



Escola Universitària d'Enginyeria  
Tècnica Industrial de Barcelona  
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## Annex I

Memòria de PFC1

PROJECTE FI DE CARRERA



Barcelona, 25 de Gener de 2010

Director: Juan Gámiz Caro  
Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (707)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)



# ÍNDEX

<b>ÍNDEX</b>	<b>pàg. 1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>pàg. 3</b>
<b>1.1. OBJECTIU</b>	<b>pàg. 5</b>
<b>1.2. ANTECEDENTS</b>	<b>pàg. 6</b>
<b>2. ENGINYERIA DE CONCEPCIÓ</b>	<b>pàg. 7</b>
<b>2.1. TEORIA DE COMUNICACIONS</b>	<b>pàg. 9</b>
2.1.1. LA PILA OSI DE COMUNICACIONS	pàg. 9
2.1.2. PROTOCOL ETHERNET	pàg. 12
2.1.3. PROTOCOLS TCP/IP	pàg. 16
<b>2.2. TEORIA DE REGULACIÓ I CONTROL</b>	<b>pàg. 21</b>
2.2.1. SISTEMES DE CONTROL	pàg. 21
2.2.2. CONTROL PWM	pàg. 24
<b>2.3. SOFTWARE DE SUPERVISIÓ</b>	<b>pàg. 28</b>
2.3.1. LabVIEW	pàg. 28
<b>2.4. ALTERNATIVES DE REALITZACIÓ</b>	<b>pàg. 26</b>
2.4.1. COMPARACIÓ ENTRE UDP/IP I NetBIOS/NetBEUI	pàg. 26
<b>2.5. PLANTEJAMENT DE DESENVOLUPAMENT</b>	<b>pàg. 28</b>
<b>3. ENGINYERIA DE DESENVOLUPAMENT</b>	<b>pàg. 31</b>
<b>3.1. HARDWARE DEL SISTEMA</b>	<b>pàg. 33</b>
3.1.1. DESCRIPCIÓ DEL CIRCUIT ELECTRÒNIC	pàg. 33
3.1.2. BLOC DEL CONTROLADOR I PERIFÈRICS	pàg. 35
3.1.3. BLOC DE COMUNICACIÓ ETHERNET	pàg. 36
3.1.4. BLOC DE CONTROL DEL MOTOR	pàg. 39
3.1.5. FONT D'ALIMENTACIÓ	pàg. 42
<b>4. CONCLUSIÓ I BIBLIOGRAFIA</b>	<b>pàg. 45</b>
<b>4.1 CONCLUSIÓ</b>	<b>pàg. 47</b>
<b>4.2 BIBLIOGRAFIA</b>	<b>pàg. 48</b>
<b>ANNEX</b>	<b>pàg. 51</b>
<b>ANNEX I: ESQUEMA ELÈCTRIC</b>	<b>pàg. 53</b>
<b>ANNEX II: DISSENY DE LA PCB</b>	<b>pàg. 55</b>



# **1. INTRODUCCIÓ**



## **1.1. OBJECTIU**

L'objectiu d'aquest projecte consisteix en realitzar un dispositiu electrònic capaç de comunicar-se amb un PC mitjançant Ethernet i de dur a terme un sistema de control de la velocitat d'un motor. La unió dels dos objectius pot resultar en un sistema de control de velocitat en el qual el PC actuï com a supervisor, introduint consignes i visualitzant la resposta del procés, o actuï directament com a regulador, enviant per Ethernet les ordres d'actuació.

Un dispositiu d'aquestes característiques pot tenir diverses aplicacions i finalitats, tant industrials com docents. En el món industrial, el fet de poder actuar sobre un procés a distància és cada dia més present, cosa que demostra el fet que cada cop hi hagi molts més dispositius amb diverses interfícies de comunicació (Ethernet, wi-fi, GSM,...). La idea del dispositiu a realitzar amb aquest projecte podria ser la d'un producte industrial, ja que consisteix en el control d'un procés (en aquest cas, el control d'una velocitat) controlat a distància mitjançant una interfície Ethernet.

En realitat, però, aquest projecte està realitzat amb una finalitat docent, com pot ser la realització d'un laboratori virtual. Així, la intenció és realitzar un sistema de control el qual es pugui configurar i supervisar de forma remota per tal d'observar les diferents respostes del procés en variar paràmetres com el tipus de regulador, la utilització o no de llaç de realimentació o la utilització del PC o del propi dispositiu com a regulador.

Aquest document és només la primera part del projecte total, i per això, la realització no serà la mateixa que els objectius. La intenció d'aquest document és recollir la base teòrica per poder realitzar el projecte i iniciar el desenvolupament d'aquest, principalment de la part de hardware.

## **1.2. ANTECEDENTS**

La comunicació a través d'Ethernet no és una tecnologia molt moderna (dècada dels 70), i per tant, fa molts anys que s'utilitza, tant en el món informàtic com en el món industrial.

Des de fa anys, hi ha indústries que controlen processos mitjançant un PC industrial, el qual pot tenir connexió Ethernet, i per tant, rebre ordres de forma remota. Aquests dispositius, però (els PC industrials) són cars i tenen una alta capacitat de processament, una característica que no és necessària per al control de processos senzills.

Actualment, però, la majoria de dispositius amb connexió Ethernet no estan formats per un PC industrial, sinó que estan controlats per microcontrolador i incorporen transceptors Ethernet integrats. Aquests darrers productes són relativament moderns i ofereixen bones prestacions a baix cost. Això ha permès la creació de dispositius de control de processos a través d'Ethernet a un cost assequible.

Un exemple d'aquests dispositius és el controlador de motors DC a través d'Ethernet Fmod-IPDCMOT 48/1.5 de l'empresa FiveCo. Aquest dispositiu és un controlador industrial per a qualsevol model de motor DC fins a 48V i 1.5A. El dispositiu es controla i configura a través d'Ethernet, utilitzant els protocols de comunicació TCP/IP i HTTP, els quals permeten accedir a la interfície del dispositiu mitjançant un explorador d'Internet. Entre altres opcions de configuració, el dispositiu Fmod-IPDCMOT 48/1.5 permet controlar velocitat i posició i permet configurar els paràmetres de la regulació PID.



Il·lustració 1: Controlador Fmod-IPDCMOT 48/1.5



## **2. ENGINYERIA DE CONCEPCIÓ**



## 2.1. TEORIA DE COMUNICACIONS

### 2.1.1. LA PILA OSI DE COMUNICACIONS

La pila OSI ('Open Systems Interconnection') és un model de referència que defineix les normes que han de complir els sistemes de comunicació per l'intercanvi d'informació entre equips de diversos fabricants.

Aquest estàndard, aprovat per la organització ISO (International Standard Organization) divideix l'estructura d'un equip de comunicació en diversos nivells o capes i determina com s'han de relacionar entre ells. Per això, cada un d'aquests nivells pot estar implementat per diverses tecnologies.

Els diversos nivells són: 1. Físic; 2. Enllaç; 3. Xarxa; 4. Transport; 5. Sessió; 6. Presentació; 7. Aplicació.



Il·lustració 2: Pila OSI de comunicacions

#### 1. Nivell Físic:

El nivell físic s'encarrega de la transmissió física entre dos dispositius. Defineix els paràmetres físics de la comunicació, com són el medi físic (cable de coure, fibra òptica, infrarojos, radiofreqüència...), el tipus de cable i les seves característiques, els nivells de tensió, el tipus de codificació, mètodes de correcció d'errors (paritat, checksum, hamming...) o la freqüència i amplada

dels polsos.

Alguns exemples de protocols que treballen a aquest nivell poden ser RS-232 o RS-485.

## 2. Nivell d'Enllaç:

El nivell d'enllaç s'encarrega de que la transmissió de les dades sigui correcta, és a dir, que el missatge arribi al seu destí. Per això, defineix la forma o tamany de les diferents trames de comunicació (datagrames) i estableix connexions entre origen i destí per tal que es transmetin de forma segura. Aquesta capa es pot dividir en dos subnivells: el subnivell MAC (Medium Access Control) i el subnivell LLC (Link Layer Control).

- **Subnivell MAC**

El subnivell MAC regula l'accés al medi de comunicació. En una xarxa de comunicacions, on hi ha més de dos participants, s'ha de regular l'accés al medi de comunicació, ja que si tots els nodes transmetessin alhora, es produirien col·lisions i els missatges no arribarien al seu destí. Hi ha diverses tècniques d'accés al medi, com el mètode de pas de testimoni (token) o el mètode d'escolta de portadora CSMA ('Carrier Sense Multiple Access').

- **Subnivell LLC**

El subnivell LLC fa d'intermediari entre el subnivell MAC i el nivell de Xarxa. S'encarrega d'establir connexions d'enllaç entre emissor i receptor i assegurar, normalment mitjançant confirmacions, que el missatge ha arribat al seu destí.

## 3. Nivell de Xarxa:

Aquest nivell serveix per dirigir i encaminar el missatge entre dos nodes que no estan directament connectats. Mitjançant routers o encaminadors en aquest nivell es decideix el camí que ha de seguir un missatge per arribar al seu destí. Un dels principals protocols de xarxa és el protocol IP (Internet Protocol).

## 4. Nivell de Transport:

El nivell de transport s'encarrega, principalment, d'assegurar la fiabilitat en la transmissió de missatges. En aquest nivell, grans paquets d'informació procedents de capes superiors (més complexes i ambigües) són dividits i encapsulats en missatges més petits i manejables que es puguin transmetre al nivell de xarxa (protocols molt més senzills i definits). A més, alguns dels protocols de transport comproven i asseguren que la seva transmissió sigui correcta, tornant a

enviar, si es donés el cas, el missatge perdut. Els principals protocols de transport són TCP (Transmission Control Protocol) i UDP (User Datagram Protocol)

5. Nivell de Sessió:

El nivell de sessió s'encarrega de mantenir i sincronitzar el diàleg entre els nivells de presentació dels dos equips de comunicació. De fet, aquest és potser el nivell de la pila OSI amb més importància i funcionalitat.

6. Nivell de Presentació:

El nivell de presentació s'encarrega de la representació de la informació rebuda, de forma que les diferències entre la representació de caràcters o la forma de manejar la informació dels dos equips de comunicació no representi un problema.

7. Nivell d'Aplicació:

Finalment, en el nivell d'aplicació trobem els diversos protocols o aplicacions software que realitzen la comunicació de dades, interactuant amb les diferents processos del sistema. A més, en el cas que sigui necessari, mostren les dades rebudes a l'usuari.

En aquest nivell hi ha una gran varietat de protocols com són HTTP, FTP, SMTP, Telnet o DNS.

Tot i que el model de referència OSI intenta establir un estàndard que haurien de seguir tots els sistemes de comunicació, a la pràctica en poques ocasions aquest s'aplica estrictament. Els tres nivells superiors (sessió, presentació i aplicació) tenen una frontera ambigua i sovint un mateix protocol executa la funció de totes tres.

Un altre nivell que no s'aplica estrictament és el subnivell LLC el qual en moltes ocasions no s'utilitza. Protocols tant utilitzats com Ethernet ometen aquest subnivell i uneixen directament el subnivell MAC amb el nivell de Xarxa.

## 2.1.2. PROTOCOL ETHERNET

Ethernet és un estàndard de xarxes de computadors que treballa al nivell Físic (Nivell 1) i a nivell d'Enllaç(Nivell 2). Ethernet defineix les característiques de cablejat, nivells de la senyal (tensions i freqüències), encapsulament de les dades i mètode d'accés al medi.

