



**GENERALITAT
VALENCIANA**

ivACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL

 **UNIÓN EUROPEA**
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa



INESCOP
REDIT INNOVATION NETWORK

EXPEDIENTE	IMDEEA/2019/26
ACRÓNIMO	COMTIOT
PROGRAMA	Proyectos de I+D de carácter no económico en el ámbito de la industria 4.0 en cooperación con empresas
TÍTULO DEL PROYECTO	Internet de las cosas aplicada a sistemas RFID para la monitorización de las hormas de fabricación en el proceso de la fabricación de calzado

Entregable E3.1

ESPECIFICACIONES Y DESARROLLO DE ARQUITECTURA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. ARQUITECTURA HARDWARE DEL SISTEMA	3
2.1 LECTORES RFID	4
2.2 MÓDULOS DE INTELIGENCIA APLICADA A LECTORES RFID	5
2.3 VARIADOR DE FRECUENCIA	6
2.4 TARJETA DE GESTIÓN DEL VARIADOR.....	7
2.5 SENSORES AMBIENTALES Y SISTEMA DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICA	8
2.6 MÓDULO DE RECEPCIÓN DE DATOS INALÁMBRICOS Y MEDIDA DE CONSUMO ENERGÉTICO	11
2.7 SISTEMA CENTRAL DE GESTIÓN DE DATOS. TARJETA ELECTRÓNICA BASADA EN RASPBERRY.....	13
3. ARQUITECTURA Y PROTOCOLO EN LA TRANSFERENCIA DE DATOS	14
3.1 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA. LORA.....	14
3.2 COMUNICACIÓN CABLEADA Y PROTOCOLOS USADOS.....	15
3.2.1 <i>MODBUS 485</i>	15
3.2.2 <i>OPC-UA</i>	17
4. REFERENCIAS	19

1. Introducción

El presente documento detalla las labores realizadas en el paquete de trabajo 3 según la memoria de proyecto, describiendo detalladamente la arquitectura hardware empleada: desde los sensores empleados hasta el sistema de visualización de parámetros pasando por la descripción de los diferentes protocolos empleados en la comunicación de datos, tanto a nivel local como remoto.

2. Arquitectura hardware del sistema

Una descripción de la arquitectura se muestra en el siguiente esquema. La arquitectura hardware combina elementos sensores, gestores de información basados en microcontroladores, PCB de control de variador para el motor de la cinta, de una Raspberry como servidor OPC-UA (detallado en apartado 3. Protocolo en la transferencia de datos) además de elementos y cableado eléctricos necesarios para la alimentación del sistema.

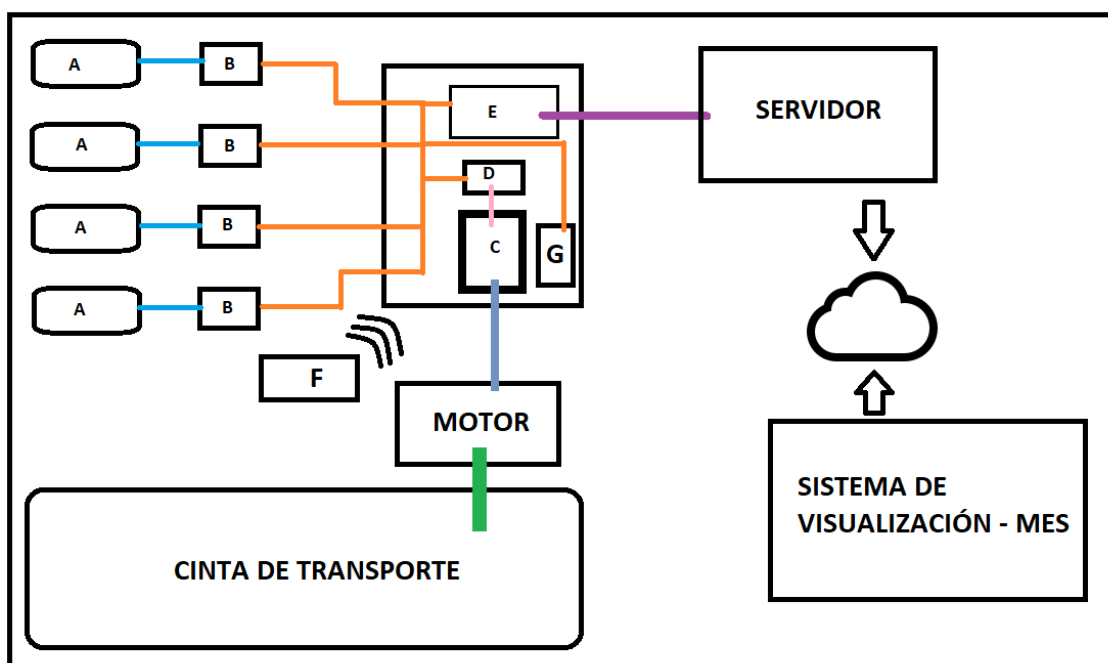


Figura 1: Esquema de la arquitectura hardware

Descripción de los elementos:

- A. Lector RFID
- B. Módulo electrónico con microcontrolador para la gestión de la información recibida por el lector RFID
- C. Variador de frecuencia para motor
- D. Tarjeta electrónica para la gestión del variador
- E. Tarjeta electrónica basada en Raspberry
- F. Sensores y transmisión inalámbrica
- G. Módulo de recepción de los datos recibidos inalámbricamente y de datos energéticos del motor

