Desenvolupament d’un sistema de comunicació per a instrumentació Modbus genèric

Francisco Soto Telles

Treball Final de Grau d’Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica.
Escola Politècnica Superior d’Enginyeria de Vilanova i la Geltrù (UPC) 2020

Resum

El protocol Modus és utilitzat comunament en molts equips de mesura i control en diferents àmbits. Mitjançant aquest protocol aquests equips poden ser teleoperats remotament des d'un sistema de monitoratge i control com podria ser un PC o un PLC. La definició del protocol Modbus permet ser utilitzat sobre RS485 o Ethernet. Tot i que aquests busos de comunicació permeten operar sobre el mateix bus diferents instruments, no existeix una estandardització a nivell Modbus entre els diferents fabricants que permeti l'ús d'una aplicació genèrica per poder comunicar simultàniament amb instruments o equips diferents.

Aquest projecte té com a objectiu resoldre la problemàtica existent sobre l'estandardització mitjançant el disseny, programació i test, d'una aplicació per la connexió de diferents dispositius i de diferents fabricants mitjançant el protocol Modbus.

Primerament al projecte es realitza un estudi teòric del protocol Modbus, el seu funcionament i diferents variants.

Per poder portar endavant la programació de l'aplicació es realitza un repàs del llenguatge utilitzat, que en aquest cas és LabVIEW.

Per la comprovació del correcte funcionament de l'aplicació es crea una configuració per testejar amb 2 cabalímetres (Simex i TUF-2000M) i un Arduino Mega. A més es realitza una videoconferència amb l'empresa Sensotec Instruments, S.A pel suport a la verificació de les dades llegides dels aparells i després posteriorment una visita a l'empresa i es testeja l'aplicació al seu banc d'assajos.

1. Introducció

L'objectiu del projecte és el desenvolupament d'una eina hardware/software que permeti la comunicació amb qualsevol mena d'instrument Modbus, independentment del fabricant o les variables que mesuri. Ja que molts equips de mesura i instrumentació utilitzen per a la seva configuració i comunicació el protocol Modbus, bé mitjançant bus de comunicacions RS-485 o Ethernet.

La problemàtica ve donada en la incompatibilitat de poder fer servir la mateixa aplicació o sistema dins d'un mateix entorn que tingui diferents instruments. Aquest inconvenient ve donat perquè la informació dels instruments s'organitza mitjançant un mapa de memòria Modbus, que és diferent per a cada tipus d'instrument i fabricant. Per resoldre aquest problema es durà a terme una descripció en un format estàndard del mapa de memòria Modbus de cada instrument.

Per poder dur a terme l'objectiu es realitzarà un estudi exhaustiu del protocol Modbus per poder comprendre bé el seu funcionament i els trets característics per tal d'assolir l'objectiu proposat.

Pel que fa a la programació de l'aplicació es farà amb el llenguatge de programació visual LabVIEW, també s'haurà de fer un estudi exhaustiu de les diferents funcionalitats que ofereix i es necessiten per poder crear una aplicació que pugui dur a terme la interconectivitat de dispositius amb Modbus.

Per a la validació de l'eina creada amb LabVIEW es proposa un set d'instrumentació basat en diferents cabalímetres de diferents fabricants que seran tots ells instal·lats en un banc d’assajos per a realitzar la comparació dels valors obtinguts amb els paràmetres descrits pels fabricants de cada dispositiu. Després de la configuració adient i la correcta execució del programa, l'objectiu és que es puguin visualitzar en un mateix entorn les variables que s'escullin donats cabalímetres de diferents fabricants amb els seus respectius mapatges de memòria completament diferents.

2. Instrumentació

Per a la creació del programa que automatitzarà la connexió dels diferents dispositius amb el protocol Modbus s'ha utilitzat el software LabVIEW de National Instruments (NI) i també per les proves un Arduino Mega apart dels cabalímetres proporcionats per la universitat.