La primera versió d'Ethernet va ser dissenyada a la dècada dels 70 per el centre de recerca PARC (Palo Alto Research Center), el qual pertanyia a Xerox Corporation. L'any 1980, les empreses Xerox, DEC i Intel van definir la segona versió d'Ethernet (la versió actual). Més tard, el protocol Ethernet es va prendre com a base per a l'estàndard IEEE 802.3, variant molt poques coses i per això, moltes vegades es consideren IEEE 802.3 i Ethernet com a sinònims.

### Nivell d'Enllaç Ethernet

Al nivell d'enllaç, el protocol Ethernet defineix l'encapsulament de les dades i el mètode d'accés al medi.

De fet, l'encapsulament forma part de la subcapa MAC i per això, en el cas d'Ethernet es coneix com a protocol o encapsulament MAC (Medium Access Control). Aquest protocol d'encapsulament consisteix en introduir uns bytes de capçalera abans dels bytes d'informació i uns bytes de comprovació d'errors al final.

És en aquesta definició, la de l'encapsulament on apareixen les poques diferències entre IEEE 802.3 i Ethernet



Il·lustració 3: Encapsulament Ethernet



a)

Il·lustració 4: Encapsulament IEEE 802.3

- **Preàmbul:** El preàmbul consisteix en un patró alternant de 1 i 0 que serveix per indicar als equips receptors que s'està enviant una trama i per establir sincronisme entre emissor i

receptor. En l'encapsulament Ethernet ocupa 8 bytes i en IEEE 802.3 ocupa 7 bytes.

- **SOF (Start Of Frame):** El SOF és un byte que indica el final del preàmbul i inici de la direcció de destí. Aquest byte continua el patró del preàmbul però acaba amb dos 1 seguits (10101011b). Només s'utilitza en l'encapsulament de l'estàndard IEEE 802.3, on el preàmbul només ocupa 7 bytes.
- **Direcció destí:** Aquesta direcció indica qui és el destinatari de la trama de dades. Aquest número és el que es coneix com a direcció MAC i consisteix en un número de 6 bytes únic a nivell mundial que identifica el transceptor Ethernet. Aquest número ve assignat de fabrica i regulat per organismes internacionals.
- **Direcció font:** És la direcció MAC de l'aparell emissor
- **Longitud/Tipus:** En l'encapsulament Ethernet aquest camp de 2 bytes indica la longitud de la trama, comptant tant informació com la capçalera. En el cas de IEEE 802.3, aquest camp indica el protocol de nivell superior associat a la trama de dades (p. ex. 0800 per al protocol IP).
- **Dades + Farciment:** Aquest és el camp de els dades a transmetre. Ha de tenir una llargada entre 46 i 1500 bytes. La llargada mínima és a causa del mètode d'accés al medi CSMA/CD, ja que en trames massa curtes no seria possible detectar una col·lisió. En cas que el tamany de les dades a transmetre sigui inferior a 46, s'afegeixen un seguit de bytes de farciment fins a arribar a aquest valor.
- **CRC:** Aquest camp consisteix en 4 bytes de comprovació d'errors mitjançant el mètode CRC (Cyclic Redundance Code).

Una altre de les definicions importants a nivell d'enllaç és el funcionament del mètode d'accés al medi CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), és a dir, Accés Múltiple per Sensat de Portadora amb Detecció de Col·lisió.

En aquest mètode, abans de transmetre l'emissor "escolta" el canal de transmissió i comprova si està ocupat. En el cas que ho estigui espera un temps i ho torna a provar, repetint el procés fins que el canal estigui lliure.

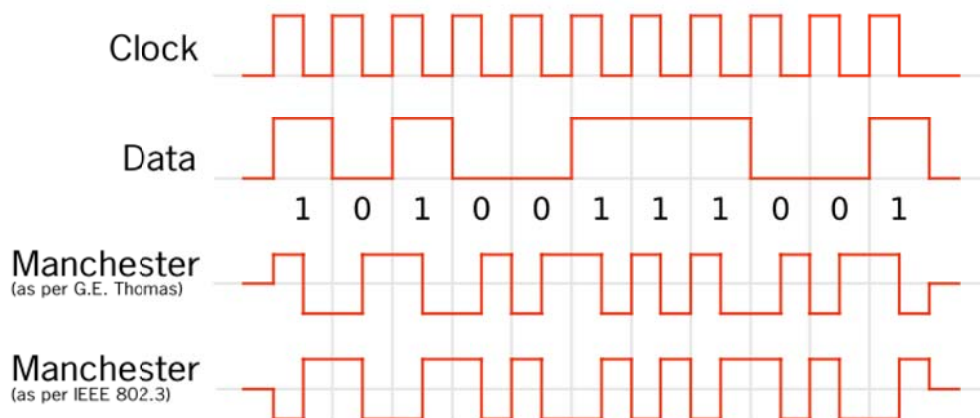
Quan el canal està lliure envia la trama d'informació i comprova si hi ha hagut col·lisió amb algun altre emissor que hagi començat a enviar al mateix temps. En aquest cas, en primer lloc s'envien uns bits per informar als altres transmissors que hi ha hagut una col·lisió i que esperin abans de tornar a enviar. Posteriorment s'espera un temps pseudoaleatori que determinat per l'algoritme de BEB, segons el qual el temps a esperar serà  $R \cdot 51,2 \mu s$  on R és un nombre enter

aleatori d'entre el grup  $(2^k)-1$  i on  $k$  és el nombre vegades que s'ha intentat transmetre la trama de dades i s'ha col·lisionat. Si després d'esperar el temps aleatori es tornés a col·lisionar aquest procés s'aniria repetint fins a 15 vegades, moment en el qual es desestimaria el missatge.

### Nivell Físic Ethernet

Una de les principals característiques a nivell físic d'Ethernet és que la informació es transmet en banda base, és a dir, sense modulació i amb una codificació Manchester. Ethernet és un sistema asíncron, és a dir, que no transmet una senyal de rellotge mitjançant un cable auxiliar, i per això s'ha d'utilitzar algun altre mètode per mantenir el sincronisme entre els diferents equips. Per això s'utilitza aquest tipus de codificació, ja que, de forma implícita, introdueix la senyal de rellotge dins la senyal d'informació.

La codificació Manchester consisteix en transmetre un flanc ascendent de 0 a 1 a la meitat del bit amb informació 1 i un flanc descendent de 0 a 1 a meitat del bit amb informació 0. D'aquesta forma i mitjançant un PLL (Phase Lock Loop) es pot recuperar la senyal d'informació i la senyal de rellotge de l'emissor.



Il·lustració 5: Codificació Manchester segons el protocol IEEE 802.3

A la capa física d'Ethernet també està definida la topologia, velocitat i el tipus de cable. Aquesta però, no és una definició única, ja que hi ha diverses especificacions Ethernet, entre les quals varien aquests factors:

- **10 Base 5:** Aquesta especificació Ethernet es coneix també com a “Thick Ethernet” o Ethernet Gruixut, ja que el cable utilitzat és cable coaxial gruixut (RG8/U) de 50Ω. Funciona amb topologia de bus i accepta fins a 100 nodes de treball en una longitud de 500m. La velocitat de transmissió és de 10 Mbps.



- **10 Base 2:** Conegut també com a “Thin Ethernet” o Ethernet Prim, utilitza cable coaxial prim (RG58) i interconnecta els nodes en topologia de bus. Permet un màxim de 30 nodes sobre 185 metres i la velocitat de transmissió és també de 10Mbps.
- **10 Base T:** Utilitza cable de parell trenat sense malla (UTP – “Unshielded Twisted Pair”) de categoria 3, 4 i 5 i connectors RJ-45. La seva topologia és en estrella, connectant els diversos nodes en dispositius HUB o concentradors, permetent distàncies de fins a 100 metres entre ells. La velocitat és també 10 Mbps.
- **10 Base F:** Transmissió Ethernet sobre fibra òptica. Mitjançant aquest medi es poden permetre distàncies molt més grans, concretament, 2000 metres per tram de connexió. La velocitat és de 10 Mbps.
- **100 Base TX:** Conegut també com a Fast Ethernet, aquesta especificació amb velocitat de 100 Mbps utilitza cable de parell trenat del tipus UTP o STP (“Shielded Twisted Pair”) i s'organitza també en topologia en estrella. La distància màxima entre nodes és de 100m.
- **100 Base FX:** Ethernet sobre fibra òptica però a velocitat de 100Mbps. La topologia és també en estrella i la distància està entre 400 i 2000 metres.
- **1000 Base TX:** Gigabit Ethernet. Funciona sobre parell trenat UTP i connectors RJ-45 però aconseguint velocitat de fins a 1000 Mbps. La topologia és en estrella i la distància màxima entre nodes és de 100m.
- **1000 Base FX:** Ethernet de 1000 Mbps sobre fibra òptica. La topologia es també en estrella i la distància màxima entre trams és de 550 metres.

### 2.1.3. PROTOCOLS TCP/IP

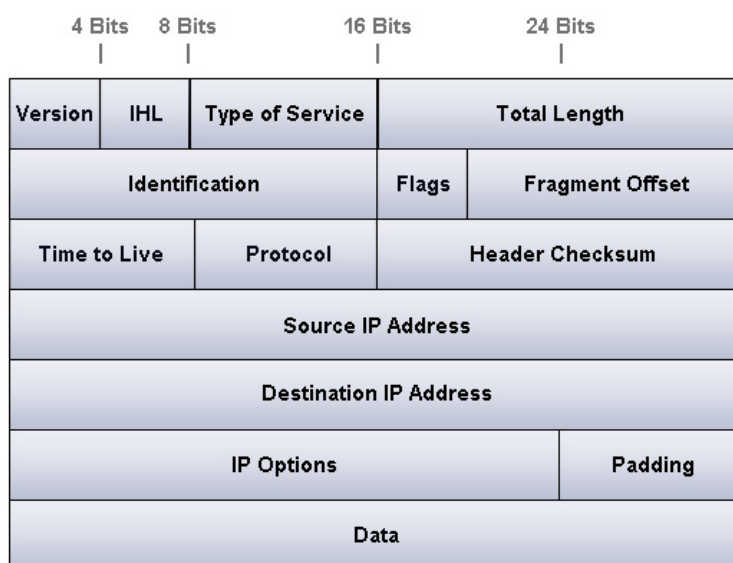
La pila o stack TCP/IP consisteix en un conjunt de protocols de nivell 3 (xarxa), 4 (transport) i 7 (aplicació). Aquest conjunt de protocols són molt utilitzats, ja que Internet funciona en base a aquests protocols.

Tot i que la pila TCP/IP està formada per molts protocols, els més importants són el protocol IP (Internet Protocol), el protocol TCP (Transfer Control Protocol), i el protocol UDP (User Datagram Protocol), tot i que també engloba altres protocols molt importants. Alguns d'aquests altres protocols són els següents: Nivell de Xarxa: ARP, ICMP, IGMP...; Nivell d'Aplicació: HTTP, FTP, SMTP, TELNET, SNMP, DNS,...

#### IP (Internet Protocol)

IP o Protocol Internet és un protocol de nivell 3 no orientat a connexió utilitzat en la comunicació de paquets a través d'una xarxa. En aquest protocol les dades s'envien en paquets o datagrames IP els quals, igual que en el protocol MAC, porten una capçalera que els identifica.