2.1 Lectores RFID

Los lectores RFID usados son unidades comerciales que son fácilmente accesibles económicamente. Con unas dimensiones de 100x60 mm., un lector RFID está compuesto por una antena, un transmisor, un receptor y un decodificador y el cable de conexión eléctrica y datos. Este lector emite continuamente una señal que “activa” un marcador (o tag) RFID cercano, el cual es capaz de enviar una señal particular y única de este marcador. Esta señal es recibida y decodificada en el lector. Posteriormente estos datos deben ser tratados para una identificación a más alto nivel. ⁽¹⁾



Figura 2: Lector RFID

Aunque eléctricamente se dispone de varias funcionalidades dependiendo de las conexiones que se le practiquen, para el desarrollo de este proyecto solamente serán necesarias las correspondientes a la alimentación eléctrica (+12Vdc), masa (0V) y señal de datos.

Estos lectores RFID tienen 2 particularidades especiales que hacen necesario el desarrollo o uso de elementos complementarios para poder ser usados con el fin deseado en este sistema:

1. Los lectores no guardan información, esto es, si un marcador es detectado, la información se transmite y no se ocupa del tratamiento, por lo que pierde la información si es detectado un segundo marcador.
2. Como se ha comentado anteriormente, los datos enviados necesitan una decodificación a alto nivel para ser entendible “por humanos”.

Por solventar los problemas derivados de estas características se ha hecho necesario el desarrollo de unos elementos capaces de gestionar la información. Estos elementos quedan descritos en el apartado 2.2.

2.2 Módulos de inteligencia aplicada a Lectores RFID

Se han diseñado unos módulos electrónicos basados en un microcontrolador para la gestión de la información recibida por el lector RFID. Para simplificar la circuitería eléctrica en cuanto a aspectos de alimentación, estos módulos tienen el mismo tipo de alimentación que los lectores RFID, esto es +12Vdc. Cada uno de estos módulos está conectado a cada lector RFID por medio de 3 cables (+12Vdc, 0V y datos)

Estos módulos están dotados de un sistema de comunicación de datos RS-485 y con protocolo MODBUS (más información de este protocolo puede encontrarse en el apartado 3 del presente entregable) para la comunicación de datos con un sistema de gestión de datos local basado en Raspberry (Elemento E del esquema anterior)

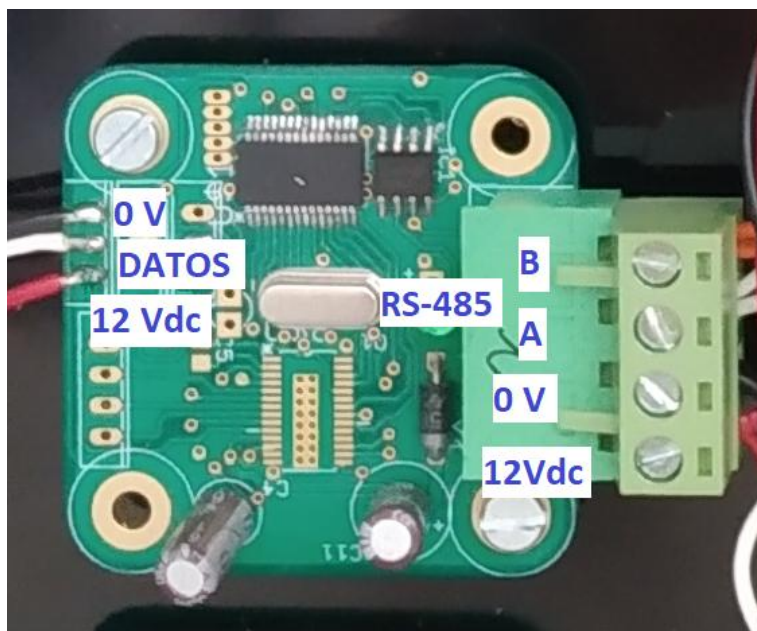


Figura 3: PCB y conexionado del módulo

Para dotar de la inteligencia necesaria a estos módulos, se ha incluido un microcontrolador reprogramable y se ha desarrollado un firmware específico cuyas funciones son las siguientes:

- Recoger y mantener la trama de datos recibida por el lector RFID cuando este ha detectado un marcador
- Enviar al sistema central los datos cuando le son solicitados
- Evitar la duplicidad de información ya que en muchas ocasiones el mismo marcador activa el lector varias veces durante su área de influencia.

De este modo, cuando el sistema local de petición de datos requiere la información de los lectores RFID, en realidad está accediendo a estos elementos que son los que guardan la información del datos capturado un instante (más o menos largo) anterior.

2.3 Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo ampliamente usado en la industria. Dependiendo de las funcionalidades se pueden encontrar variadores más o menos caros, pero en general al tratarse de un producto necesario, se suele encontrar a precios asequibles.

Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Es por esto que el variador es alimentado eléctricamente a una corriente de 220Vac y dispone de unos bornes de salida en la que se conecta el motor.

El variador usado ⁽²⁾ en el presente desarrollo presenta una serie de entradas y salidas de de señales tanto analógicas como digitales. Según la programación que haya recibido el variador, este podrá realizar determinadas funciones dependiendo de las señales que se hayan activado a la entrada.



Figura 4: Variador de frecuencia

2.4 Tarjeta de gestión del variador

Debido a que el variador no presenta ningún tipo de comunicación con otro dispositivo, se ha diseñado y fabricado una tarjeta electrónica, basada en microcontrolador, que sirve de puente de comunicación entre el sistema central de gestión de datos y el variador.

