



POSGRADO EN INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS
PROYECTO TRANSVERSAL

Plataforma de supervisión de activos de cadena de
suministro y tratamiento de leche CIMILK

CIMTEL: Josep Maria Borrull y David Rocha

Cliente:
Receive All Signals Perfectly [RASP]

Responsables:
Yair Bonastre y Francesc Sabaté i Domènech

Mayo, 2021

Tabla de contenido

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 5 |
| 2. | DISPOSITIVOS - DATOS | 6 |
| 2.1 | GRANJAS..... | 8 |
| 2.1.1 | LOCALIZACIÓN DE LAS VACAS | 9 |
| 2.1.2 | TEMPERATURA DE LAS VACAS..... | 9 |
| 2.1.3 | GESTIÓN DE REFRIGERACIÓN DE LA GRANJA | 9 |
| 2.1.4 | MONITORIZACIÓN DEL DEPOSITO DE ALMACENAMIENTO | 11 |
| 2.2 | CAMIONES | 13 |
| 2.2.1 | LOCALIZACIÓN DE LOS CAMIONES | 13 |
| 2.2.2 | TEMPERATURA DE LA LECHE | 14 |
| 2.3 | PLANTA INDUSTRIAL | 15 |
| 2.3.1 | CONSUMO DE LOS EQUIPOS DE CLIMA | 15 |
| 2.3.2 | TEMPERATURA Y HUMEDAD DE OFICINAS | 16 |
| 2.3.3 | CONTROL DE ACCESO | 16 |
| 2.3.4 | MONITORIZACIÓN DEL DEPOSITO DE ALMACENAMIENTO | 16 |

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente documento es presentar a “*Recieve All Signals Perfectly*” [RASP®], concretamente a los responsables de proyectos Yair Bonastre y Francesc Sabaté i Domènech, una visión general acerca del proyecto de supervisión de activos en su cadena de suministro y tratamiento de leche, indicando todos los detalles de este para cumplir los requisitos solicitados por el cliente. Con todo ello, se pretende que dicho proyecto vaya encaminado en la dirección deseada por el cliente.

En la solicitud realizada por el cliente a CIMTEL®, se mencionan los principales requisitos que se esperan cubrir, como son:

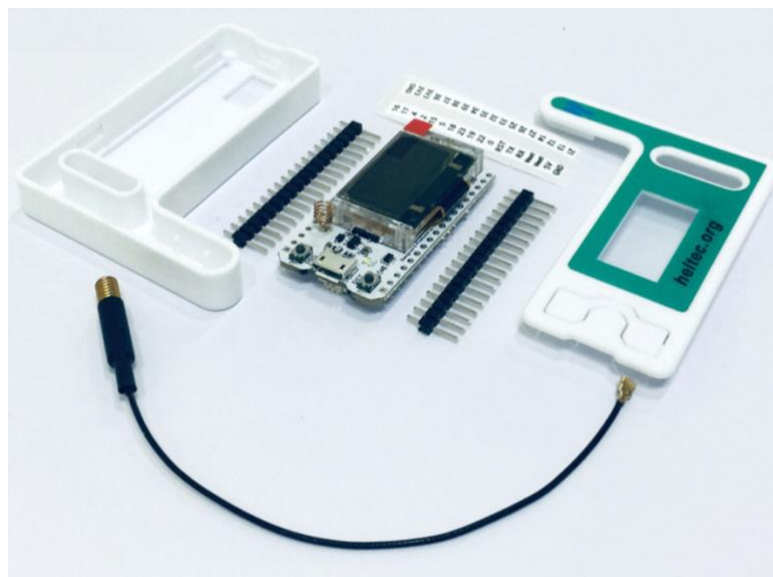
- Gateway (Dashboard): Diseño de los distintos “*dashboards*”, con el objetivo de lograr su correcta funcionalidad, priorizando la correcta elección de los datos a mostrar y
- Dispositivos (Datos): El objetivo de este bloque será la correcta obtención de los datos de campo, sugiriendo justificadamente el hardware de dispositivos, valorando la eficiencia del formato de los datos y su funcionamiento en un entorno realístico.
- Arquitectura: En este apartado se definirá la escalabilidad del proyecto y el guardado de los datos generados, definiendo la Base de Datos seleccionada para ello, su simplicidad y el mantenimiento de la misma.
- Viabilidad económica: En este apartado se definirán los diferentes costes y beneficios que el proyecto generará al cliente.

