature.



Fig. 3

ANEXO D. CÓDIGO DE ARDUINO

Código detallado de Arduino para tomar medidas con el sensor ultrasonidos y enviarlas al servidor de Objenius usando la tecnología LoRaWAN.

```
#include <arm.h>          // Librería ATIM para la conexión LoRaWAN
#include <SoftwareSerial.h>
#include <math.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/power.h>
#include <avr/wdt.h>
#include <Vcc.h>

#define LED_OK 5          // LED verde
#define LED_ERROR 9      // LED rojo
#define LED_TX 6         // LED azul
#define trigPin 12
#define echoPin 13

// -----
// Variables globales
// -----

// aquí se almacenan los datos para mandar al servidor Objenius
byte msgg[3];

volatile int f_wdt = 1;
const float VccMin = 0.0;
const float VccMax = 3.7;
const float VccCorrection = 1.0/1.0;

SoftwareSerial mySerial(10, 11);

Vcc vcc(VccCorrection);

// Instancia de la clase Arm necesaria para que funcione el módulo
// LoRaWAN
Arm Objenius;
```

ANEXO D. CÓDIGO DE ARDUINO

```
// -----  
// Configuracion  
// -----  
  
ISR(WDT_vect) {  
    if(f_wdt == 0){  
        f_wdt=1;  
    }else{  
        mySerial.println("WDT Overrun!!!");  
    }  
}  
  
void setup() {  
    mySerial.begin(19200);  
    mySerial.println("Software serial test OK!");  
  
    // Configuracion de los pines digitales  
    pinMode(LED_ERROR, OUTPUT);  
    pinMode(LED_TX, OUTPUT);  
    pinMode(LED_OK, OUTPUT);  
    pinMode (trigPin, OUTPUT);  
    pinMode (echoPin, INPUT);  
  
    digitalWrite(LED_ERROR, LOW);  
    digitalWrite(LED_TX, LOW);  
    digitalWrite(LED_OK, LOW);  
  
// -----  
// Modulo LoRaWAN  
// -----  
  
    //Para que el modulo este preparado para inicializarse  
    delay(1000);  
  
    // Inicializacion  
    if(Objenious.Init(&Serial) != ARM_ERR_NONE) {  
        digitalWrite(LED_ERROR, HIGH);  
        mySerial.println("Network Error");  
    }else{  
        digitalWrite(LED_OK, HIGH);  
        mySerial.println("Connected to Objenious");  
    }  
}
```

ANEXO D. CÓDIGO DE ARDUINO

```
// Configuracion
Objenious.SetMode(ARM_MODE_LORAWAN);

Objenious.LwEnableRxWindows(true);
Objenious.LwEnableTxAdaptiveSpeed(true);
Objenious.LwEnableDutyCycle(true);
Objenious.LwEnableTxAdaptiveChannel(true);
Objenious.LwEnableRx2Adaptive(true);

Objenious.LwEnableOtaa(true);

Objenious.UpdateConfig();

//Para que el modulo se conecte a Objenious
delay(8000);

//Se apagan los LEDs
digitalWrite(LED_OK, LOW);
digitalWrite(LED_ERROR, LOW);

msgg[0]=1;
    /* Clear the reset flag. */
MCUSR &= ~(1<<WDRF);
WDTCR |= (1<<WDCE) | (1<<WDE);
/* set new watchdog timeout prescaler value */
WDTCR = 1<<WDP0 | 1<<WDP3; /* 8.0 seconds */
/* Enable the WD interrupt (note no reset). */
WDTCR |= _BV(WDIE);
}

float temps;
int dist;

// Se activa el sensor y se devuelve la distancia medida
int Distance () {
    digitalWrite(trigPin,LOW);
    delayMicroseconds(5);

    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(trigPin,LOW);
    temps = pulseIn(echoPin, HIGH);
```

ANEXO D. CÓDIGO DE ARDUINO

```
    dist = (int)(0.017*temps*100);    // cm
    return dist;
}

// Sleep mode - ahorro de bateria (el modulo "se duerme" cuando no
//esta activo)
void enterSleep(void) {
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
    sleep_enable();
    /* Now enter sleep mode. */
    sleep_mode();
    /* The program will continue from here after the WDT timeout*/
    sleep_disable(); /* First thing to do is disable sleep. */
    /* Re-enable the peripherals. */
    power_all_enable();
}

// Se hace parpadear al LED para indicar un evento
void Blink(byte PIN, int DELAY_MS) {
    digitalWrite(PIN,HIGH);
    delay(DELAY_MS);
    digitalWrite(PIN,LOW);
}

// -----
// Ejecucion del programa
// -----

void loop() {
    dist = Distance();    // se obtiene la distancia
    mySerial.println(dist);

    msgg[1] = ((byte) (dist>>8));    // se almacena la información
    msgg[2] = (byte) dist;    // para poder enviarla

    Objenious.Send(msgg,sizeof(msgg)); //envio al servidor Objenious

    Blink(LED_TX,50);    // se indica el envio realizado con el
                        // LED azul durante 50 mseg

    f_wdt = 0;
    enterSleep();    // SleepMode
}
```

ANEXO D. CÓDIGO DE ARDUINO

```
// se lee el porcentaje de bateria
float p= vcc.Read_Perc(VccMin, VccMax);
int j=(int) p*100;
msgg[1] = ((byte) (j>>8));
msgg[2] = (byte) j;
// se envia el estado de la bateria
Objenious.Send(msgg, sizeof(msgg));

Blink(LED_TX,50);          // se indica el envio realizado con el
                          // LED azul durante 50 mseg

delay(7200000); // la siguiente medida se toma dos horas despues
}
```