Esta tarjeta también presenta, al igual que los módulos de inteligencia de los lectores, una interfaz para la comunicación RS-485 y una serie de salidas y entradas digitales y analógicas que están conectadas a entradas y salidas del variador descrito anteriormente. La alimentación, para mantener la coherencia, es de +12Vdc.

Para esta tarjeta también ha sido necesario el desarrollo de un firmware para el microcontrolador. Este firmware está diseñado para:

- Recibir información de la unidad central local y activar las salidas necesarias que se encuentran conectadas al variador. Pudiendo encender, apagar o cambiar la velocidad de la cinta.
- Envío de datos almacenados en el microcontrolador pertenecientes al estado del variador

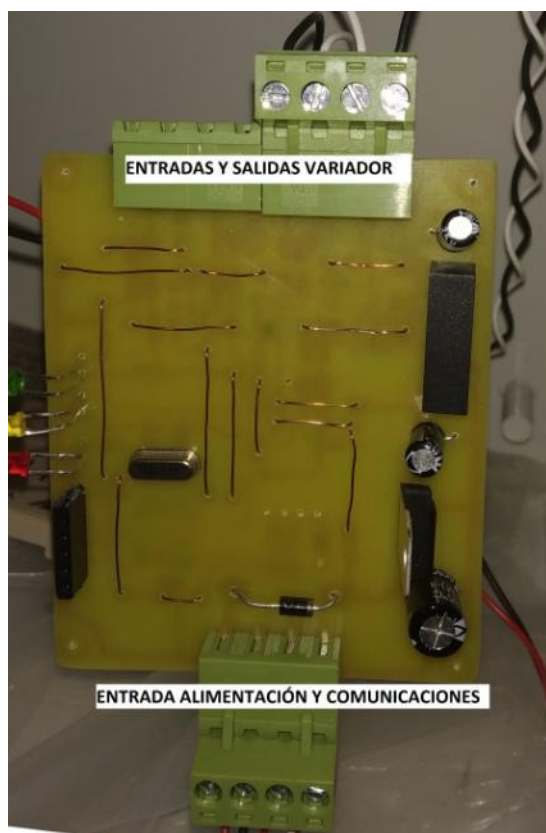
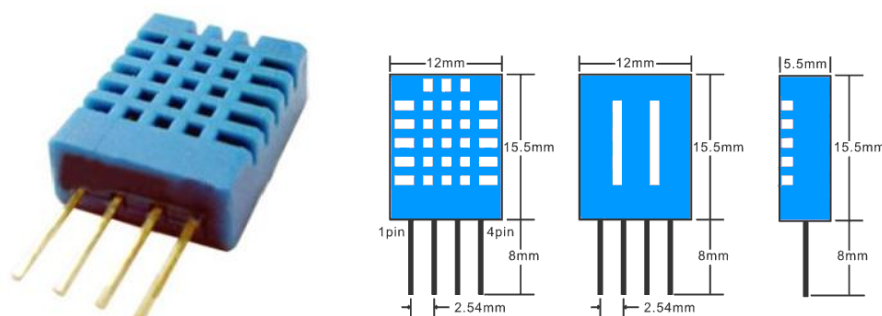


Figura 5: Tarjeta de control y gestión del variador

2.5 Sensores ambientales y sistema de transmisión inalámbrica

Para el desarrollo del módulo de medida de humedad y temperatura se ha utilizado el sensor DHT11.

Este sensor ofrece una salida digital ya calibrada, garantizando una alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo. La humedad es captada por medio de un sensor de tipo resistivo y la temperatura a través de una NTC (Negative Temperature Coefficient). Este sensor ofrece la salida para se conecta a microcontroladores de 8 bits, para ofrecer una respuesta rápida y protegida frente a interferencias. El sensor se alimenta entre 3,5 y 5Vdc.



Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

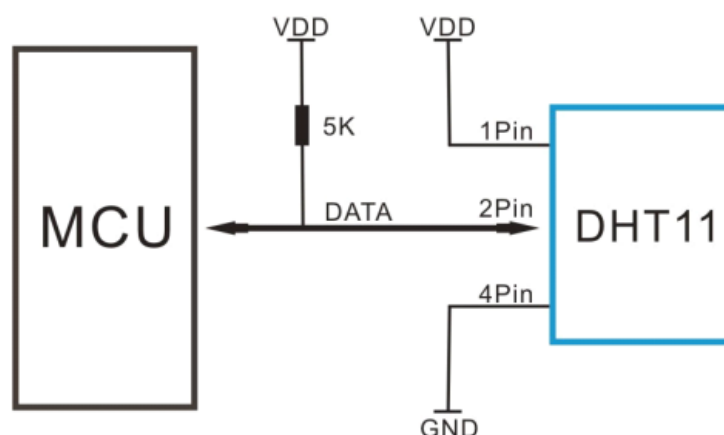


Figura 6: Dimensiones del sensor. Rango y precisión de temperaturas. Conexión típico

En la mayoría de aplicaciones, en las que este sensor es aplicado, este mantiene coexistencia con un sistema Arduino⁽³⁾ programado para la recogida de datos del sensor.⁽⁴⁾ Para una optimización del tiempo, se ha optado por usar este mismo sistema, descartando el desarrollo de una electrónica propia como sí se ha hecho en otras partes del hardware (Apartados 2.2, 2.4, 2.6 y tarjeta de expansión en apartado 2.7).

