



Treball de Final de Carrera

Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions
Especialitzada en Sistemes Electrònics

Instrumentació i control d'actuadors fluídics per a sistemes analítics:

*Sistema de regulació d'una microbomba
de precisió a mode de xeringa.*

Realitzat per
Jordi Cardona Miracle

Dirigit per
Juan J. García García
Cynthia Susana Martínez Cisneros
Julián Alonso Chamarro



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Universitat Autònoma de Barcelona

Bellaterra, Juliol 2009

UAB

El tribunal d'avaluació d'aquest Treball Fi de Carrera, reunit el dilluns 29 de Juny del 2009, ha acordat concedir la següent qualificació:

--

President: ***Joan J. García García***

Vocal: ***José A. López Salcedo***

Secretari: ***Gonzalo Seco Granados***



El sotasignats:

Dr. Joan J. García García

Titular d'universitat del Departament d'Enginyeria Electrònica i professor de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria (ETSE) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB),

Dra. Cynthia Susana Martínez Cisneros

Investigadora del Grup de Sensors i Biosensors del Departament del Química Analítica de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB),

Dr. Julián Alonso Chamarro

Catedràtic d'universitat del Departament del Química Analítica de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB),

CERTIFIQUEN:

Que el treball presentat en aquesta memòria del projecte de **Instrumentació i control d'actuadors fluídics per a sistemes analítics** ha estat realitzat sota la seva direcció per l'alumne *Jordi Cardona Miracle*.

I, perquè consti a tots els efectes, signen el present certificat.

Bellaterra, 29 de Juny del 2009.

Joan J. García

Cynthia Martínez

Julián Alonso

Agraïments

Haig d'agrair la realització d'aquest treball a totes aquelles persones que m'han donat un cop de mà durant aquesta etapa. En especial a la Cynthia, que sempre ha trobat el moment per a guiar-me a l'hora de resoldre els dubtes que han sorgit i la persona que ha estat al cas de la realització de tot el projecte.

També m'agradaria donar les gràcies als companys del GSB del laboratori per tindre la paciència que els honorifica, en especial a la Rosa i també al Julián, l'Eva i l'Oriol.

Una altra persona crucial ha estat en Javier, el Tècnic del Laboratori que m'ha realitzat la PCB i que sempre s'ha mostrat molt atent i disposat.

A en Joan per plantejar nous reptes que han enriquit la feina feta.

I no puc deixar de mencionar a la família i als amics, als meus companys de pis que m'han aguantat i acompanyat durant aquests últims anys, a la Mar per omplir-me la vida d'alegria, energia i motivació, i als companys de l'Hortet de l'Autònoma i l'Assemblea d'estudiants de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeries per sembrar una llavor màgica que no para de créixer tot i les adversitats que s'hi oposen.

A tots vosaltres, gràcies.



ÍNDIX

1. MOTIVACIÓ PERSONAL	1
2. OBJECTIUS	3
3. INTRODUCCIÓ	5
3.1 La Química Analítica.....	5
3.1.1. Sistemes analítics miniaturitzats.....	6
3.1.2. Bombes convencionals existents	8
3.1.2.1. Les bombes peristàltiques	8
3.1.2.2. Les bombes - xeringa	9
3.2 Bomba microfluídica LVPX de “The Lee Company”	9
3.2.1. Descripció general	10
3.2.2. Principi de funcionament de la bomba	11
3.2.3. Motors pas a pas	12
3.2.3.1. Principi de funcionament dels motors pas a pas.....	13
3.2.3.2. Tipus de motors pas a pas	14
3.2.3.3. Connexió dels motors pas a pas	17
3.2.3.4. Control del motor pas a pas: Ponts en H	19
3.2.4. El motor pas a pas de la bomba LPVX.....	20
3.2.5. Modes d'utilització de la bomba LPVX	20
3.3 Instrumentació virtual.....	23
3.3.1. LabVIEW	24
3.3.2. Targeta d'Adquisició i Distribució de Dades.....	26
3.3.3. Control Remot	30
3.3.3.1. Mitjançant connexió directa TCP/IP	30
3.3.3.2. Mitjançant servidor web html	31
3.3.4. Monitorització	32
4. DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE.....	35
4.1 Esquema general de la instrumentació	35
4.2 Circuit de control.....	37
4.2.1. El microxip UDN 2916 B	38
4.2.2. Disseny del circuit de control	41
4.3 Fabricació del circuit de control.....	43

