

SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIT DE VALVULES

Luis Seguí Pascual
Enginyeria Tècnica Informàtica de Sistemes
Sistemes encastrats

Jordi Bécares Ferré
Pere Tuset Peiró
Xavi Vilajosana Guillen

13/06/201

© Luis Seguí Pascual

Reservats tots els drets. Està prohibit la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol mitjà o procediment, compresos la impressió, la reprografia, el microfilm, el tractament informàtic o qualsevol altre sistema, així com la distribució d'exemplars mitjançant lloguer i préstec, sense l'autorització escrita de l'autor o dels límits que autoritzi la Llei de Propietat Intel·lectual.

Llicències alternatives (triar alguna de les següents i substituir la de la pàgina anterior)

A) Creative Commons:



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](#)



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Espanya de Creative Commons](#)



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial 3.0 Espanya de Creative Commons](#)



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](#)



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-CompartirIgual 3.0 Espanya de Creative Commons](#)



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement 3.0 Espanya de Creative Commons](#)

B) GNU Free Documentation License (GNU FDL)

Copyright © ANY EL-TEU-NOM.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation

License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

C) Copyright

© (l'autor/a)

Reservats tots els drets. Està prohibit la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol mitjà o procediment, compresos la impressió, la reprografia, el microfilm, el tractament informàtic o qualsevol altre sistema, així com la distribució d'exemplars mitjançant lloguer i préstec, sense l'autorització escrita de l'autor o dels límits que autoritzi la Llei de Propietat Intel•lectual.

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	CONTROL DISTRIBUÏT DE VALVULES
Nom de l'autor:	Luis Seguí Pascual
Nom del consultor/a:	Jordi Bécares Ferrés
Nom del PRA:	Pere Tuset Peiró i Xavi Vilajosana Guillen
Data de lliurament (mm/aaaa):	06/2016
Titulació o programa:	Enginyeria Tècnica Informàtica de Sistemes
Àrea del Treball Final:	Sistemes Encastats
Idioma del treball:	Català
Paraules clau	CONTROL DISTRIBUIT, ENCASTAT
Resum del Treball:	
<p>En el sector industrial existeix un tipus de maquinaria anomenada “separadors òptics”. Aquesta maquinaria aplica a sectors tan diversos com l'alimentari, farmacèutic o reciclatge. Son màquines que mitjançant visió artificial monitoritzen fluxos de producció y detecten objectes a separar d'aquests fluxos. Aquests objectes detectats se separen mitjançant la activació de electrovàlvules que amb aire comprimit aconsegueixen aquesta separació.</p> <p>Es maquinaria que treballa en entorns industrials altament agressius i que necessiten allunyar el quadre elèctric on s'ubica el ordinador que executa la aplicació per protegir-lo. Al allunyar el ordinador s'incorre amb un alt cost de cablejat punt a punt de cada electrovàlvula. Aquest cablejat també té un alt cost de manteniment.</p> <p>L'objecte d'aquest treball es fer un PoC(Proof of Concept) per un sistema de control distribuït de vàlvules. Aquest projecte neix d'una necessitat real en el mon industrial com es el control distribuït de perifèrics(en aquest cas vàlvules) contra la manera tradicional de cablejat elèctric punt a punt dels diferents perifèrics.</p> <p>Així doncs, amb aquest treball es busca la manera de substituir aquest cablejat elèctric per un bus de comunicació i un sistema de control de baix cost ubicat proper a les electrovàlvules des de on cablejar-les elèctricament. El bus de comunicacions triat finalment es Ethernet, per cost, facilitat de manteniment i fabricació.</p> <p>El sistema amb que s'ha treballat per fer el control distribuït es la placa LPC1769 que, ha de comunicar-se amb la aplicació i activar les electrovàlvules. A resultat ser un perifèric de molt baix cost, petit i fàcil de programar, totalment idoni per la aplicació designada.</p>	

Abstract:

Optical sorters are machinery applied in very different industrial sectors like food, pharmaceutical, recycling. This machinery consists in monitoring production flows by means of machine vision and separating detected objects by air compressed activating electrovalves.

This machinery works in very hazard and aggressive environments which forces to protect computers by moving them away. Therefore, this movement increases the cabling and also maintenance cost considerably since electrovalves are cabled point to point from computer.

The object of this study is implementing a PoC(Proof of Concept) for a electrovalves distributed control system. This study is born due to a real industrial need for a way to control peripherals in a distributed way.

This study pretends to find an alternative to electrical point to point cabling of peripherals with a communication bus and a low cost device near to the peripheral. Communication bus chosen is finally Ethernet due to low cost, easily maintained and easy to fabricate.

Device chosen for the distributed control is the LPC1769 which has to communicate with application running on the computer and finally activating the electrovalves. This device has turned ideal for this application mainly due to low cost, size and easily programmed.

Contingut

1.	Introducció.....	5
1.1	Context i justificació del treball.....	5
1.2	Descripció del treball.....	6
1.3	Objectius del TFC.....	7
1.4	Enfocament i mètode seguit.....	8
1.5	Planificació del treball.....	9
1.6	Recursos emprats.....	14
1.7	Productes obtinguts.....	14
1.8	Breu descripció dels altres capítols de la memòria.....	14
2.	Antecedents.....	16
2.1	Marc del projecte.....	16
2.2	Estat de l'art.....	16
2.3	Estudi de mercat.....	21
3.	Descripció funcional.....	28
3.1	Sistema control distribuït de vàlvules.....	28
3.1.1	Diagrama de blocs de l'aplicació.....	28
3.1.2	Com és la xarxa (posició i comunicació a través de la xarxa).....	32
3.1.3	Com interactuen els diferents objectes en el sistema.....	32
3.2	Interfase usuari.....	33
3.2.1	NETCAT.....	33
3.2.2	UART.....	34
3.3	LPC1769.....	35
3.3.1	Diagrama de blocs i/o esquema.....	35
4.	Descripció detallada.....	38
4.1	Diagrama execució.....	38
4.1.1	Aplicació emissora – resident a Maquina virtual sobre Windows 7 64bits.....	38
4.1.2	Aplicació receptora – resident a LPC1769.....	40
4.1.3	Proves del sistema.....	45
4.2	Casos d'ús.....	46
4.3	Estructura de les trames enviades per la aplicació emissora - Dring.....	47
4.4	Estructura de les trames enviades per la aplicació receptora – LPC1769.....	48
5.	Viabilitat tècnica.....	49
6.	Valoració econòmica.....	51
7.	Conclusions.....	53

7.1	Conclusions. Que s'ha après en aquest treball.....	53
7.2	Autoavaluació.....	53
7.2.1	Assoliment dels objectius inicials	53
7.2.2	Seguiment de la planificació.....	53
7.3	Tasques pendents.....	53
8.	Glossari.....	54
9.	Bibliografia (Totes les fonts que hagueu consultat)	55
10.	Annexos.....	56

Taula 1. Esquema actual simplificat.....	6
Taula 2. Esquema TFC simplificat.	7
Taula 3. Cronograma inicial del TFC.	11
Taula 4. Cronograma real del TFC.....	13
Taula 5. Bus de comunicació. Comparativa general.....	19
Taula 6. Bus de comunicació. Comparativa cablejat	20
Taula 7. Bus de comunicació. Comparativa nombre de nodes i accés al medi.	20
Taula 8. Bus de comunicació. Comparativa mida missatges i control errors.	20
Taula 9. Bus de comunicació. Comparativa preus ethernet-profibus-modbus-devicenet	21
Taula 10. Cost implementació sistema punt a punt.	22
Taula 11. Cost desenvolupament sistema punt a punt.	22
Taula 12. Cost implementació sistema encastat industrial.	23
Taula 13. Cost desenvolupament sistema encastat industrial.	23
Taula 14. Cost implementació sistema encastat simple.	24
Taula 15. Cost desenvolupament sistema encastat simple.	24
Taula 16. Pressupost NXP Sistema encastat simple.....	25
Taula 17. Pressupost PLC+IO National Instruments.	26
Taula 18. Pressupost IFM per un sistema encastat industrial	27
Taula 19. Esquema del sistema de control de vàlvules punt a punt actual.	28
Taula 20. Esquema del sistema proposat en aquest TFC.....	31
Taula 21. Esquema de xarxa del TFC	32
Taula 22. Mostra de les ordres transmeses via netcat.	34
Taula 23. Missatges mostrats per la UART	34
Taula 24. Esquema funcional LPC1769.....	36
Taula 25. Fitxer configuració Dring.	38
Taula 26. Diagrama execució aplicació emissora.....	39
Taula 27. Diagrama execució del sistema encastat LPC1769.	42
Taula 28. GPIO funcions disponibles al dispositiu.	43
Taula 29. GPIO exemple de funcions de les I/O.....	43
Taula 30. GPIO modes disponibles.	44
Taula 31. Pinnatge LPC1769+Baseboard.	45
Taula 32. Muntatge físic LPC1769+BaseBoard+LEDs.....	46
Taula 33. Esquema físic del sistema industrial.	50
Taula 34. Cost de desenvolupament sistema encastat simple a nivell industrial.	51
Taula 35. Cost implementació sistema encastat simple.	51

1.INTRODUCCIÓ.

1.1 Context i justificació del treball

La proposta d'aquest projecte neix d'una necessitat real en el meu entorn laboral. Treballo en una enginyeria que fabrica un tipus de màquina que s'anomenen *separadors òptics*. El concepte de funcionament d'aquestes màquines es el reconeixement d'objectes d'un flux de material i la seva separació del flux. El reconeixement dels objectes es fa mitjançant visió artificial, es a dir, es capturen imatges del flux i en temps real s'analitzen en un ordinador. El software resident a l'ordinador identifica els objectes a separar i activa una sèrie de sortides a través d'una targeta d'I/O també instal·lada en el mateix ordinador. Aquestes sortides activen unes electrovàlvules que mitjançant aire comprimit en separen els objectes desitjats.

Actualment aquestes màquines estan dissenyades amb la restricció que el cablejat per activar les electrovàlvules es fa punt a punt, es a dir, des de l'ordinador es cableja una a una cada electrovàlvula. Aquesta característica implica un cost elevat en cablejat elèctric doncs cada màquina té una quantitat de vàlvules important. Aquesta alta quantitat de vàlvules a activar comporta que la distància entre l'armari elèctric on s'ubica l'ordinador i l'armari on s'ubiquen les electrovàlvules hagi de ser curta per reduir el cost de fabricació, instal·lació i manteniment d'aquestes màquines. L'entorn industrial on van instal·lades les màquines també desaconsella llargues tirades elèctriques de control.

El projecte com el seu títol indica, pretén canviar aquest esquema físic. L'objectiu del projecte es fer la comunicació entre l'armari de l'ordinador i l'armari de les electrovàlvules mitjançant software a través d'un bus de comunicacions, en aquest cas s'ha triat *ethernet* donat que el temps es un factor crític en aquesta aplicació. A l'armari d'electrovàlvules el sistema tindrà un dispositiu, en el nostre cas serà la targeta LPC1769, que via ethernet rep la informació de l'aplicació resident a l'ordinador i en genera les sortides per l'activació de les electrovàlvules.

La sincronització entre la càmera que captura les imatges del flux i l'activació de les electrovàlvules es crítica per al bon funcionament de la màquina. El sistema disposa d'un trigger que sincronitza tant la captura com el moment d'activació de vàlvules si per toca. El trigger marca la distància en polsos elèctrics entre la captura d'imatge i la activació de la vàlvula si s'escau. Es a dir, des que un objecte passa per la càmera fins que ha de ser separat per les electrovàlvules han de passar un nombre de polsos del trigger prèviament determinat.

Aquesta modificació del sistema comportarà que el cablejat elèctric punt a punt de les electrovàlvules es realitzarà al seu propi armari eliminant la problemàtica derivada de llargs cablejats elèctrics explicada anteriorment.

Aquest treball de final de carrera es planteja com un PoC(Proof of Concept) del sistema descrit anteriorment. L'abast del projecte queda emmarcat en la demostració que el sistema es viable i funcional. Així doncs, el projecte provarà que per aquesta aplicació es pot substituir un cablejat punt a punt tradicional per una comunicació software mitjançant un bus de comunicació. Així

doncs, maquinaria i dispositiu remot hauran de comunicar-se via bus de comunicació i tenir el mateix rendiment que amb un cablejat convencional.

1.2 Descripció del treball

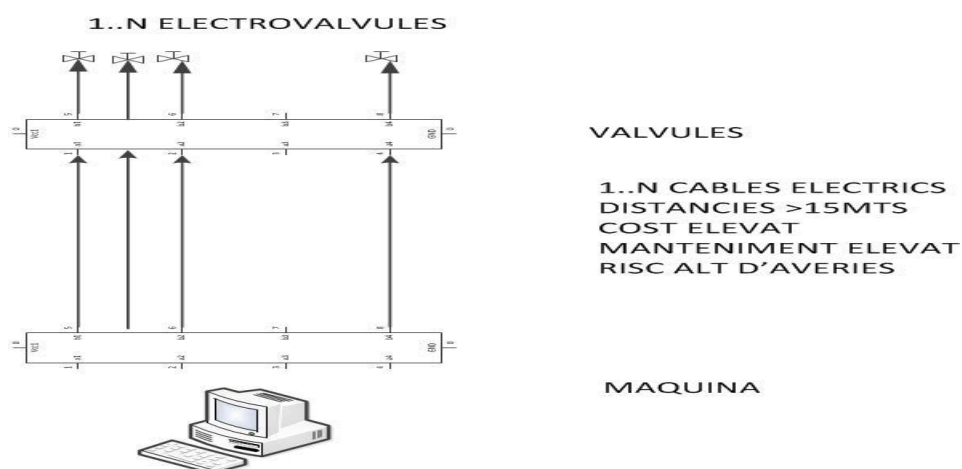
La proposta consta en desenvolupar un sistema de control distribuït de electrovàlvules per una màquina existent. Aquesta màquina consisteix en un “separador òptic en el sector del reciclatge”. Es una màquina que mitjançant una cinta transportadora porta residu provinent dels contenidors urbans, a sobre d'aquesta cinta transportadora, que es desplaça a 3m/s, hi ha un sistema de visió artificial que identifica els residus aprofitables. Quan el residu surt de la cinta transportadora un conjunt de electrovàlvules en bufa els envasos identificats. D'aquesta manera es recuperen per el reciclatge materials com els envasos plàstics.

Actualment, la aplicació que captura les imatges, te els algoritmes de identificació de materials i en genera les senyals elèctriques cap a les electrovàlvules es resident en un mateix ordinador que esta físicament ubicat en un armari elèctric a varis metres de les electrovàlvules que en separen el material reciclable.

Aquest fet provoca que des de on esta ubicat el ordinador fins a les electrovàlvules s'hagi de cablejar punt a punt cada electrovàlvula. Això té diferents inconvenients:

- Aquest cablejat es un cost important doncs en certs models parlem de desenes de electrovàlvules.
- En fase de instal·lació es un potencial punt de complicació doncs es cablejat sensible.
- Es un potencial punt d'averies amb el pas del temps.
- Obliga a mantenir a certa distancia els armaris elèctrics on s'ubiquen els ordinadors.

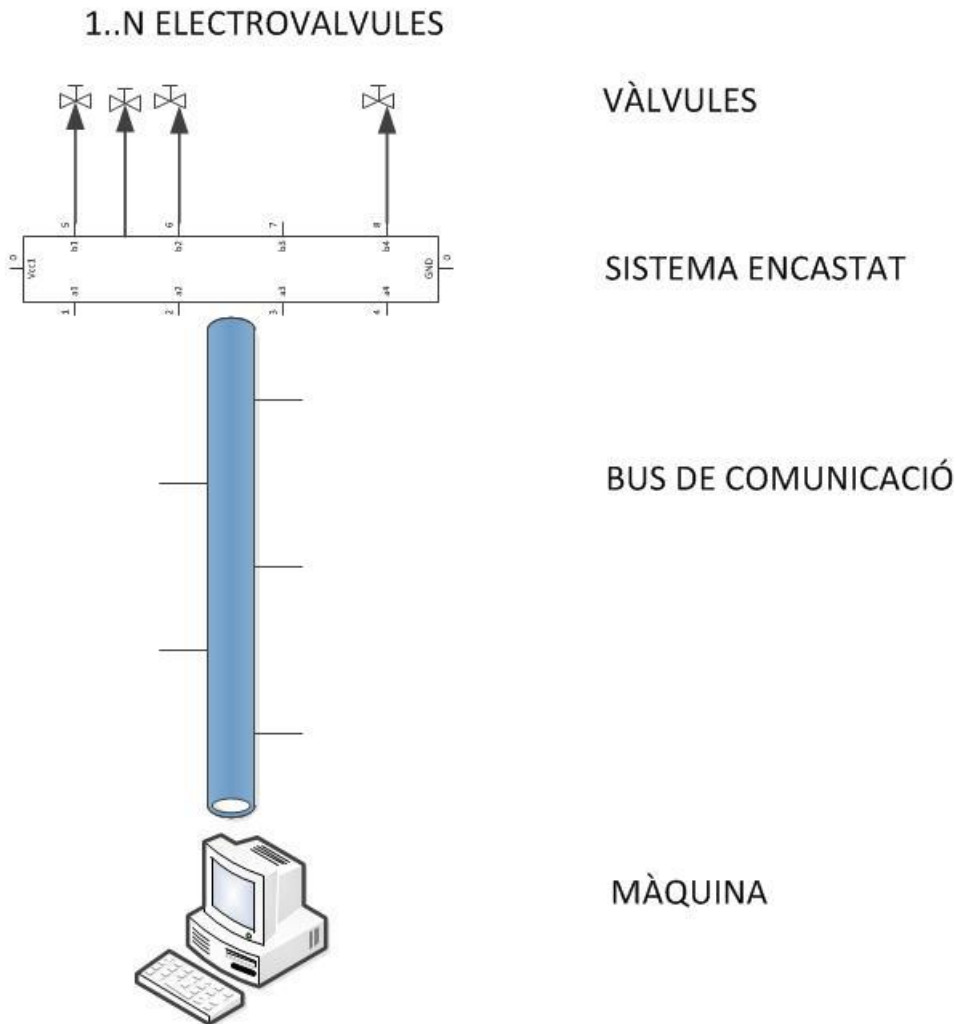
La aplicació existent consisteix en un mòdul que captura imatges, un mòdul que les processa i un driver que genera les senyals elèctriques cap a les electrovàlvules. Veure la il·lustració a continuació:



Taula 1. Esquema actual simplificat

Així doncs la millora proposada en aquest projecte consisteix en separar el driver de la aplicació original i desenvolupar-lo en un sistema encastat que s'ubicaria pròxim a les electrovàlvules.