El servei que ofereix el protocol IP és considerat un sistema de datagrames no fiable, ja que no comprova que les dades arribin al seu destí. L'únic sistema de seguretat consisteix és un cheksum de la capçalera, no de les dades.



Il·lustració 6: Encapsulament d'un Datagrama IP

- **Version:** Identifica la versió de protocol IP. La versió actual utilitzada a Internet és IPv4, on l'adreça IP està formada per 4 bytes, tot i que també existeix IPv6, la qual té adreces IP de 6 bytes.
- **IHL (Internet Header Length):** Indica la longitud de la capçalera en paraules de 32 bits.
- **Type of Service:** Relacionat amb prioritats especials d'enrutament en la tecnologia QoS

(Quality of Service).

- **Total Length:** Longitud total del datagrama, en bytes, comptant capçalera i dades.
- **Identification:** Quan un paquet és massa gran per cabre en un datagrama IP és trossejat i repartit en diferents paquets. Aquest número serveix per identificar els diferents datagrames que formen part del mateix paquet.
- **Flags:** Bits de configuració diversa (reservat, permís de fragmentació i més fragments per arribar).
- **Fragment Offset:** En un paquet fragmentat, aquest número indica en quina posició (en bytes) s'ha d'ensamblar el datagrama rebut.
- **Time to Live (TTL):** Indica el número d'enrutadors o routers pels quals pot passar abans de ser descartat com a datagrama perdut.
- **Protocol:** Indica el protocol de nivell superior de les dades (normalment, TCP o UDP).
- **Header Checksum:** Checksum o suma de comprovació de la capçalera. Operació matemàtica feta a partir dels bits de la capçalera, que serveix per comprovar, quan es rep el datagrama, que la informació que conté no està malmesa (almenys la de la capçalera).
- **Source IP Address:** Adreça IP origen o de l'emissor. Aquesta adreça és assignada per l'administrador de la xarxa i identifica els diferents usuaris de la xarxa. A diferència de l'adreça MAC, aquesta adreça no ve determinada de fabrica i no ha de ser sempre la mateixa.
- **Destination IP Address:** Adreça IP destí.
- **IP Options:** Diverses opcions de configuració opcionals
- **Padding:** En el cas que s'utilitzin les opcions IP i aquestes no arribin a 32 bits, s'omple el que falti amb bits de farciment.
- **Data:** Dades a transmetre pel datagrama I

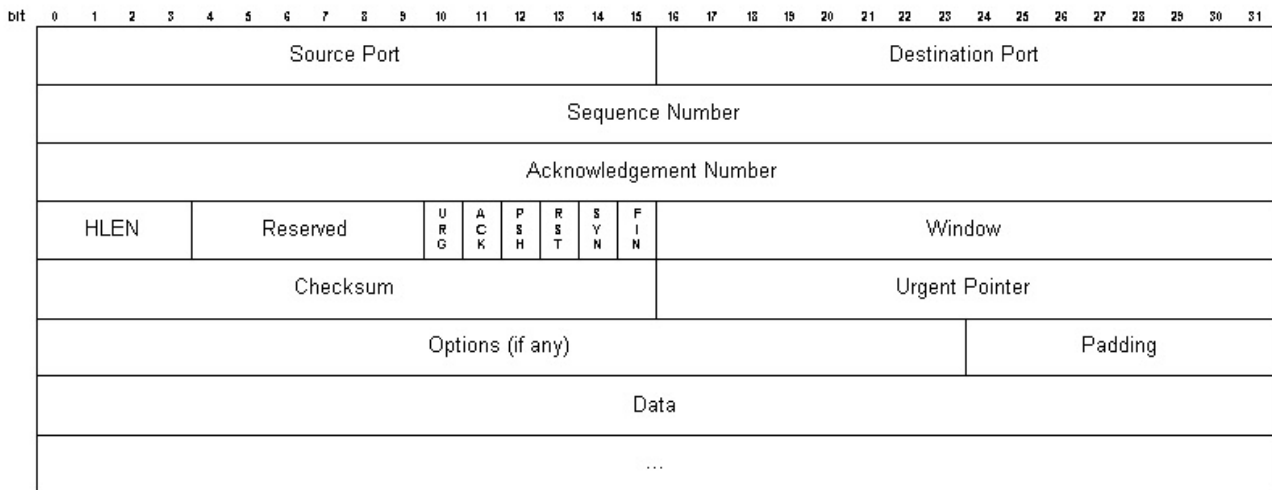
Un dels principals motius del gran èxit del protocol IP rau en que aquest és un protocol enrutable, és a dir, un router que uneixi diferents subxarxes pot rebre un datagrama IP procedent de la subxarxa A i enviar-lo cap al seu destinatari de la subxarxa B. Per a això, es creen taules d'enrutament que indiquen als routers a quina subxarxa hi ha cada direcció IP.

### TCP (Transfer Control Protocol)

TCP o Protocol de Control de Transferència és un mecanisme de transport (Nivell 4 de la pila OSI) fiable i orientat a connexió. La seva feina és, principalment, crear una connexió virtual (també

anomenats circuits virtuals) entre dos terminals i enviar un flux de dades. El flux de dades a enviar normalment és molt més gran que el que cap en un datagrama IP o Ethernet, i per això els missatges s'han de trossejar en diferents paquets. El protocol TCP s'encarrega de dividir els missatges i assegurar-se que arriben al seu destí i que el missatge es reconstrueix satisfactòriament. Moltes de les principals aplicacions d'Internet utilitzen el protocol TCP, com per exemple HTTP (Hypertext Transfer Protocol) i FTP (File Transfer Protocol).

El format d'encapsulament TCP és el següent:



Il·lustració 7: Encapsulament TCP

- **Source Port:** És el port origen d'on prové el paquet TCP. El port és un número que determina l'aplicació relacionada amb aquell paquet, de forma que un computador pot emetre o rebre diversos paquets a través de TCP per a aplicacions diferents. Per exemple, el protocol FTP utilitza els ports 20 i 21.
- **Destination Port:** És el port destí del paquet FTP.
- **Sequence Number:** El número de seqüència indica quina posició ocupa el primer byte de dades en el missatge total que s'ha de construir. D'aquesta forma es pot comprovar si arriben tots els paquets i en l'ordre pertinent.
- **Acknowledgement number:** El número d'acceptació de rebut indica el número de seqüència que el receptor espera rebre en el següent paquet. Aquest camp s'utilitza com a resposta del receptor per indicar que ha rebut el paquet anterior.
- **HLEN o Data Offset:** Longitud de la capçalera (“Header Length”). Indica la longitud de la capçalera en paraules de 32 bits.
- **Reserved:** Bits reservats per a aplicacions futures.
- **Flags:** Bits de configuració diversos. Alguns dels flags més importants serveixen per indicar la urgència del paquet (URG), la utilització o no del camp Acknowledgement number

(ACK), si és el primer paquet del missatge (SYN) o la finalització de la connexió (RST).

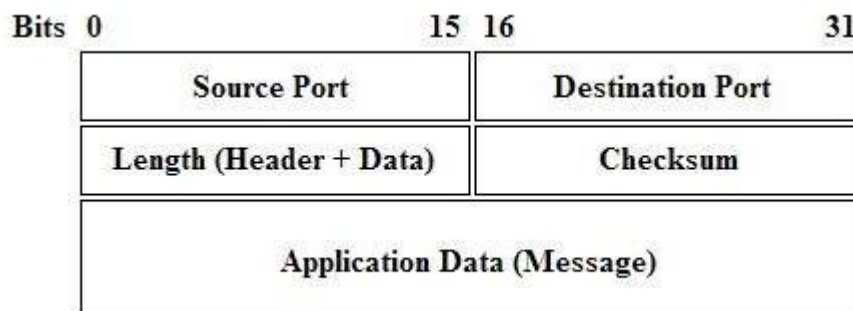
- **Window:** La finestra indica el tamany del buffer del receptor. Aquest camp l'envia el receptor per indicar l'espai lliure (número de bytes) que té en aquell moment al buffer i així evitar congestions.
- **Checksum:** Suma de verificació per comprovar si hi ha errors en tot el paquet (capçalera i dades).
- **Urgent Pointer:** En el cas que la opció urgència estigui activada (flag URG) aquest camp indica el número de bytes considerats urgents que falten per enviar des del número de seqüència.
- **Options:** Ordres de configuració opcionals
- **Padding:** Igual que en el cas de l'encapsulament IP, el valor total de la capçalera ha de ser múltiple de 32 bits, de forma que aquest camp omple els bits que falten.
- **Dades:** Informació a transmetre.

### UDP (User Datagram Protocol)

El protocol UDP o Protocol de Datagrames d'Usuari és un protocol de nivell de transport que, a diferència de TCP, no està orientat a connexió. Aquest protocol es basa en l'enviament de datagrames simples i és menys fiable que TCP, ja que no té un control de flux (els paquets poden arribar desordenats) ni confirmació sobre la recepció del paquet.

Tot i això, s'utilitza en un gran nombre d'aplicacions, les quals no necessiten tanta fiabilitat o necessiten més velocitat (la capçalera UDP és molt més reduïda, i per tant optimitza més el tamany dels paquets). Algunes de les aplicacions de nivell superior que utilitzen UDP són: DHCP (Dynamic Host Control Protocol) que serveix per assignar una direcció IP dinàmica a un terminal; DNS (Domain Name Service) que fa la conversió de les direccions web a les adreces IP; o el procés *streaming*, on es prioritza la velocitat a la fiabilitat.

Un datagrama UDP està format pels camps següents:



Il·lustració 8: Encapsulament d'un datagrama UDP

- **Source Port:** Port origen. Igual que el protocol TCP, UDP accedeix a les aplicacions de nivell superior a través de ports.
- **Destination Port:** Port de destí.
- **Length:** Longitud en bytes del datagrama UDP (capçalera i dades).
- **Checksum:** Suma de comprovació d'errors, incloent tant la capçalera com les dades.
- **Application Data:** Informació a transmetre.

## 2.2. TEORIA DE REGULACIÓ I CONTROL

### 2.2.1. SISTEMES DE CONTROL

Un sistema de regulació és aquell procés en el qual pretenem controlar i regular una magnitud física en funció d'una consigna.

#### Elements d'un sistema de control

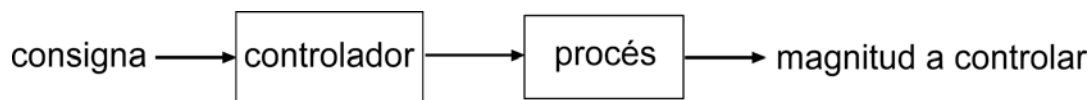
Els elements bàsics d'un sistema de control són els següents:

- **Sensors:** Els sensors són els que s'encarreguen de mesurar la magnitud física a controlar i convertir-la en una senyal elèctrica per tal que pugui ser interpretada i processada pel controlador.
- **Dispositius d'entrada d'ordres:** Dispositius a través dels quals podem donar ordres al procés tal com la consigna de la magnitud a controlar.
- **Controlador:** És l'encarregat de llegir les entrades dels sensors i els dispositius d'entrada d'ordres, processar-les degudament i actuar sobre les sortides (actuadors i dispositius de sortida d'informació).
- **Actuadors:** Els actuadors reben ordres del controlador i actuen sobre el procés, modificant la magnitud física a controlar.
- **Dispositius de sortida d'informació:** La seva funció consisteix en proporcionar informació sobre el procés a l'usuari.