4.3.1.	Prototip en protoboard.....	43
4.3.2.	Disseny del circuit imprès	44
4.3.3.	Fabricació de la placa PCB.....	46
4.4	Seqüència de control.....	48
4.5	Disseny i desenvolupament del programa de control.	50
4.5.1.	Panell Frontal: l'entorn d'usuari.....	50
4.5.2.	Diagrama de Blocs: nivell de programació.....	53
4.5.2.1.	Elements bàsics en la programació amb LabVIEW	53
4.5.2.2.	Vista General.....	55
4.5.2.3.	Subbloc d'Execució	56
4.5.2.4.	Subbloc Reset.....	60
4.5.2.5.	Bloc Monitorització	63
4.6	Disseny i desenvolupament del Panell Remot	65
4.6.1.	Connexió TCP/IP.....	65
4.6.2.	Servidor web.....	70
4.7	La targeta d'adquisició i distribució de dades	73
5.	<i>RESULTATS</i>	77
5.1	Sortides de la targeta d'adquisició i distribució de dades	77
5.2	Sortida del circuit regulador.....	78
5.3	Avaluació del funcionament del sistema: proves de volum.....	79
5.4	Limitacions de velocitat del sistema	82
5.5	Pressupost.....	84
6.	<i>APLICACIONS DEL SISTEMA</i>	85
7.	<i>CONCLUSIONS</i>.....	87
8.	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	89
9.	<i>ANNEXOS</i>	91
	Annex1: LPVX0502150BB.....	91
	Annex 2: LPVX0502250BB.....	92
	Annex 3: UDN 2916 B.....	93
	Annex 4: NI PCI 6221.....	97

1. MOTIVACIÓ PERSONAL

La motivació principal per a realitzar aquest projecte ha estat el fet de veure totes les etapes del procés de producció del sistema d'instrumentació, partint d'unes especificacions i objectius inicials, passant per la realització de totes les proves pertinents per a verificar que la implementació funcionava fins a la creació d'un prototip funcional real.

El fet de ser un projecte més pràctic que teòric m'ha permès espavilar-me a l'hora de solucionar problemes pràctics de funcionament, enriquint a la imaginació i desenvolupant una manera de veure les coses des d'un altre punt de vista.

L'aplicació final de l'estudi, destinat a la miniaturització dels instruments d'anàlisi mediambientals també ha tingut molta importància, sobretot de caire moral, per a tirar-lo endavant amb criteris d'ètica personal.

Un altre punt interessant ha estat la introducció de molts conceptes nous sobretot dins el camp de la instrumentació analítica.

Tot això junt amb la convivència dins d'un laboratori multidisciplinar amb altres companys, m'ha aportat un creixement personal emprenedor i m'ha permès consolidar els meus coneixements adquirits durant el meu període d'aprenentatge.

2. OBJECTIUS

Aquest projecte recull les **especificacions demanades en un principi pel Grup de Sensors i Biosensors (GSB) de la Universitat Autònoma de Barcelona**. Al GSB es compta amb una notable experiència en el desenvolupament de microanalitzadors de flux aplicats a la determinació de diversos paràmetres mediambientals. Tot i així, per a aconseguir un veritable nivell de miniaturització, es necessari també **reduir les dimensions dels actuadors utilitzats en la gestió de fluids**. L'objectiu principal d'aquest projecte és la implementació de la instrumentació electrònica requerida per al control de microactuadors comercials que permetin reemplaçar als seus similars en l'escala macro actualment utilitzats en el grup. Per això es busca **aconseguir el control d'una bomba microfluídica existent al mercat i robusta mitjançant una instrumentació virtual amb la major precisió possible**.

El sistema desenvolupat haurà de tindre **un entorn de control simple i fàcil d'utilitzar**, tal que qualsevol usuari no especialitzat sigui capaç d'utilitzar-lo sense problemes.

Tanmateix per tal de poder fer el sistema més versàtil i funcional es vol obtenir **una imatge en directe del procés** amb la qual cosa s'ha afegit una càmera web per a controlar-lo visualment.