2.1 SIMEX SRL-49

“El mesurador està dissenyat per a mesurar senyals típics de corrent o voltatge. La lectura es presenta simultàniament en una pantalla LED de quatre dècades i un gràfic de barres de 20 punts i dos colors que cobreix tot el rang de mesurament. Gràcies a l'àmplia gamma de corbes característiques (lineal, arrel quadrada, quadràtica, definida per l'usuari i característica de volum per a tancs cilíndrics), els mesuradors poden usar-se en diversos sistemes de control de processos. La sortida de 24 V CC / 100 dt. està dissenyada per a subministrar transductors de mesurament, i el port RS-485 permet la transmissió de dades en sistemes de monitoratge de processos de producció. Les sortides de control REL / OC poden ajustar el nivell de senyal mesurat

i es controlen d'acord amb un o dos valors de llindar. A més, el mesurador pot equipar-se amb sortides analògiques, d'acord amb la selecció del client: sortida de corrent actiu, sortida de corrent passiu aïllat o sortida de voltatge actiu. El mesurador es pot configurar o alliberar el programari a través del port de comunicació RS-485 o amb el teclat local." (SIMEX 2018)

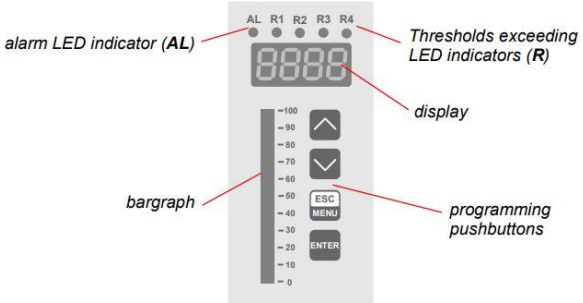

Figura 1. *Pantalla frontal del SRL-49*

2.2 Arduino

Amb un Arduino Mega, uns cables connectors i una protoboard de possessió personal també s'ha dut a terme la creació d'un simulador d'esclau Modbus. El codi per la creació del simulador d'un esclau ha estat extret del fòrum oficial d'Arduino (ARDUINO 2020). S'ha incorporat al muntatge un convertidor TTL a RS-485 per poder dur a terme aquest simulador d'esclau i aconseguir així, la simulació de una comunicació amb el protocol Modbus sèrie.

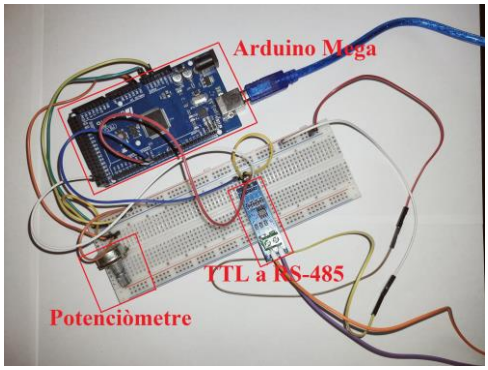

Figura 2. *Simulador d'esclau Modbus amb Arduino*

2.3 TUF-2000M

El mesurador de flux ultrasònic TUF-2000M està dissenyat per a mesurar la velocitat del líquid dins d'un conducte tancat. Els mesuradors de flux ultrasònics de la sèrie TUF-2000 utilitzen el principi del temps de trànsit per a mesurar la velocitat de líquids relativament nets en canonades plenes.

El mesurador de flux de temps de trànsit TUF-2000M utilitza dos transductors que funcionen com a transmissors i receptors ultrasònics. Els transductors se subjecten en l'exterior d'una canonada tancada a una distància específica entre si. El mètode de muntatge depèn de les característiques de la canonada i del líquid. El mesurador de flux funciona transmetent i rebent alternativament una ràfega d'energia del so modulada en freqüència entre els dos transductors i mesurant el temps de trànsit que triga el so a viatjar entre els dos transductors. La diferència en el temps de trànsit mesurat està directa i exactament relacionada amb la velocitat del líquid en la canonada.