#### Estructura d'un sistema de control

Combinant degudament aquests elements podem obtenir un sistema de regulació o control. Aquest sistema, però, es pot classificar en diferents tipus en funció de la seva estructura. Els dos tipus principals són els sistemes de llaç obert i els sistemes de llaç tancat.

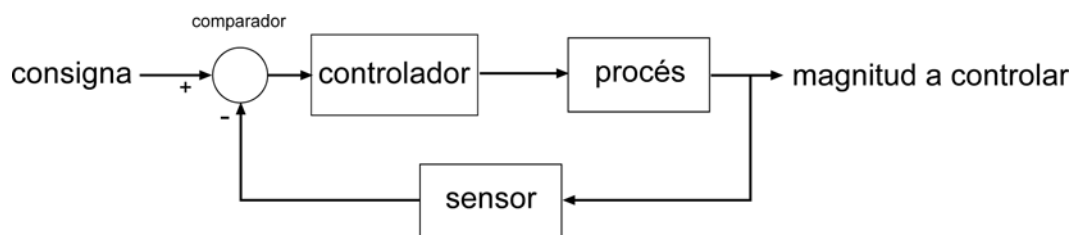
- **Sistemes en llaç obert:** El sistema de control més senzill és el sistema de llaç obert. Aquest sistema té com a única entrada una consigna, la qual es processa mitjançant un controlador que aplica una acció a la sortida. Aquest sistema es basa en modelitzacions teòriques sobre el comportament del procés, ja que no hi ha realimentació sobre l'estat real del procés mitjançant sensors i no es pot saber si l'acció aplicada té l'efecte desitjat o no. Això pot provocar grans errors a la sortida, ja que a la pràctica, el procés a controlar sempre es veu afectat per pertorbacions externes molt difícils de modelitzar.



Il·lustració 9: Sistema de control en llaç obert

- **Sistemes en llaç tancat:** En un sistema de control en llaç tancat, la consigna d'entrada és comparada amb la mesura real de la magnitud. La senyal resultant es coneix com a senyal d'error (diferència entre el valor de la consigna i de la magnitud) i és l'entrada del controlador. Aquest, processa la senyal d'error i aplica una acció correctiva, de forma que quan la senyal de consigna i la senyal de realimentació són iguals, l'entrada és nul·la.

El llaç que connecta la sortida amb el comparador (passant pels sensors) es coneix com a llaç de realimentació. De fet, el control i regulació de processos es basa en sistemes realimentats, sovint amb més d'un llaç de realimentació (per controlar diverses magnituds relacionades) ja que d'aquesta forma és possible controlar les magnituds de sortida amb molta precisió.



Il·lustració 10: Sistema de control en llaç tancat

## Reguladors

Els controladors que processen les senyals d'entrada per determinar l'acció correctiva que s'ha d'aplicar poden ser de naturalesa molt diversa (analògics o digitals) o poden estar formats per molts elements. Un dels elements d'aquests controladors és el regulador, el qual pot estar format per components físics (controladors analògics) o pot estar implementat per software (controladors digitals), però en ambdós casos realitzen la mateixa funció.

Hi ha molts tipus de reguladors, per això, només explicarem els més importants, els reguladors no lineals (ON/OFF) i els reguladors lineals (P, PI, PID...)

- **Reguladors no lineals (ON/OFF):** Els reguladors no lineals, coneguts també com a reguladors ON/OFF o reguladors TOT/RES tenen un funcionament molt senzill: quan la senyal d'error (consigna menys valor mesurat) és positiu, a la sortida s'aplica una acció correctiva màxima (ON) i quan la senyal d'error és negativa s'aplica una acció correctiva mínima (OFF). Això provoca que el procés tingui una resposta oscil·latòria, ja que



contínuament s'està passant d'acció màxima a acció mínima.

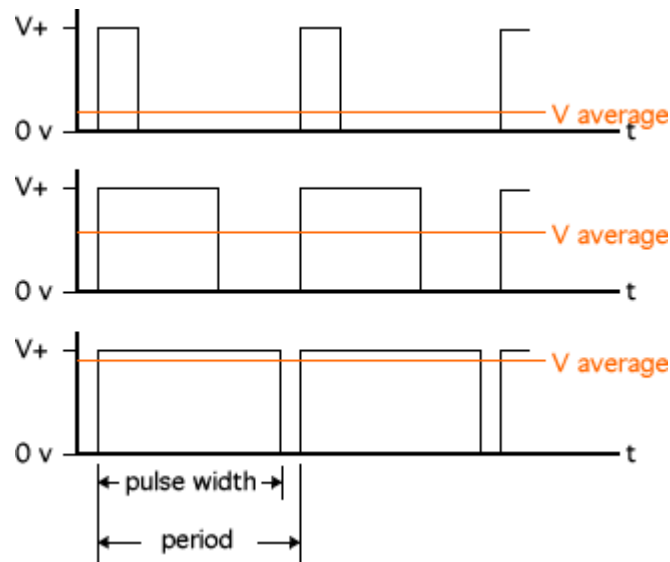
Sovint, al regulador ON/OFF se li afegeix un procés d'histèresis per tal d'obtenir una resposta menys oscil·latòria. La histèresis consisteix en marcar dos valors de consigna pròxims entre ells de forma que quan la senyal mesurada és inferior a la consigna mínima s'activi l'acció màxima (ON) i quan la senyal mesurada superi la consigna superior, s'activi l'acció correctiva mínima (OFF). D'aquesta forma el nivell de control de senyal de sortida és més ampli (varia més) però en canvi, la freqüència d'oscil·lació disminueix, ja que s'està més temps entre activació i desactivació.

- **Reguladors lineals:** Els reguladors lineals apliquen una funció matemàtica lineal a la senyal d'error i en determinen l'acció correctora. Aquest tipus de reguladors són els més utilitzats, sobretot en sistemes analògics, però també en controladors digitals. Hi ha tres funcions de regulació lineal, i combinant-les degudament obtenim els reguladors desitjats. Les tres funcions són: funció proporcional P (  $m(t) = K_p \cdot e(t)$  ), on  $m(t)$  és l'acció correctora,  $e(t)$  la senyal d'error i  $K_p$  la constant proporcional; funció integral I (  $m(t) = K_i \cdot \int e(t)$  ), on  $K_i$  és la constant integral; i la funció derivativa D (  $m(t) = K_d \cdot \frac{d(e(t))}{dt}$  ), on  $K_d$  és la constant derivativa.

Combinant aquestes accions (sumant dues o més accions) obtenim diferents reguladors, cada un amb característiques diferents. El més utilitzats són: Regulador P, senzill però poca precisió (no anul·la mai l'error de sortida); Regulador PI, l'acció integral aporta precisió al procés, eliminant l'error de sortida, però en canvi, és de resposta lenta; Regulador PD, molt poc precís però de resposta molt ràpida; Regulador PID, combinant les tres funcions de forma adequada (constants  $K_p$ ,  $K_i$  i  $K_d$ ) podem obtenir un regulador precís i molt ràpid.

### 2.2.2. CONTROL PWM

El mètode PWM (Pulse With Modulation) o modulació d'amplada de polsos és un sistema de modulació que consisteix en variar el cicle de treball o *duty cycle* dels polsos d'una senyal quadrada de freqüència constant. Aquest sistema es pot utilitzar per transmetre informació com a senyal modulada o es pot utilitzar com a senyal d'actuació sobre motors DC o altres actuadors.



Il·lustració 11: Modulació PWM

En una modulació d'amplada de polsos, variant el cicle de treball variem el percentatge del temps que la senyal està a nivell alt o que està a nivell baix. D'aquesta forma variem la tensió eficaç de la senyal, i per tant, la potència que desenvolupa. La base de la utilització de modulacions PWM en el control de motors DC resideix en el fet que per al motor, variar el cicle de treball (si treballem a freqüència suficientment elevada) és com variar la tensió d'alimentació. Per tant, el control PWM pot ser una forma molt útil de regular la velocitat d'un motor DC, ja que aquesta és proporcional a la tensió d'alimentació.

## 2.3. SOFTWARE DE SUPERVISIÓ

### 2.3.1. LabVIEW

LabVIEW és un entorn de programació de National Instruments pensat especialment per implementar instruments virtuals, tot i que també és molt útil per realitzar aplicacions de supervisió de processos, ja que està molt encarat a la comunicació amb dispositius interns o externs (RS-232, Ethernet, GPIB, PCI, etc.) i a la visualització i control de dades (interruptors, panells indicadors, gràfics...).

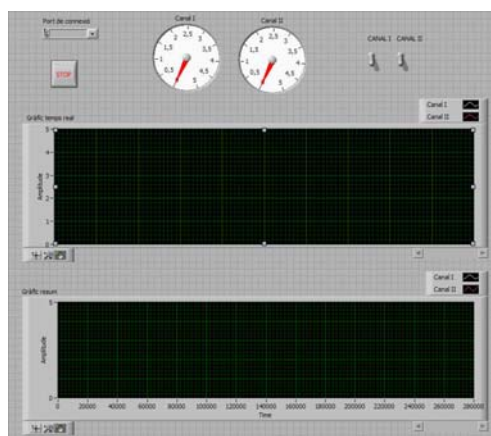
Una de les principals característiques de la programació amb LabVIEW és que no utilitza llenguatges escrits, sinó que treballa amb el que s'anomena llenguatge G o llenguatge gràfic. En efecte, les diferents instruccions de programació no són text, sinó que es mostren de forma gràfica.

L'entorn de programació s'estructura en dos blocs: el panell frontal, on apareixen els diferents controls i visualitzadors del VI, i el diagrama de blocs, on es duu a terme la programació.

El panell frontal seria l'equivalent al panell de control d'un instrument (pantalla, visualitzadors, interruptors, polsadors i altres comandaments), i de fet, intenta assemblar-s'hi al màxim possible. Les entrades de dades al sistema, per exemple, tenen forma de polsadors, interruptors o controls angulars; i les sortides es presenten en forma d'indicadors LED, indicadors d'agulla o gràfics de tendència.

El diagrama de blocs, en canvi, seria l'equivalent al circuit elèctric, i de fet, presenta un aspecte semblant a un esquema elèctric i és on s'implementa tot el programa. Les instruccions de programació, com per exemple les operacions matemàtiques, s'implementen mitjançant blocs i la transferència de dades d'un bloc a un altre mitjançant connexions o pistes, tal com si fossin cables. Les diferents estructures o iteracions (com seria una instrucció IF, CASE, WHILE, FOR...) són requadres que contenen al seu interior les instruccions a realitzar.

Tot això dona al sistema una estructura seqüencial i fàcil de comprendre, encara que fa el programa menys manejable.



Il·lustració 12: Panell frontal de LabVIEW

## 2.4. ALTERNATIVES DE REALITZACIÓ

### 2.4.1. COMPARACIÓ ENTRE UDP/IP I NetBIOS/Netbeui

Per poder decidir quins protocols de nivell 3 i 4 s'utilitzaran en la comunicació entre el PC i l'aparell de control de la velocitat d'un motor s'han d'analitzar diversos protocols, comparar-los entre ells i escollir el que més s'adapti a les nostres necessitats. En aquest cas es fa una comparació entre els protocols UDP/IP (els finalment escollits) i els protocols NetBIOS/NetBEUI

La pila TCP/IP engloba un seguit de protocols de xarxa molt utilitzats, sobretot en xarxes amb accés a Internet. Inclou protocols en diferents capes del model OSI, tot i que a nosaltres només ens interessin dos protocols: IP (Internet Protocol) i UDP (User Datagram Protocol).