Un altre objectiu afegit és el fet de **poder controlar el procés remotament des d'un altre ordinador**. Per a tal efecte s'ha estudiat el protocol de Panells Remots que ens ofereix el programa utilitzat per a fer córrer l'aplicació de regulació del procés via Internet.

3. INTRODUCCIÓ

3.1 La Química Analítica

La **Química Analítica** és la rama de la química que es dedica a estudiar la composició química d'un material o una mostra, especialment mostres líquides, mitjançant diferents mètodes. Aquesta disciplina, com moltes altres, en les últimes dècades ha estat afectada àmpliament pel creixement científic i tecnològic, **tendint cada cop més cap a la integració dels instruments utilitzats** [1].

En aquesta rama de la química, s'intenten utilitzar els mètodes més ràpids, sensibles i selectius, essent les tres qualitats alhora difícils d'aconseguir i moltes vegades desprestigiant-ne alguna per a millorar la resta depenent de la finalitat de l'estudi [2].

Fins al moment, s'ha treballat costosament en la **automatització** i la **compactació** dels instruments el més precisos possible, i això ha donat com a resultat els Sistemes Totals d'Anàlisi o **TAS** (*Total Analysis System*) [1].

Aquests instruments ofereixen **resultats molt precisos i exactes**. Però no tot són avantatges, doncs:

- necessiten gran quantitat de material i reactiu per a fer la mesura
- tenen una baixa freqüència d'anàlisi
- són aparells de grans magnituds difícils de transportar
- i exigeixen tenir personal especialitzat per a manipular-los [1].

Entre d'altres coses, com a més grans són els instruments i actuadors, més volums de retenció poden tenir, i amb això, més variables a tenir en compte a la hora de controlar els processos, fer-los més segurs, mantenir una eficiència i satisfer les normatives vigents. [2] Durant la tria dels elements a utilitzar i els materials s'ha de tenir en compte:

- utilitzar components sense fugues, ni internes ni externes, amb un rendiment comprovat i sense la possibilitat d'absorció d'aire.
- buscar materials compatibles amb els elements a manipular, així com resistents a la pressió i a la temperatura de treball.
- tenir en compte el potencial d'acumulació de restes residuals de líquids.
- procurar aconseguir un pas del caudal a través dels components el més dinàmic possible i un volum intern el més petit possible.

Per a superar aquests inconvenients sorgeix la **nova generació d'analitzadors**: els **μ TAS** (*micro Total Analysis System*). Un exemple de la comparació de magnituds entre ambdós sistemes es pot observar a la Figura 1.

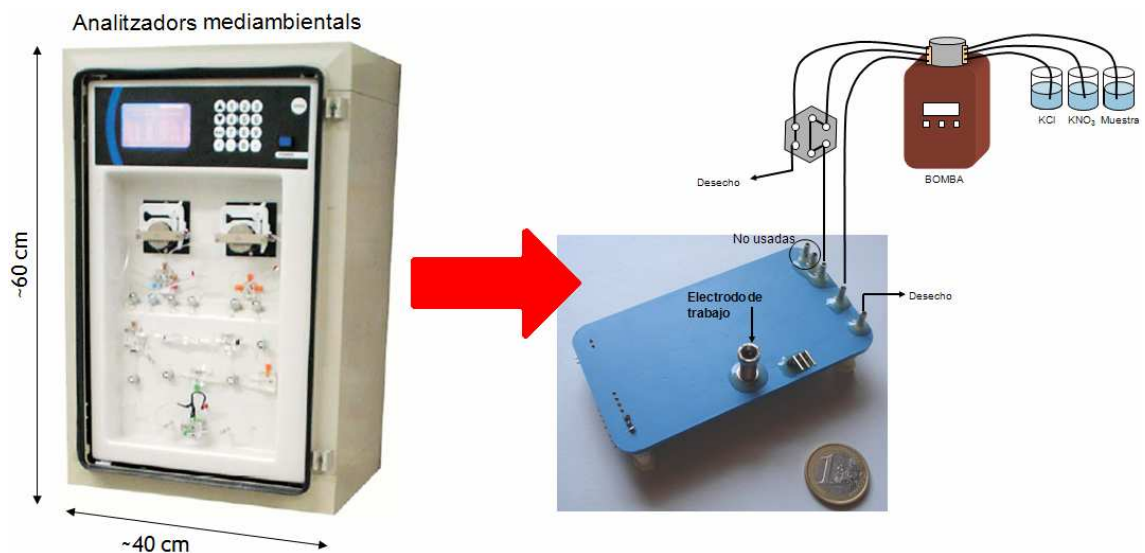


Figura 1: Comparació entre un analitzador mediambiental TAS i un analitzador similar d'escala μ TAS.