Figura 3. *TUF-2000M*

2.4 Convertidor RS-485 a USB

El convertidor de RS-485 a USB és una solució ràpida i segura per la interfase entre l'ordinador i els busos de comunicació industrials RS-485. En connectar el convertidor al port USB de l'ordinador és detectat i instal·lat automàticament. L'ordinador actua com si fos un port COM natiu i passa a ser compatible amb qualsevol aplicació existent de comunicació serial.

La comunicació és half-duplex, aquesta és la manera més popular d'utilització del RS-485. Només s'utilitza un parell de fils per a la transmissió i recepció de dades. Múltiples dispositius es connecten en la modalitat bus. Els diferents dispositius RS-485 utilitzen diferents notacions per a indicar la manera correcta de connectar el parell diferencial de comunicació. En el nostre cas anirà condicionada per la configuració en bus dels dispositius.

3. Funcionament de l'aplicació

Per poder comprendre el funcionament de l'aplicació hem de reprendre l'objectiu de poder connectar diferents dispositius amb un mapa de memòria diferent amb una sola aplicació i no haver de fer servir l'aplicació pròpia del fabricant per a cada dispositiu.

Per poder executar l'aplicació, el primer que s'ha de realitzar és la connexió en bus dels diferents dispositius que es desitgin monitorar i realitzar les configuracions pertinents perquè tinguin una adreça diferent cadascú, ja que si no es fes, el programa col·lidiria en preguntar al mateix dispositiu.

3.1 Pantalla Principal

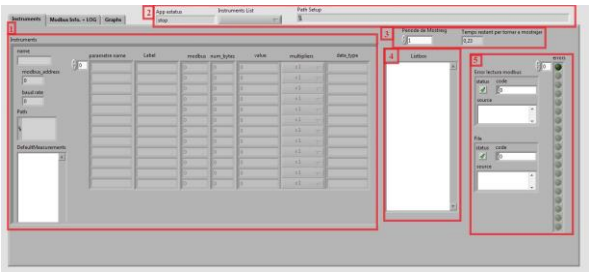

Figura 4. *Pantalla principal de l'aplicació*

1. Instruments: és l'apartat on es veuen reflectides les variables amb la seva configuració, adreça, label, etc. A banda, a l'apartat de value és on es visualitza els valors dels registres interrogats a temps reals, escollits per l'usuari. L'actualització ve donada depenent del temps que l'usuari esculli a l'apartat 3 de temps de mostreig.

2. En aquesta secció hi ha tres elements. El primer començant per l'esquerra és anomenat app status que indica l'estat de l'aplicació a temps real (màquina d'estats). Després està situat l'instrument list, on se situa la llista dels diferents instruments afegits al setup pujat o creat. Per últim se situa el path setup on es visualitza la ruta de l'arxiu setup.db que s'hagi carregat.

3. Aquí és on l'usuari pot escollir el temps de mostreig desitjat per les variables carregades a l'aplicació. També al costat hi és un comptador que indica el temps restant fins a la següent interrogació. Pot ser modificada en qualsevol moment de l'execució de l'aplicació i és un dels paràmetres que es guarda amb el setup per pròximes obertures d'aquest.

4. En aquest apartat anomenat Listbox té la funció de visualitzar els noms de les variables carregades a l'aplicació perquè puguin ser escollides, amb un clic o clic+Ctrl en el cas de voler seleccionar més d'una variable a la vegada, en el moment del polling i ser interrogades o no. Si estan subratllades de color blau és que han estat seleccionades i seran interrogades.

5. L'últim apartat és on es poden veure els errors que poden ocórrer en l'execució de l'aplicació. El primer és sobre la lectura dels diferents dispositius Modbus que va lligat amb els leds de la dreta, ja que els leds identifiquen en quina variable hi ha hagut l'error i per l'altra part s'observa quin tipus d'error ha ocorregut. L'altre error que es mostra és per quan hi han errades amb l'obertura de fitxers .ini de configuració.