El protocol IP és de nivell de xarxa (nivell 3) i s'encarrega d'encaminar els missatges al seu destí mitjançant les adreces IP. És un protocol no orientat a connexió, i per això, no aporta fiabilitat de transmissió de dades (només un checksum de comprovació de la capçalera).

El protocol UDP és de nivell de transport (nivell 4), no orientat a connexió i es basa en l'enviament de datagrames senzills, sense comprovació.

Una altra família de protocols molt utilitzats en la comunicació entre computadors en xarxes d'àrea local (LAN) és NetBIOS, una API (Application Programming Interface) que distingeix els ordinadors amb un nom de fins a 16 caràcters (16 bytes) i va ser molt utilitzada en xarxes Microsoft anteriors a Windows XP.

La utilització original d'aquesta API era sobre el protocol de comunicació NetBEUI, de nivell 2 i 3 de la capa OSI (molt semblant al protocol LLC IEEE 802.2), aquest, però, és un protocol no enrutable, i per això ha estat substituït per protocols de la pila TCP/IP, ja que l'API NetBIOS també es pot utilitzar sobre aquests protocols.

Windows 2000 va ser l'últim sistema operatiu que portava el protocol NetBEUI incorporat, tot i que en Windows XP es pot instal·lar manualment.

#### Comparació

- **Capçalera:** Un dels factors més importants a l'hora de decidir quin protocol utilitzar és la llargada de la capçalera. En aquesta aplicació, es necessita enviar datagrames amb pocs bytes d'informació (menys de 10 bytes), i per això, colem que les capçaleres dels protocols siguin el més curtes possibles. Tot i així, com que Ethernet un mínim de 48 bytes d'informació, un protocol amb una capçalera inferior a 38 bytes ens serveix.

En NetBIOS només la capçalera ocupa 44 bytes (12 de varis + 16 adreça origen + 16 adreça destí). Si aquest està implementat sobre el protocol LLC (IEEE 802.2) hi hem de sumar una altra capçalera de 3-4 bytes. Amb aquest sistema ens quedarien “lliures” abans d'arribar al mínim paquet d'Ethernet entre 1 i 4 bytes (si no s'utilitza LLC).

Amb els protocols UDP/IP tenim dues capçaleres. La capçalera IP ocupa 20 bytes i la capçalera UDP només 8 bytes. Amb això, ens queden 20 bytes “lliures”, més dels que preveiem inicialment.

- **Implementació:** Un altre factor important a tenir en compte és com implementarem aquests protocols en el nostre projecte, tant en el PC com en el microcontrolador.

En el cantó del PC, una solució per ambdós protocols seria implementar-los mitjançant programació visual (VBasic, VC++, Delphi,...), i tot i que seria la implementació més difícil (no és molt habitual accedir a aquest tipus de protocols, i per això, és difícil trobar llibreries i exemples), seria possible treballar amb els dos protocols.

Una altra solució, molt més senzilla, seria utilitzar LabVIEW, un programa preparat per treballar amb sistemes d'adquisició de dades i altres dispositius d'entrada/sortida. Per això, inclou funcions per treballar sobre el protocol UDP.

En quant al microcontrolador, la diferència encara és més clara. L'empresa Microchip, fabricant del microcontrolador utilitzat, proporciona les rutines que implementen tota la pila TCP/IP, i diversos exemples de com utilitzar-les. En canvi, per utilitzar NetBIOS hauríem de crear nosaltres mateixos les rutines per treballar amb aquest protocol.

- **Compatibilitat:** Actualment, mentre que els protocols TCP/IP estan en auge, NetBIOS i sobretot NetBEUI estan en decadència.

El sistema operatiu Windows XP és l'últim que és compatible amb NetBEUI, però tot i així, s'ha d'instal·lar manualment. Les aplicacions que encara utilitzen NetBIOS, ho fan ara sobre el protocols TCP/IP, amb el que es coneix com NBT(NetBIOS sobre TCP/IP).

En canvi, les comunicacions per TCP/IP, a part de ser utilitzades en totes les LAN modernes i totes les xarxes connectades a Internet, també s'estan estenent al món industrial. Com a exemple, podem parlar de ODVA, una associació de fabricants de productes del món de l'automatització que volen crear un estàndard industrial conegut com Ethernet/IP, que com el seu nom indica, es basa en la utilització de la pila TCP/IP sobre Ethernet en aplicacions industrials.

## **2.5. PLANTEJAMENT DE DESENVOLUPAMENT**

Partint de la teoria anteriorment explicada i les alternatives de realització escollides es farà un plantejament general des d'on partirà el desenvolupament del projecte de control de velocitat d'un motor a través d'Ethernet.

### Comunicacions

La nostra comunicació per Ethernet consistirà en trames d'informació curtes, tal com ordres de configuració, consignes o valors de mesura, però que es transmetran amb molta freqüència. Per això, hem d'utilitzar un protocol ràpid i eficient.

Els protocols escollits seran IP al nivell 3, UDP al nivell 4 i accedirem directament al nivell de transport, sense utilitzar cap protocol del nivell d'aplicació. Això ens permetrà treballar amb datagrames curts i ràpids, tot i que, com a conseqüència, poc fiables.

Un altre dels mètodes de comunicació utilitzats serà SPI, el qual s'utilitzarà en la comunicació entre el microcontrolador i alguns dels seus perifèrics.

### Control del motor

Per tal d'obtenir un bon sistema de control s'utilitzarà un sistema de regulació en llaç tancat. La realimentació principal serà de velocitat mitjançant un encoder, un sensor que ens proporcionarà un pols digital a cada volta del motor. Tot i això, hi ha la possibilitat d'afegir un segon llaç de realimentació de corrent, per tal de poder regular també el parell i l'acceleració del motor.

El regulador estarà implementat per software, i per tant hi ha la possibilitat d'implementar més d'un regulador, tant lineal com no lineal i poder configurar quin volem utilitzar.

El driver que actuarà sobre el motor (el microcontrolador no pot actuar sobre un component de tanta potència) estarà controlat mitjançant modulació PWM, i per tant, el motor també. Aquest sistema de control ens permet actuar sobre el motor de forma efectiva i fàcil de controlar, ja que actualment, molts microcontroladors incorporen mòduls PWM.

### Software de supervisió o control

El procés estarà supervisat o controlat per un programa realitzat amb l'entorn de programació LabVIEW. Una de les principals avantatges que ens aporta LabVIEW són les llibreries i funcions per comunicar-se a través d'Ethernet mitjançant els protocols UDP o TCP.

A més, la supervisió i control d'una variable (com és el cas de la velocitat) per LabVIEW és senzill d'implementar, ja que disposa de molts component de realització de gràfiques i indicadors.

Finalment, hi ha la possibilitat d'utilitzar el PC com a controlador, ja que pot rebre les lectures dels sensors i emetre ordres al microcontrolador. Per facilitar aquesta funció, LabVIEW incorpora components per realitzar funcions de regulació, tant de tipus lineal (P, PI, PD, PID) com de tipus no lineal (ON/OFF amb histèresis i sense).





### **3. ENGINYERIA DE DESENVOLUPAMENT**



## **3.1. HARDWARE DEL SISTEMA**

### **3.1.1. DESCRIPCIÓ DEL CIRCUIT ELECTRÒNIC**

El circuit electrònic està realitzat, principalment mitjançant tecnologia d'inserció, tot i que hi ha un component de tipus SMD. El circuit s'alimenta a la tensió de xarxa, ja que porta una font d'alimentació incorporada, té connexió a Ethernet mitjançant un connector RJ-45, una sortida per alimentar directament el motor DC i un connector per a la programació del microcontrolador.

El component central del circuit electrònic és un microcontrolador de 8 bits que es comunica per SPI (Serial Peripheral Interface) amb el transceptor Ethernet, dóna les ordres de control al driver del motor i els altres dispositius perifèrics, com són una memòria EEPROM externa, una pantalla LCD i diversos polsadors i indicadors LED.

El microcontrolador utilitzat és un PIC18F4620 de Microchip, un dispositiu de 40 pins amb comunicació SPI, un mòdul PWM, un mòdul de captura de polsos, convertidor analògic-digital i diversos ports d'entrada i sortida. Aquest dispositiu està alimentat a una tensió de 5 volts i funciona amb un oscil·lador de 10Mhz; tot i així, mitjançant un PLL eleva aquesta freqüència a 40Mhz, la qual és la freqüència de treball.

El transceptor Ethernet és un ENC28J60 de Microchip, un dispositiu autònom que realitza les funcions de la capa d'enllaç i física d'Ethernet del tipus 10 Base T (10 Mbps i connexió en estrella mitjançant parell trenat). El ENC28J60 es comunica per SPI amb el microcontrolador i mitjançant una electrònica externa (resistències, condensadors, inductàncies i transformadors) rep les senyals de la comunicació Ethernet.

Aquest component treballa a una tensió de 3.3V, mentre que la resta de l'electrònica digital treballa a 5V. Els pins d'entrada de la comunicació SPI accepten senyals de 5V, però els de sortida emeten a 3.3V. Per això, adaptem els nivells de tensió mitjançant un buffer de tensió no inversor. Concretament, un SN74LS125 de Texas instruments, el qual detecta correctament els nivells lògics del transceptor Ethernet i els transmet amb sortida TTL 5V.

Tot i que el component ENC28J60 és un transceptor Ethernet, no té cap adreça MAC assignada. Per això es fa necessari l'ús d'una memòria EEPROM externa que porta gravada, de fàbrica, una adreça MAC única. Aquesta memòria és la 25AA02E48 de Microchip, la qual, a més de proporcionar l'adreça MAC es pot utilitzar com a memòria externa d'ús divers.

Per a l'actuació sobre el motor s'utilitza un pont en H o *full-bridge* integrat LMD18200 de National Semiconductor. Aquest dispositiu té un bloc lògic per on rep les senyals lògiques provinents del microcontrolador (direcció de gir i modulació PWM) i actua sobre el motor a través d'un bloc de potència, el qual treballa a 40V.

El motor de DC utilitzat és un A-max 26 de Maxon d'una potència de 6W i imants permanents.

Concretament, és la versió 48V de tensió nominal i 6240 revolucions per minut. A més, el motor porta incorporat un reductor mecànic i un encoder digital HEDL 5540 amb sortida digital d'un pols per volta.

Com a dispositius de sortida d'informació hi ha una pantalla LCD Displaytech 162B amb LED de retroil·luminació i quatre diodes LED, dos per a la indicació de la comunicació Ethernet (controlats per el ENC28J60) i dos més per a usos diversos (controlats pel microcontrolador).

Com a dispositius d'entrada d'ordres hi ha, també quatre polsadors connectats per un cantó al microcontrolador i per l'altre a massa, amb condensadors en paral·lel per tal de filtrar rebots. Per al funcionament d'aquests polsadors no és necessari la utilització de resistències de *pull-up*, ja que el port B del microcontrolador (on estan connectats) incorpora *pull-ups* interns.

Finalment, tot el circuit està alimentat per dues fonts d'alimentació. La font d'alimentació per a l'electrònica de potència proporciona una tensió de 40V no estabilitzada per alimentar el motor (concretament, el driver LMD18200) i la font d'alimentació per a l'electrònica digital proporciona dues sortides estabilitzades de 5V i 3.3V.