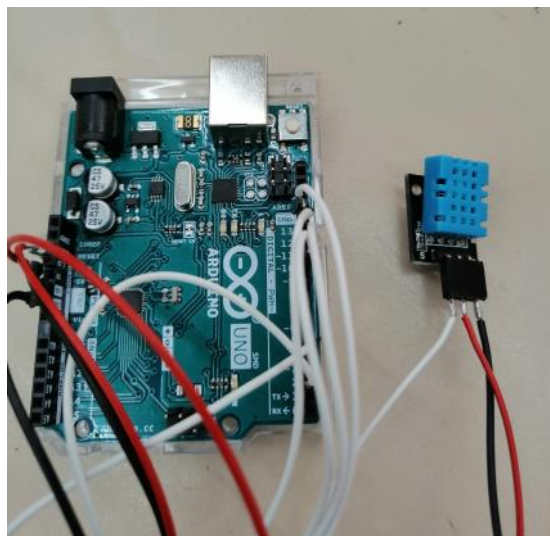


Figura 7: Sensor conectado a PCB Arduino

Arduino es una plataforma de control que es ampliamente usada en entornos domésticos y semi-industriales. Su programación es Open-Source por lo que se puede encontrar mucha información, código, funciones para casi todas las funcionalidades requeridas. Una de las funcionalidades más populares es la de dotar de transmisión inalámbrica (en la mayoría de los casos, Wi-Fi) a un sistema Arduino. Para ello se encuentran módulos conectables y el código necesario para programar el sistema. Debido, entre otros motivos, al entorno en el que el desarrollo del presente proyecto debe trabajar, se ha descartado la comunicación Wi-Fi y se ha usado comunicación LoRa por cuestiones que se expondrán en el apartado 3.

Como se menciona anteriormente, existe una gran cantidad de periféricos compatibles con las PCB de Arduino. Entre esos periféricos se puede encontrar los módulos de transmisión LoRa. La conexión de este módulo y la programación adecuada permiten una emisión inalámbrica de datos emitidos por Arduino.

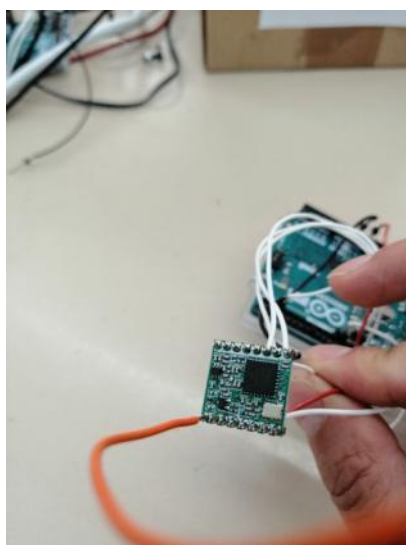


Figura 8: Módulo de transmisión LoRa conectado a Arduino

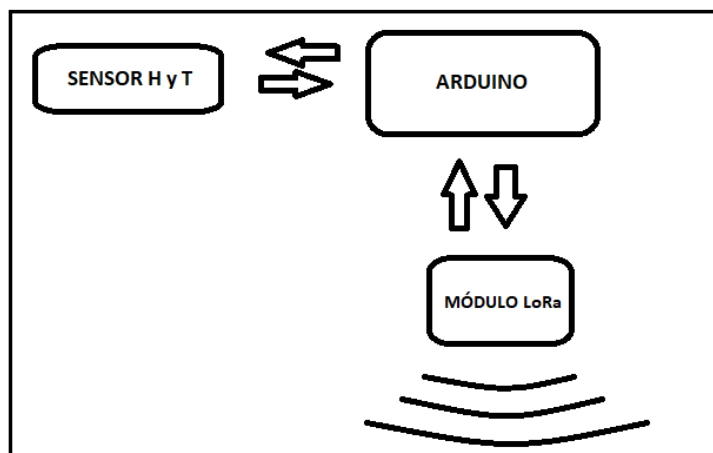


Figura 9: Esquema básico de la comunicación inalámbrica

Este hardware debe incluirse dentro de una horma (Entregable 2.2), por lo que se ha fabricado una por medio de fabricación aditiva. Esta horma hueca permite la inserción de este hardware. La alimentación de estos dispositivos se realiza a través de una pila comercial de 9Vdc. La PCB de Arduino se encarga de adaptar los niveles de tensión eléctrica correspondiente tanto al sensor de humedad y temperatura, como al módulo LoRa de comunicación inalámbrica. La horma dispone de un interruptor para apagar/encender el hardware y una señal luminosa para como testigo de esta operación.