3.2 Arxiu de configuració

La creació d'aquest arxiu és on se solvatarà una part de la problemàtica amb els diferents mapatges de memòria. Per poder resoldre el problema abans de l'execució del programa s'hauria de realitzar la creació d'un arxiu amb extensió .ini que es configurarà de la següent manera:

El primer a fer és crear l'apartat de configuració on s'hauran d'indicar les següents variables de l'instrument desitjat:

- **Name:** nom que tindrà l'instrument a l'aplicació.
- **Baud_Rate:** bauds a que treballa el dispositiu.
- **Address_modbus:** adreça Modbus del dispositiu.
- **Adreça_decimal(0)_heax(1):** va relacionat amb els següents apartats de seccions per indicar si les direccions dels registres estan indicades amb decimal introduint un 0 o heaxadecimal un 1.
- **Num_seccions:** nombre de seccions que s'introduiran seguidament.

A continuació de configurar aquest apartat que es dirà [config], s'ha de configurar les seccions, que serien les variables que es vulguin monitorar amb l'aplicació així relacionant cada secció a una variable del dispositiu. Per la seva correcta configuració s'ha de realitzar introduint-les de la següent manera amb la capçalera de [secció]:

- **Adreça:** registre de memòria comença la variable que es vol monitorar. Tenint en compte el sistema de numeració escollit a l'apartat d'adreça_decimal(0)_hexa(1) si es el decimal o hexadecimal.
- **Description:** definir el nom de la variable.
- **Num_bytes:** nombre de bytes que tingui la variable en qüestió.
- **Data_type:** tipus de dades hi ha emmagatzemades en els registres per la seu correcte tractament per part de l'aplicació. Els tipus que es poden definir son els següents:
  - **Integer o integerU:** es tracta d'un nombre enter de 1 byte i depenent si es amb signe o sense signe, afegint una U majúscula al final si es sense signe.
  - **Long o longU:** es tracta de un nombre enter de 2 bytes i igualment que el cas anterior depenent si hi ha part negativa o no a la seva representació s'afegeix una U o no al final.
  - **Real4:** registres de 2 bytes que representen un nombre de tipus flotant.
- **Writeable:** s'indica si els registres son només de lectura o també de escriptura. Per registres nomes de lectura s'indica un NO i pels que permetin també l'escriptura s'indica un SI.

3.3 Creació o obertura d'un setup existent

Com es pot veure en la figura 8 en el menú de Configuration, apareixen dues opcions:

New setup, on en seleccionar-ho s'obre un diàleg d'arxiu que pots escollir el nom de l'arxiu amb extensió .db. Després de seleccionar el nom de l'arxiu desitjat, s'obrirà el diàleg d'arxius un altre cop però en aquest cas per escollir els instruments que es volen incloure en el setup creat. S'afegiran d'un en un els arxius .ini, després d'afegir cada arxiu sortirà una finestra emergent amb la pregunta de si es vol seguir afegint o no més arxius al setup creat.

L'altra opció que existeix en aquest menú és la d'Open existing, que la seva funcionalitat és la d'obrir un arxiu .db ja creat amb anterioritat en una execució prèvia de l'aplicació. On en obrir-ho es carregarà tots els instruments guardats amb la seva configuració a aquell setup.

Per altra banda hi ha les opcions de guardat per quan ja estigui creat el setup o obert un de creat, en qualsevol moment de l'execució del programa que es vulgui guardar el setup existeixen les opcions de Save per guardar-lo en l'estat en què estigui en aquell moment amb el nom ja preestablert o Save As per fer-ho amb un nom diferent del que ja té l'arxiu setup.

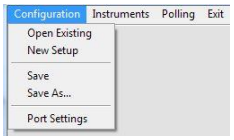

Figura 5. *Menú Configuration*

3.4 Afegir, editar o esborrar dispositius

En aquest apartat del menú hi ha tres opcions que consisteixen en el següent:

- **Add Instrument**: en aquesta pestanya del menú s'executa la mateixa part de després de crear un

setup nou com hem explicat anteriorment. Hi ha la possibilitat de seguir afegint instruments a un setup ja creat, amb la seva corresponent configuració guardada en un arxiu .ini.