El objetivo del presente documento es mostrar los avances del proyecto, centrándose exclusivamente en el segundo de los puntos anteriormente mencionados. Además de exponer el estado actual junto a la explicación de el porque se ha considerado que dichas sugerencias serán provechosas para el cliente, se propondrán las futuras tareas de mejora en las cuales se centrara CIMTEL, teniendo en cuenta principalmente los comentarios del cliente, para lograr cumplir todas las expectativas referentes al apartado de Dispositivos.

A continuación, se presentarán las diferentes soluciones propuestas para cumplir las especificaciones para cada una de las diferentes zonas de la cadena de suministro, identificando los datos que se desean obtener, los dispositivos seleccionados para ello y la transmisión de los datos desde capo hacia la plataforma para su tratamiento, determinando el formato en el cual serán enviados.

2. DISPOSITIVOS - DATOS

El segundo objetivo principal a cumplir para la correcta evolución del proyecto y, siguiendo las indicaciones facilitadas por “*Recieve All Signals Perfectly*”, esta basado en la obtención de datos de campo. Para ello, con el propósito de estandarizar dicha tarea, se seleccionarán la misma tipología de dispositivos siempre y cuando se requiera de su uso. A nivel genérico, se seleccionará el microcontrolador de Heltec, WiFi LoRa 32 V2, basado en el chip ESP32 del fabricante Espressif, cuya característica principal es el bajo coste y consumo de energía, con tecnología WiFi, Bluetooth y, adicionalmente con el microcontrolador, LoRa. Se trata del sucesor del SoC (“*System on a Chip*”) ESP8266, pero con mejoras significativas como la integración de un procesador Dual-Core, el cual nos permitirá dedicar uno de sus núcleos a la comunicación IP, WiFi o LoRa y el otro al resto de procesos. Además, se incorpora la carcasa para evitar posibles daños por golpes o impactos no deseados. El uso de este mismo dispositivo para todos los procesos de extracción de datos que se han de llevar a cabo nos permitirá una implementación a gran escala mas rápida y eficiente, a la vez que un mejor mantenimiento y sustitución del mismo en el caso de que sea necesario.



Una vez seleccionado el microprocesador a utilizar, se considera de vital importancia determinar como se alimentará. Para ello, existen diversas maneras, como sería un banco de energía, pilas Ni-MH, pilas de litio, pilas LiFePO_4 o baterías recargables de polímero de litio o litio.

A grandes rasgos, el uso de bancos de energía sería la peor opción, ya que esta opción utiliza internamente una batería de litio de 3,7V. Al tener que alimentar nuestra ESP32, se

requiere una transformación del voltaje a 5 voltios con pérdida y, seguidamente, nuestro dispositivo lo reduciría de 5V a 3,3V, lo que nos genera una baja eficiencia energética, además de que algunos bancos de energía se desconectan automáticamente al malinterpretar ausencias de cargas conectadas debido al bajo consumo del microcontrolador.

Por otro lado, la opción referente a las pilas Ni-MH es inviable debido a los 1,2 voltios que suministra una sola unidad, frente a los 2,55 voltios requeridos. En el caso de usar dos pilas conectadas en serie, estaríamos por debajo de los 2,55V (2,4V). Además, dado que nuestro dispositivo integra WiFi, se requieren impulsos de 400 mA a corto plazo, lo cual generaría un desplome en de las pilas y reiniciaría la ESP32.

Referente a las pilas LiFePO_4 , nos proporcionan un buen funcionamiento, pero con 70% aproximadamente menos de energía en comparación con una pila de litio. Ofrecen un alto rendimiento sin problemas para el funcionamiento de WiFi o LoRa con la ventaja de no incendiarse cuando su uso no es el correcto o la calidad de la misma es deficiente. Suelen disponer de un uso a corto plazo (semanas o meses) y requiere un cargador especial.

Por todo ello, la mejor opción en cuanto a baterías se refiere, serían las pilas de litio CR123 de 3V, las cuales mantienen el voltaje de forma constante, llegando a los 2,7V una vez consumido el 90% de la batería y quedando en 2,55 voltios una vez se ha agotado. Además, a diferencia de las pilas LiFePO_4 comentadas anteriormente, estas funcionan perfectamente con el modo reposo, pudiéndose utilizar durante más de 5 años (dependiendo, obviamente, de la frecuencia con la que el microcontrolador ha de leer y transmitir datos de los sensores). Además, si se ha de utilizar en exteriores, se comportan de forma eficiente a bajas temperaturas (-20°C).