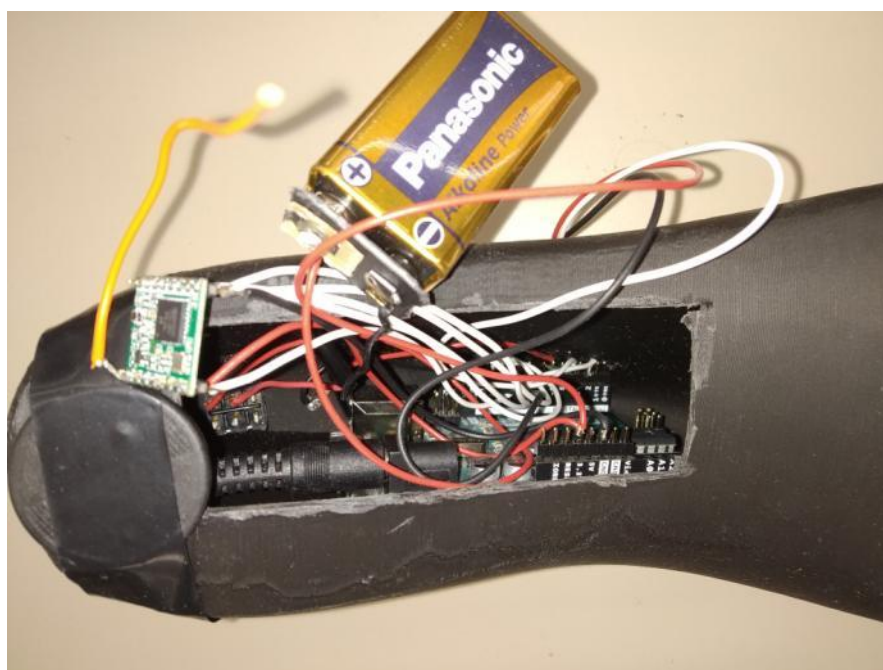


Figura 10: Hardware dentro de la horma

2.6 Módulo de recepción de datos inalámbricos y medida de consumo energético

Se dispone de un sistema de recepción de datos inalámbrico análogo al relatado en 2.5. Al igual que para la transmisión inalámbrica de datos, se usa un hardware basado en Arduino para la recepción de los mismos.

Para facilitar el montaje y mantenimiento del sistema y, debido a que en este caso no se tiene limitaciones de tamaño (no debe estar dentro de una horma), se ha diseñado y montado una tarjeta electrónica en la que se puede insertar el módulo de Arduino y el módulo de recepción inalámbrica.

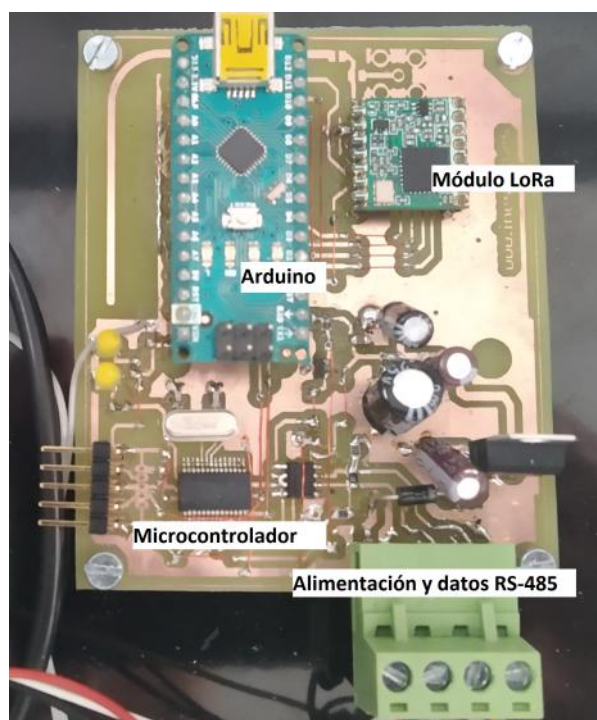


Figura 11: PCB de recepción de datos inalámbricos y conexión con sistema central de gestión

En el diseño de esta tarjeta se ha tenido en cuenta la futura monitorización del consumo energético de la cinta y ya que se dispone de un sistema basado Arduino, se aprovecha un sensor comercial que mide el paso de corriente por una instalación eléctrica o parte de ella y que es conectable a Arduino.

Los sensores de la serie SCT-013 son sensores que trabajan como transformadores, la corriente que circula por el cable que deseamos medir actúa como el devanado primario (1 espira) e internamente tiene un devanado secundario que dependiendo del modelo pueden tener hasta más de 2000 espiras.

La cantidad de espiras representa la relación entre corriente que circula por el cable y la que el sensor nos entrega, esta relación o proporción es la que diferencia entre los diferentes modelos de sensores SCT-013, adicionalmente pueden tener una resistencia

de carga en la salida de esta forma en lugar de corriente se trabaja con una salida voltaje.

A este tipo de sensores se los conoce como Sensores CT (Current transformers). Por el núcleo solo debe de atravesar una sola línea. Una ventaja de SCT-013 es que no necesitamos interrumpir (cortar o desempalmar) el cable que vamos a medir, esto porque al igual que una pinza amperimétrica tiene el núcleo partido. ⁽⁵⁾

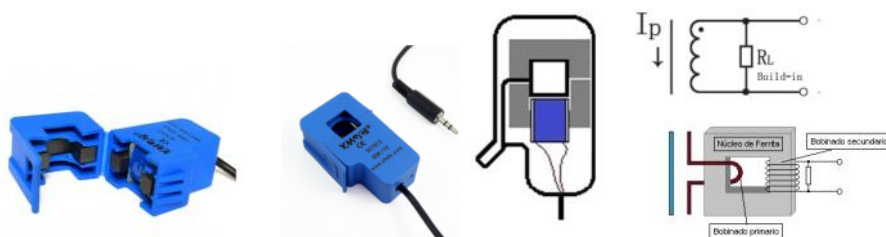


Figura 12: Sensor de consumo. Serie SCT-013

En el caso que nos ocupa, se medirá el consumo energético de la cinta de transporte, por ello, se dispone el sensor en la entrada de corriente del variador del motor, para poder capturar los cambios de demanda de intensidad eléctrica.