- **Delete all instruments:** la funció d'aquesta secció és la d'esborrar tots els instruments carregats dintre d'un setup i deixar-lo completament buit, sense cap instrument carregat.
- **Edit instruments configuration:** en introduir-se en aquesta opció s'obrirà una altra finestra de configuració com la de la figura 9.

Figura 6. *Finestra de l'apartat Edit Instruments configration*

En obrir-se aquesta finestra existeix la possibilitat d'editar alguns aspectes dels instruments carregats al setup, com poden ser el multiplicador en cas que calgués, alguna variable carregada a l'instrument o també introduir-hi un label per així etiquetar d'una forma més aclaridora i senzilla el nom de la variable.

Per moure's pels diferents arxius .ini carregats hi ha la pestanya de Llistat d'instruments i poder seleccionar l'instrument escollit per la modificació. En realitzar o no les modificacions adients hi ha dues opcions a escollir: cancel, per no guardar els canvis realitzats en qualsevol dels instruments modificats o save, on es guardarien els canvis realitzats. Al pressionar qualsevol de les dues opcions esmentades aquesta finestra de modificació de l'instrument es tancarà automàticament.

L'última opció que es podria utilitzar en aquesta finestra de modificació és delete instrument, que realitza la funció d'esborrar l'instrument que hagi estat seleccionat a la pestanya de llistat d'instruments. És una alternativa a l'opció que s'ha esmentat anteriorment de delete all instruments, ja que en comptes d'esborrar tots els instruments carregats al setup, només s'esborra d'un en un per si la modificació no vol ser de tots els instruments.

3.5 Interrogar Dispositius

Les opcions d'aquesta part del menú son ben senzilles ja que com es pot observar a la figura hi ha la opció de start polling per iniciar la lectura dels registres o la opció de stop polling per finalitzar-la.

Figura 7. *Menú d'interrogació*

7.6 Gràfics i registre de dades

Aquest apartat està relacionat amb l'anterior, ja que s'està interrogant al dispositiu. Existeixen dues possibilitats que són la de visualitzar les variables seleccionades a través d'un gràfic en viu a l'apartat Graphs de la pantalla principal de l'aplicació amb un índex al gràfic amb un checkbox per poder decidir quines són les variables a visualitzar.

L'altra opció situada a la finestra Modbus Info + LOG de la pantalla principal, és la de generar un registre de les dades en un arxiu de text (.txt) que també es generaria amb únicament les dades de les variables seleccionades a la Listbox anomenada anteriorment. En aquest registre de dades, cada variable està identificada pel seu label, data i hora de la dada registrada i amb la separació d'una columna per dada registrada.

4. Comprovació de lectures

A causa de la situació sanitària amb la qual ens hem trobat en el desenvolupament del projecte, no s'han pogut realitzar totes les proves que es tenien pensades des d'un principi i s'ha hagut d'adaptar.

Primerament, per provar el correcte funcionament de l'aplicació i que les lectures fossin les esperades, es van realitzar proves amb l'Arduino amb la configuració esmentada a l'apartat 6.2 i amb el convertidor explicat a l'apartat 6.4 per poder-lo connectar al port USB de l'ordinador on s'ha desenvolupat l'aplicació i que virtualitzés el port COM per fer les proves adients. La majoria de les lectures van ser correctes i les que no van ajudar a realitzar les correccions necessàries perquè evolucionés l'aplicació.

En el moment en què la situació sanitària ho va permetre i es va tenir accés als altres dos dispositius comentats en els apartats 6.1 i 6.3. En obtenir aquests dispositius es va realitzar una connexió en bus dels tres dispositius per continuar amb les proves adients de l'aplicació desenvolupada on van sorgir problemes amb la gestió dels tipus de dades que anteriorment amb l'Arduino no s'havien pogut identificar, ja que només generava un tipus i, en canvi, els dos dispositius nous en generaven cinc tipus diferents de dades a gestionar. En detectar l'error de la gestió de dades va ser possible la modificació de l'aplicació pel seu correcte funcionament. Tot i fer les proves amb els dos dispositius nous, encara sorgien alguns dubtes degut a la limitació de mitjans per a mesurar cabdals dels quals disposava al domicili, en especials amb el dispositiu TUF-2000M. En el cabalímetre Simex si es va aconseguir una configuració perquè les lectures les extragués de senyals de voltatge i no amb uns adaptadors per mesurar cabdal. Amb el voltatge de 0-5V que genera l'Arduino i una resistència variable es va aconseguir la simulació de mesures de cabdal. Les proves també es van realitzar amb altres tipus de variables com paràmetres de configuració, sortides com activació de relés, timers, etc. sobretot amb el dispositiu TUF-2000M.