Teniendo en cuenta las especificaciones del cliente, las principales áreas de las cuales se obtendrán datos serán las granjas, incluyendo el ganado (vacas lecheras) que habita en ellas, el transporte de su principal activo, la leche, y la gestión y monitorización de diversos parámetros ubicados en la planta.

Dichas áreas, junto las soluciones propuestas en lo que se refiere a este apartado para cada una de ellas, se definirán y justificarán a continuación.

2.1 GRANJAS

El principal activo del cliente, tal y como se ha comentado anteriormente, esta basado en la extracción de leche de su ganado. Por ello, se dispone de cinco (5) granjas repartidas por el territorio catalán, cuyas respectivas zonas de pasto se encuentran a un máximo de 3 kilómetros de ellas.

A continuación, se presenta la información principal de cada una de ellas:

| GRANJA | VACAS | CAPACIDAD | CUBA FIJA | UBICACIÓN |
|------------|-------|-----------|-----------|-----------------------------|
| MAS ALMAR | 52 u | 55 u | 5.000 l | 42°01'07.4"N 2°58'34.7"E |
| MAS BADOSA | 50 u | 60 u | 10.000 l | 42°06'52.0"N 2°44'32.0"E |
| MAS COLOM | 45 u | 55 u | 5.000 l | 42°03'50.8"N 2°54'46.7"E |
| MAS GENER | 40 u | 45 u | 5.000 l | 41°54'39.3"N 2°48'15.5"E |
| CAN SISET | 42 u | 72 u | 10.000 l | 42°04'27.5"N 2°50'01.1"E |

Tal y como ha especificado el cliente, se requiere de información de monitorización de todas las vacas de cada una de las 5 granjas de las que dispone bajo su control, con la finalidad de permitir un futuro análisis sobre el estado de salud de las mismas además de otra información relevante de las granjas. Se requiere una cadencia de información de 15 minutos o menos por cada vaca.

Para ello, se solicita poder disponer de la ubicación de cada una de las vacas, sus respectivas temperaturas, poder determinar si la vaca sufre algún problema de salud, si se encuentra fuera del recinto delimitado por vallas, la gestión de la refrigeración en verano, la monitorización de la cuba de la granja (la cual deberá estar a unos 4°C aproximadamente) y la consulta de información mediante un bot. A continuación, se determinarán los dispositivos seleccionados para la obtención de la información solicitada.

2.1.1 LOCALIZACIÓN DE LAS VACAS

Con el fin de monitorizar la ubicación de las vacas y poder detectar y evitar que salgan del área de pasto, delimitada por vallas, se propone la implementación del sensor UART GPS NEO-6M, gestionado por el microcontrolador especificado anteriormente. Con ello, mediante comunicación LoRa debido a la amplitud del perímetro de las granjas, a través de la red LoRaWAN de The Things Network y recibiendo los datos a través de la suscripción a un bróker MQTT, podremos monitorizar la latitud y la longitud, además del tiempo exacto en el cual se nos envía dicha información con el fin de historizar su movimiento. Además, gracias a ello, sería posible determinar la distancia recorrida por cada animal a lo largo de un día.

2.1.2 TEMPERATURA DE LAS VACAS

Con el fin de poder conocer la temperatura de cada uno de los animales, actualmente se están valorando que opciones serían las más apropiadas a nivel de detectores, y con ello, seleccionar el más adecuado, el cual se instalará en el mismo microprocesador en el cual irá el GPS para la localización de las vacas.