La aplicació i el driver es comunicarien mitjançant un bus de comunicació com per exemple: ethernet. Veure la il·lustració a continuació:



Taula 2. Esquema TFC simplificat.

1.3 Objectius del TFC.

Els objectius del TFC es provar que el concepte del sistema distribuït de control de vàlvules es possible i avantatjós tècnic i econòmicament es el següent:

- ESTUDI DE MERCAT: El estudi de mercat ha de assolir suficient coneixement de les diferents possibilitats que hi ha tècnic-econòmiques per tal de poder prendre una decisió sobre quina opció desenvolupar mes a fons en el marc del projecte. En aquest sentit, s'hauran de remarcar aspectes favorables i desfavorables de cada opció tècnica possible i

en cada un dels apartats següents: desenvolupament, replicació/fabricació, manteniment. Aquest estudi haurà de decidir sobre dos aspectes fonamentals del sistema, bus de comunicació(o no) i sistema distribuït(o no).

- **COMUNICACIÓ PC-SISTEMA DISTRIBUÏT:** aprofundint en el decurs del projecte, aquest pretén aconseguir establir la comunicació entre la aplicació o sistema existent i un sistema distribuït, sigui quin sigui el que finalment resulti escollit del estudi de mercat. Aquesta comunicació ha de seguir uns protocols i regles que requereix el sistema actual com a eina de funcionament amb els divers que té desenvolupats per a targetes convencionals de entrades i sortides. L'objectiu final es demostrar que sense grans afectacions al sistema actual es pot trobar un sistema igual d'eficient i molt més barat.
- **GESTIO I/O:** el sistema distribuït que finalment resulti escollit ha de ser capaç de parametritzar una quantitat important de sortides doncs els sistemes industrials als quals va orientat en ultima instancia aquest treball així ho requereixen. No es objecte de aquest treball preocupar-se de la etapa de potencia sinó de la de control tot i que també es reflexionarà sobre aquest punt.
- **SINCRONITZACIÓ ELÈCTRICA:** aquest capítol es considerarà un tema extra i pendent de aprofundir per tal lligar els elements o dispositius dels quals no disposem en el marc del treball, com es el sistema de visió artificial. Si que en aquest treball es donaran les directrius de com s'ha de produir aquesta sincronització.

1.4 Enfocament i mètode seguit.

Per portar a terme el treball es va dividir en varies fases:

- Definició projecte i abast.
- Estudi de mercat. Cost, alternatives, avantatges i desavantatges.
- Adquisició dispositius i material necessari.
- Desenvolupament codi.
- Proves.
- Redacció memòria.
- Presentació.

Un cop escollit el dispositius la estratègia seguida per tal de dur a terme el treball ha sigut mixta, es a dir, s'ha optat per desenvolupar part del projecte i per adaptar altra part del mateix.

La part desenvolupada té a veure amb la part més particular del propi projecte com potser establir les trames i seqüències de comunicació entre la aplicació emissora resident al pc i la aplicació receptora resident al sistema distribuït. També s'ha desenvolupat la part de activació de les I/O.

En canvi la part adaptada esta relacionada amb la comunicació TCP/IP sobre ethernet entre ordinador i el sistema distribuït.

Per tal de poder realitzar les proves de comunicació vaig adquirir una placa base de desenvolupament. Aquesta placa te diferents ports habilitats entre altre un port RJ45. Això va facilitar i accelerar la adaptació del exemple de comunicació escollit. La placa base també te diversos ports USB amb els que es pot visualitzar la UART. Durant tot el projecte no es va poder debuggar amb el muntatge de la LPC1769 suministrada amb la placa base.

Alhora de connectar les dues plaques vaig haver de dessoldar els connectors de 37 pins que porta la LPC1769 i soldar-los per el costat contrari.

1.5 Planificació del treball.

En aquest apartat compararem quina planificació es va fer al començament del projecte i com ha acabat essent en realitat.

Planificació inicial:

FASE 1: PREPARACIÓ DEL SISTEMA

- LEDS: Cablejat de leds a les sortides de la placa LPC1769, activació i comprovació de les diferents sortides via software.
- ETHERNET: Connectar via ethernet la placa LPC1769 al ordinador. Integrar el driver TCP/IP sobre ethernet al LPC. Comprovar connectivitat via software.
- TRIGGER: Cablejar i comprovar la senyal d'entrada (trigger) de la placa LPC1769. Comprovar funcionament via software.

FASE 2: DESENVOLUPAMENT CODI

- APLICACIÓ EMISSORA. Desenvolupar aplicació emissora en diferents fases:
 - FASE 1:
 - Preparar entorn d'execució: La aplicació corre sobre Linux, així doncs preparar imatge virtual amb el SO preparat per fer córrer la aplicació.
 - Simular la activació seqüencial de sortides.
 - FASE 2: Fer la lectura d'imatges des de la càmera, i enviar informació a la aplicació receptora.
- APLICACIÓ TRIGGER. Desenvolupar aplicació trigger:
 - Generació tren d'impulsos segons freqüència establerta per paràmetre d'entrada.
- APLICACIÓ RECEPTORA. Desenvolupar aplicació receptora en diferents fases:
 - Llegir trames per ethernet. Encuar la informació.
 - Desencuar la informació segons flanc ascendent del trigger d'entrada.
 - Activació sortides segons informació desencuada.

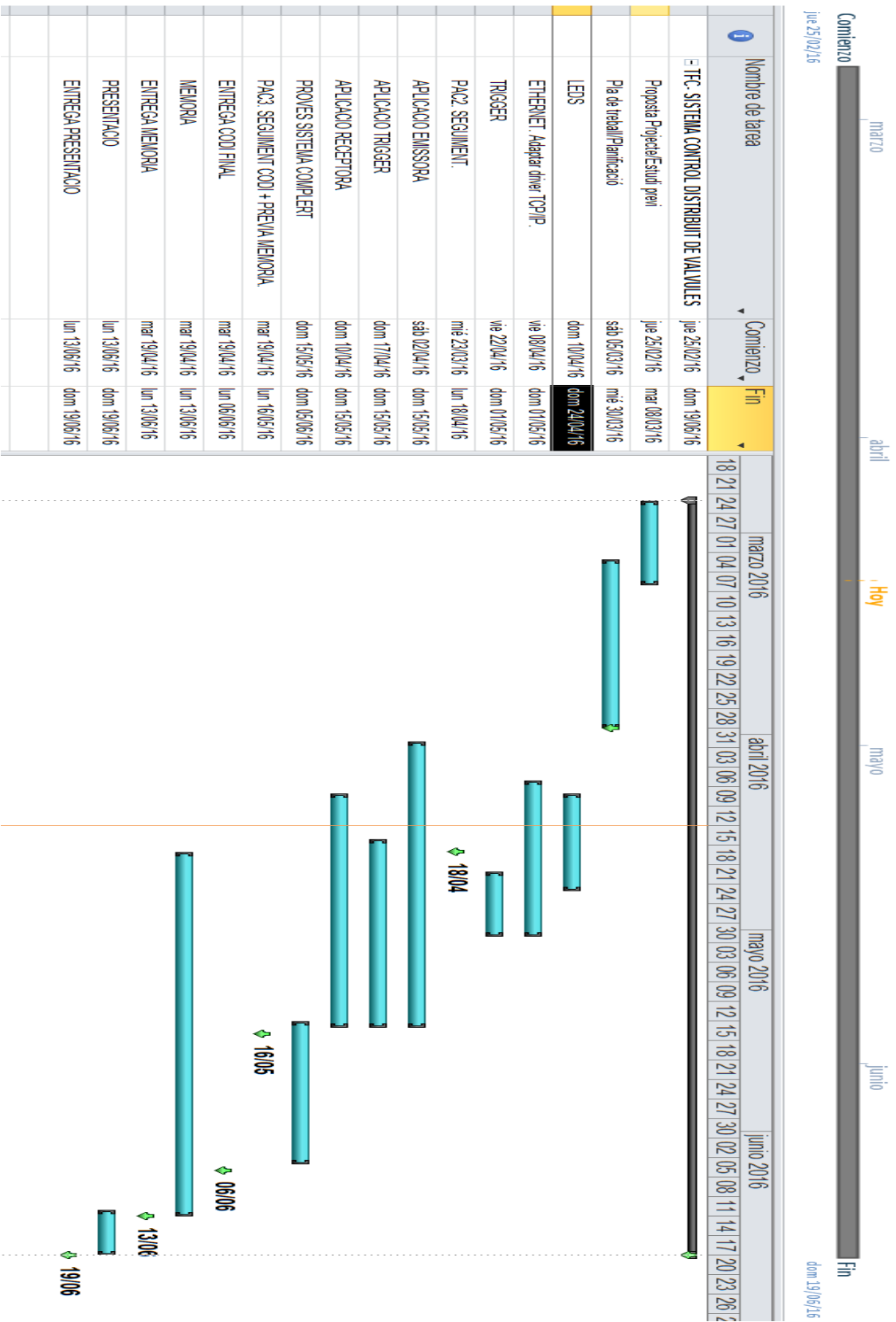
FASE 3: ELABORACIÓ MEMORIA I PRESENTACIÓ

- Proves del sistema:

- Prova d'integritat: comprovar patró d'activació de sortides seqüencial. Això determinarà la integritat de la comunicació.
- Prova de temps: comprovar el temps que es triga en activar la sortida monitoritzant amb oscil·loscopi la senyal de sortida d'una vàlvula i la senyal del trigger.

FASE 4: ELABORACIÓ MEMORIA I PRESENTACIÓ

- MEMÒRIA. Elaboració memòria.
- PRESENTACIÓ. Elaboració presentació



Taula 3. Cronograma inicial del TFC.

Planificació real:

FASE/PAC 1: PLA DE TREBALL

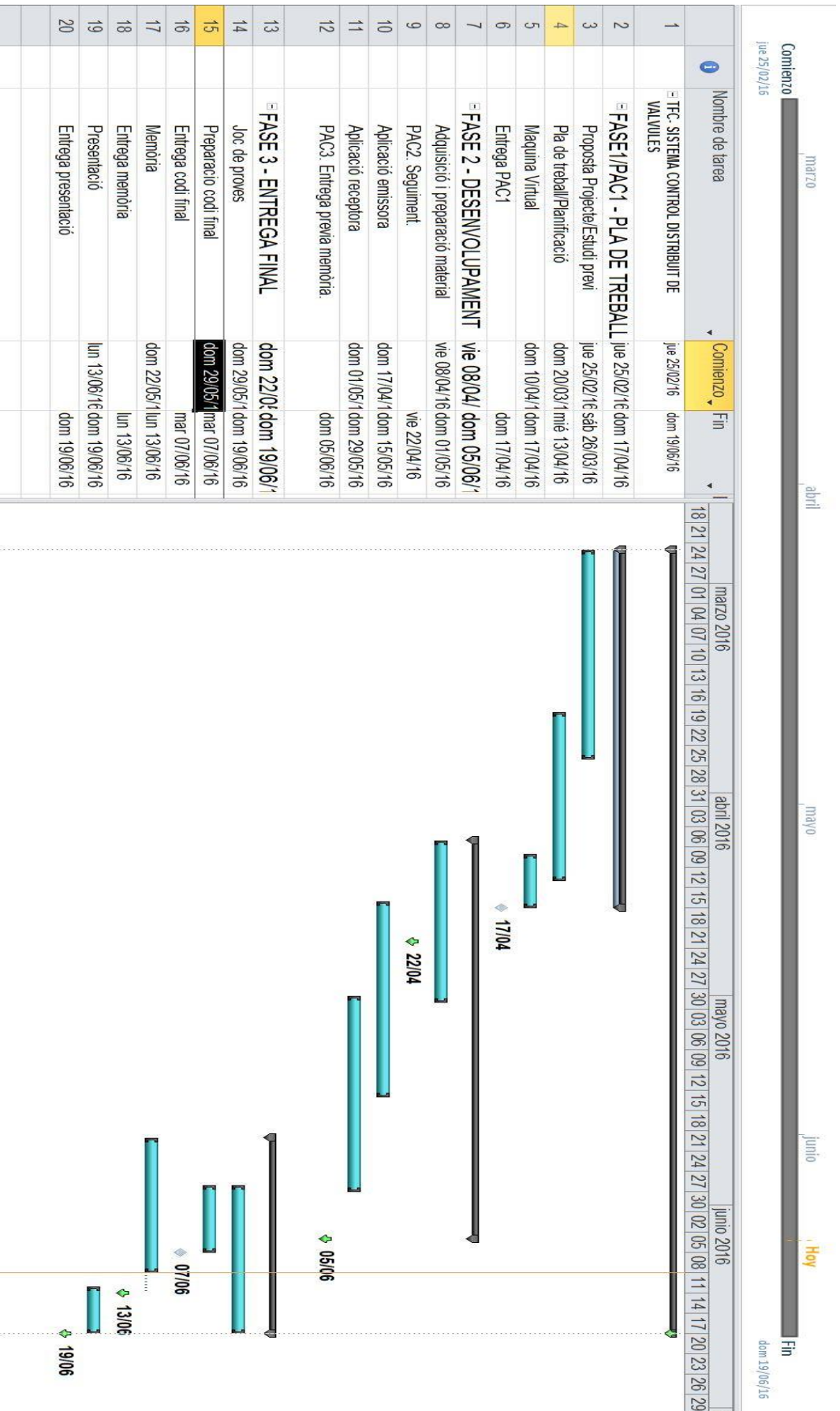
- DEFINICIO DE PROJECTE I ABAST.
- ESTUDI DE MERCAT.
- MAQUINA VIRTUAL: preparació de la maquina virtual sobre la que correrà la aplicació emissora. Es una distribució Ubuntu 10.04 LTS de 64 bits. La intenció es replicar el entorn de treball que té la màquina industrial habitualment.

FASE/PAC 2: DESENVOLUPAMENT

- ADQUISICIÓ/PREPARACIÓ MATERIAL:
 - CONNEXIÓ LPC1769-
 - PLACA BASE: adquisició, instal·lació, lectura manuals i prova d'exemples.
 - PREPARACIÓ LPC1769: primer s'intenta
 - ETHERNET: Connectar via ethernet la placa LPC1769 al ordinador. Finalment s'aconsegueix a través de la placa base.
 - UART: connexió via un dels port USB i monitorització a través de una aplicació de control del port sèrie de la UART. Aquesta serà la via per poder debuggar.
 - LEDS: Cablejat de leds a les sortides de la placa LPC1769, activació i comprovació de les diferents sortides via software.
- . Desenvolupar aplicació emissora en diferents fases:
 - Creació de la estructura de dades i seqüències de comunicació de les trames a enviar i rebre.
 - Simular la activació seqüencial de sortides.
- APLICACIÓ RECEPTORA. Desenvolupar aplicació receptora en diferents fases:
 - Creació de la estructura de dades i seqüències de comunicació de les trames a enviar i rebre.
 - Llegir trames per ethernet.
 - Mostrar informació per la UART.
 - Activació sortides segons informació rebuda.

FASE 3: ENTREGA FINAL

- JOC DE PROVES: comprovar patró d'activació de sortides seqüencial. Això determinarà la integritat de la comunicació.
- CODI FINAL: preparació i entrega del codi final del treball.
- MEMÒRIA. Elaboració memòria.
- Prova de temps: comprovar el temps que es triga en activar la sortida monitoritzant amb oscil·loscopi la senyal de sortida d'una vàlvula i la senyal del trigger.
- PRESENTACIÓ. Elaboració presentació.



Taula 4. Cronograma real del TFC

1.6 Recursos emprats

Per a desenvolupar aquest treball s'han fet servir eines hardware i eines de software. A continuació un breu llistat de les eines emprades:

HARDWARE

- LPC1769 CMSIS DAP Rev. D. Dispositiu que executa la aplicació, té un microcontrolador ARM Cortex M3.
- Embedded Artist LPC Base Board. Placa per facilitar la programació i connexió de la LPC1769.
- Protoboard. Eina per facilitar el connexionat entre dispositius.
- LEDS de colors per visualitzar la seqüència.
- Cables de connexió des de la Base Board a la protoboard.
- Targeta PICVISA XXXX. Conversió 3.3Vdc a 24Vdc.
- Electrovàlvules Festo MH3.
- Tester digital.
- Soldador i estany.

SOFTWARE

- LPC Expresso IDE v8.1.4_606. Eina programació dispositiu LPC1769.
- Eclipse Cpp Mars. Eina programació aplicació emissora.
- Wireshark. Eina per monitorització de xarxa.
- Oracle VirtualBox. Entorn de Màquina virtual on executar la aplicació emissora.
- DB Browser for Sqlite v3.9.2. Editor de sqlite per la configuració de la aplicació emissora.
- TeraTerm v4.9. Monitoritza la UART de la LPC1769.

1.7 Productes obtinguts

Com a resultat del treball desenvolupat tenim una aplicació i un dispositiu que han resultat ser molt adequats per aquest cas.

El baix cost i mides del dispositiu el fan idoni per aquesta aplicació doncs es necessita replicar varies vegades aquest model i ubicar-lo en entorns petits.

1.8 Breu descripció dels altres capítols de la memòria.

En els pròxims capítols tindrem els següents apartats:

- Marc del projecte: on assentarem les bases i les restriccions que té el projecte a nivell tècnic.