3.1.1. Sistemes analítics miniaturitzats

Aquests nous sistemes (μ TAS), basats en un escalat dels TAS, milloren les característiques dels sistemes actuals. Amb aquesta nova tecnologia s'aconsegueix:

- menor consum de reactius i mostres
- major velocitat de resposta
- portabilitat

- a part de la capacitat de visualitzar nous fenòmens.

En la rama de la Química Analítica en que es centra aquest projecte, la **miniaturització de sistemes analítics de fluídica**, s'hi ha notat la evolució degut al desenvolupament basat en tècniques del silici i del vidre, i més recentment els polímers [1].

Com a inconvenient derivat del procés d'escalat s'hi veu la pèrdua de sensibilitat dels sistemes miniaturitzats que incorporen tècniques de detecció òptiques. Degut a la disminució de la mostra, és necessari minimitzar detectors d'alta sensibilitat difícils de miniaturitzar.

A part d'aquests inconvenients els quals s'estan investigant, també es troba la **manca de miniaturització dels actuadors més immediats (bombes i vàlvules)** i de l'electrònica de control, que **acostumen a pertànyer a l'escala macro**, cosa que fa que a la pràctica els sistemes acabin sent **híbrids** i no totalment miniaturitzats [1] com el que es veu a la Figura 2.

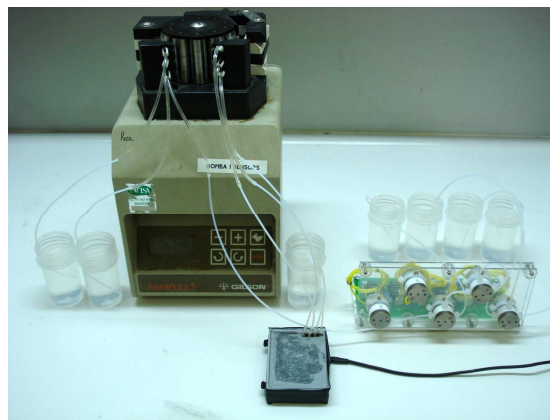


Figura 2: Exemple de sistema híbrid on la bomba és molt més gran que l'analitzador.

La idea final doncs és generar o desenvolupar microdispositius que incorporin no sols la fluídica sinó també l'electrònica, **tasca de gran complexitat degut a la multidisciplinarietat que implica**.

Actualment les bombes microfluídiques existents en la majoria de laboratoris pertanyen a l'escala macro d'aquests sistemes d'anàlisi.

Degut a que aquest treball està orientat al desenvolupament de la instrumentació electrònica associada al control de microbombes, en els següents apartats es presentarà una breu descripció de les bombes utilitzades al GSB.

3.1.2. Bombes convencionals existents

Fixant-nos en les bombes existents al GSB trobem dos tipus diferenciadors: les bombes peristàltiques i les xeringa [3].

3.1.2.1. Les bombes peristàltiques

Les primeres, les **bombes peristàltiques**, basen el seu funcionament en anar escanyant un tub flexible ple de líquid de manera lineal (amb un escanyament a través de la superfície del tub) aconseguint que el fluid circuli a través d'aquest. Veien la Figura 3 s'entén millor el seu funcionament sabent que el cos central amb diferents corròns és el que va apretant el tub flexible realitzant un moviment circular.

Aquestes bombes ofereixen un funcionament continuat (aspirant o injectant) aplicat a un ampli rang de caudals. La seva instrumentació electrònica resulta senzilla donat que el seu control es pot realitzar mitjançant senyals digitals o mitjançant el protocol RS-232. Tot i així, resulten difícils de regular i normalment es calibra el seu caudal mitjançant un procés poc precís: calcular el temps que tarda a omplir 1ml en una proveta, mirant el temps a un cronòmetre i observant la proveta a ull.