Per a la realització d'aquestes proves, s'ha obtingut dels datasheets dels dos cabalímetres la informació de les posicions de les variables a mesurar per poder dur a terme la realització del mapatge de memòria previ a l'execució de l'aplicació. Un cop executada l'aplicació amb el mateix datasheet s'ha fet la comprovació dels valors obtinguts per l'aplicació i els esperats segons les indicacions del fabricant.

S’ha provat diferents variables i configuracions. A continuació s’exposa una de les mesures fetes amb el cabalímetre Simex i el seu corresponent datasheet. Tot i que la configuració com s’ha esmentat anteriorment és dels tres dispositius en bus tot i que només s’analitzarà un en l’exemple, el cabalímetre SIMEX.

La visualització que extreta de l’aplicació és la següent exposada a la figura 11:

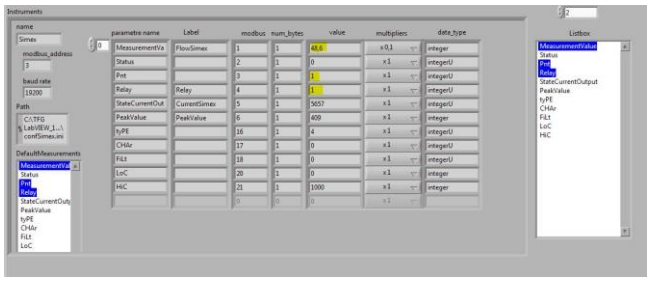

Figura 8. *Lectura del cabalímetre Simex*

Com es pot observar, hi ha tres variables del dispositiu seleccionades. L’anomenada MeasurementValue és la lectura del cabdal simulat amb el voltatge de l’Arduino i la resistència variable, que mostra per pantalla al dispositiu el valor de 48.6 com comprovem a la figura 12, que coincideix amb la mesurada per l’aplicació.

Figura 9. *Display del cabalimetre Simex*

Aquesta variable de mesura de cabdal que se situa a la posició 1 del mapatge de memòria del dispositiu ve condicionada per la variable situada al registre 3 i de nom Pnt, que és un registre de configuració. Com podem observar a la figura 11 obté un valor d’1, que vol dir que com comprovem a la figura 13 té una configuració del punt decimal al resultat de 0.0 i coincideix amb la visualització de l’aplicació.

03h	Yes	0 ÷ 3	"**Pnt** " parameter in "**InPt**" menu (decimal point position) **0** - " 0"; **1** - " 0.0"; **2** - " 0.00"; **3** - "0.000"

Figura 10. *Descripció del registre 3 del datasheet del Simex*

Per altra banda com també s’observa al display del dispositiu a la figura 12 hi ha un indicador led que indica que el relé 1 està actiu. Comprovant la figura 11 de la nostra aplicació, la variable situada al registre 4 amb el nom relay té el valor d’1.

04h	Yes	see descr..	State of the relays and alarm LED (binary format) (1 - on, 0 - off): **00000000 000edcba** **a** - relay R1; **b** - relay R2; **c** - relay R3; **d** - relay R2; **e** - alarm LED; If written, only **a**, **b**, **c**, **d** bits are important (others are ignored) these bits allows user to control the relays via RS-485 interface

Figura 11. *Descripció del registre 4 del datasheet del Simex*

Extraient la informació del datasheet del registre 4 que podem visualitzar a la figura 14, es pot veure segons el valor en binari del registre si els relés estan actius (1) o no (0). Si passem el valor d’1 visualitzat a l’aplicació a binari és 00000001 i comparant amb la informació del registre 4 veiem que el relé "a" està actiu i és el corresponent al relé 1. D'aquestes mesures i comprovacions podem extreure que el funcionament de l'aplicació en aquest cas és correcte tant en la visualització dels estats dels dispositius com dels registres de configuració seleccionats. Aquest procés s’ha repetit també per la resta de dispositius i la resta de variables perquè la comprovació fos més exhaustiva i poder validar la robustesa de l’aplicació.