2.1.3 GESTIÓN DE REFRIGERACIÓN DE LA GRANJA

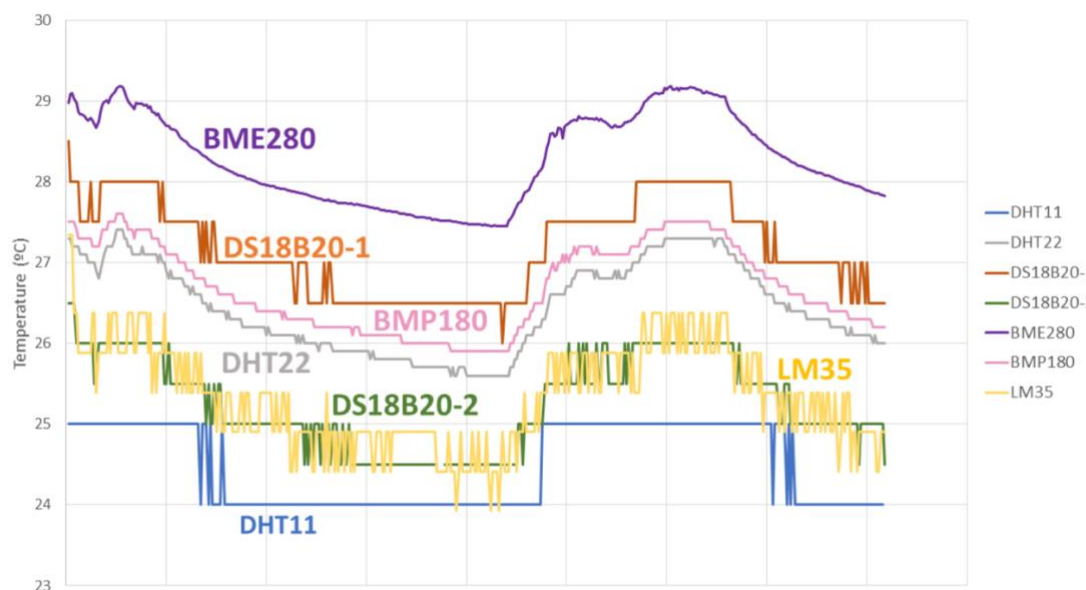
Con el fin de poder automatizar la refrigeración de cada una de las granjas, se considera necesario conocer y determinar las condiciones climáticas ideales para la producción de leche. Principalmente, dichas condiciones se dan entre temperaturas que oscilan desde los 5°C hasta los 25°C, con producciones de leche aproximados a los 26,80 kg con una temperatura de 20°C y llegando a disminuir a los 12 kg en el caso de que las temperaturas asciendan a los 40°C. Además, no únicamente es la temperatura del aire la responsable de la variación de la temperatura corporal y, por consecuencia, la disminución en la producción de leche, sino que también se ven afectadas por la humedad relativa y la temperatura de las paredes y suelo del establo o granja. Haciendo referencia a la humedad, idóneamente deberíamos estar entre un 40% y un 70%, y preferentemente entre un 50% y 60%.

Para lograr obtener valores representativos, se recomienda instalar dos dispositivos de temperatura y humedad a dos metros de altura en dos áreas distintas pero significativas de la granja como, por ejemplo, en el caso de disponerlos, en los bebederos y los comederos.

Para la elección de dispositivos, encontramos una amplia gama de ellos, como podrían ser:

- **DHT11:** Sensor de temperatura y humedad con alimentación de 3 a 5,5V DC, capaz de representar valores en un rango de temperaturas de 0 a 50°C con una precisión de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del 20 al 90% con una precisión de $\pm 4\text{-}5\%$ con una periodicidad de 2 segundos.
- **DHT22:** Al igual que el anterior, nos proporciona temperatura y humedad, incrementando el rango de valores de -40 a 80°C con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y valores de 0 a 100% de humedad relativa con una precisión de $\pm 1\%$, captando valores cada 2 segundos.
- **LM35:** Se trata de un sensor de temperatura analógico, captando temperaturas desde -55 a 100°C, siendo superior a los dos descritos anteriormente. Al igual que el DHT22, dispone de una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, pero ha de ser alimentado como mínimo a 4V DC y no dispone de sensor de humedad integrado.
- **DS18B20:** Parecido al LM35, capaz de proporcionar únicamente valores relacionados con temperatura ambiente desde -55 a 125°C con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y alimentación de 3 a 5,5V DC, al igual que el sensor DHT11.
- **BME280:** Sensor muy completo capaz de captar valores de temperatura ambiente, humedad relativa y presión atmosférica, con alimentación de 3,3 a 5V, capaz de leer temperaturas en el rango de -40 a 85°C, pero con el inconveniente de sufrir problemas de sobrecalentamiento y, por consecuencia, detectar valores de temperatura entre 1 y 2°C por encima, debiendo ser calibrado.
- **BMP180:** Parecido al anterior (BME280), siendo capaz exclusivamente de detectar valores de temperatura y presión.

A continuación, podemos observar una comparativa de todos los sensores descritos anteriormente comparando el parámetro de principal interés, la temperatura en °C:



Como podemos observar, a nivel de resolución, el sensor BME280 sería capaz de obtener mejores lecturas, pero su sobrecalentamiento y su coste, al integrar un sensor de presión atmosférica, el cual no es de nuestro interés, hace que lo descartemos.