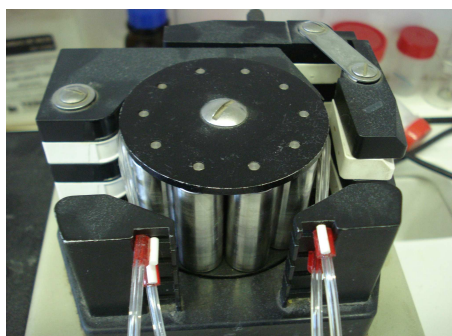


Figura 3: Bomba peristàltica GILSON del laboratori de Química Analítica de la UAB.

3.1.2.2. Les bombes - xeringa

L'altre tipus de bombes que trobem són les **bombes-xeringa** com la de la Figura 4, al laboratori de la casa *TSE Systems*. Aquestes es basen en una xeringa connectada amb un mecanisme de moviment lineal accionat per un motor pas a pas, que regulat i calibrat amb el dispositiu ens proporciona regularment el volum necessari.



Figura 4: Bomba -xeringa.

El control d'aquest tipus d'actuadors s'acostuma a realitzar mitjançant RS-232 o RS-485, per la qual cosa el funcionament en paral·lel de diverses xeringues alhora complica el procés d'instrumentació.

Aquest tipus de xeringa és el que més s'assembla al que implementarem en aquest projecte.

Així el punt de partida del projecte comença amb la proposta d'implementar un sistema de control d'un actuator microfluídic de precisió existent: les bombes LPVX de "The Lee Company" que es descriuran a continuació.

3.2 Bomba microfluídica LVPX de "The Lee Company"

La bomba LPVX és un dispensador de precisió a partir d'una bomba de pistó hidràulic que s'acciona mitjançant un motor pas a pas veure Annexos 1 i 2.

Aquestes bombes funcionen a mode de xeringa. La precisió del dispensador és l'objectiu final bàsic que es busca. Així que es disposa d'un parell de bombes d'aquest tipus amb referències LPVX0502150BB i LPVX0502250BB. Són capaces de dispensar volums de 0,5 i 2,5 μl respectivament a cada pas del motor que les

regula, podent arribar a un màxim de 250 i 1250 μl respectivament, tot i que s'aconseja treballar sempre a partir de 5 i 25 μl de volum mínim, el que equival a 10 passos.

3.2.1. Descripció general

Les Bombes de Volum Variable de "The Lee Company" que podem veure a la Figura 5 estan dissenyades per a proporcionar un mitjà de confiança de moviment i mesura de fluids en sistemes de precisió [3]. Són ideals per a substituir a les xeringues i bombes peristàltiques en la majoria d'aplicacions. A més a més ofereixen una alta flexibilitat de disseny.

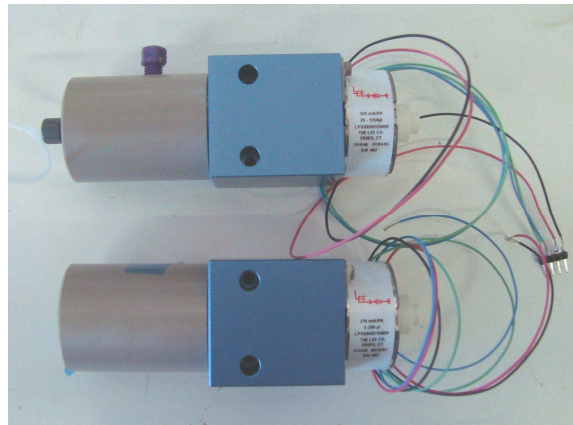


Figura 5: Bombes LPVX a utilitzar.

Tal com podem veure a la Figura 6 les bombes LPVX són accionades per un motor pas a pas (el qual s'explicarà més endavant) connectat a un pistó per mitjà d'un cargol de precisió. Per a controlar la bomba només cal un controlador convencional de motors pas a pas.