- Estat de l'art: on repassarem quines opcions existeixen i quins punts favorables i desfavorables tenen cadascuna d'aquestes opcions.
- Estudi de mercat: on veurem dintre de les opcions revisades quins costos té cada cas de desenvolupament, adquisició, implantació i manteniment.
- Descripció funcional del Sistema control distribuït de vàlvules, de la interfase usuari i del sistema encastat.
- Descripció detallada del sistema amb diagrama d'execució, casos d'ús, estructura de les dades d'enviament i estructura de les dades de resposta.
- Viabilitat tècnica.
- Valoració econòmica.
- Conclusions finals del treball, autoavaluació i tasques pendents.
- Glossari
- Bibliografia
- Annexos on es posaran links a tota la documentació necessària per la realització i el seguiment d'aquest treball.

2.ANTECEDENTS

2.1 Marc del projecte

Aquesta aplicació industrial té un requisits tècnics mínims a complir que potser condicionaran la pressa de decisions:

- Temps màxim de aplicació: aquesta aplicació industrial monitoritza el flux de material en continu i té uns requisits temporals estrictes. El temps entre que s'envia la trama ethernet i que es rep la trama al dispositiu distribuït ha de ser inferior als 10ms.
- Potència de les electrovàlvules: aquestes electrovàlvules anomenades "bullet valves" tenen cicles d'activació i desactivació al voltant de 2-3 ms. Per aconseguir aquestes velocitats durant breus instants, de microsegons, les vàlvules tenen un consum elevadíssim. Això i la freqüència amb la que s'activen les electrovàlvules que poden ser de varies vegades al segon fan que els dispositius no puguin suportar aquestes commutacions. Es per això que aquestes màquines disposen d'una etapa de potencia feta adhoc per aquest sistema. Aquesta etapa de potencia converteix la senyal de sortida cap a la vàlvula de 5Vdc a 24Vdc. Amb un seguit d'optocopladors i de condensadors aconseguix commutar les vàlvules a freqüències superiors als 100Hz.
- Mides del dispositiu: el dispositiu distribuït haurà de ser aprop de les vàlvules amb lo qual la mida esdevé un punt important. Qualsevol dispositiu escollit no podrà tenir mides superiors a 100x100x50 mm.

2.2 Estat de l'art

CONCEPTE

Actualment, la tecnologia ja té resolt la implantació de sistemes distribuïts de actuadors com son les electrovàlvules. Podríem dir que actualment hi ha les següents formes de activar un actuator des d'una aplicació:

- Sistema punt a punt: cablejat elèctric de comandament directe al actuator.
- Sistema distribuït: es a dir, es cobreix la distancia des de on s'ubica la aplicació emissora de l'ordre i el actuator mitjançant un bus de comunicació. Al extrem del actuator el bus de comunicació es connecta a un dispositiu receptor que es situa un entre el actuator i la aplicació emissora. Aquest receptor interpreta la informació rebuda i activa el actuator.

DISPOSITIUS

Dintre de les possibilitats de sistemes distribuïts en tenim de dues tipologies les que ofereixen el autòmats programables de les marques industrials d'automatització i les que ofereixen el sistemes encastats. Seguidament en fem una breu descripció de les dues possibilitats:

Autòmats programables

Estesos sobretot en el control i automatització de processos productius.

Els autòmats programables tenen les següents avantatges:

- Son sistemes industrials robustos i molt provats en entorns agressius. Habitualment treballen a 24Vdc i permeten controlar directament el actuador final doncs tenen potencia suficient per fer-ho. Permeten fer la etapa de potencia de molts actuadors.
- Tenen moltes possibilitats i varietat de entrades i sortides per actuadors de tota mena.
- Entorns de programació que faciliten el desenvolupament d'aplicacions d'una manera ràpida.
- Son sistemes que disposen d'un servei de postvenda molt professionalitzat, estàs mundialment i que generalment dona un bon servei a les empreses.
- Comunicació: Cada marca i sistema generalment està dissenyat per a un protocol de comunicacions. Aquest es un punt clau alhora de decidir el sistema a adquirir. La capa de comunicació es invisible a la programació del usuari cosa que permet focalitzar esforços en altres aspectes de la aplicació.

Ara bé, tenen les següents desavantatges:

- Cost: son sistemes cars.
- Genèriques: son sistemes pensats en el global de la industria i no en una aplicació en particular, tenen una capa més de programació que es el propi IDE de la solució escollida. Això en molts casos pot facilitar el desenvolupament de les aplicacions però les fa esclaves de la solució i marca industrial escollida.
- Poc eficients: des de el punt de vista de les latències de comunicació, no son sistemes pensats per aplicacions amb requisits de comunicació molt ràpids doncs la programació en aquests sistemes es a alt nivell sense possibilitat de programar directament les capes mes baixes del nivell OSI com per exemple TCP/IP.

Sistemes encastats

N'hi ha de molts fabricants i varietats, molt estesos per aplicacions concretes mes que per automatització de processos productius. Els sistemes encastats tenen les següents avantatges:

- Cost. Son sistemes molt assequibles.

- Mides: Normalment amb forma de circuit electrònic i desproveïts d'allò que no es essencial com per exemple carcassa, això permet la seva fàcil ubicació i costumització.
- Programació: Son sistemes programats normalment amb llenguatges de programació propis de les aplicacions software com per exemple C, C++. Això dona molta potència a les aplicacions que poden córrer sobre aquests sistemes.
- Baix nivell: La possibilitat de programar directament amb accés a baix nivell els microcontroladors dona prestacions que els autòmats normalment no tenen. Això permet reduir latències de comunicació de forma important. Es per això que son especialment útils per a control de motors i aplicacions on la rapidesa esdevé important.

Ara bé, tenen les següents desavantatges:

- Normalment son mes limitats en quant a les possibilitats de I/O tot i que generalment son escalables concatenant mòduls d'expansió.
- La gestió del postvenda de aquests sistemes no està tant estesa mundialment ni professionalitzada de cara a la industria final com ho està la dels PLC.
- La existència de molts microcontroladors diferents obliga a la adaptació de un dispositiu a altre.
- Accessoris: no disposen de gaires accessoris industrials per la seva instal·lació e integració amb els actuadors o altres elements industrials. Això comporta una part de "do-it" yourself als projectes.

Cal remarcar que dintre de la categoria de sistemes encastrats també els hi han que son propietat de les grans marques industrials d'automatització que solucionen gran part de les incomoditats que presenten els sistemes mes senzills. Ara bé, també es perd el gran avantatge del cost doncs de seguida es dispara el cost d'aquests sistemes mes industrialitzats.

PROTOCOLS

A la hora de implementar un sistema distribuït també es clau el escollir adequadament el bus de comunicació i el protocol de comunicació a fer servir. Al mercat hi ha diverses possibilitats com per exemple: Ethernet, Profibus, Modbus, CANopen, DeviceNet.

De les diferents opcions disponibles es important descartar aquella que no compleixi amb els requeriments mínims de la aplicació. Recordem aquests criteris mínims:

- Integritat: la integritat de la informació rebuda es vital per el correcte funcionament del sistema. Un recepció desordenada de les trames causaria un funcionament incorrecte del sistema.

- Latència: la comunicació ha d'assegurar una latència de menys de 5ms.
- Cost: el bus ha de tenir un cost mínim per fer front a la opció punt a punt.
- Manteniment: la disponibilitat en llocs no gaire desenvolupats i allunyats de centres logístics importants es molt important. La facilitat de canvi o substitució per el propi usuari fa un dels factors determinants en la presa de decisions.

A continuació adjuntem una sèrie de taules comparatives entre diferents protocols/buses de camp mes habituals a la indústria amb els diferents criteris que es poden fer servir:

GENERAL	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Disponible desde	1995	1988	1990	1995	1979	1975
Fabricante	AS-Interface Consortium (Germany)	Phoenix (Germany)	Profibus Consortium (Germany)	Omron, Rockwell	Modicon / Gould / Groupe Schneider	Xerox (US)
Estándar	EN 50295, IEC 62026/2, IEC 947	DIN 19258, EN 50254/1, IEC 61158 Type 8	DIN 19245, EN 13321/1 (FMS), EN 50254/2, EN50170/2, IEC 61158 Type 3, SEMI E54.8 (DP)	ISO 11898	No international standard.	IEEE 802.3
Website	www.as-interface.net	www.interbusclub.com	www.profibus.com	www.odva.org	www.modbus.org	
Variantes	V1.0, V2.0, V2.10, V2.11	V1, V2, V3, V4, Interbus/Loop	FMS, PD, PA		ASCII, RTU (Remote Terminal Unit)	10BaseT 100BaseTX
Aplicable para E/S sensores / actuadores	Si (especialmente dedicado para ello)	Si	No (demasiado complejo, y hardware excesivo)	Si	No	Hardware excesivo
¿Aplicable a E/S remotas?	Limitado a 4 E/S digitales o 2 analógicas	Si	Si	Si	Si	Si
Aplicable para comunicació entre controladores o equipos inteligentes	No	Limitado	Si	Si	Si	Si
Variante más empleada	V2.0	V4	DP/V1		RTU	10BaseT, 100BaseTX
Áreas de aplicación	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA) parcialmente.	Industria discreta.	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Niveles medio y alto de automatización industrial.
Competidor más importante	Ninguno	Profibus	Interbus, CAN, Foundation	Profibus, Modbus	Profibus, Devicenet	Ninguno

Taula 5. Bus de comunicació. Comparativa general.

CABLEADO	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Cable	2 hilos	4 hilos	2 hilos	4 hilos	RS-232, RS-422/485	par trenzado (10BaseT, 100BaseTx)
Posibilidad de cableado redundante	No	No	No	No	Depende del proveedor	Sí
Posibilidad de uso de fibra óptica	No	Sí	Sí (con repetidores)	Sí	Sí	Sí
Alimentación de los nodos	Incluida en la red (30V/8A)	Conexión independiente	Conexión separada (DP) o incluida en la red (PA)	Incluida en la red	No especificada	Conexión independiente
Conector	Conexiones vampiro	9-pins sub-D connector.	9-pins sub-D el más común	Conector específico	No especificado	RJ45
Topología	Tree, bus, star.	Bus, tree, star.	Bus, Chicken Feet	Bus	Bus	Star
Transmisión de la señal	Específico AS-Interface	De acuerdo con RS485.	De acuerdo con RS485 or IEC 61158/2	Especificación CAN	De acuerdo con RS232, RS422/485, o Ethernet.	Específico de Ethernet
Longitud máxima entre nodos (sin repetidores)	100m	No aplicable	1200 m	100 con cable fino, 250 y 500m con cable grueso	15-60 m (RS-232); 1200m (RS-422/485)	100m
Velocidad de transferencia	Siempre 167 Kbit/s	500 Kbaud/s or 2 Mbit/s con la nueva versión	500 kbit/s (FMS); 12 Mbit/s (PA); 31.25 kbit/s (PD)	125kbit/s (100m); 250 kbit/s (250m); 500 kbit/s (100 m)	No especificada; normalmente no superior a 38,4 Kbit/s.	10 Mbit/s 100 Mbit/s

Taula 6. Bus de comunicació. Comparativa cablejat

NODOS	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Máximo número de nodos (sin repetidor)	31 V2.0 o 62 V2.1	512	32 (limitación RS485)	2048	2 (RS232), 10 (RS422), 32 (RS485)	Prácticamente, sin límite
Máximo número de nodos con repetidor)	31 V2.0 o 62 V2.1	512	126	2048	2 (RS232), 250 (RS422/485)	Sin límite
Tipo de comunicación entre nodos	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo	Maestro múltiple (FMS), Maestro/esclavo (DP,PA)	Maestro múltiple, maestro/esclavo, punto a punto con multicast	Maestro/esclavo	Maestro multiple, limitable por protocolos de capas superiores
Destino de los mensajes	Punto a punto	Punto a punto	Punto a punto, multicast y broadcast	Punto a punto	Punto a punto, broadcast	Punto a punto, multicast y broadcast
Gestión de acceso al	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo	Token Ring entre	CSMA/CD/ND A	Maestro/esclavo	CSMA/CD, herramientas software

Taula 7. Bus de comunicació. Comparativa nombre de nodes i accés al medi.

MENSAJES	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Tamaño máximo de los datos	4bits para entradas y 4 para salidas	8192 bits	241 (FMS), 244 (DP,PA), a veces limitado a 32 bytes	8 bytes	250 bytes	1500 bytes
Tamaño mínimo	4 bits	4 bits	0 bytes	0 bytes	0 bits	46 bytes
Detección de errores	Paridad y codificación Manchester	Transmisión equilibrada, CRC de 16 bits	Paridad, checksum de 8 bits y Hamming	CRC	Paridad, checksum de 8 bits y CRC de 16 bits	CRC de 32 bits

Taula 8. Bus de comunicació. Comparativa mida missatges i control errors.

Productos	Precio máx. neto EUR	Precio mín. neto EUR	Existencias	Fabricante	Tipo de cable	Uso de cables	Tipo de cable
74004PU	11,36 €/m	1,25 €/m	305	BELDEN	para transferencia de datos	Ethernet industrial	SFTP
8777	12,02 €/m	1,81 €/m	810	BELDEN	para transferencia de datos	Modbus	
DEVICENET2422PUR	3,4 €/m	2,59 €/m	50	HELLKABEL	para transferencia de datos	DeviceNet, guío de cadena	
PROFIBUS-L2-INGV	11,54 €/m	1,42 €/m	50	HELLKABEL	para transferencia de datos	PROFIBUS	

Taula 9. Bus de comunicació. Comparativa preus ethernet-profibus-modbus-devicenet

Hem de tenir en comte que la distància per aquesta aplicació no es un fet restrictiu perquè en cap cas passarem del 100m que té com a limitació el bus ethernet.

Com podem comprovar a les taules anteriors el ethernet es el bus amb la velocitat de transmissió mes alta(fins a 1Gbits/s), amb el paquet de transmissió mes gran(1500bytes) i també es el bus mes assequible econòmicament i com tot sabem i donat a la seva utilització en les xarxes informàtiques es el més distribuït arreu del món. Això fa que no requereixi hardware específic.

En aquest cas, s'ha imposat un criteri de cost i manteniment assequible però també de gran rendiment per aquest aplicació on el temps de comunicació havia de ser el mínim possible. Al seu favor hi son el baix cost d'aquest cablejat, la integració d'aquest bus de comunicació en la immensa majoria de dispositius i la facilitat per trobar-lo arreu del món.

Un cop escollit el bus de comunicació establir el protocol ha sigut relativament senzill. De cara al treball farem servir TCP/IP sobre suport Ethernet. El protocol TCP/IP assegura el rebre les trames ordenadament al receptor lo qual es imprescindible per el correcte funcionament de la aplicació. Industrialment es pot plantejar fer servir el protocol UDP que es una mica més ràpid doncs no té el control de ordre de trames e inclús el ethernet industrial que assegura un temps garantitzat inferior a 1ms.

2.3 Estudi de mercat

Per implementar aquesta solució industrial s'han contemplat diferents possibilitats:

- Sistema punt a punt. Es el sistema implementat actualment.
- Sistema autòmat programable.
- Sistema encastat industrial.
- Sistema encastat simple.

Ahora de decidir-se per una solució o altra s'ha de tenir en comte que la solució s'implementaria en màquines que treballen en entorns industrials agressius i que poden ser instal·lades arreu del mon. Així doncs la solució per la quals ens decanem haurà de tenir en comte que factors com la senzillesa del manteniment, preu recanvis, disponibilitat local.

Per la comparativa de les diferents solucions s'ha desenvolupat un quadre resum de les principals característiques de cada solució on es contempen els fet decisius per escollir la solució adequada.

SISTEMA PUNT A PUNT

Aquest sistema es el que té actualment l'empresa i que s'està estudiant substituir:

- **Requeriments tècnics:** S'han d'evitar caigudes de tensió i aïllar de paràsits elèctrics que puguin haver a la instal·lació. Això obligarà a posar mànegues apantallades. Per tal de assegurar un bon endollat el pas de cable entre recintes seria amb connectors de tipus endoll ràpid (tipus Harting o similar).
- **Cost sistema:** A la següent taula tenim desglossat el cost de adquisició e implementació. S'especifica el cost per una màquina de 96 vàlvules i 10m de cablejat.

Concepte	Preu unitari 24 vàlvules	Preu total 96 vàlvules
Cable amb endoll ràpid	150 €	600 €
Targeta I/O al PC industrial	850 €	850 €
Targeta conversora de 5Vdc -> 24Vdc	100 €	400 €
Connectar cablejat punt a punt 1 hora per bloc de 24 vàlvules.	25 €	100 €
Instal·lació es 1 hora per manega de 24 vàlvules	25 €	100 €
TOTAL	1.250 €	2.050 €

Taula 10. Cost implementació sistema punt a punt.

- **Cost desenvolupament:** actualment es el sistema ja desenvolupat per la empresa, tot i així posarem un detall del cost de desenvolupar el sistema. Suposarem un cost força assequible de hora de desenvolupament de 30€/hora. Veure següent taula:

Concepte	Hores	Cost
Estudi mercat. Tria dispositiu I/O.	40 h	1.200 €
Programació driver dispositiu I/O.	160 h	4.800 €
Proves i ajustos.	80 h	2.400 €
Esquemes elèctrics y manuals.	40 h	1.200 €
TOTAL		9.600 €

Taula 11. Cost desenvolupament sistema punt a punt.

- **Manteniment:** El manteniment d'aquest sistema es feixuc i costos en temps. Molt de cablejat implica moltes connexions que poden afluixar-se amb les vibracions, implica moltes oportunitats d'accident, impacte, mossegada rosegadors, etc...
- **Recanvis:** cada recanvi de mànega té un cost de 150 € per mànega mes el temps de treure-la i tornar-la a posar.

SISTEMA AUTOMAT PROGRAMABLE

Aquest sistema queda descartat al no assolir el mínims requisits tècnics exigits, tal com poden ser la latència de comunicació.

SISTEMA ENCASTAT INDUSTRIAL

Aquest es el sistema que conceptualment es com el del treball, es a dir, un sistema de control distribuït de perifèrics amb sistema encastat, però implementat amb dispositius de les grans marques industrials de autòmats programables.