Es por ello que, aun teniendo una resolución un tanto inferior, el sensor seleccionado para determinar la temperatura y humedad de la granja sería el DHT22, dado que, tal y como se ha comentado y se puede observar, proporciona lecturas en un amplio rango de valores, con una precisión idéntica al BMP180, pero con la ventaja de proporcionar, a su vez, lecturas de humedad relativa.

Dado que la mayoría de las granjas disponen de conexión a internet, la transmisión de los datos se realizará mediante WiFi. En el caso excepcional de Mas Gener, se utilizará LoRa.

2.1.4 MONITORIZACIÓN DEL DEPOSITO DE ALMACENAMIENTO

Para la monitorización de cada uno de los depósitos de almacenamiento de leche de las granjas, se instalarán dispositivos capaces de obtener los datos más relevantes, como son la temperatura y el nivel.

En el caso de la temperatura, se ha optado por instalar tres (3) sensores DS18B20 por cada tanque, capaces de medir en rangos de -55 a 125°C, con alimentación de 3,3 a 5,5V DC y

una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ entre los -10 y 85°C . Dichos sensores se instalarán a menos de un metro de altura del fondo del deposito y separados equidistantemente el uno del otro por los laterales del cuerpo cilíndrico. Con la instalación de tres sensores, lograremos identificar rápidamente si alguno de ellos se ha dañado o entrega datos erróneos, realizando comparativas con los otros dos. Con ello, se pretende reducir el error de lectura, al considerarse la monitorización de la temperatura leche de vital importancia, ya que es el principal activo del cliente.

En lo referente al nivel, disponemos de dos opciones: el modulo de ultrasonidos **HC-SR04** y el modulo de ultrasonidos **Akozon**. En ambos casos, el funcionamiento es el mismo, con alimentación a **5V DC**. La diferencia principal se encuentra tanto en el rango de medición como el medio en el cual pueden actuar. El **HC-SR04** es capaz de obtener valores a una distancia máxima de medición de **1,5 metros**. Por otro lado, el sensor ultrasónico **Akozon**, además de ser impermeable (punto muy importante para tener en cuenta dado la naturaleza del producto a medir), es capaz de medir hasta distancias de **5 metros**. Al tratarse de depósitos de entre **5.000** y **10.000** litros, se presupone que la altura de referencia de los mismos no será superior a los **5 metros**, por lo cual, el sensor **Akozon** sería idóneo. Para obtener el nivel de producto almacenado en su interior, únicamente deberá restarse el valor obtenido por el sensor (el cual hará referencia al vacío del deposito) a la altura de referencia. Además, en el caso de querer conocer la cantidad de litros almacenados en el deposito, se podría hacer uso de tablas de sonda (en el caso que se dispongan y el deposito este calibrado) o mediante porcentajes de llenado obtenidos con la sonda.

2.2 CAMIONES

Una vez extraída la leche de las vacas, el cliente dispone de una flota de cinco (5) camiones, uno por granja, para resolver la logística referente al transporte de la misma desde las granjas hasta la fábrica.

A continuación, se presenta la información más relevante de cada uno de ellos:

| RUTA | MATRICULA | DISTANCIA | CUBA | COMPRA |
|------------|-----------|------------|----------|------------|
| MAS ALMAR | 1184 FCM | 70.398 km | 5.000 l | 13/11/2018 |
| MAS BADOSA | 2456 FCM | 280.402 km | 10.000 l | 30/06/2016 |
| MAS COLOM | 8764 FCM | 450.779 km | 5.000 l | 01/02/2014 |
| MAS GENER | 0407 FMC | 30.909 km | 5.000 l | 21/12/2019 |
| CAN SISET | 9264 FMC | 320.546 km | 10.000 l | 11/01/2016 |

Realizan un total de 2 viajes al día; uno por la mañana en dirección a sus respectivas granjas para cargar la leche, y otro a la tarde, hacia la fabrica, donde la descargan, llevando a cabo dichas operativas con un caudal aproximado de 8,33 litros por segundo y un tiempo de limpieza de 45 minutos.

Además, los camiones deben realizar paradas para mantenimiento predictivo cada 80.000 kilómetros y se considera una vida útil de 480.000 km.

Siguiendo las indicaciones del cliente, se solicita poder monitorizar ciertos parámetros, tanto del vehículo como del producto que transportan, con una cadencia de 5 minutos o menos. A continuación, se definen dichos parámetros y las opciones propuestas por CIMTEL®.