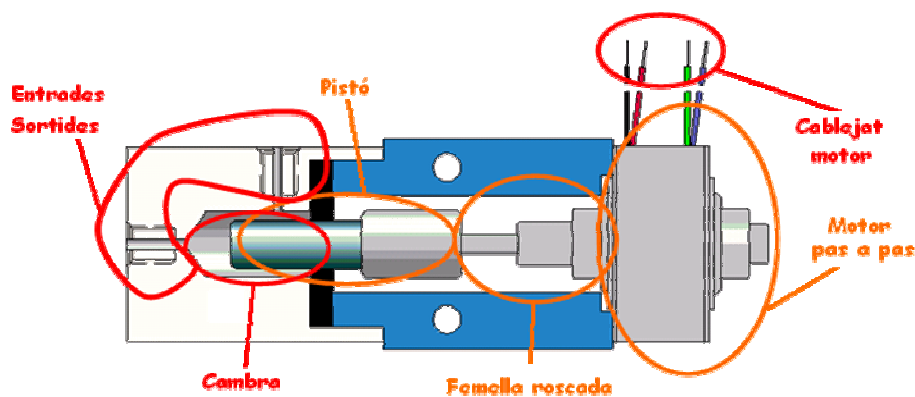


Figura 6: Esquema físic de la bomba.

3.2.2. Principi de funcionament de la bomba

Després d'enviar una ordre d'actuació al motor, aquest generarà un moviment circular equivalent al nombre finit de passos angulars. Aquest moviment circular serà convertit en moviment lineal a través d'una femella roscada a l'eix central de l'armadura del motor. La femella roscada contacta amb l'eix, encaixat per a impedir la seva rotació. Com l'armadura gira, l'eix es mou dins i fora, depenent de la direcció de rotació. Podem observar una seqüència de la posició del pistó a la Figura 7 en els dos moviments: aspirant (1 - 3) i dispensant (4 - 6).

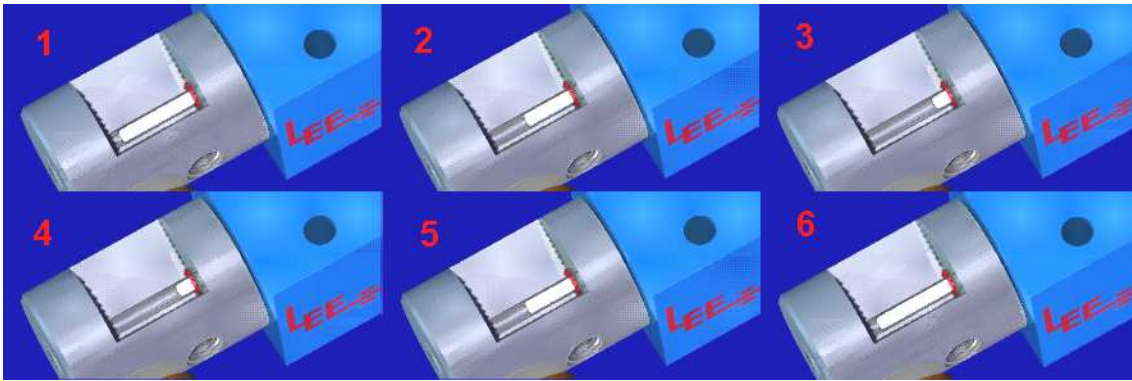


Figura 7: Seqüència del pistó aspirant (1 - 3) i dispensant (4 - 6).

El pistó està fet de circona parcialment estabilitzada amb ítria o de les seves sigles en anglès YTZP. Aquest material és un dels elements claus de la precisió i confiança d'aquest tipus de bombes. Movent doncs el pistó endins i enfora de la cambra interna de la bomba, s'aconsegueix aspirar o expulsar el volum de fluid pertinent.

A més a més, les fuites internes estan controlades per un anell al voltant del pistó i la cambra fet de polietilè amb pes molecular ultra elevat (UHMWPE), que ofereix a la junta un excel·lent equilibri d'inèrcia, molt bona resistència al desgast i a la lubricitat; ideal per a segellar la junta. A més a més l'anell està reforçat per compensar qualsevol desgast o canvis tèrmics que es poguessin produir.

La combinació de la simplicitat mecànica, l'enginyeria de materials i la qualitat de la fabricació fan que aquestes bombes siguin precises, exactes i fiables.

Per entendre millor com es regula el moviment de la bomba, s'introdueixen a continuació els motors pas a pas.