- Requeriments tècnics: son sistemes compactes però amb cert tamany, la connectivitat es bona doncs tenen accessoris per facilitar-ne la connexió de cables i bus de comunicació. No sempre s'eviten la etapa de potencia doncs per algunes de les electrovàlvules amb que es treballen tenen consums elèctrics molt elevats durant molt breus instants en el moment de la commutació com s'ha explicat en el apartat de requeriments tècnics del sistema.
- Cost sistema: A la següent taula tenim desglossat el cost de adquisició e implementació. S'especifica el cost per una màquina de 96 vàlvules i 10m de cablejat.

Concepte	Preu unitari 24 vàlvules	Preu total 96 vàlvules
Cable amb accessoris endoll ràpid. Ethernet Cat 6 SFTP.	50 €	200 €
Sistema encastat industrial	850 €	1.700 €
Targeta conversora de 5Vdc -> 24Vdc	100 €	400 €
Connectar cablejat punt a punt 0.5 hora per bloc de 24 vàlvules.	25 €	50 €
Instal·lació es 0.25 hora per manega de 24 vàlvules	25 €	25 €
TOTAL	1.050 €	2.375 €

Taula 12. Cost implementació sistema encastat industrial.

- Cost desenvolupament: Suposarem un cost força assequible de hora de desenvolupament de 30€/hora. Veure següent taula:

Concepte	Hores	Cost
Estudi mercat. Tria sistema encastat.	80 h	2.400 €
Programació sistema encastat.	160 h	4.800 €
Proves i ajustos.	160 h	4.800 €
Esquemes elèctrics y manuals.	40 h	1.200 €
TOTAL		13.200 €

Taula 13. Cost desenvolupament sistema encastat industrial.

- **Manteniment:** El manteniment d'aquest sistema es molt senzill doncs el recanvi es de molt baix cost, assequible i fàcil de manipular.
- **Recanvis:** cada recanvi de mànega té un cost de 15 € per mànega mes el temps de treure-la i tornar-la a posar.

SISTEMA ENCASTAT SIMPLE

Aquest es el sistema que s'ha escollit per a portar a terme el treball, es a dir, un sistema de control distribuït de perifèrics amb sistema encastat, però implementat amb dispositius senzills tipus placa electrònica.

- **Requeriments tècnics:** son sistemes molt compactes, la connectivitat no es gaire bona i obliga a adaptar-se algun cablejat. No s'eviten la etapa de potencia mai doncs operen a 3.3Vdc o 5Vdc.
- **Cost sistema:** A la següent taula tenim desglossat el cost de adquisició e implementació. S'especifica el cost per una màquina de 96 vàlvules i 10m de cablejat.

Concepte	Preu unitari 24 vàlvules	Preu total 96 vàlvules
Cable amb accessoris endoll ràpid. Ethernet Cat 6 SFTP.	50 €	200 €
Sistema encastat simple + subjecció	120 €	480 €
Targeta conversora de 5Vdc -> 24Vdc	100 €	400 €
Connectar cablejat punt a punt 0.5 hora per bloc de 24 vàlvules.	25 €	50 €
Instal·lació es 0.25 hora per manega de 24 vàlvules	25 €	25 €
TOTAL	320 €	1.155 €

Taula 14. Cost implementació sistema encastat simple.

- **Cost desenvolupament:** Suposarem un cost força assequible de hora de desenvolupament de 30€/hora. Veure següent taula:

Concepte	Hores	Cost
Estudi mercat. Tria sistema encastat simple.	80 h	2.400 €
Programació sistema encastat.	160 h	4.800 €
Proves i ajustos.	160 h	4.800 €
Esquemes elèctrics y manuals.	40 h	1.200 €
TOTAL		13.200 €

Taula 15. Cost desenvolupament sistema encastat simple.

- **Manteniment:** El manteniment d'aquest sistema es molt senzill doncs el recanvi es de molt baix cost, assequible i fàcil de manipular.

- Recanvis: cada recanvi de mànega té un cost de 15 € per mànega mes el temps de treure-la i tornar-la a posar.

Després de fer el estudi de mercat es veu que un sistema encastat simple pot reduir aproximadament a la meitat el cost del sistema de control de vàlvules respecte tant a la opció punt a punt com a la opció de sistema encastat industrial. Així doncs, aquesta es la principal motivació d'aquest treball.

Com a reforç d'aquest punt a continuació veiem un primer pressupost de les tres opcions que hem descrit al llarg del capítol:

Shopping Cart:

Web ID 156425944 Access ID 95054 Salesorder Number Uncommitted

568-12843-ND added to order.

Pricing is valid for this Web ID until 7/11/2016 if you place your order online.
Quantities are not reserved until the order has been submitted.

Quantity	Part Number	Customer Reference	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Add to Cart"/>

All prices are in US dollars.

Index	Quantity	Image	Part Number	Description	Customer Reference	Available Quantity	Backorder Quantity	Unit Price	Extended Price
<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="text" value="5"/>		568-12843-ND	EVAL BOARD FOR LPC1769	<input type="text"/>	5 Immediate	0	25.27000	\$126.35
								Subtotal	\$126.35
								Shipping	Estimate
								Total	unknown

Taula 16. Pressupost NXP Sistema encastat simple.

Calaf Techniques Industrials, S.L.
 Ctra. de Manresa, 50-60
 08280 Calaf Barcelona
 SPAIN
 Att. Anna Gine

Fecha: 17-03-2015
 Validez de la oferta: 16-04-2015
 Teléfono: +34 938880306
 Fax: (93) 372 80 00
 Número de Contacto: 11053098

Oferta No. 2211577 Versión 1

PIN	Descripción	Cant.	Precio Unitario	Descuento %	Precio Neto
	NI CDAQ Clave de identificación de su configuración: CD4473256				
781503-01	NI 9923 37 pin DSub terminal block for screw terminal connectivity to 37 pin DSub C Series modules	1	124,00		124,00
781093-01	NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input	1	205,00		205,00
779139-01	NI 9425 32-Channel 24 V, 7 us, Sinking Digital Input Module	1	340,00		340,00
	Detalle de los servicios para este producto: NI Standard Service Program for Systems Duration: 3 Year(s) 15% multiyear discount applied.				
SRV-CD4473256	Standard Service Program for CompactDAQ Systems (3 years)				275,35
	Nota: servicio aplicado a ciertos productos. Para más información, ver el detalle de los servicios para cada producto.				
783338-01	NI CDAQ-9132 NI CompactDAQ, Atom 1.33 GHz, 16 GB, 4-Slot, Windows	1	3.070,00		3.070,00
	Detalle de los servicios para este producto: NI Standard Service Program for Systems Duration: 3 Year(s) 15% multiyear discount applied.				
157254-01	DIN Rail Mounting Kit for 4-Slot NI cRIO-9030/31/33/34 and NI cDAQ-9132/34 Systems	1	29,00		29,00
	Sub Total:		4.091,95 EUR		4.043,35 EUR
	Gastos de envío:				22,95 EUR
	I.V.A. 21%:				853,92 EUR
	Total:				4.920,22 EUR

Taula 17. Pressupost PLC+IO National Instruments.

Carrito de compra
para

Cantidad	Nº de referencia	Descripción	Neto	Total
1	AC1212	Sistema de bus AS-Interface , Fuente de alimentación , Tensión de alimentación: 88...132 V AC / 184...264 V AC , Tensión nominal: 115 / 230 V AC , bornes hasta 2,5 mm ² , fuente de alimentación dual AS-i 115/230 V AC 2 x AS-i , Desacoplo de datos integrado , Material de la carcasa: aluminio , Cantidad por pack: 1 Pieza, Weight: 1,27 kg, Commodity Code: '85044082' Disponibile: Haga click en "Comprobar"	562,00 €	562,00 €
1	AC5210	Sistema de bus AS-Interface , Módulo ClassicLine activo , Conexión directa a cable plano AS-i , 8 entradas digitales (2 esclavos) , Tensión de alimentación: 26,5...31,6 V DC , Consumo total de corriente de AS-i: 300 mA , Tomas M12x1 , Versión 2.11 y 3.0 con modo de direccionamiento extendido , Toma de direccionamiento , Posibilidad de orientación del cable plano en tres sentidos , Material de la carcasa: PA Contactos vampiro CuSn6 superficie niquelada y estañada , Cantidad por pack: 1 Pieza, Weight: 0,279 kg, Commodity Code: '85371099' Disponibile: Haga click en "Comprobar"	163,40 €	163,40 €
1	AC1331	Sistema de bus AS-Interface , AS-i CANopen Controller E , Carcasa para montaje en carril DIN , Tensión de alimentación: 24 V DC , Consumo: 500 mA , Consumo total de corriente de AS-i: 10 mA , Controlador AS-i con interfaz CANopen , Con todas las funciones de un maestro , Pantalla gráfica , Material de la carcasa: aluminio chapa de acero galvanizado , Cantidad por pack: 1 Pieza, Weight: 0,549 kg, Commodity Code: '85371099' Disponibile: Haga click en "Comprobar"	1.018,60 €	1.018,60 €
1	AC2258	Sistema de bus AS-Interface , Módulo AS-i activo , Montaje en carril DIN , 4 entradas / 4 salidas / relé , Tensión de alimentación: 26,5...31,6 V DC (AS-i) , Consumo total de corriente de AS-i: 250 mA , relé , Conexiones tipo Combicon , Combicon , Módulos interconectables , Toma de direccionamiento , Versión 2.1 , Material de la carcasa: PA 6.6 , Cantidad por pack: 1 Pieza, Weight: 0,272 kg, Commodity Code: '85371099' Disponibile: Haga click en "Comprobar"	141,00 €	141,00 €
1	AC1146	Sistema de bus AS-Interface , Sintonizador AS-i Módulo de diagnóstico , Tensión nominal: 26,5...31,6 V DC , Consumo total de corriente de AS-i: 60 mA , Zócalo para cable plano ,	516,00 €	516,00 €
				2.824,00 €

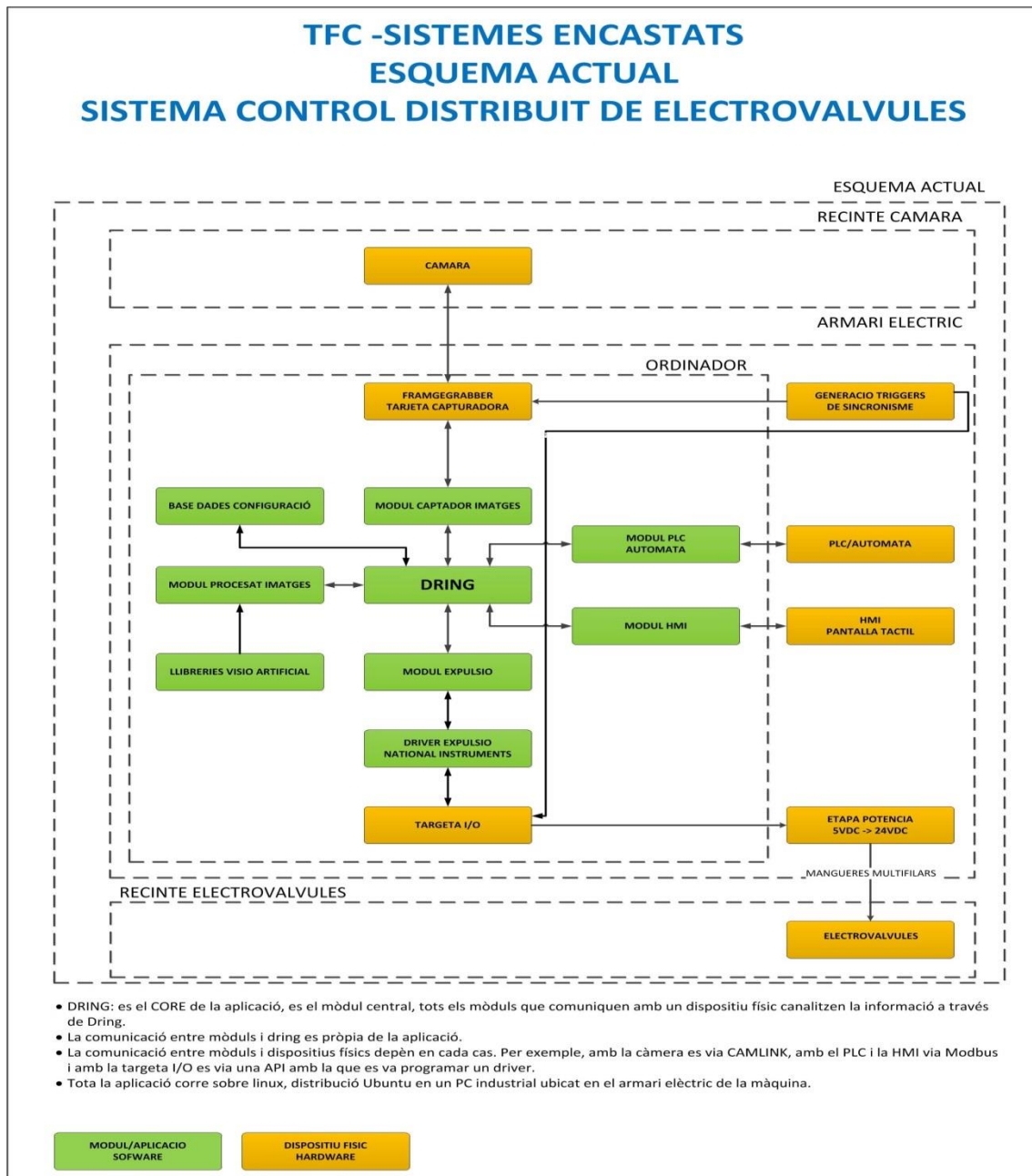
Taula 18. Pressupost IFM per un sistema encastat industrial

3. DESCRIPCIÓ FUNCIONAL

3.1 Sistema control distribuït de vàlvules

3.1.1 Diagrama de blocs de l'aplicació.

Com s'ha explicat en capítols anteriors aquest treball es un PoC de un sistema industrial existent que queda representat en el esquema de la Taula 19.



Taula 19. Esquema del sistema de control de vàlvules punt a punt actual.

Com es pot observar el esquema actual consisteix en una aplicació central anomenada Dring que s'executa en el PC industrial de la màquina. Aquest PC industrial té com a sistema operatiu una distribució de Linux Ubuntu. La aplicació Dring es la que canalitza tota la informació i la que gestiona la comunicació entre els diferents dispositius involucrats. La aplicació Dring té una sèrie de mòduls que són els que comuniquen amb els diferents dispositius. Així podem nomenar els següents:

- Mòdul captador: es el mòdul que gestiona la adquisició d'imatges de la càmera. La càmera es connecta al ordinador mitjançant un cable Camlink que es un tipus de interfase de bus de comunicació que es fa servir habitualment en la captació d'imatges. Per fer la captura de les imatges la càmera es connecta a una targeta de adquisició d'imatges (Framegrabber) punxada al ordinador. Aquesta targeta es la que programa aquest mòdul. La sortida d'aquest mòdul són imatges composades en RGB llestes per ser processades. La captura de les imatges es en continu i el framegrabber el que fa es trossejar aquesta imatge continua en diferents frames o imatges de 32 línies cadascuna. Aquest mòdul genera una altra sortida que es el trigger de sincronisme de la màquina. A cada línia de informació que genera la càmera el mòdul genera un cicle ascendent i descendent com a sortida elèctrica a través del framegrabber. Aquesta senyal elèctrica es coneixerà d'ara endavant com a trigger de sincronisme. Aquest trigger es el que es farà servir després per saber quan toca activar les vàlvules.
- Mòdul processador: es el mòdul que rep com a entrada les imatges capturades per el mòdul captador. Aquest mòdul processa les imatges per trobar-ne el material objectiu per ser separat per la màquina. El que fa el mòdul es fer crides a una llibreria de visió artificial per compondre-ne una imatge de sortida. Aquesta imatge de sortida es una imatge en blanc i negre, es a dir, 0's i 1's. La imatge es re-escala en el sentit de ample adaptant-lo a el número de vàlvules que té la màquina.
- Mòdul expulsió: aquest mòdul rep la imatge de sortida del mòdul processat i el que fa es acumular la informació en una cua per desencuar la informació i activar les vàlvules quan pertoca. Aquesta imatge es binària, es a dir, només té 0's i 1's. Una línia de aquesta imatge binària es un moment temporal, per activar si pertoca les vàlvules. S'activarà la vàlvula si el píxel corresponent de la línia té el valor 1, sinó no es farà res. Per activar aquestes vàlvules es disposa d'una targeta de I/O punxada al ordinador. Aquest mòdul rep com a entrada també el trigger de sincronisme de sortida generat per el mòdul de captació d'imatges. El mòdul d'expulsió monitoritza el trigger de sincronisme i genera una interrupció a cada flanc ascendent d'aquesta senyal. A cada interrupció es desencua una línia de informació i es llegeixen els valors de cada píxel. Cada píxel correspon a una vàlvula. Si el valor del píxel es 1 s'activa la sortida i si el valor es 0 la sortida es desactiva. Per activar i desactivar les sortides es programa un driver que programa el API d'aquesta targeta i que es particular per cada fabricant diferent.

- Mòdul plc: es el mòdul que fa servir el Dring per comunicar-se amb el autòmat que gestiona la potencia i maniobra dels diferents elements de la màquina.
- Mòdul HMI: es el mòdul que fa servir el Dring per comunicar-se amb una pantalla tàctil amb una interfase gràfica que manipula el usuari.
- Mòdul Sqlite: Dring guarda tota la configuració en una base de dades que escriu i llegeix quan pertoca.

En el marc del projecte no pretén mostrar la comunicació de la aplicació Dring amb els altres dispositius que integren el sistema industrial definitiu, com son la càmera, el autòmat o el HMI. Aquestes comunicacions ja estan resoltes i no son part del marc del projecte. Per altra banda seria molt costós tenir-ne a disposició durant els mesos que ha durat el projecte.