### **3.1.2. BLOC DEL CONTROLADOR I PERIFÈRICS**

Com ja s'ha explicat anteriorment el controlador d'aquest sistema de control consisteix en un microcontrolador PIC18F4620 de Microchip. Aquest és un microcontrolador de 8 bits d'alta gama, amb diversos dispositius perifèrics integrats, com per exemple, el mòdul PWM o el convertidor analògic/digital.

És un dispositiu de 40 pins, 36 dels quals es poden utilitzar com a entrada/sortida, memòria de programa Flash de 64Kbytes i memòries de dades SRAM (Static RAM) de 3968 bytes i EEPROM de 1024 bytes. Com a dispositius perifèrics trobem un convertidor A/D amb resolució de 10 bits i 13 canals multiplexats; dos mòduls CCP (Capture, Compare, PWM) que realitzen les funcions de PWM i de captura de polsos ràpids (procedents de l'encoder) amb resolució de 10 bits; quatre Timers (un de 8 bits i tres de 16 bits); un mòdul MSSP (Master Synchronous Serial Port) per a la comunicació SPI i I<sup>2</sup>C; dos comparadors analògics i un mòdul EUSART (Enhanced Universal Serial Asynchronous Receiver Transmitter) per realitzar comunicacions RS-232 i RS-485.

Pot treballar a freqüències de fins a 40 MHz i incorpora un PLL (Phase Locked Loop) intern que permet multiplicar la freqüència per quatre, de forma que podem utilitzar un cristall de quars de 10MHz i treballar a 40MHz. A més, incorpora un oscil·lador intern que pot treballar a freqüències des de 31kHz a 8 Mhz.

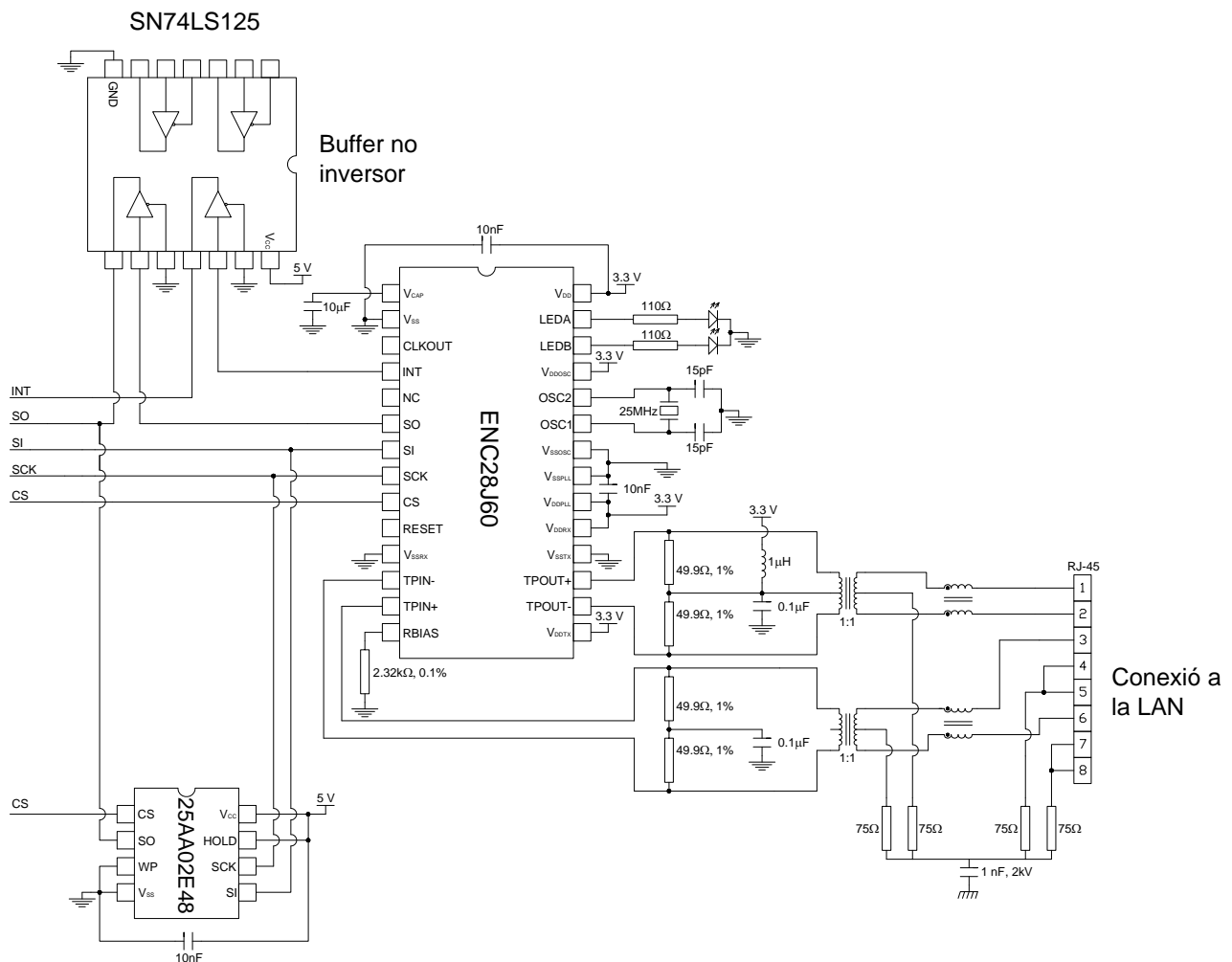
A part de les diverses connexions amb els altres blocs del circuit (bloc de comunicació Ethernet i bloc de control del motor), el microcontrolador controla una pantalla LCD Displaytech 162B (2 línies de 16 caràcters), quatre polsadors d'entrada d'informació (no utilitzen resistències de pull-up externes perquè el port B del microcontrolador ja en porta d'incorporats) i dos díodes LED d'ús divers.

### 3.1.3. BLOC DE COMUNICACIÓ ETHERNET

El ENC28J60 és un transceptor Ethernet autònom amb la capa MAC i Física integrada. Tot i que és compatible amb xarxes 10/100/1000Base-T, la capa física accepta només xarxes 10Base-T (xarxa en estrella a 10Mbps i cable de parell trenat). Aquest component s'alimenta a una tensió de 3.3V i utilitza un oscil·lador de 25MHz.

La comunicació amb el microcontrolador es fa mitjançant una interfície SPI (Serial Peripheral Interface), un bus de comunicació sèrie molt utilitzat en comunicacions entre circuits integrats. És mitjançant aquest bus de comunicacions, que el microcontrolador transmet les ordres de control al transceptor i rep o envia els paquets de comunicació Ethernet.

Aquest transceptor utilitza uns registres i buffers interns mitjançant els quals es configuren els diferents paràmetres dels paquets de comunicació (adreça MAC origen, adreça MAC destí, tipus de comunicació, dades a transmetre...) i paràmetres de funcionament (full-duplex o half-duplex, configuració del mòdul SPI, retransmissió en col·lisions, etc.).



Il·lustració 13: Bloc de comunicació Ethernet i memòria EEPROM externa

L'electrònica externa que s'ha de connectar al transceptor Ethernet consisteix en components passius, principalment resistències i condensadors però de valors molt concrets. El bloc de components format pels transformadors d'alta freqüència de relació 1:1, les resistències de  $75\Omega$  i el condensador de  $1nF$  i  $2kV$  està integrat dins el mateix connector RJ-45.

### Adreça MAC

L'adreça MAC és un número de 48 bits únic per a cada dispositiu que es connecta a Ethernet i serveix per identificar-lo. Aquesta adreça, sovint està implementada físicament al transceptor, tot i que aquest no és el cas del ENC28J60.

En aquest projecte, l'adreça MAC està gravada en una memòria EEPROM amb interfície SPI utilitzada només per a aquesta funció. La memòria en qüestió és la 25AA02E48 un model del fabricant Microchip que incorpora l'adreça MAC programada de fàbrica.

### Comunicació SPI

La comunicació SPI del microcontrolador es duu a terme mitjançant el mòdul MSSP (Master Synchronous Serial Port), un mòdul sèrie que permet comunicacions SPI i I<sup>2</sup>C. La comunicació en el mode SPI utilitza 4 pins: els dos pins de dades SDO (Serial Data Out) i SDI (Serial Data In), un pin de rellotge SCK (Serial Clock) i un quart pin per a la selecció del dispositiu amb el qual volem comunicar (CS – Chip Select). Per aquesta última funció s'utilitzen pins d'entrada/sortida d'ús general, concretament, del port D (RD3 per a la selecció del ENC28J60 i RD2 per a la selecció de la memòria externa 25AA02E48).

La freqüència de rellotge de la comunicació ve imposada per l'element que actua com a Master, en aquest cas el microcontrolador. La màxima freqüència que es pot obtenir és la freqüència d'oscil·lació dividida per 4 ( $F_{osc}/4$ ), la qual cosa comporta una velocitat màxima de 10Mbps (la freq. màxima del microcontrolador és de 40MHz).

$$F_{SPI} = \frac{F_{osc}}{4} = \frac{40MHz}{4} = 10MHz \rightarrow 10Mbps$$

Els nivells de tensió són els de l'alimentació del microcontrolador, per tant, 0-5V, mentre que el transceptor ENC28J60 treballa amb una tensió d'alimentació de 3.3V. Tot i que els pins d'entrada de la comunicació SPI accepten tensions de 5V, en els pins de sortida s'han connectat a portes lògiques AND per tal d'adaptar els nivells de tensió.

### Protocols IP i UDP

Els protocols IP i UDP utilitzats per a la comunicació amb el PC s'implementen per software,

tant en el microcontrolador com en el PC.

En el microcontrolador s'utilitzaran les rutines de la pila TCP/IP de Microchip la qual es pot descarregar gratuïtament. Aquesta pila TCP/IP consisteix en un conjunt de rutines en C per al compilador C18 de Microchip que implementen tots els protocols de la pila TCP/IP. A més, també hi ha incloses les rutines per al control del transceptor ENC28J60.



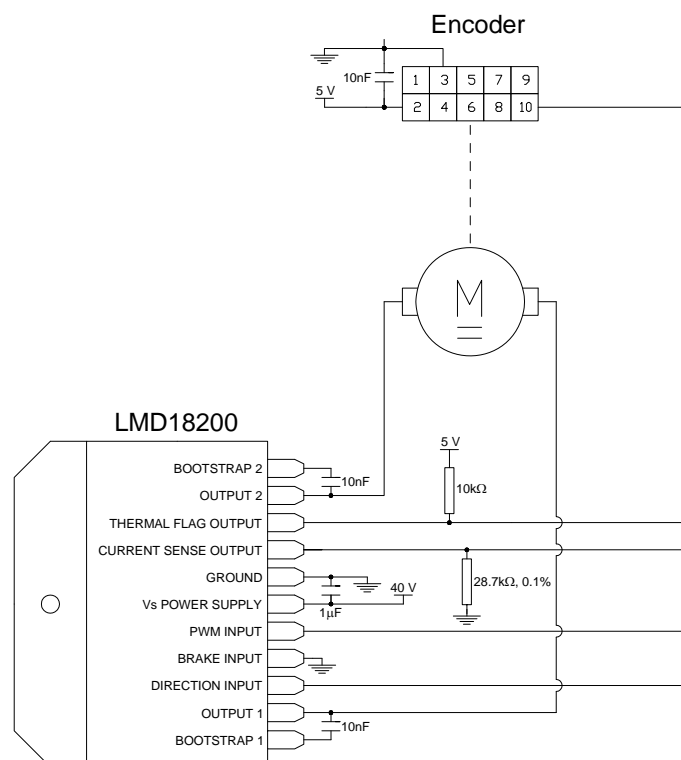
### 3.1.4. BLOC DE CONTROL DEL MOTOR

Una altra part important del projecte consisteix en el sistema de control i regulació de velocitat del motor. Un cop definida la consigna de velocitat, aquesta es compara amb la velocitat actual del motor i s'aplica una acció reguladora, obtenint un sistema de regulació en llaç tancat. Per obtenir un resposta amb acceleració i frenada més suau, es pot realitzar un segon llaç de regulació de la corrent, de forma que la sortida del regulador de velocitat serveixi com a consigna de la corrent, que serà també mesurada i comparada.