3.2.3. Motors pas a pas

Un motor pas a pas és un motor elèctric que com tots els motors transforma l'energia elèctrica en energia mecànica mitjançant l'electromagnetisme. Aquest tipus de motor es caracteritza per funcionar mitjançant impulsos digitals els quals són convertits en desplaçaments angulars discrets [5]. Degut a aquest principi de funcionament podem observar que presenta l'avantatge de ser capaç d'avançar una sèrie de graus depenent de les seves entrades de control cosa que els fa molt útil quan es parla de sistemes de control de posició. A més a més d'una gran precisió es caracteritza per tenir una alta repetibilitat.



Figura 8: Estator i Rotor d'un motor pas a pas.

Com la majoria de motors elèctrics, està format per un estator i un rotor. L'estator correspon a la part fixa del motor on s'hi troben les bobines, i en canvi el rotor correspon a la part mòbil del motor on s'hi troben els imans. Per a fer-se'n una idea, veure la Figura 8.

Es diferencia per no tenir commutadors, és a dir, escombretes que vagin canviant la polaritat de les bobines. En canvi les bobines formen part del estator i aquestes variaran la seva polaritat mitjançant el canvi de tensions entre les seves terminals que regularà un controlador. És per això que moltes vegades també se'ls anomena motors de commutació digital.

Les seves característiques es poden diferenciar entre les estàtiques i les dinàmiques, tenint en compte que quan el motor està parat també es diferencia en si està o no alimentat.

Quan es troba aturat i està alimentat, el parell motor que exerceix s'anomena **parell motor de retenció** (*holding torque*). El seu valor màxim s'estableix a posicions equidistants de les posicions estables. Aquest fet fa entendre que actua de fre.

Malgrat això, quan es deix d'alimentar apareix el **parell motor de detenció** (*detent torque*) en els motors d'iman permanent. En els motors de reluctància variable, és nul.

Quan està en moviment, la principal característica és el **parell motor dinàmic** que exerceix en funció de la freqüència dels impulsos d'excitació, es a dir, la força de gir del motor. Aquesta relació s'acostuma a trobar a les especificacions com a **corba característica parell motor - freqüència**. Aquest parell motor no es constant durant tot el moviment, però sí que ho és durant la variació de tots els passos. En les especificacions normalment es senyalen dos estats a remarcar: el punt de càrrega màxima al que el motor és capaç d'arrancar o de parar sense que es perdi cap pas (*pull-in rate*) i el parell motor de càrrega pel qual el motor perd el sincronisme quan fa girar una càrrega de determinada inèrcia a una velocitat donada (*pull-out rate*).

Altres característiques dinàmiques que s'acostumen a especificar són: **la velocitat màxima de rotació** (*maximum slew rate*), **la màxima velocitat reversible** (*maximum reversible rate*) i **la precisió del pas** (*step angle error*).

3.2.3.1. Principi de funcionament dels motors pas a pas

El principi de funcionament és el mateix que un motor elèctric normal de corrent contínua, però on les commutacions es fan des de fora del motor mitjançant el controlador. Les commutacions són necessàries ja que el moviment del rotor és degut al seguiment del seu camp magnètic a la direcció del camp magnètic creat a l'estator mitjançant les bobines.

Per tant, per a crear un moviment circular cal anar variant la magnetització de les bobines de l'estator. Això s'aconsegueix canviant la polaritat d'aquestes per

a que el rotor pugui anar seguint aquest moviment tal i com veiem a l'exemple de la

Taula 1. En aquesta taula entenem que les senyals del motor anomenades 1A i 1B fan referència a la primera bobina, i les 2A i 2B a la segona, de tal manera que l'extrem A és el primer i el B el segon.

Taula 1: Seqüència dels passos d'un motor pas a pas de dos fases (estator) i dos pols (rotor) amb configuració bipolar.

Pas	Sentits	1A	1B	2A	2B	Esquema
1		L	H	L	H	
2		L	H	H	L	
3		H	L	H	L	
4		H	L	L	H	

Tanmateix, la nomenclatura H i L fa referència al nivell de voltatge que se li aplica per a generar la corrent necessària entenent H com a nivell alt (High) i L com a nivell baix (Low). Així s'aconsegueix crear una corrent entre les terminals A i B d'una mateixa bobina en el sentit que indiquen les fletxes vermelles de les figures.