Així doncs, en el marc del TFC el que s'ha modificat es la configuració del Dring per tal de poder executar-lo sense tenir la maquina sencera a disposició, es a dir, sense la càmera, sense el autòmat i sense el HMI.

La empresa ha subministrat un Dring que no necessita de aquests dispositius per funcionar i que envia matrius binaries al mòdul d'expulsió que van activant les vàlvules consecutivament i al acabar la última vàlvula torna a començar el cicle. Així doncs la aplicació emissora, que es com coneixerem a la aplicació resident al ordinador de la màquina, en aquest treball prescindeix del mòdul captador, del mòdul comunicació amb el autòmat, del mòdul comunicació amb el HMI. Si que té un mòdul processat que va activant cíclicament totes les vàlvules.

Aleshores, la aplicació emissora té un mòdul que rep la matriu binaria d'expulsió mitjaçant un mòdul de comunicació ethernet envia la matriu d'expulsió a la placa LPC1769 i aquesta rep i processa la informació activant les sortides pertinents. També respon a la aplicació emissora amb informació del estat de la aplicació distribuïda. D'aquesta manera la tornada de informació permet a la aplicació emissora controlar el estat del sistema i vigilar que no hi ha retards en el enviament de la informació ni alarmes de qualsevol mena, com per exemple una pèrdua de connexió en el cablejat ethernet.

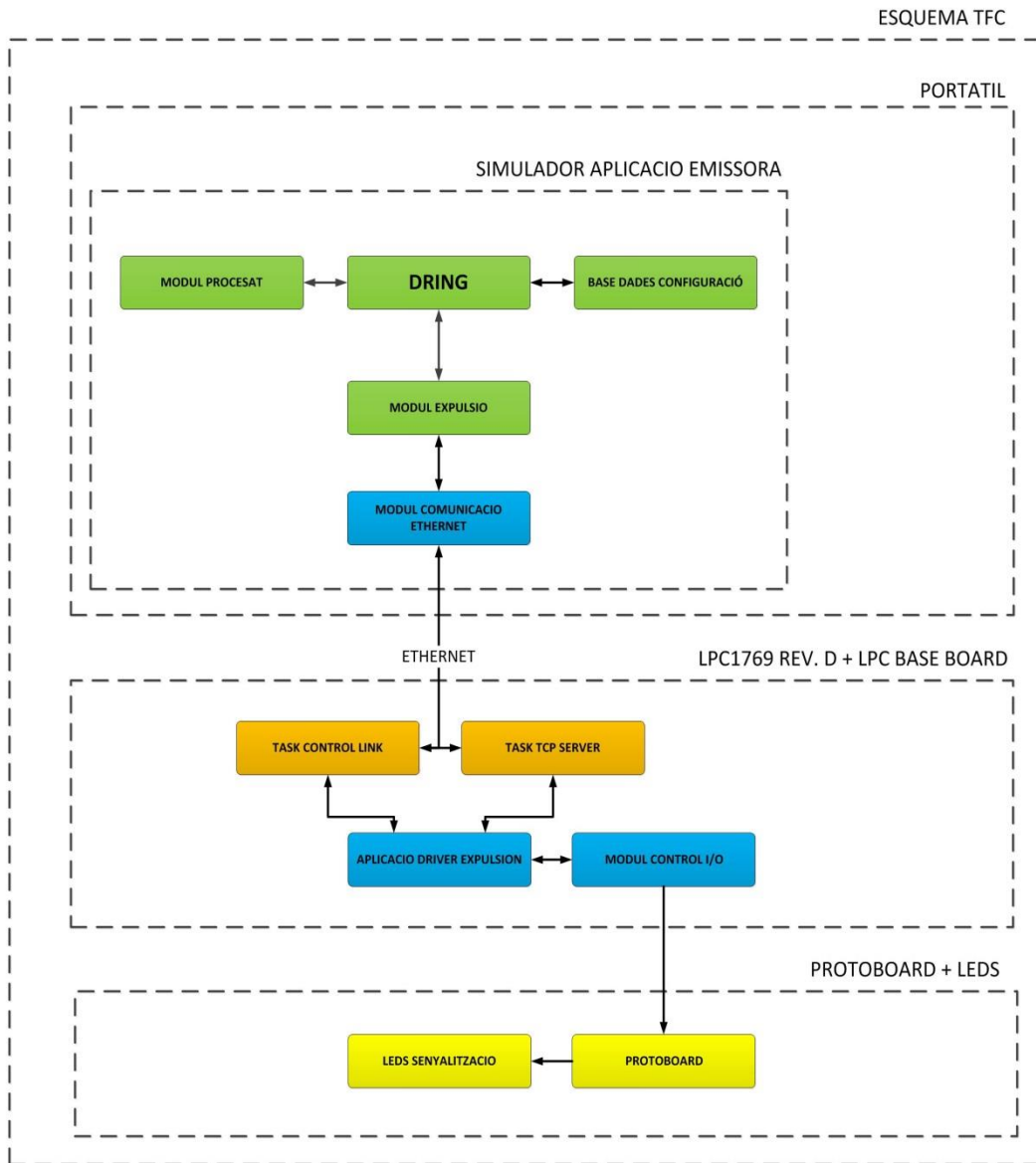
El TFC pretén demostrar que la implantació d'un sistema distribuït per controlar les vàlvules potser molt beneficiós per al sistema i una opció més. Evidentment fora del marc del projecte queda el omplir de funcionalitats afegides al sistema distribuït. Ho veurem en apartats següents.

El esquema del sistema proposat en aquest TFC es el que es mostra a continuació en la Taula 20.

TFC -SISTEMES ENCASTATS

ESQUEMA TFC

SISTEMA CONTROL DISTRIBUIT DE ELECTROVALVULES



- DRING: es el CORE de la aplicació, es el mòdul central, tots els mòduls que comuniquen amb un dispositiu físic canalitzen la informació a través de Dring.
- La comunicació entre mòduls i dring es pròpia de la aplicació.
- El mòdul processat en aquest cas envia la informació d'activar una vàlvula diferent a cada trama que envia.
- El mòdul expulsió en aquest cas crida al mòdul comunicació ethernet que s'encarrega de preparar i enviar la informació rebuda del mòdul processat via tcp/ip sobre ethernet.
- Tota la aplicació Simuladora de la aplicació emissora corre sobre linux, distribució Ubuntu sobre una màquina virtual que corre sobre un portàtil amb Windows 7.
- La simulació de activació de vàlvules es fa mitjançant la activació de leds de senyalització muntats sobre una protoboard.



Taula 20. Esquema del sistema proposat en aquest TFC.

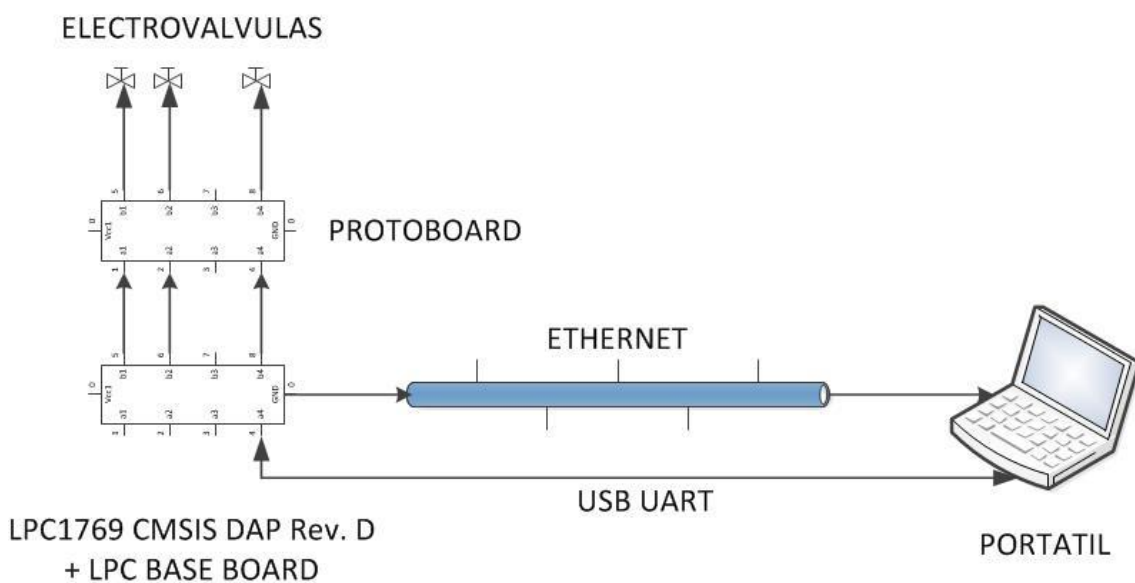
3.1.2 Com és la xarxa (posició i comunicació a través de la xarxa)

El sistema desenvolupat per el TFC es una connexió ethernet directa del portàtil que executa la aplicació emissora Dring a la placa LPC Base Board que té endollada la LPC1769.

De la placa LPC Base Board en aquest cas també surt el cablejat directe cap a les vàlvules passant per una protoboard a mode de borner de connexió per facilitar-ne el cablejat.

A la seva vegada la LPC1769 està connectada via cable USB a mode de alimentació elèctrica, aquesta connexió teòricament també habilitava el poder debuggar des de el entorn de desenvolupament, el LPCXpresso IDE però el cert que es que aquesta funcionalitat no s'ha aconseguit de fer funcionar.

De la LPC Base Board també hi ha connectat un cable USB a mode de alimentació elèctrica des de el port USB-to-UART de la placa fins el pc. En alguns casos si el portàtil no pot alimentar des de els seus ports USB les dues plaques s'ha de posar un concentrador de ports USB alimentat externament per aportar la potència necessària. Ens veuríem obligats a fer-ho en cas de comportament erràtic de la placa. Com no ha sigut el cas no ens ha fet falta.



Taula 21. Esquema de xarxa del TFC

3.1.3 Com interactuen els diferents objectes en el sistema

Primer de tot, a la placa LPC1769 ha de estar carregada la aplicació a la RAM i executant-se. Aquesta aplicació obre un servidor TCP/IP sobre la adreça 192.168.1.71 que escolta per el port 80. La aplicació crea dues tasques, una es el servidor mencionat i n'obre una altra que monitoritza i detecta si el cable ethernet està endollat o no al port RJ45 de la placa base.

Al portàtil, s'ha d'executar la màquina virtual i s'ha d'executar el Dring que s'ha adaptat per aquest treball. Dring llegeix la configuració i carrega els mòduls pertinents, en el nostre cas seran el mòdul processat que envia la matriu d'expulsió i el mòdul de comunicació ethernet.

Arribat a aquest punt amb la aplicació executant-se a la LPC1769 i el Dring en stand-by a la màquina virtual, Dring es queda esperant una ordre que normalment li arriba via HMI o PLC que li digui que es posi en marxa. En el nostre cas aquesta ordre li enviarem via l'eina Netcat a través del port 2501 enviant la paraula "*marcha*". Amb aquesta ordre Dring passa d'estar en stand-by a posar-se en marxa. El mòdul processat entra en execució i comença a enviar matrius d'expulsió i el mòdul comunicació estableix la comunicació remota i comença a convertir i enviar trames de les matrius d'expulsió rebudes per el mòdul processat. Quan Dring ja esta en marxa retorna la paraula "*marcha*" per fer-ho notar. Dring només dona el estat "*marcha*" quan tots els mòduls s'han inicialitzat correctament.

La seqüència que segueix el Dring per engegar es la següent, primer envia una ordre de parada via ethernet per parar el mòdul d'expulsió en cas de tenir-lo en marxa, després envia l'ordre de engegada. En el moment que Dring es posa en marxa el mòdul processat comença a enviar les imatges binaries d'expulsió a la adreça destí, en aquest cas la de la placa LPC1769.

A cada trama rebuda, la placa LPC1769 converteix la trama en el paquet necessari per la activació de les GPIO i retorna un missatge al Dring confirmant el numero de torn, i algunes alarmes per si la trama arriba tard.

Les aplicacions continuen treballant fins que el Dring rep una ordre de aturada via Netcat en el nostre cas. Aquesta ordre deixa la placa LPC1769 escoltant el port per si torna a arribar una ordre de engegada. El Dring per la seua banda es queda a la espera de mes ordres via Netcat.

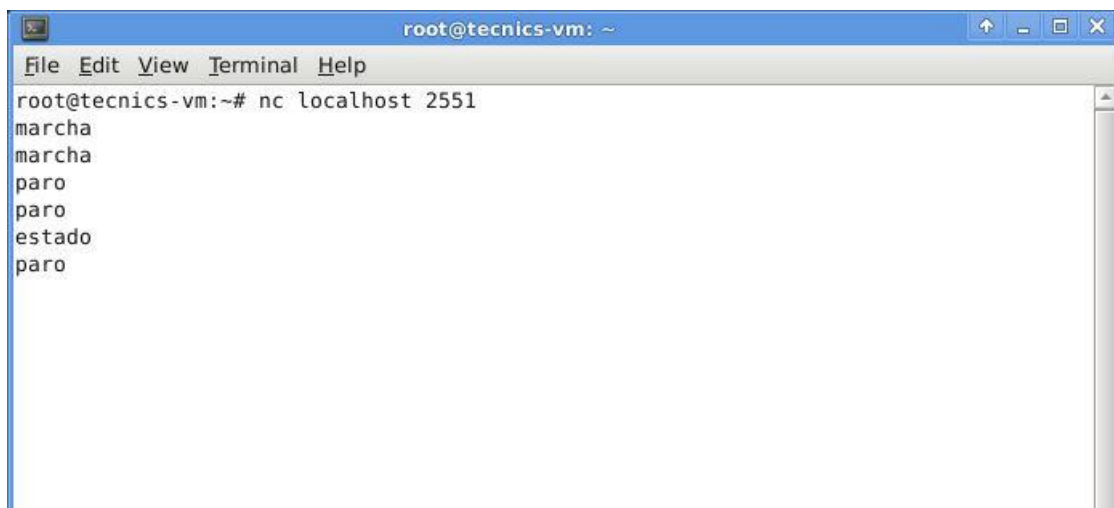
3.2 Interfase usuari

3.2.1 NETCAT

En aquesta aplicació no hi ha interfase d'usuari. La eina Netcat es el mitja que es fa servir com a interfase d'usuari per comunicar-nos amb la aplicació. Es pot configurar mitjançant fitxer però en aquest cas Dring escolta el port 2501 esperant ordres via Netcat.

Dring reconeix diferents ordres de configuració com son:

- Ordre "Estado": retorna si està engegat("marcha") o parat("paro")
- Ordre "Marcha": ´dona ordre de engegada a tots els mòduls, retorna "marcha" si tots han engegat bé.
- Ordre "Paro": dona ordre de aturada a tots els mòduls, retorna "paro" si tots han aturat adequadament.
- Ordre "Configura": dona ordre a Dring per tornar a llegir els paràmetres de configuració.
- Ordre "Obtener parametro CLAU": retorna el valor del parametro CLAU.
- Ordre "Escribir parametro CLAU VALOR": assigna al parametro CLAU el valor VALOR i retorna CLAU i VALOR.



Taula 22. Mostra de les ordres transmeses via netcat.

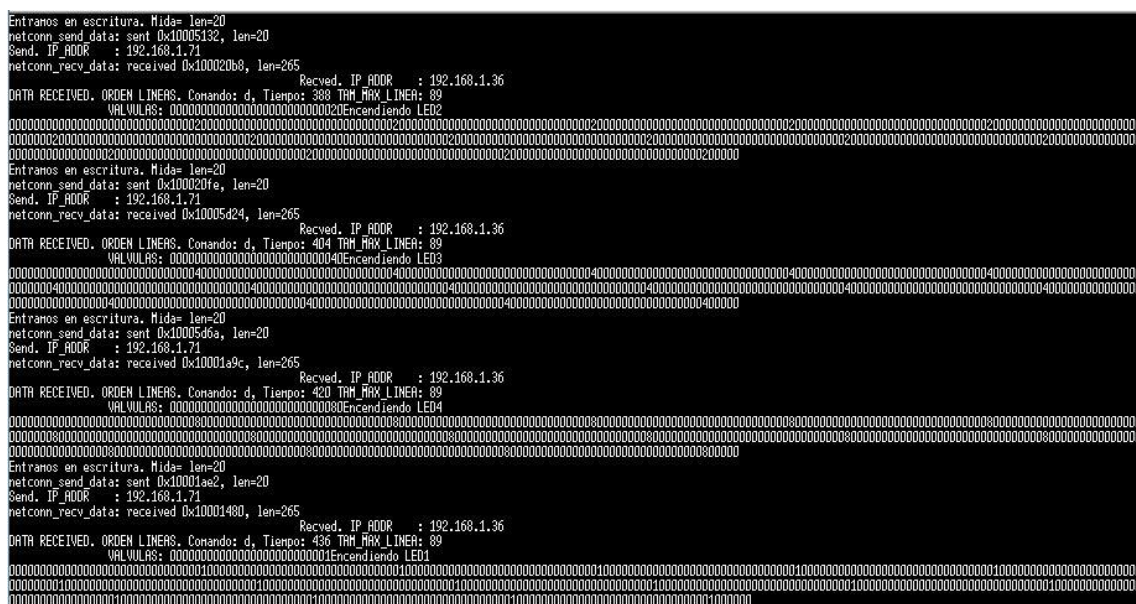
Les ordres de aturada i engegada de la aplicació son respectivament “paro” i “marcha” i son les úniques que farem servir en el marc del TFC doncs es tracta de demostrar la viabilitat, no d’omplir de contingut totes les funcionalitat possibles.

Ara bé, la comunicació ethernet amb els dispositius remot ens habilitarà l’enviament de diferents ordres i paràmetres als sistemes encastats.

Amb la funcionalitat desenvolupada al sistema encastat es rep la ordre de engegada, la de aturada, i les trames de expulsió.