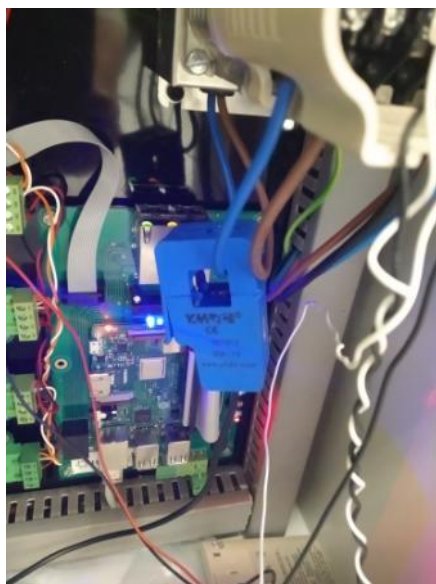


Figura 13: Sensor de medida conectado a línea de fase de entrada al variador

Los datos enviados por el sensor son conectados a Arduino, que con la programación adecuada, es capaz de convertir esa información a datos reales de consumo energético.

Para lograr una comunicación de estos datos y los captados inalámbricamente con la unidad central, la tarjeta dispone de un microcontrolador programado con firmware propio para la gestión de los datos.

2.7 Sistema central de gestión de datos. Tarjeta electrónica basada en Raspberry

Esta unidad es la encargada de la gestión de los datos recibidos por todos los sensores y periféricos asociados al sistema. El corazón de este elemento es una Raspberry debido a la relación coste/prestaciones. El modelo de Raspberry usado es 3B+ sobre el sistema operativo Raspbian. Este elemento ofrece las siguientes características que serán las principales para el desarrollo de este proyecto:

- Conexión Ethernet a través de RJ-45
- Salida HDMI para conexión a un monitor
- Puerto de comunicaciones RS-232

La Raspberry ha sido programada con un programa en Python, para que desde el inicio comience la recopilación de datos de todas las unidades sensoras. Este envío/recepción de datos se produce a través de una arquitectura RS-485. Posteriormente y en ese mismo proceso también encapsula adecuadamente los datos recibidos para una transmisión vía Ethernet.

Debido a que la Raspberry no tiene implementado la interfaz de comunicación RS-485, se ha hecho necesario el desarrollo de una electrónica capaz de convertir la interfaz RS-232 a la RS-485. Para mayor sencillez en el montaje final del hardware, se ha diseñado una tarjeta que contiene los bornes necesarios de alimentación y de comunicaciones, y en la cual queda albergada la Raspberry. De este modo, el mantenimiento y la reparación de averías quedan muy simplificados.



Figura 14: Raspberry alojada en tarjeta de expansión

3. Arquitectura y protocolo en la transferencia de datos

Para la comunicación de los datos en este sistema se manejan 2 tipos de comunicaciones en cuanto a su naturaleza:

- Comunicación inalámbrica
- Comunicación cableada y protocolos usados

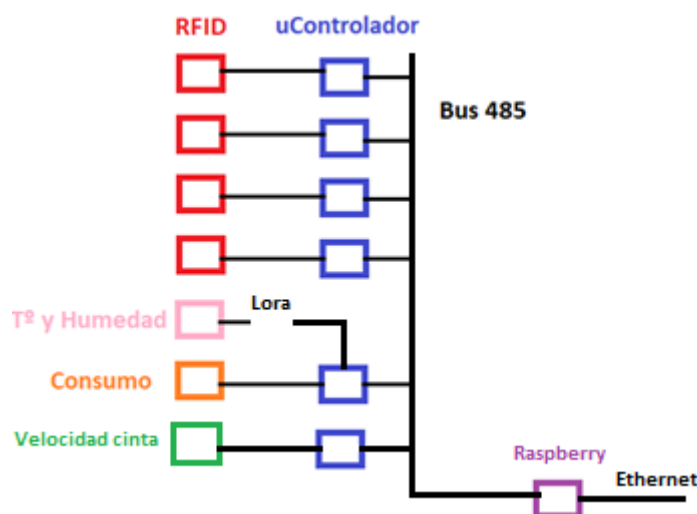


Figura 15: Arquitectura de comunicaciones del sistema

3.1 Comunicación inalámbrica. LoRa.

Este tipo de comunicación es el empleado para el envío de datos desde la horma instrumentalizada hasta el sistema de recepción de datos que está conectado físicamente con el sistema central de gestión de datos.

Aunque uno de los protocolos de comunicación inalámbrico es Wi-Fi, se ha descartado su uso por su índice de fallo frente a interferencias. Las interferencias están muy presentes en entornos industriales ya que son producidas por la maquinaria existente. Además también se ha descartado por su corto alcance ya que incluso en ámbitos domésticos pueden existir problemas de señal al encontrarse con algún obstáculo.

De este modo, en el desarrollo de este proyecto se ha usado una comunicación inalámbrica LoRa, la cual presenta las siguientes características:

- Alta tolerancia a las interferencias
- Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB)
- Basado en modulación chirp
- Bajo Consumo (hasta 10 años con una batería)
- Largo alcance 10 a 20km

- Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes)
- Conexión punto a punto
- Frecuencias de trabajo: 915Mhz América, 868 Europa, 433 Asia

Todo esto hace a la tecnología ideal para conexiones a grandes distancias y redes de IoT que se pueden utilizar en lugares con poca cobertura o redes privadas de sensores o actuadores. ⁽⁶⁾

Aunque generalmente se usa esta tecnología para redes de topología estrella (LoRaWAN), en este desarrollo se ha usado un solo módulo emisor y un módulo receptor. En la medida en que se incorporen nuevos dispositivos inalámbricos serían necesarios una serie de cambios para lograr la correcta recepción de los nuevos datos.