Figura 12. *Configuració en bus d'Arduino i cabalímetres*

Un cop finalitzat l’estat d’alarma s’ha fet possible poder assistir presencialment a Sensotec Instruments, S.A. el mateix dia que es realitza l’entrega del present projecte, la qual cosa impedeix una explicació extensa de la feina realitzada.

En la visita a l’empresa de Sensotec S.A. s’han pogut realitzar proves en un banc d’assajos més similar a la realitat. Aquest banc d’assajos està compost pels següents elements:

- SIMEX SR-49 amb els seus corresponents transmissors i receptors ultrasònics.
- TFM 2100 amb els seus corresponents transmissors i receptors ultrasònics.
- Prototip series MQU99 i MQI99.

Primerament, s’ha repassat la creació dels arxius .ini amb el personal de l’empresa per evitar alguna errada de configuració, i la creació d’un nou .ini pels prototips que encara no tenen informe tècnic oficial. Seguidament i junt amb el personal de l’empresa s’ha repassat que la connexió física fos del tot correcte i estiguessin en bus, a més de revisar que les configuracions dels bauds i les direccions fossin les correctes.

En segon lloc, s’ha procedit a realitzar una sèrie de proves de diversos valors de cabdals mesurats amb els transmissors i receptors ultrasònics. A més a l’instrument TFM 2100 se li ha connectat una sonda de temperatura PT100 per mesurar la temperatura de l’aigua d’una de les respectives canonades.

Per últim, amb l’ajuda dels coneixements dels empleats de Sensotec i els informes tècnics dels dispositius, s’ha verificat que totes les lectures fossin correctes i que tinguessin coherència amb l’informe tècnic i la visualització del display del dispositiu i l’aplicació.

Com a conclusió de les proves realitzades a Sensotec S.A. podem extreure que el funcionament de l’aplicació és el correcte i també s’ha fet un recull de propostes de millora per aquesta de parts dels professionals en la matèria que son molt valuoses per l’evolució de l’aplicació.

Figura 13. *Prova a Sensotec S.A.*

5. Conclusions

Durant el transcurs d'aquest projecte, es va establir com a objectiu la creació d'una aplicació per realitzar comunicacions amb el protocol Modbus de manera genèrica independentment del fabricant del dispositiu.

Amb aquest projecte s'ha aconseguit transferir les dades dels tres dispositius de fabricants diferents a la mateixa aplicació i visualitzar-los mitjançant un mapatge de memòria creat prèviament.

La condició sanitària del moment ha dificultat la creació de setups del tot adients per poder testejar els resultats obtinguts a l'aplicació de manera eficaç.

Una problemàtica que no ha estat resolta per falta de material, és l'opció que les connexions no fossin només per port sèrie RS-485 sinó que també poguessin ser per Ethernet amb TCP/IP.

Com a experiència personal ha estat un projecte molt interessant, amb moltes hores de dedicació però alhora, amb molts coneixements assolits durant el seu transcurs tant teòrics com pràctics en relació al tema escollit.

6. Agraïments

No m’agradaria concloure aquest projecte sense abans mostrar l’agraïment pel suport, l’ajut i la dedicació en el transcurs de tot el projecte al tutor d’aquest projecte i professor de la Universitat Politècnica de Vilanova i la Geltrú Joaquin del Rio Fernandez.

Referències

SIMEX. User manual METER SRL-49. Gdańsk: SIMEX, 2018. SRL-49_INSSXEN_v.2.10.001