3.2.2 UART

La UART es la manera que té la aplicació de mostrar els missatges d’estat mentre s’executa la aplicació. Veure taula a continuació:

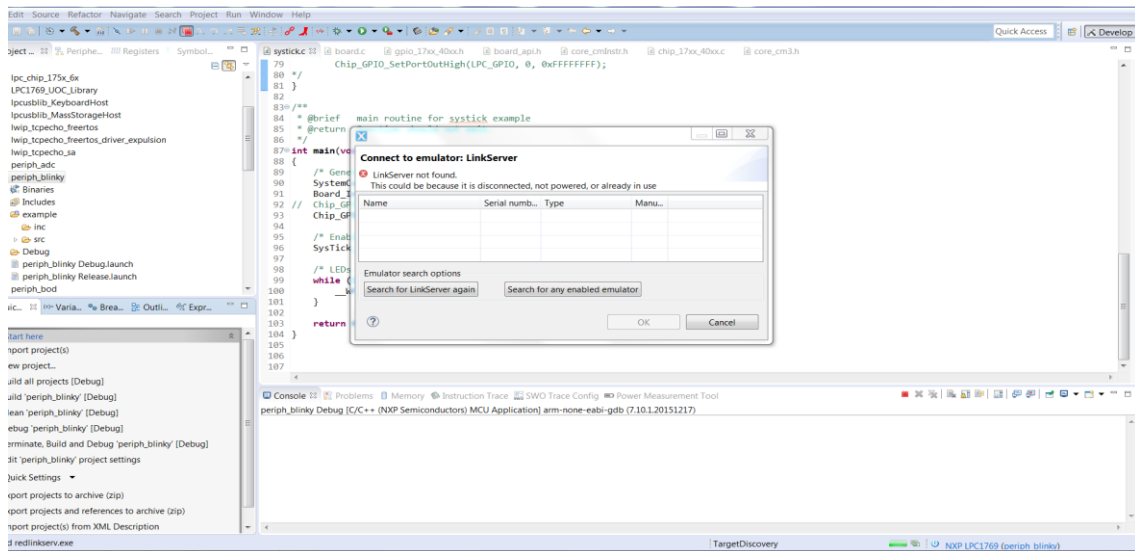


Taula 23. Missatges mostrats per la UART

Com es pot veure a la taula anterior, es mostren els següents missatges:

- Establiment de connexió
- Perduda de connexió
- Les trames rebudes. Es visualitza tota la matriu d'expulsió per comprovar-ne la integritat de la informació rebuda.
- A cada trama es mostra la IP del destinatari
- A cada trama es mostra la IP del emissor.

També, davant la impossibilitat de fer funcionar el debug mitjançant el entorn de programació LPCXpresso ha sigut el mitjà escollit per mostrar els missatges de debug i poder avançar amb el desenvolupament amb certa fluïdesa. Així doncs es mostres missatges de avanç de codi intern. Seguidament es mostra el error en el entorn de programació per el qual no es podia debuggar mitjançant el LPCXpresso i es va decidir fer mitjançant la UART.



3.3 LPC1769

3.3.1 Diagrama de blocs i/o esquema

A continuació es mostra detall del bloc funcional implementat a la placa LPC1769 per aquest projecte:



Taula 24. Esquema funcional LPC1769.

La aplicació esta dissenyada per córrer sobre FreeRTOS.

La tasca principal de la aplicació es la que executa el fil o tasca de control de connexió. Aquesta tasca de control de link es la que executa la tasca de comunicació pròpiament dita, es a dir, la tasca es de creació del servidor tcp i de comunicació amb la aplicació emissora.

Las tasca principal anomenada tcp_freertos_driver_expulsion primerament inicialitza la placa i configura el port de les sortides, seguidament crea la tasca de control de link.

La tasca "control link" primer assigna la IP a la placa i s'encarrega de monitoritzar el port PHY per mirar si es perd connexió, es a dir, vigila que hi hagi connexió física del cable en tot

moment. Aquesta tasca també llença la tasca de comunicació si la configuració "física" de la xarxa esta correcta.

La tasca de comunicació "tcp_com" es la encarregada de crear el servidor tcp i de rebre i enviar les trames adequament. Aquesta tasca es la que interpreta les ordres rebudes per la aplicació emissora i per tant es la que a mesura que s'ompli de contingut la aplicació en el decur de la industrialització del producte patirà mes avenç i mes canvis.

Totes les tasques de la aplicació fan servir el mòdul GPIO per tot el relacionat amb les sortides, tant la configuració com la activació de les mateixes al rebre les trames de la aplicació emissora.

4. DESCRIPCIÓ DETALLADA

4.1 Diagrama execució

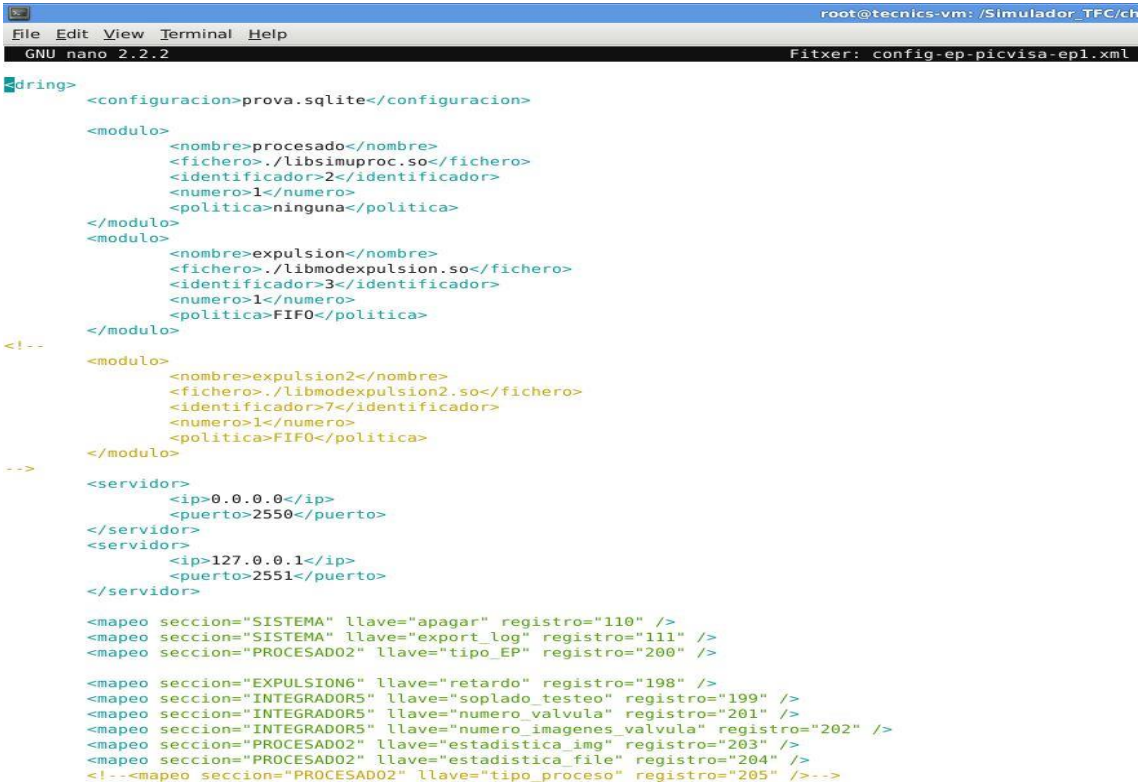
Aquesta secció la dividirem en dues parts, de fet, tal i com està estructurat el projecte com s'ha explicat en apartats anteriors.

La primera part serà la aplicació emissora que s'executa en un portàtil sobre una maquina virtual amb la distribució de Linux Ubuntu 10.04 LTS, i la segona part, la aplicació receptora que s'executa en un sistema encastat del fabricant NXP, la placa LPC1769 CMSIS-DAP REV. D.

4.1.1 Aplicació emissora – resident a Maquina virtual sobre Windows 7 64bits

En aquesta aplicació emissora, el que es el Dring i la seva configuració ha sigut subministrat conjuntament amb la empresa.

Dring es una aplicació que en el moment d'execució i mitjançant fitxer xml de configuració carrega uns mòduls o altres i carrega una base de dades. Veure taula a sota.



```
root@tecnicos-vm: /Simulador_TFC/ch
File Edit View Terminal Help
GNU nano 2.2.2                               Fitxer: config-ep-picvisa-ep1.xml

<dring>
  <configuracion>prova.sqlite</configuracion>

  <modulo>
    <nombre>procesado</nombre>
    <fichero>./libsimumproc.so</fichero>
    <identificador>2</identificador>
    <numero>1</numero>
    <politica>ninguna</politica>
  </modulo>
  <modulo>
    <nombre>expulsion</nombre>
    <fichero>./libmodexpulsion.so</fichero>
    <identificador>3</identificador>
    <numero>1</numero>
    <politica>FIFO</politica>
  </modulo>
  <!--
  <modulo>
    <nombre>expulsion2</nombre>
    <fichero>./libmodexpulsion2.so</fichero>
    <identificador>7</identificador>
    <numero>1</numero>
    <politica>FIFO</politica>
  </modulo>
  -->
  <servidor>
    <ip>0.0.0.0</ip>
    <puerto>2550</puerto>
  </servidor>
  <servidor>
    <ip>127.0.0.1</ip>
    <puerto>2551</puerto>
  </servidor>

  <mapeo seccion="SISTEMA" llave="apagar" registro="110" />
  <mapeo seccion="SISTEMA" llave="export_log" registro="111" />
  <mapeo seccion="PROCESAD02" llave="tipo_EP" registro="200" />

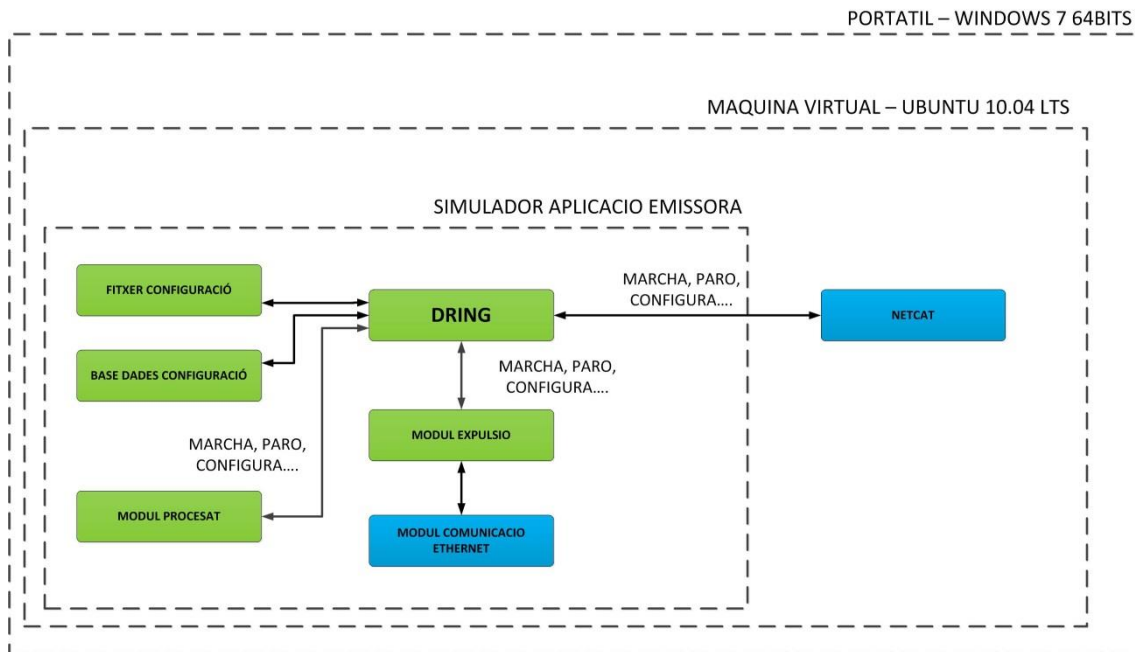
  <mapeo seccion="EXPULSION6" llave="retardo" registro="198" />
  <mapeo seccion="INTEGRADOR5" llave="soplado_testeo" registro="199" />
  <mapeo seccion="INTEGRADOR5" llave="numero_valvula" registro="201" />
  <mapeo seccion="INTEGRADOR5" llave="numero_imagenes_valvula" registro="202" />
  <mapeo seccion="PROCESAD02" llave="estadistica_img" registro="203" />
  <mapeo seccion="PROCESAD02" llave="estadistica_file" registro="204" />
  <!--<mapeo seccion="PROCESAD02" llave="tipo_proceso" registro="205" /-->
```

Taula 25. Fitxer configuració Dring.

Com es pot observar es dona el nom de la base de dades, en format “sqlite” i el nom dels mòduls a carregar adreçant als fitxers amb extensió “.so”. Un cop carrega mòduls, cada mòdul llegeix tots els paràmetres que li calen mitjançant dues claus secció/paràmetre a través de la base de dades.

Un cop el Dring està en execució, queda en “stand-by”, aquest estat li anomenarem estat aturat. Portant el símil a altres casuístiques es com si haguéssim engegat la màquina elèctricament però encara no fa res.

Un cop el Dring engegat i en execució es pot obrir un terminal amb el netcat al port 2551. Com es pot veure a la taula inferior aquest terminal serà interfase de usuari amb la aplicació Dring.



Taula 26. Diagrama execució aplicació emissora.

Les tasques desenvolupades per mi a la aplicació emissora son:

- Imatge virtual: s’ha generat una imatge virtual amb una distribució de Ubuntu simulant el entorn on s’executa el Dring habitualment, per tal de poder fer córrer la aplicació emissora al meu portàtil. Per configurar la màquina virtual s’han configurat dos interfases de xarxa, una de cara a accedir a internet i l’altre de cara a comunicar amb el sistema distribuït.
- Mòdul de expulsió: es simplement una instància d’un mòdul genèric de Dring. Aquest mòdul es el que comunica amb Dring. En aquest mòdul es crea una instància al mòdul de comunicació que es el que he desenvolupat per aquest treball.
- Mòdul de comunicació: s’ha creat un mòdul nou per al Dring que ja no programa cap targeta de I/O sinó que el que fa es obrir una comunicació ethernet amb una IP determinada i envia les trames ethernet amb la informació per activar les electrovàlvules.

Aquest mòdul primerament crea les estructures de dades necessàries per enviar les matrius d'expulsió. El format de les trames les veurem en els propers apartats.

Quan el usuari posa en "marcha" el dring, la aplicació seguidament intenta obrir un *socket* en la adreça IP destí i sobre el port destí que la aplicació ha llegit de la base de dades. No cal dir que el servidor tcp ha d'estar creat a la IP de destí sinó retornarà un error.

Un cop la connexió oberta, el mòdul espera les imatges binaries d'expulsió del mòdul processat, les recorre byte a byte, i les converteix al format que s'ha establert que han de tenir les trames d'enviament i les envia. Cada bit de la trama correspon a una vàlvula, si té el valor 1 s'ha d'activar, es a dir, posar la sortida corresponent a 1 i si te el valor 0 s'ha de desactivar, es a dir, posar la sortida corresponent a 0.

A cada trama o imatge d'expulsió enviada espera una resposta per part del sistema distribuït. Aquesta resposta conté el paràmetre de sincronització i variables d'error o alarma del dispositiu remot o de la comunicació.

Per a realitzar aquest treball s'ha fixat una freqüència d'enviament de 1 imatge d'expulsió al segon. Aquesta freqüència es similar a la que fa servir el sistema industrial final.

4.1.2 Aplicació receptora – resident a LPC1769

La aplicació receptora es la aplicació que s'executa al sistema encastat distribuït. En aquest cas la placa LPC1769.

Les tasques desenvolupades per mi a la aplicació receptora son:

- Driver TCP/IP: per tenir el driver de comunicació s'ha adaptat un exemple que es va trobar al portal de NXP. El driver TCP/IP que corre sobre FreeRTOS fa servir les llibreries LPCOpen per configurar els perifèrics de la LPC1769. Per adaptar aquest exemple s'ha hagut de modificar múltiples paràmetres per configurar adequadament la connexió desitjada.

lwIP

Aquest exemple esta basat en una implementació de la "lwip" Light Weight IP creada per Adam Dunkels[1]. Es tracta d'una implementació de la pila TCP/IP en format codi lliure que conserva les funcionalitats bàsiques de la implementació original però en fa servir molt poc recursos. Es una implementació molt popular en els sistemes encastats donada lo optima en aprofitament de recursos. Es sobretot òptim en la utilització dels buffers de memòria i els buffers de paquets. Si el volum de dades fos molt intens potser donaria problemes.

De la implementació TCP/IP només conserva l'enviament, recepció i reenviament de paquets. Per exemple, no suporta l'enviament o recepció de paquets fragmentats o de paquets amb opcions IP.

El fet de no suportar la fragmentació de paquets no és un punt important en la nostra aplicació doncs en el pitjor dels casos s'envien imatges d'expulsió de (96valvules*32pixels=3072 bits o 384 bytes) que sobradament caben dintre d'un paquet ethernet que són 1500bytes menys el payload del protocol TCP que són 64 bytes per un total de 1436 bytes aprofitables.

Entre altres paràmetres s'ha hagut de configurar si la connexió a la xarxa era via DHCP o no. En aquest cas al tenir connexió directa amb el portàtil que executa la aplicació emissora es va optar per la opció de assignar IP estàtica.

S'ha configurat si es volia una comunicació TCP o UDP, en aquest cas he triat la TCP doncs assegura que les trames enviades arriben en el mateix ordre que es varen enviar.

L'exemple també disposa de diverses opcions de debug que s'han hagut d'habilitar als diferents fitxers de configuració dels que disposa per poder via la UART anar solventant problemes de configuració.

Aquesta implementació també dona llibertat per ampliar els buffers en cas de necessitar-ho, però no ha sigut el cas.

FreeRTOS

Aquesta implementació de la lwIP també fa servir la arquitectura del sistema operatiu FreeRTOS introduït en l'inici del quadrimestre.