3.2 Comunicación cableada y protocolos usados

Los protocolos usados en este tipo de comunicación son:

- MODBUS 485
- OPC-UA

3.2.1 MODBUS 485

Para las comunicaciones cableadas del sistema central de datos se ha empleado una arquitectura MODBUS⁽⁷⁾, en la que un elemento desempeña el papel de *Master* y puede pedir los datos a dispositivos *Slaves*.

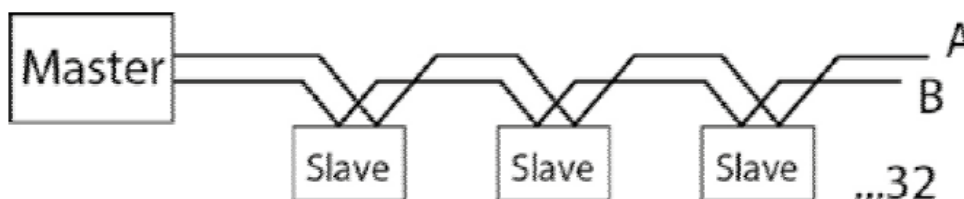


Figura 16: Topología básica de comunicaciones MODBUS

El dispositivo Master es el elemento 2.7 relatado en el apartado 2 del presente entregable y se encarga de pedir los valores de variables almacenados en los esclavos. Cuando realiza una petición espera recibir los datos del esclavo. En caso de producirse un problema, el Master debe hacer saber que existe alguna anomalía.

En este desarrollo, los dispositivos esclavos son los detallados en el apartado 2 y son los que están vinculados a la captura de información de los lectores RFID, del sensor de humedad y temperatura...

Para lograr el entendimiento correcto, los esclavos poseen un microcontrolador, que en otras cosas se encarga de:

- Tratar la trama de datos recibida por el Master
- Decidir si es el Slave objetivo del Máster
 - Si no lo es, no hace nada
- Si es objetivo, prepara los datos y los envía al Master

El protocolo de comunicación es MODBUS 485. Este tipo de protocolo es ampliamente usado en entornos industriales por su robustez ante interferencias y ruidos, además de permitir largas distancias de cableado (aunque este último aspecto, no sea el caso en el trabajo realizado)

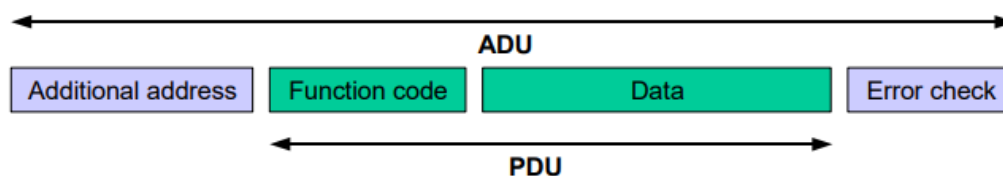


Figura 17: Trama MODBUS

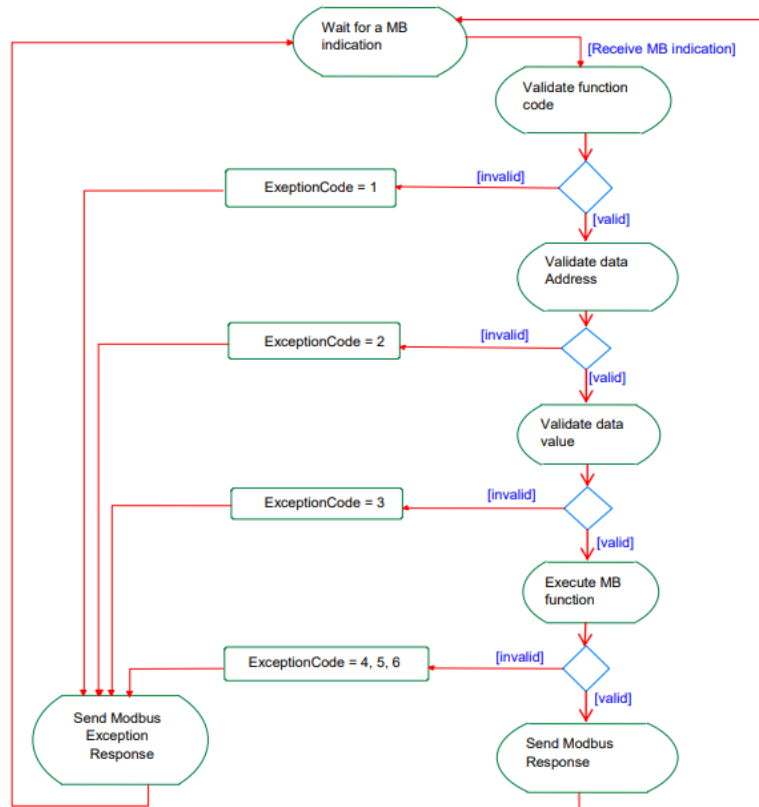


Figura 18: Diagrama de estados en transacciones MODBUS

En la arquitectura MODBUS, el Master realiza constantemente las peticiones a los dispositivos slaves (polling) demandando la información. Como los slaves no pueden devolver datos todos a la vez, cada vez se realiza la petición a cada uno de ellos. En nuestro caso, pudiere existir la posibilidad que un lector RFID (slave 1, por ejemplo) tenga cierta información (de un marcador A) que todavía no se ha tratado y pueda quedar modificada porque ha detectado un nuevo marcador (marcador B) de una nueva horma. Ante esta situación, si el Master pide información registrada en slave 1, se obtendrá solamente la información del marcador B, habiéndose perdido la del marcador A. Analizando el funcionamiento de una cadena de producción de calzado, esta situación es imposible que ocurra debido a que la frecuencia de llegada de una nueva horma es infinitamente menor que el polling efectuado por la arquitectura MODBUS.