#### Implementació física

L'actuació sobre el motor es fa mitjançant un driver, ja que el microcontrolador no és capaç de proporcionar la potència necessària. El driver utilitzat consisteix en el pont en H integrat LMD18200 de National Semiconductor, el qual és capaç de proporcionar un corrent nominal de 3A i una tensió de 55V. A més de transistors MOSFET de potència, incorpora una etapa de control compatible tant amb tecnologia TTL com CMOS.

Una altra característica d'aquest integrat és que incorpora una sortida especial per a mesures de corrent (CURRENT SENSE OUTPUT – pin 8). Aquesta sortida proporciona un corrent de  $377\mu\text{A}$ /A, que mitjançant una resistència de valor adequat, podem mesurar amb el convertidor analògic-digital del microcontrolador.



Il·lustració 14: Bloc de control del motor

El control del pont es fa mitjançant tres entrades: PWM, DIRECTION i BRAKE. Tal i com indica el seu nom, l'entrada PWM (pin 5) està connectada a la sortida PWM del microcontrolador, la qual defineix la senyal d'actuació sobre el motor. L'entrada DIRECTION (pin 3) defineix si el corrent circularà de la sortida 1 cap a la sortida 2 o a l'inrevés, o el que és el mateix, defineix el sentit de gir del motor. Finalment, el pin BRAKE (pin 4) serveix per frenar el motor curtcircuitant-lo a massa; en aquesta aplicació, aquesta entrada no s'utilitzarà i es mantindrà connectada a massa.

El control PWM es farà mitjançant el mòdul del ECCP (Enhanced Capture Compare PWM) del microcontrolador, el qual regula el període de PWM mitjançant el Timer 2 i permet una resolució de fins a 10 bits.

La velocitat del es mesurarà mitjançant un encoder HEDL 5540 el qual està acoblat al motor. En aquesta aplicació utilitzarem la sortida Channel I de l'encoder (pin 10), la qual proporciona un pols per cada volta. Com que la freqüència d'aquests polsos pot arribar a ser bastant elevada (12kHz) es llegiran mitjançant el mòdul CCP (Capture Compare PWM) del microcontrolador (mòdul gairebé igual que ECCP), el qual, en el mode Capture, guarda en un registre el temps (cicles de rellotge) que ha passat entre dos polsos aplicats a la seva entrada.

Per a la mesura del corrent que circula pel motor, mitjançant una resistència de 28.7kΩ connectada a la sortida de mesura de corrent del LMD18200 (CURRENT SENSE OUTPUT) convertim el marge de corrent que circula pel motor (0-460mA) a una tensió de 0-5V. Aquesta tensió serà mesurada pel convertidor analògic-digital del microcontrolador, concretament, per canal 6 (AN6 -pin 9). Aquest convertidor, té una resolució de 10 bits i una freqüència de mostreig de XX ksp/s.

### Convertidor PWM

El convertidor PWM del microcontrolador té una resolució de 10 bits i defineix el seu període a partir de la configuració del Timer 2. Tot i que la freqüència de treball que permet és molt elevada, a la pràctica està limitada pels temps de retard de l'integrat LMD18200.

L'amplada de pols mínima que permet aquest circuit és de 1μs, i per tant, per poder treballar amb la màxima resolució del mòdul PWM (10 bits = 1024 valors) necessitaríem un període T de 1024μs. El període màxim del Timer 2, però, treballant amb una freqüència d'oscil·lació de 40MHz, pot ser de 409,6μs.

$$T_{TIMER2} = \frac{4}{F_{osc}} \cdot \text{Prescaler} \cdot (\text{PR2} + 1)$$
$$T_{max} = \frac{4}{40\text{MHz}} \cdot 16 \cdot 256 = 409.6 \mu s$$

Això ens porta a utilitzar una resolució màxima de 256 valors (8 bits), que transportat a velocitat del motor, ens dóna una resolució de 24,4 r.p.m.

$$\text{Resolució} = \frac{V_{max}}{256} = \frac{6240rpm}{256} = 24,375 rpm$$

### 3.1.5. BLOC FONT D'ALIMENTACIÓ

El circuit electrònic realitzat incorpora un bloc de font d'alimentació, és a dir, el circuit s'alimenta a la tensió de la xarxa (230V) i a la font d'alimentació és redueix, rectifica i filtra aquesta tensió.

El circuit elèctric d'aquest aparell necessita tres preses de tensió diferents: una de 40V per al funcionament del motor, una de 5V per a la lògica digital i una de 3.3V per a l'alimentació del transceptor Ethernet. Per poder aconseguir aquestes tres preses de tensió s'han dissenyat dues fonts d'alimentació lineals, una per a la presa de 40V i una altra per a les preses de 5V i 3.3V.

La primera font d'alimentació, de 40V, està formada per un transformador de 24VA i relació 2x115/2x15V, és a dir, dues preses d'entrada de 115 volts i dues sortides de 15V; un pont de Graentz (rectificador) integrat (W08G) i un condensador de 2200µF per filtrar l'arriestat de tensió.

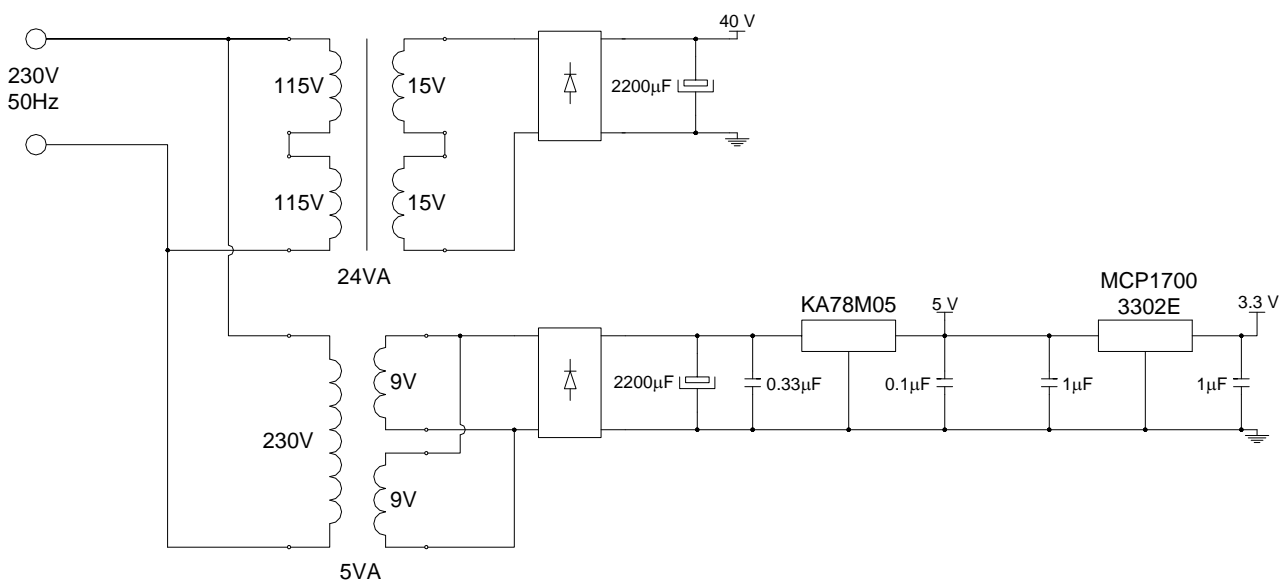
Si connectem les dues preses d'entrada i les dues de sortida en sèrie obtenim un transformador de 230V/30V. Amb això, obtenim una tensió de pic de 42.4V, a la qual restem la tensió llindar dels diodes rectificadors i obtenim una tensió de 41V. Així doncs, si suposem un arriestat de tensió de 2V, obtenim un valor mig de tensió de 40V. Aquesta tensió pot semblar poc exacte, però per a l'alimentació del motor de DC no és necessari que sigui un valor estabilitzat.

$$V_{pic} = 30V \cdot \sqrt{2} = 42.4V$$

$$V_{max} = V_{pic} - 2 \cdot V_{\gamma} = 42.4 - 2 \cdot 0.7V = 41V$$

$$I_c = C \cdot \frac{dV}{dt} = C \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \rightarrow \Delta V = \frac{I_c \cdot \Delta T}{C} = \frac{455mA \cdot 10ms}{2200\mu F} = 2V$$

$$V_m = V_{max} - \frac{\Delta V}{2} = 41V - 1V = 40V$$



Il·lustració 15: Font d'alimentació

La segona font d'alimentació, que proporciona una presa de 5V i una altra de 3.3V, està formada per un transformador de 5VA i relació 230/2x9 (dues sortides de 9V), un pont de Graentz W08G, un condensador de 2200µF i dos regulador de tensió lineals, un de 5V (KA78M05 de Fairchild) i un de 3.3V (MCP1700-3302E de Microchip).

Per tal d'obtenir un màxim de corrent més alt, unim les dues sortides del transformador en paral·lel, les quals són de 9V cada una. Posteriorment, rectifiquem la senyal, la filtrem amb el condensador de 2200µF i l'estabilitzem amb el regulador de 5V. Amb això obtenim una tensió de pic de 12.7V, que restant la caiguda de tensió als díodes tenim una tensió màxima de 11.3V. Utilitzant un condensador de 2200µF obtenim una tensió mínima de 9.9V, suficient perquè l'estabilitzador pugui funcionar correctament.

$$\begin{aligned}
 V_{pic} &= 9V \cdot \sqrt{2} = 12.7V \\
 V_{max} &= V_{pic} - 2 \cdot V_{\gamma} = 12.7 - 2 \cdot 0.7V = 11.3V \\
 \Delta V &= \frac{I_c \cdot \Delta T}{C} = \frac{300mA \cdot 10ms}{2200 \mu F} = 1.4V \\
 V_{min} &= V_{max} - \Delta V = 11.3V - 1.4V = 9.9V \\
 V_m &= V_{max} - \frac{\Delta V}{2} = 10.6V
 \end{aligned}$$

El regulador de 3.3V, en canvi, s'alimenta directament de la sortida estabilitzada de 5V, ja que el regulador de 3.3V té una caiguda de tensió mínima molt petita i una tensió de 5V és suficient.



## **4. CONCLUSIÓ I BIBLIOGRAFIA**





## **4.1. CONCLUSIÓ**

En aquest document queda recollit una part del treball realitzat durant PFC1, la primera part del projecte final de carrera. Durant aquest temps, he cercat informació i après la base teòrica del funcionament del bus de comunicació Ethernet i alguns dels diferents protocols que s'executen sobre aquest bus de comunicació. A més, també m'he informat sobre topologies i mètodes de sistemes de regulació i control.