El exemple en la aplicació principal crea una tasca que és la que s'encarrega de engegar l'altra tasca de la aplicació que és la tasca que implementa la lwIP. La primera tasca a continuació s'encarrega de configurar el perifèric de xarxa i monitoritzar si hi ha cable endollat o no. Entre d'altres assigna la IP al dispositiu, assigna el gateway, assigna la màscara de xarxa.

Un cop les dues tasques estan llestes tant la tasca de monitorització de la xarxa física com la que estableix les comunicacions entren en bucle infinit de funcionament.

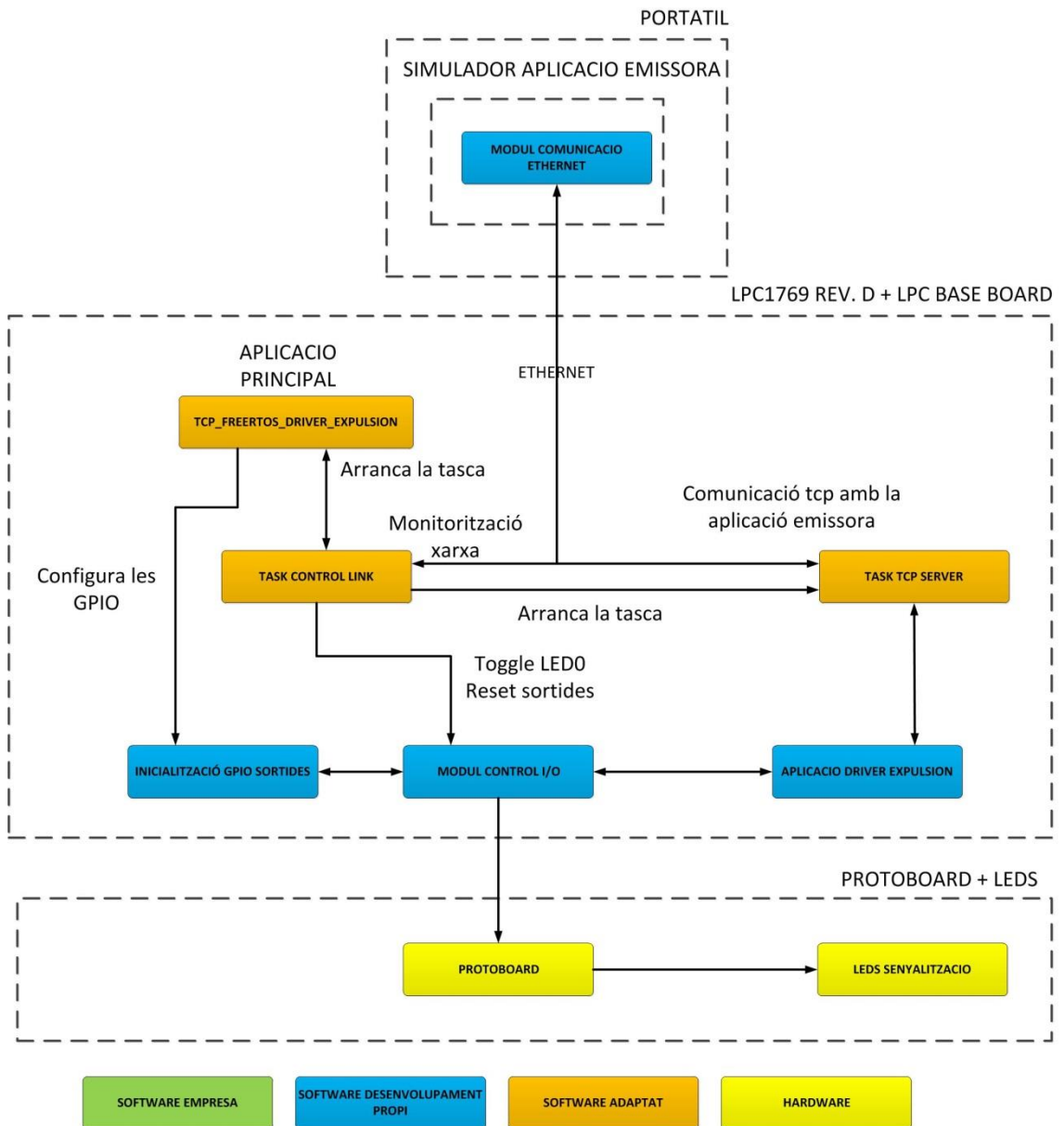
Tasca PHY

La tasca de monitorització de la PHY contínuament busca un canvi d'estat, per exemple una pèrdua de connexió. Si detecta cable connectat i cap alarma engega el LED0 de la placa en intermitència. Si detecta algun problema com la pèrdua de connexió el LED0 es queda apagat i escriu a la UART el missatge d'error.

Tasca servidor TCP

La tasca que implementa el servidor tcp es queda permanentment escoltant si algun client escriu al port designat. El exemple triat era un aplicació que feia un “echo” del missatge que rebia. Aquesta part s’ha adaptat tota a la necessitat d’aquesta aplicació.

A continuació es mostra el diagrama d’execució de la aplicació executant-se a la LPC1769:



Taula 27. Diagrama execució del sistema encastat LPC1769.

S’ha estructurat un format de 5 possibles missatges entrants des de l’aplicació emissora, **ORDEN_CONFIGURACION**, **ORDEN_STOP**, **ORDEN_RUN**, **ORDEN_LINEAS** i altres. Podrem aprofundir en el apartat de casos d’ús. La tasca tcp sempre que rep un missatge entrant de tipus **ORDEN_LINEAS** retorna una resposta

especifica que també veurem mes a detall en el apartat de les trames enviades i rebudes.

- Gestió GPIO: s'ha desenvolupat una gestió de les GPIO per parametritzar-ne el seu ús. Aquest mòdul sempre serà particular per cada sistema distribuït que escollim doncs va relacionat amb les adreces dels registres de configuració del dispositiu.

Tal com indica el manual del dispositiu les GPIO primer s'han de configurar per escollir la funcionalitat que volem que tingui mitjançant el registre PINSEL. Existeixen 4 modes possibles com veurem a la il·lustració següent:

8.3 Pin function select register values

The PINSEL registers control the functions of device pins as shown below. Pairs of bits in these registers correspond to specific device pins.

Table 76. Pin function select register bits

PINSEL0 to PINSEL9 Values	Function	Value after Reset
00	Primary (default) function, typically GPIO port	00
01	First alternate function	
10	Second alternate function	
11	Third alternate function	

UM10360

All information provided in this document is subject to legal disclaimers.

© NXP B.V. 2014. All rights reserved.

User manual

Rev. 3.1 — 2 April 2014

113 of 849

Taula 28. GPIO funcions disponibles al dispositiu.

En el nostre cas que volem entrades i sortides estàndard, hem escollit la funcionalitat 00. Al registre PINSEL cada I/O ocupa dos bits de configuració. El exemple següent mostra les diferents possibilitats que tenen les I/O del port 0:

8.5.1 Pin Function Select register 0 (PINSEL0 - 0x4002 C000)

The PINSEL0 register controls the functions of the lower half of Port 0. The direction control bit in FIODIR register is effective only when the GPIO function is selected for a pin. For other functions, the direction is controlled automatically.

Table 80. Pin function select register 0 (PINSEL0 - address 0x4002 C000) bit description

PINSEL0	Pin name	Function when 00	Function when 01	Function when 10	Function when 11	Reset value
1:0	P0.0	GPIO Port 0.0	RD1	TXD3	SDA1	00
3:2	P0.1	GPIO Port 0.1	TD1	RXD3	SCL1	00
5:4	P0.2	GPIO Port 0.2	TXD0	AD0.7	Reserved	00
7:6	P0.3	GPIO Port 0.3	RXD0	AD0.6	Reserved	00
9:8	P0.4 ^[1]	GPIO Port 0.4	I2SRX_CLK	RD2	CAP2.0	00
11:10	P0.5 ^[1]	GPIO Port 0.5	I2SRX_WS	TD2	CAP2.1	00
13:12	P0.6	GPIO Port 0.6	I2SRX_SDA	SSEL1	MAT2.0	00
15:14	P0.7	GPIO Port 0.7	I2STX_CLK	SCK1	MAT2.1	00
17:16	P0.8	GPIO Port 0.8	I2STX_WS	MISO1	MAT2.2	00
19:18	P0.9	GPIO Port 0.9	I2STX_SDA	MOSI1	MAT2.3	00
21:20	P0.10	GPIO Port 0.10	TXD2	SDA2	MAT3.0	00
23:22	P0.11	GPIO Port 0.11	RXD2	SCL2	MAT3.1	00
29:24	-	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	0
31:30	P0.15	GPIO Port 0.15	TXD1	SCK0	SCK	00

[1] Not available on 80-pin package.

Taula 29. GPIO exemple de funcions de les I/O.

Les entrades i sortides del dispositiu també tenen un altre registre de configuració com es el PIN_MODE on es defineix el tipus d'entrada o sortida que tenim. A continuació veurem els possible valors que pot prendre aquest registre:

8.4 Pin mode select register values

The PINMODE registers control the input mode of all ports. This includes the use of the on-chip pull-up/pull-down resistor feature and a special open drain operating mode. The on-chip pull-up/pull-down resistor can be selected for every port pin regardless of the function on this pin with the exception of the I²C pins for the I²C interface and the USB pins (see [Section 8.5.10](#)). Three bits are used to control the mode of a port pin, two in a PINMODE register, and an additional one in a PINMODE_OD register. Bits are reserved for unused pins as in the PINSEL registers.

Table 77. Pin Mode Select register Bits

PINMODE0 to PINMODE9 Values	Function	Value after Reset
00	Pin has an on-chip pull-up resistor enabled.	00
01	Repeater mode (see text below).	
10	Pin has neither pull-up nor pull-down resistor enabled.	
11	Pin has an on-chip pull-down resistor enabled.	

Repeater mode enables the pull-up resistor if the pin is at a logic high and enables the

Taula 30. GPIO modes disponibles.

Seguidament s'ha d'especificar si volem que cada pin sigui una entrada o sigui una sortida. Aquest dispositiu permet una configuració pin a pin o port a port. Aquesta funcionalitat dona molta versatilitat doncs per aquest treball tot s'ha configurat com a sortides però en un sistema industrial definitiu fora molt útil tenir entrades i sortides independents de les vàlvules. Així doncs hem d'especificar la direcció de cada pin, entrada o sortida.

Un cop tot configurat només queda esperar que a cada imatge d'expulsió es faci la crida a quina sortida s'ha d'activar i quina no. Es pot escriure port sencer lo qual fa més ràpida el tractament de la informació. En el cas de la nostra aplicació es pertinent i així s'ha fet tindre un mapeig de les sortides teòriques (vàlvula1, vàlvula2,...) amb els pins de la targeta. D'aquesta manera el cablejat sempre es pot fer de manera mecànica i lògica i el mapeig fer la conversió del pin a la GPIO que li pertoca.

Si s'observa la següent taula de correspondència de pins a nombre de GPIO es veurà que dues entrades lògiques correlatives no ho son físicament:

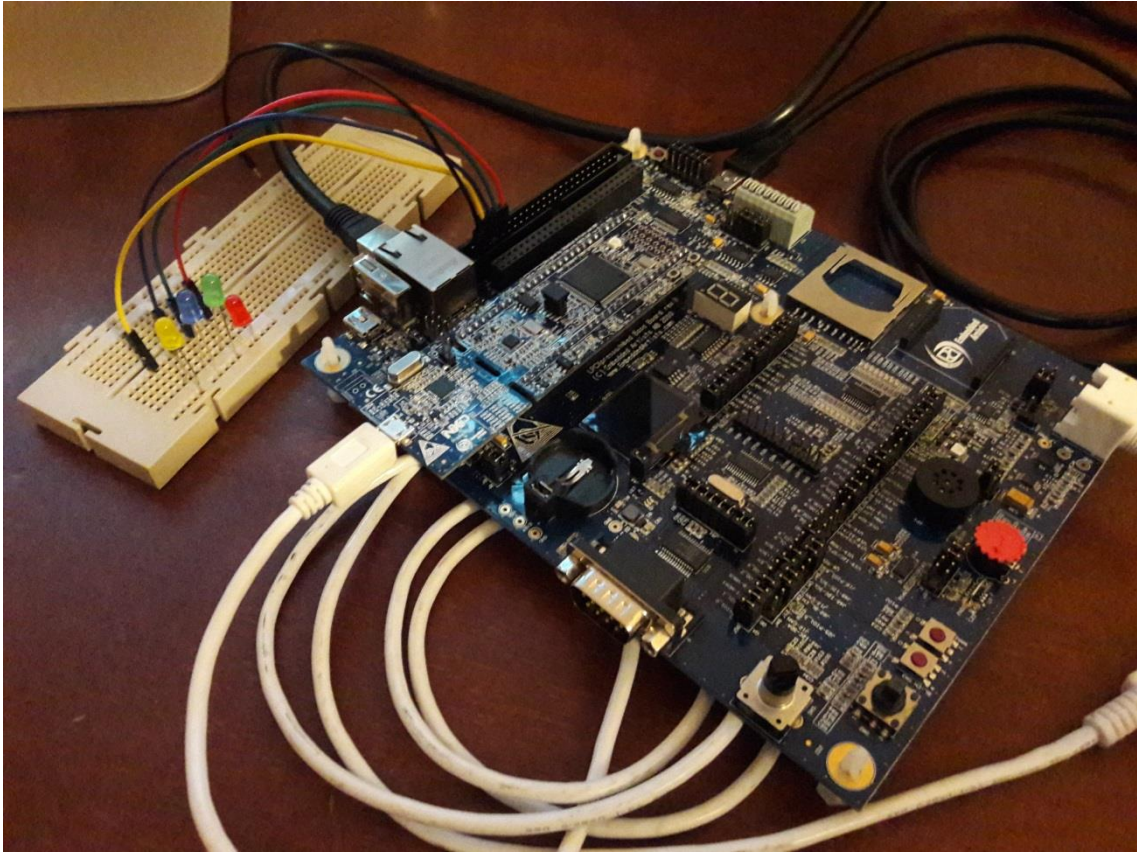
LPC1769	LPC1343	LPCXpresso connector	LPC1343	LPC1769
Gnd	Gnd	J6-1	Vout (+3.3V)	Vout +3.3V
Vin (4.5-5.5V)	Vin (4.5 – 5.5v)	J6-2	not used	not used
Vbat	not used	J6-3	not used	not used
Reset	P0.0 Reset	J6-4	not used	not used
P0.9 MOSI1	P0.9 MOSI/SWO	J6-5	not used	RD-
P0.8 MISO1	P0.8 MISO	J6-6	not used	RD+
P0.7 SCK1	P2.11 SCK	J6-7	not used	TD-
P0.6 SSEL1	P0.2 SSEL	J6-8	not used	TD+
P0.0 TxD3/SDA1	P1.7 TxD	J6-9	USB-DM	USB-D-
P0.1 RxD3/SCL1	P1.6 RxD	J6-10	USB-DP	USB-D+
P0.18 MOSI0	P0.7	J6-11	P0.1	P0.4 CAN_Rx2
P0.17 MISO0	P2.0	J6-12	P0.3	P0.5 CAN_Tx2
P0.15 TxD1/SCK0	P2.1	J6-13	P0.5 I2C-SDA	P0.10 TxD2/SDA2
P0.16 RxD1/SSEL0	P2.2	J6-14	P0.4 I2C-SCL	P0.11 RxD2/SCL2
P0.23 AD0.0	P0.11 AD0	J6-15	P1.9	P2.0 PWM1.1
P0.24 AD0.1	P1.0 AD1	J6-16	P1.10	P2.1 PWM1.2
P0.25 AD0.2	P1.1 AD2	J6-17	P1.11	P2.2 PWM1.3
P0.26 AD0.3/Aout	P1.2 AD3	J6-18	P2.3	P2.3 PWM1.4
P1.30 AD0.4	P1.3 AD4/SWDIO	J6-19	P2.4	P2.4 PWM1.5
P1.31 AD0.5	P1.4 AD5	J6-20	P2.5	P2.5 PWM1.6
P0.23	P1.5	J6-21	P2.6	P2.6
P0.3	P1.8	J6-22	P2.7	P2.7
P0.21	P0.6	J6-23	P2.8	P2.8
P0.22	P0.10 SWCLK	J6-24	P2.9	P2.10
P0.27	P3.0	J6-25	P2.10	P2.11
P0.28	P3.1	J6-26	P3.3	P2.12
P2.13	P3.2	J6-27	Gnd	Gnd

Taula 31. Pinnatge LPC1769+Baseboard.

4.1.3 Proves del sistema

Per poder visualitzar, debuggar i gestionar les proves del sistema, es va adquirir una LPC Base Board. Per poder insertar la LPC1769 a la placa base, es va haver de dessoldar els connectors subministrats a la LPC1769 i soldar-los a la cara oposada de la placa per tal de poder endollar la LPC1769 en la LPC Base Board. La placa base ha facilitat i permès la connexió ethernet donat que té un port RJ45 i la visualització dels missatges escrits a la UART connectant un cable USB de la placa base al portàtil i monitoritzant el port amb la aplicació TeraTerm. Veure Taula 23.

També ha facilitat el cablejat de les I/O a través dels connectors de 50 pins que té la placa base. Fent servir una protoboard com a bornera de connexió ha facilitat molt la visualització de les proves. De cara a la presentació s'està treballant en substituir els leds per vàlvules per donar una mica més de realisme tot i que el problema es el mateix. Veurem a la imatge a continuació com ha resultat el conjunt:



Taula 32. Muntatge físic LPC1769+BaseBoard+LEDs.

Per poder visualitzar correctament la seqüència sense haver d'esperar tot el cicle d'activacions de vàlvules, al codi s'ha fet per tal que a cada byte que es rep la activació els 4 bits de menor pes correspongui un bit a cada led de colors. Així a cada bit0, bit1, bit2, bit3 s'engega un led diferent, després està els 4 bits de major pes apagat i torna a començar.

D'aquesta forma la visualització del resultat i de la comunicació es clara i molt visual.