3.2.2 OPC-UA

Una vez que los datos han sido recibidos por el Master, éste se encarga de empaquetar los datos en un formato adecuado para ser enviados remotamente vía Ethernet a un servidor para su correspondiente tratamiento.

El formato OPC-UA como protocolo de comunicación es ideal para la adquisición de datos, el modelado de la información y la comunicación entre planta y aplicaciones de una forma fiable y segura.⁽⁸⁾

Las principales características y beneficios de los OPC UA son:

- Plataforma neutral que funciona en cualquier sistema operativo
- Preparada para el futuro y para comunicar con sistemas antiguos
- Fácil configuración y mantenimiento
- Tecnología orientada a servicios
- Aumento de la visibilidad
- Mayor alcance de la conectividad
- Alto rendimiento

En definitiva, se trata de un protocolo de comunicación pensado para comunicar datos de equipos industriales, pero su principal diferencia es que, a diferencia de éste, no se limita sólo a comunicar datos entre aplicaciones y sensores, sino que su objetivo es ir más allá y que pueda comunicarse con todas las aplicaciones de la empresa y a través de todas las capas empresariales llevando datos de máquinas de forma segura y multiplataforma, desde aplicaciones en el móvil hasta programas de gestión empresarial, MES, ERP's, hojas de excel, etc.⁽⁹⁾

En el Master que, como se menciona anteriormente está gestionado por una Raspberry, se ha implementado un programa para poder encapsular y enviar los datos en formato OPC-UA. Con el objeto de testear este envío de datos se ha hecho necesario el uso de un software que actúa como cliente OPC-UA, esto es, pide datos a un servidor OPC-UA (en este caso, el Master de nuestro sistema) para poder presentarlos por pantalla. El programa cliente OPC-UA solamente sirve como visualización de datos y carece de las funcionalidades necesarias para que ocupe el lugar de un sistema de monitorización de variables que este proyecto necesita.

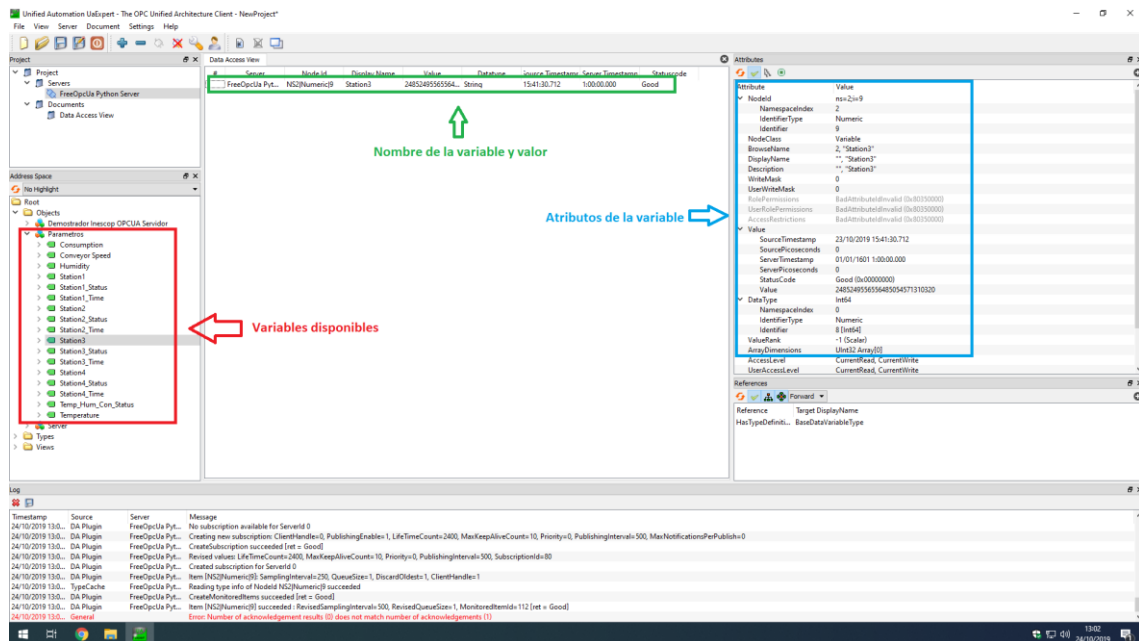


Figura 19: Interfaz de programa UA-Expert. Este programa actúa de Cliente OPC-UA

4. Referencias

1. https://www.kimaldi.com/productos/sistemas_rfid/lector_de_tarjetas_rfid_y_tags_125_khz/lectores_y_grabadores_rfid_125_khz/lectores_de_proximidad_gp20_y_gp30/
2. <https://www.yaskawa.eu.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=2529&token=a1224ac6a637a8cf73ab1794214d903fe8791882>
3. <https://www.arduino.cc/>
4. <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
5. https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-s.html
6. <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>
<https://es.wikipedia.org/wiki/LoRaWAN>
7. <http://www.modbus.org/>
8. <https://www.matrikonopc.es/opc-ua/index.aspx>
9. <https://www.opiron.com/2018/06/18/que-es-opc-ua/>