2.2.1 LOCALIZACIÓN DE LOS CAMIONES

Con el fin de poder monitorizar el trayecto que los camiones realizarán de la fábrica a la granja y viceversa, al igual que en la localización de las vacas, se propone la utilización del GPS UART NEO-6M, con el cual podremos determinar la posición de cada uno de los vehículo y, a su vez, es posible obtener su velocidad.

2.2.2 TEMPERATURA DE LA LECHE

Siguiendo las indicaciones del cliente y tal y como se ha comentado con anterioridad, el principal activo del cliente se trata de este producto, la leche. Por ello, tal y como especifica, para conservar el buen estado del producto, se instalaran los mismos sensores de temperatura que en los depósitos de la granja, es decir, DS18B20.

2.3 PLANTA INDUSTRIAL

Tal y como se determino en el documento anterior, el principal activo del cliente esta basado en el tratamiento de la leche obtenida de vacas lecheras para su posterior venta. Es por ello que se dispone de 5 granjas, y de una planta industrial de tratamiento.

La planta esta ubicada en Celrà, Girona (42°02'05.0"N, 2°53'33.1"E), con un total de 10 tanques de 900 litros refrigerados a 4°C para la recepción de la leche transportada por los camiones (dos por cada granja). Las instalaciones disponen de un sistema de clima dividido en dos partes, destinado el primero a producción y, el segundo, a oficinas.

Por otro lado, se dispone de un control de acceso de camiones, situado a unos 170 metros de distancia de la entrada a la fábrica.

El cliente solicita monitorizar los equipos de clima de la fábrica con una cadencia de información de 5 segundos o menos, además del control de acceso de los camiones.

Siguiendo las indicaciones proporcionadas, los principales datos a obtener de campo serán el consumo eléctrico de los equipos de clima, temperatura y humedad de las oficinas y temperatura de las cubas de almacenamiento de leche. Además, se solicita la distribución de pulsadores para cada uno de los camiones que permitan la apertura de la puerta de control de acceso a fábrica únicamente al estar cerca de la fábrica.

Partiendo del microprocesador Heltec WiFi LoRa 32 V2 (ESP32), la captación de los datos se captará de la siguiente manera:

2.3.1 CONSUMO DE LOS EQUIPOS DE CLIMA

Para ello, se utilizará un sensor de consumo eléctrico PZEM-004T-100A, el cual es capaz de medir parámetros como el voltaje, la corriente, la potencia, la energía, la frecuencia y el factor de potencia en equipos de alto rendimiento gracias a que admite hasta 100A.

A nivel de configuración, será necesario instalar las librerías “*SoftwareSerial*” y “*PZEM-004T-V30*” en nuestro IDE de Arduino. Al encontrarse en fábrica, la comunicación para la transmisión de los datos captados por el dispositivo se realizaría mediante WiFi cada 5 segundos, siguiendo las indicaciones del cliente.

2.3.2 TEMPERATURA Y HUMEDAD DE OFICINAS

Actualmente, se desea monitorizar la temperatura y la humedad en cuatro (4) de las oficinas que se encuentran en fábrica. Tal y como se ha comentado con anterioridad, en el supuesto caso futuro de que se desee implementar la monitorización de otra nueva oficina, no habría ningún problema al estar utilizando la misma tipología de dispositivos.

Para obtener los valores de temperatura y humedad, al igual que en las granjas, la opción seleccionada será el uso del sensor DHT22, capaz de detectar los parámetros solicitados de manera muy eficiente en comparación con otros sensores de la misma tipología.

Al encontrarnos en oficinas, con acceso a internet, la transmisión de dicha información se llevara a cabo a través de WiFi.

2.3.3 CONTROL DE ACCESO

Con el fin de controlar el acceso a planta, se pretende proporcionar un interruptor que, al ser activado y, siempre y cuando a su vez un detector de presencia detecte que el camión se encuentra cerca del acceso, conceda su entrada.

2.3.4 MONITORIZACIÓN DEL DEPOSITO DE ALMACENAMIENTO

Siguiendo las especificaciones del cliente, se desea monitorizar diez tanques de 900 litros cada uno. Al igual que en la monitorización de los depósitos de las granjas, se obtendrá la temperatura mediante tres sensores DS18B20 ubicados a menos de medio metro del fondo del deposito para asegurar que las lecturas que obtenemos son correctas, sin dar pie a posibles datos erróneos, y asegurar el buen estado del producto.

Por otro lado, al igual que en la granja, se propone la instalación del sensor ultrasónico Akozon para determinar el nivel de producto en el deposito, seleccionado debido a su impermeabilidad.