4.2 Casos d'ús

La aplicació fins el punt que està desenvolupada no té gaire casuística. Si que es cert que un cop vist que el sistema es viable caldria omplir de contingut aquesta casuística. Així doncs la aplicació ja n'està preparada i tindria 4 casos d'ús en funció de les trames que rebí el dispositiu. Ara mateix les trames que rep el sistema encastat tenen un camp anomenat "comando". Aquest camp pot tenir 4 valors:

- **ORDEN_CONFIGURACION:** al rebre aquesta ordre el dispositiu remot podria alterar la seva configuració ja sigui de relativa a les GPIO, a diferents paràmetres de generació de alarma, etc. Es una manera de traslladar la ordre "configura" que la aplicació Dring dona a tots els seus mòduls al dispositiu remot.

- **ORDEN_STOP**: es rep aquesta ordre abans de cada marxa i en el moment de aturar. La aturada abans de arrancar es una manera de resetejar dispositius físics que poden haver quedat en un estat indefinit. Assegurem un estat d'aturada.
- **ORDEN_RUN**: es l'ordre de engegar la aplicació Dring. Es la primera trama abans de rebre informació.
- **ORDEN_LINEAS**: son les trames d'informació. En el proper apartat es veurà quina estructura tenen. La casuística aquí es senzilla activar o desactivar sortida segons correspongui.

4.3 Estructura de les trames enviades per la aplicació emissora - Dring

La aplicació Dring envia dues trames diferenciades, la que veurem a continuació es la que envia quan està configurant la aplicació:

```
typedef struct __configuracion_lineas
```

```
{
    u8_t comando; //aquest paràmetre es l'ordre que envia Dring. En aquest cas val "c".
    u8_t padding;
    u16_t retardo; //retard a aplicar des de que es llegeix la línia fins que ha de bufar en unitats de trigger.
    u16_t numero_filas; // nombre de files per paquet
    u16_t max_retrasos; //màxim nombre de retards en la activació, a partir d'aquí parem aplicació doncs entenem que hi ha un error que no es pot arreglar.
    u16_t divisor;// divisor de interrupcions, sense ús.
    u16_t numero_salidas_driver1, numero_salidas_driver2, reserva3, reserva4;
    //indica quantes vàlvules té cada barra de bufada.
} configuracion_lineas;
```

La següent trama es la que envia el Dring en cas que estigui enviant imatges d'expulsió:

```
typedef struct __datos_lineas
```

```
{
    u8_t comando; //aquest paràmetre es l'ordre que envia Dring. En aquest cas val "d".
    uint64_t tiempo; // es el torn de la línia en qüestió
    linea_salida lineas[TAM_MAX_LINEA]; //Es la imatge binaria que toca processar.
} datos_lineas;
```

En aquest cas podem veure que cada línia d'informació pot tenir 128bits es a dir activar 128 vàlvules.

```
typedef struct __linea_salida  
{  
    u8_t datos[16]; //128 bits vol dir 128 sortides  
} linea_salida;
```

4.4 Estructura de les trames enviades per la aplicació receptora – LPC1769

La estructura de les trames que ha de respondre el dispositiu remot es la següent:

```
typedef struct __datos_driver  
{  
    uint64_t turno; //Es retorna el torn d'activació de vàlvules  
    u32_t retrasos_total; //Els retards en total es van sumant. Dring parará la aplicació si detecta que hi ha més retards dels permesos.  
    u32_t retrasos_parcial; //En aquest cas son els retards que han ocorregut de manera consecutiva i que pot haver compromès el rendiment de la màquina.  
    u32_t desbordes; //En el cas d'implementar un sistema de cua FIFO aquesta alarma donaria desbordament de cua.  
} datos_driver;
```

5.VIABILITAT TÈCNICA

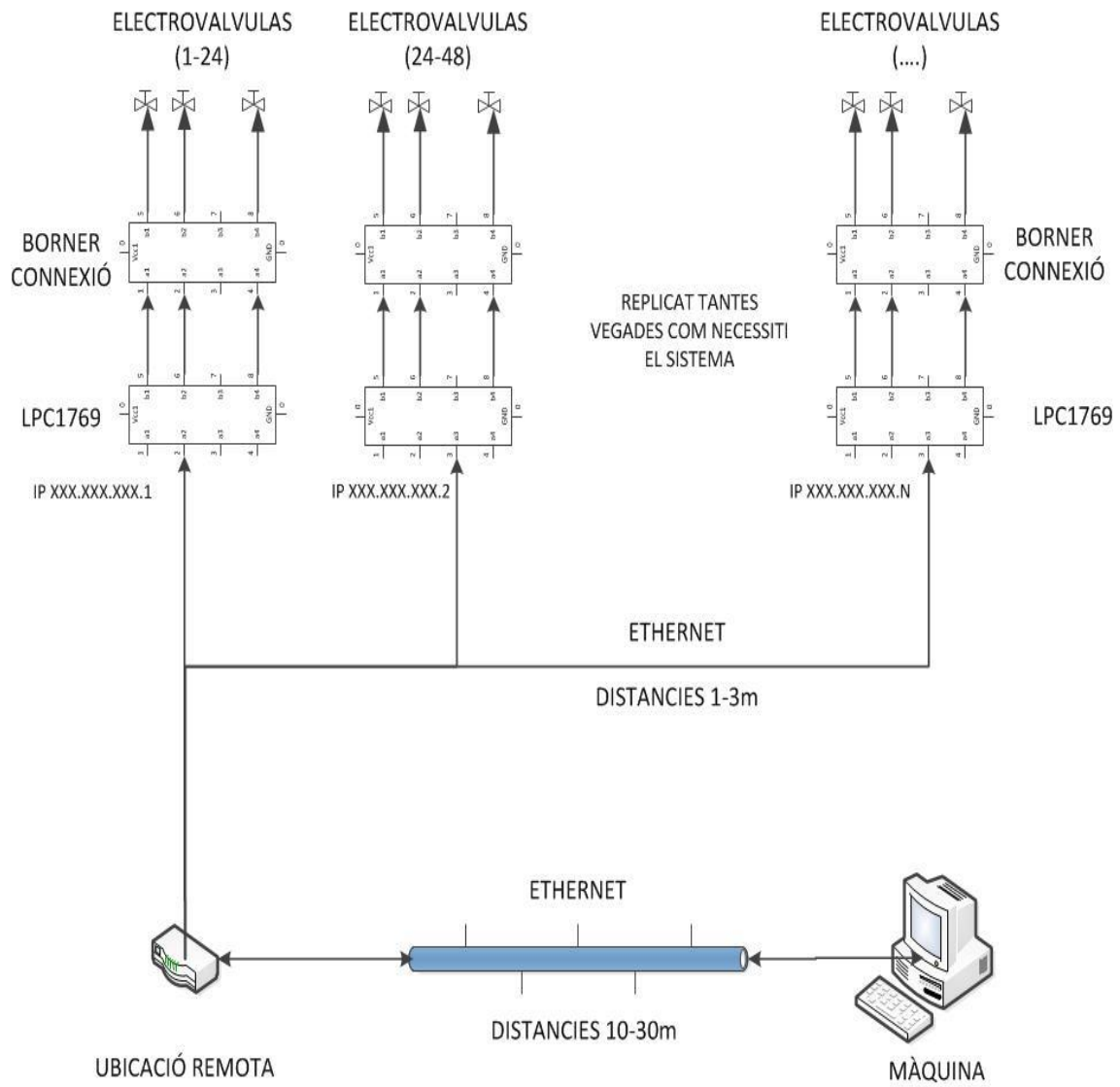
El PoC treballat en aquest projecte no solament es viable tècnicament sinó que es de relativa facilitat la seua industrialització i aplicació final en el destí desitjat.

A favor seu tenim els següents punts:

- Cost: el cost del sistema es clarament molt avantatjós.
- Modularitat GPIO: la placa escollida finalment cobriria la necessitat de 24 electrovàlvules. Això encaixa molt bé en la modularitat establerta en els sistemes desenvolupats per la empresa. Per exemple la etapa de potencia son plaques electròniques que controlen 24 electrovàlvules.
- GPIO control: A mes a més, com que la placa disposa de 40 GPIO disponibles, si només en fem servir 24 com a sortida per vàlvules ens en queden 16 que podrien fer-se servir de control. Son dos bytes, se'n podria fer servir 1 byte d'entrada i 1 byte de sortida. Al byte d'entrada podríem cablejar el trigger que seria comú a tots els mòduls distribuïts. Al byte de sortida podríem cablejar sortides de alarma elèctriques.
- Comunicació: El fet de poder implementar un bus de camp com ethernet abarateix molt la implantació. Cablejarem amb un cable apantallat CAT 6. cap a les vàlvules. Si en una màquina tenim 96 vàlvules necessitarem 4 mòduls LPC1769. En aquest cas tindriem dues opcions, o anem amb 4 cables ethernet cap al recinte distribuït o bé tirem un cable únic però al recinte distribuït s'ha d'instal·lar un switch per poder connectar cada mòdul. Cada mòdul tindria la seva adreça IP lo qual facilitaria molt la traçabilitat de problemes en el decurs de la operació de la màquina. Veure mes endavant Taula 33.
- Mides: El fet que la placa tingui unes mides tan reduïdes (100x30mm) la fa ideal per aquesta aplicació doncs la seva ubicació serà en el recinte on s'ubiquen les vàlvules, que acostuma a ser un recinte molt reduït d'espai.
- Latència: la latència de comunicació finalment no ha sigut cap problema doncs ha quedat demostrat que l'enviament de la trama tarda menys 1ms. Recordem que tal com es va indicar en el marc del projecte la latència de comunicació no podia superar els 10ms.

En contra seu tenim:

- Robust: sistema poc robust físicament i poc preparat per entorns agressius. Requerirà adequar el armari on s'instal·li. Com es un dispositiu que no s'escalfa es pot posar en una caixa petita ben aïllat del ambient.
- Accessoris: Per acabar-lo de completar s'han de preparar cables especials que no son "*off-the-shelf*". S'hauran de dissenyar un cable que enllaci els connectors de 27 pins de la placa LPC1769 amb el connector DB25 de la placa d'etapa de potencia que té l'empresa. De tota manera, es un cable molt senzill i de baix cost i molt curt doncs les distancies a salvar serien inferiors a 1m.



Taula 33. Esquema físic del sistema industrial.

6. VALORACIÓ ECONÒMICA

La valoració econòmica de industrialitzar el PoC desenvolupat en aquest treball passem a detallar-la a continuació. Primerament farem un llistat de tasques i passos que s'haurien de seguir per arribar a una versió que es pogués fer un *deployment* industrial. Acompanyarem aquest llistat d'una valoració econòmica per a la qual farem servir el cost hora tècnic ja fet servir en aquest mateix treball de 30€/h:

CONCEPTE	HORES	COST
Acabar amb el desenvolupament software.	80h	2.400 €
Adaptar elèctricament quadre control i recinte vàlvules.	40h	1.200 €
Dissenyar cablejat de LPC1769 a etapa potència.	60h	1.800 €
Dissenyar suports per a la LPC1769.	60h	1.800 €
Proves industrials sistema.	160h	4.800 €
Adaptació a tots els models de màquines.	120h	3.600 €
TOTAL		15.600 €

Taula 34. Cost de desenvolupament sistema encastat simple a nivell industrial.

Tal com hem vist en el apartat de Estudi de mercat el cost del sistema industrial seria de:

Concepte	Preu unitari 24 vàlvules	Preu total 96 vàlvules
Cable amb accessoris endoll ràpid. Ethernet Cat 6 SFTP.	50 €	200 €
Sistema encastat simple + subjecció	120 €	480 €
Targeta conversora de 5Vdc -> 24Vdc	100 €	400 €
Switch 10/100 en recinte distribuït. 5 ports.	60 €	60 €
Connectar cablejat punt a punt 0.5 hora per bloc de 24 vàlvules.	25 €	50 €
Instal·lació es 0.25 hora per manega de 24 vàlvules	25 €	25 €
TOTAL	380 €	1.215 €

Taula 35. Cost implementació sistema encastat simple.

Si recordem el cost del sistema actual punt a punt estava al voltant de 2.050 €.

Això vol dir que tenim un estalvi de 835 € / màquina de 96 vàlvules.

Considerant el model de màquina de 96 vàlvules com el model mig, vol dir que recuperariem la inversió feta en desenvolupament amb la venda de 18 màquines.

Considerant que la empresa ven al voltant de les 30-40 màquines anuals el payback de aquest desenvolupament seria aproximadament **6 mesos**.

A mes a mes, hem de tenir en compte una sèrie de factors que no essent de tanta magnitud econòmica, son iguals o més importants que simplement l'estalvi en el cost d'implantació de la solució:

- Instal·lació: Aquest canvi de concepte comportarà un estalvi en instal·lació de aproximadament 2 hores de tècnic de muntatge. Això suposa un estalvi del 25% aproximadament respecte a la solució actual punt a punt.
- Enginyeria: amplia el rang d'ubicació dels armaris elèctrics de control ampliant el ventall de solucions per la enginyeria d'implantació de les màquines. En molts casos inclús permetrà centralitzar varis armaris de diferents màquines en sales de control degudament condicionades per allargar la vida dels quadres elèctrics i dels seus components.
- Averies: Aquest cablejat es un dels punts d'averies mes freqüents de les màquines donat el entorn agressiu en el que s'instal·len. Son productes que treballen en plantes de residus amb lo que la afectació per animals rosegadors es freqüent també. S'estima que aproximadament un 5% de les averies ho son per factors relacionats amb el cablejat punt a punt.
- Manteniments: Millora en la facilitat per realitzar els manteniment preventius i sobretot els correctius.
- Imatge producte: el producte sens dubte amb aquesta solució guanya en imatge tecnològica, aquest es un fet moltes vegades diferencial en el sector dels separadors òptics que fa posicionar-se amb avantatge el producte.

7.CONCLUSIONS

7.1 Conclusions. Que s'ha après en aquest treball.

Les grans possibilitats industrials dels sistemes encastats. Era una mica desconegut per mi com a professional i obre un ventall de possibilitats d'aplicació a baix cost molt interessants.

En la meua opinió, en el món industrial tenen una mancança i es el nivell del servei d'assistència a la enginyeria, que es una mica precari i molt basat en la assistència via fòrums web.

Això, obliga a les enginyeries i fabricants de maquinaria a un esforç extra d'especialització una mica fora del seu rang de confort.

7.2 Autoavaluació.

7.2.1 Assoliment dels objectius inicials

No tots els objectius han estat assolits. El principal motiu es la complexitat i el que vaig tardar en fer córrer bé la comunicació TCP/IP, començant per el suport físic que va obligar a adquirir la placa base i després a trobar el driver TCP/IP adequat, configurar-lo i adaptar-lo correctament.

El desenvolupament bàsic objectiu s'ha assolit tot i que el projecte era una mica més ambiciós d'inici.

7.2.2 Seguiment de la planificació

El cert es que la planificació no s'ha seguit com estava prevista inicialment. Els problemes citats anteriorment han forçat a modificar-la constantment i ha adaptar-la als avenços assolits en cada etapa.

7.3 Tasques pendents

Com a línies principals pendents d'aprofundir en la aplicació receptora han quedat:

- La gestió de la cua de informació que es rep de la aplicació emissora.
- La gestió definitiva del trigger de sincronisme.
- Provar un conjunt de 24 vàlvules en continu sobre la màquina.
- Aprofundir en alternatives per aquesta placa concreta al mercat.

8. GLOSSARI

FRAMEGRABBER: targeta de adquisició de imatges.

CAMLINK: cable específic per determinades càmeres de visió artificial industrials.

BULLET VALVE: vàlvules neumàtiques amb temps de commutació molt curts. Inferior als 5ms.

DRING: aplicació creada per la empresa.

OF THE SHELF: disponible a catàleg. Producte estàndard.

ETHERNET: estàndard de xarxes de àrea local per dispositius com ordinadors, etc.

DEBUG: analitzar instrucció a instrucció en execució un software informàtic.

DRIVER: codi que controla un determinat dispositiu.

PROFIBUS: protocol de comunicacions. Molt utilitzat en el entorn industrial de maquinaria.

CANOPEN: protocol de comunicacions. Molt utilitzat en el entorn industrial de maquinaria.

DEVICENET: protocol de comunicacions. Molt utilitzat en el entorn industrial de maquinaria.

HMI: Human Machine Interface. Dispositiu de interacció amb l'usuari en una màquina.

GPIO: General Purpose Input Output. Denominació genèrica per les entrades sortides dels dispositius.

9. BIBLIOGRAFIA (TOTES LES FONTS QUE HAGUEU CONSULTAT)

[1] **Web:** Paper original de Adam Dunkels per la implementació de la lwIP. Visitada Abril 2016.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.109.1795&rep=rep1&type=pdf>

Web: Web del portal FreeRTOS. Visitada Abril-Maig 2016.

<http://www.freertos.org/>

Web: Web del fòrum sobre FreeRTOS. Visitada Abril-Maig 2016.

<https://sourceforge.net/projects/freertos/>

Web: Web del fòrum sobre LPC. Visitada Abril-Maig 2016.

<https://www.lpcware.com/forums/microprocessor-forums/lpc17xx>

Web: Web del fabricant de separadors òptics

<http://www.picvisa.com/>

10. ANNEXOS

MANUAL USUARI DE LA LPC1769

http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10360.pdf

MANUAL USUARI LPC BASE BOARD

https://www.embeddedartists.com/sites/default/files/support/xpr/base/LPCXpresso_BaseBoard_rev_B_Users_Guide.pdf

MANUAL USUARI LPCEXPRESSO

https://www.lpcware.com/system/files/LPCXpresso_User_Guide_0.pdf

MANUAL USUARI FREERTOS

http://shop.freertos.org/RTOS_primer_books_and_manual_s/1819.htm

REFERENCE MANUAL FREERTOS

<http://www.freertos.org/Documentation/FreeRTOS-Reference-Manual-Table-of-Contents.pdf>

GETTING STARTED LPCEXPRESSO

<https://www.lpcware.com/lpcxpresso>

DATASHEET LPC1769

http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1769_68_67_66_65_64_63.pdf