Amb aquesta informació m'ha estat possible comparar diverses alternatives de realització i escollir aquelles que he cregut més convenients, principalment en la decisió dels protocols de comunicació, on ha estat més difícil escollir. Així, he anat conformant una idea que ha acabat convertint-se en el plantejament d'un projecte.

A més de realitzar el plantejament, he tingut l'oportunitat de començar el disseny i realitzar la part de hardware, tant l'esquema elèctric com el fotolit de la PCB.

## 4.2. BIBLIOGRAFIA

### Llibres i monografies

- GARCÍA BREIJO, Eduardo. *Compilador C CCS y simulador Proteus para Microcontroladores PIC*. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas, 2008.
- LAJARA VIZCAÍNO, José Rafael; PELEGRÍ SEBASTIÁ, José. *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas, 2007.
- SCHMITT, Neil M.; FARWELL, Robert F. *A fondo: Robótica y sistemas automáticos*. Madrid: Ediciones Anaya Multimedia, S. A., 1988.
- GÁMIZ, Juan. *Apunts de l'assignatura Comunicacions Industrials*
- PÉREZ-POCH, Antoni. *Apunts de l'assignatura Telemàtica*

### Datasheets

- *PIC18F2525/2620/4525/4620 Data Sheet*. Chandler, EUA: Microchip Technology Inc., 2008.
- *ENC28J60 Data Sheet*. Chandler, EUA: Microchip Technology Inc., 2008.
- *25AA02E48*. Chandler, EUA: Microchip Technology Inc., 2008.
- *MCP1700*. Chandler, EUA: Microchip Technology Inc., 2008.
- *LMD18200 Data Sheet*. EUA: National Semiconductor Corporation, 2005.
- *A-max 26*. Sachseln, Suïssa: maxon motor ag, 2009.
- *Encoder HEDL 5540*. Sachseln, Suïssa: maxon motor ag, 2009.
- *LCD MODULE 162B SERIES PRODUCT SPECIFICATIONS*. Displaytech Ltd.
- *SN74LS125 Data Sheet*. Dallas, EUA: Texas Instruments Inc., 1996.
- *KA78MXX*. Fairchild Semiconductors Corporation, 2002.

### RFC (Request For Comment)

- POSTEL, J. *RFC 768, User Datagram Protocol*. 1980
- POSTEL, J. *RFC 791, Internet Protocol*. 1981
- POSTEL, J. *RFC 793, Transmission Control Protocol*. 1981
- SOCOLOFSKY, T; KALE, C. *RFC 1180, Un Tutorial de TCP/IP*. 1991

### Pàgines web

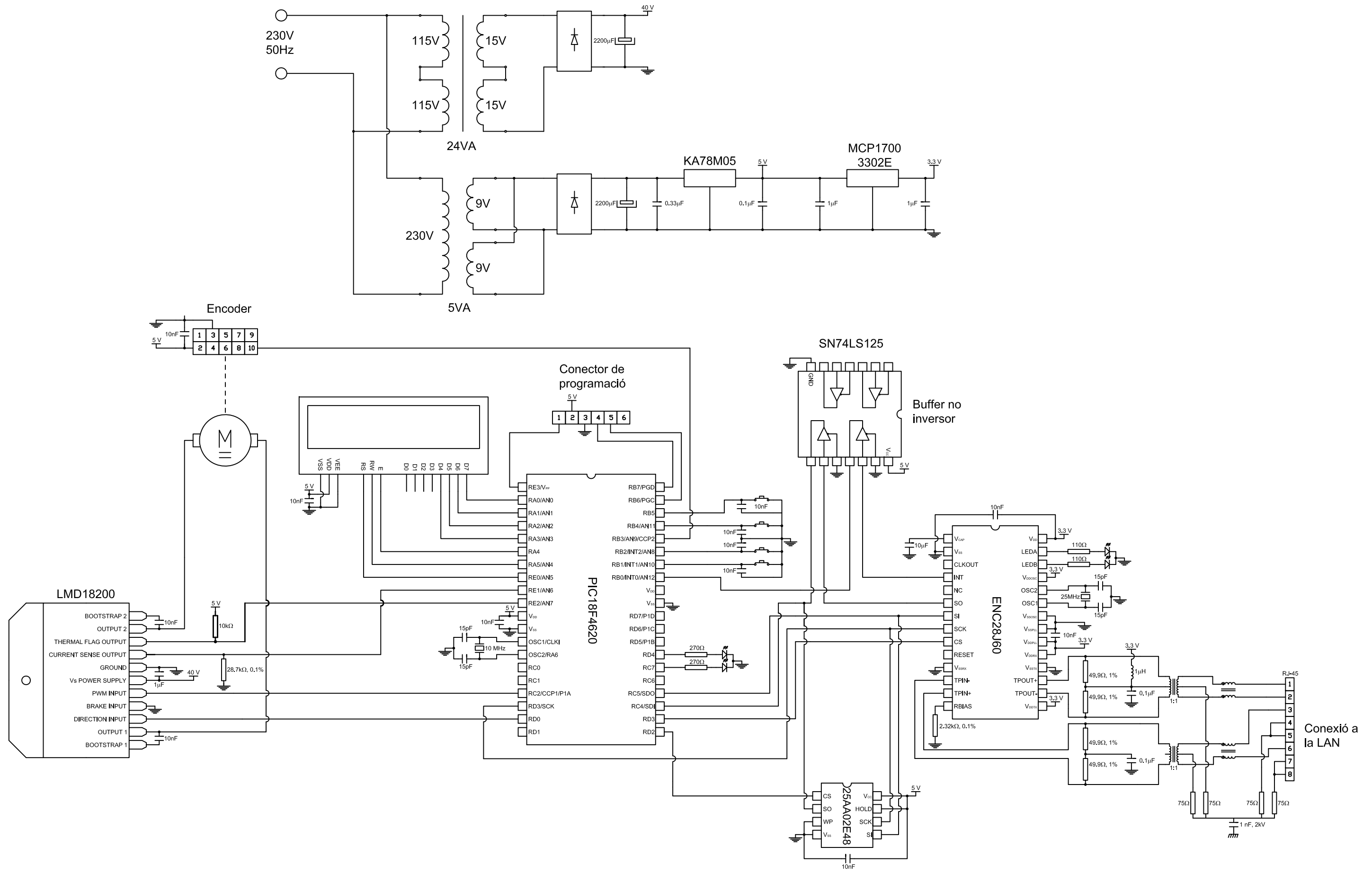
- <http://www.wikipedia.org>

- <http://www.ieee802.org/3/>
- <http://www.microchip.com>
- <http://zone.ni.com>
- <http://www.fiveco.ch>
- <http://www.odva.org>
- <http://ckp.made-it.com/ieee8023.html>
- <http://timothydevans.me.uk/nbf2cifs/book1.html>
- <http://www.monografias.com>
- <http://www.rfc-es.org>
- <http://www.comptechdoc.org/>
- <http://www.protocolbase.net>



## **ANNEX**





PLÀNOL: ESQUEMA ELÈCTRIC	Nº: 1	ESCALA: -
DIBUIXAT PER: RICARD PICAS	DATA: 21/1/10	
COMPROVAT PER:	DATA:	
PROJECTE: CONTROL DE VELOCITAT D'UN MOTOR A TRAVÉS D'ETHERNET		

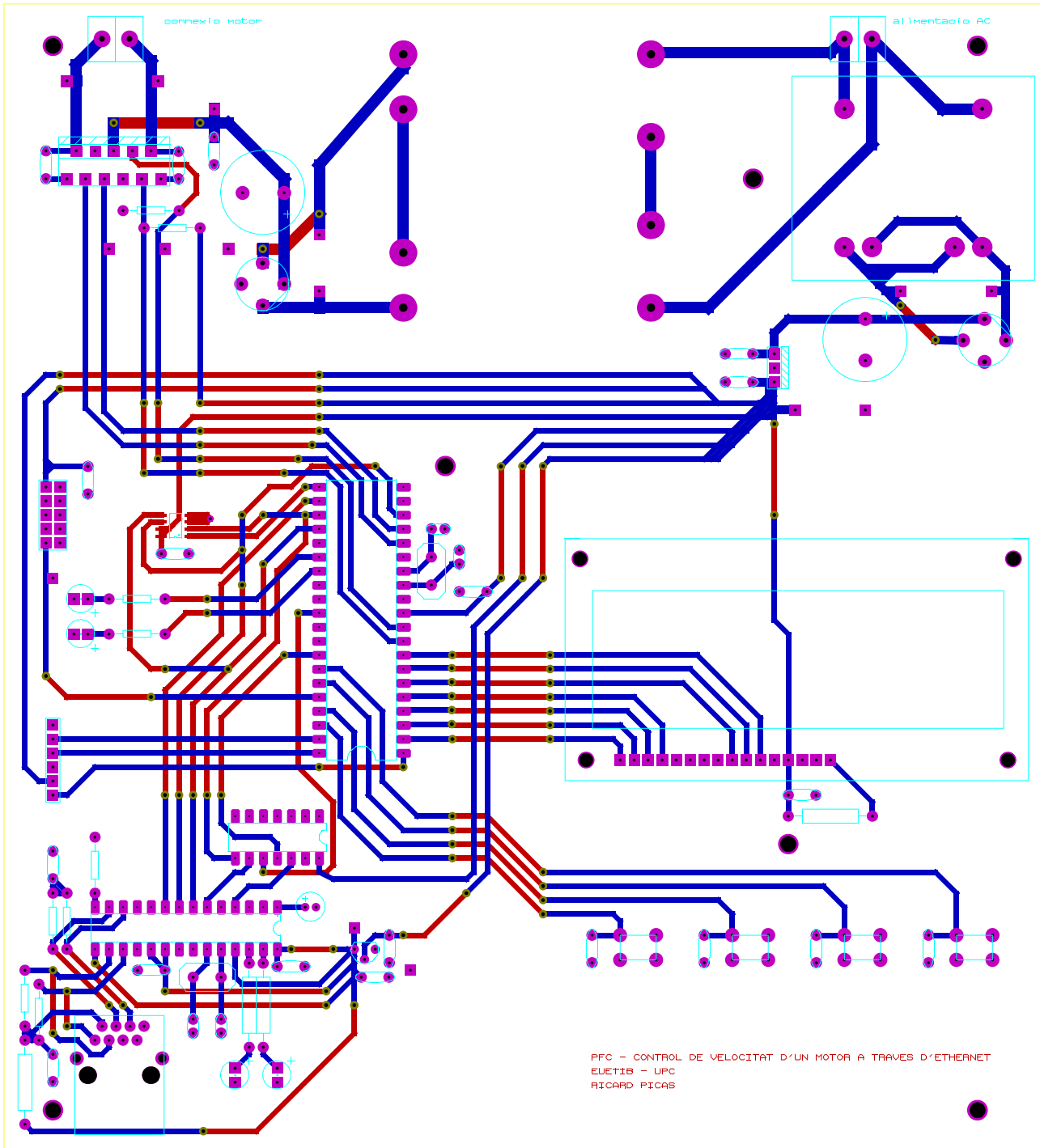






## ANNEX II: DISSENY DE LA PCB

### PCB SENSE PLA DE MASSA





# PCB AMB PLA DE MASSA