3.2.3.2. Tipus de motors pas a pas

De motors pas a pas en podem trobar de diferents tipus, diferenciats per el tipus de rotor que tenen. Es parla doncs de motors d'iman permanent, motors de reluctància variable i motors híbrids, a més a més d'altres d'especials que no tractarem [6].

Motors pas a pas d'iman permanent:

És el motor més senzill (representat a la Figura 9) i un dels més utilitzats per a petites aplicacions degut al seu baix cost. El seu rotor és un iman permanent magnetitzat radialment i l'estator té o 2 o 4 grups de bobines oferint generalment 4 passos per volta.

Es caracteritza per presentar un parell motor elevat (potència de sortida elevada), un alt rendiment, un esmorteïment intern important, una elevada inèrcia pròpia i ser capaços de treballar a baixes freqüències. La corba parell motor - freqüència es pot aproximar a una línia recta.

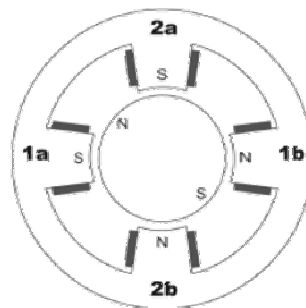


Figura 9: Motor pas a pas d'iman permanent.

Motors pas a pas de reluctància variable

El seu rotor és de ferro dolç laminat, amb varies dents en direcció radial, mentre que l'estator té un nombre de pols diferents també en direcció radial (veure Figura 10). Al aplicar un impuls de corrent a la primera fase del l'estator, el rotor s'acosta al electroimant per a disminuir l'entreferro. Amb això la reluctància magnètica del circuit també disminueix per tal de facilitar el pas del flux magnètic. Si es repeteix el procés amb la resta de debanats, s'obté un

moviment circular ja que el rotor es torna a orientar cap a aquella posició on de nou l'entreferro torna a ser més petit.

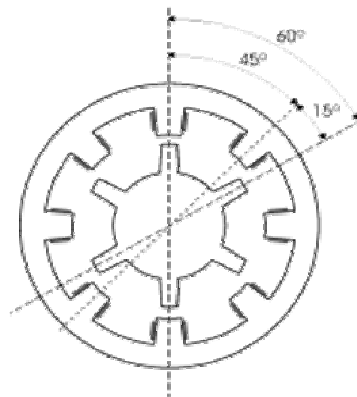


Figura 10: motor pas a pas de reluctància variable.

Per a augmentar el parell motor al màxim, l'entreferro es fa molt petit (uns 0,05mm). Els passos angulars són molt diversos depenent del nombre de bobines que hi intervinguin, i la corba parell motor - freqüència no és una línia recta, sinó que presenta anomalies per a freqüències baixes. El seu parell estàtic és el doble que dinàmic, però en canvi quan no apliquem camp magnètic, el parell és nul ja que el ferro dolç no manté la magnetització.

Aquest tipus poden arribar a velocitats de gir elevades de fins a 1200 passos/segon.

Motors pas a pas híbrids

Aquests motors, també anomenats d'inductància sincrònica, combinen les característiques dels dos tipus de motors. El rotor està constituït per un iman cilíndric magnetitzat en direcció axial, col·locat entre 2 peces de ferro dolç laminat amb varies dents com es veu a l'esquema de la Figura 11. El nombre de dents del rotor és lleugerament inferior a les de l'estator. Aquest, normalment de 4 parells de pols (8 bobines), també presenta varies estries que permeten governar angles de pas petits amb una parell motor elevat, i la possibilitat de funcionar a freqüències molt elevades.

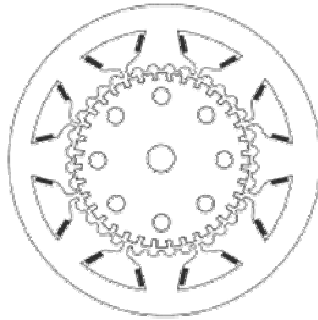


Figura 11: motor pas a pas híbrid.

Centrant-se en els motor d'iman permanent, que com s'ha dit són els més utilitzats i el que té la bomba LPVX, es poden trobar diferències en la connexió de les seves bobines.

3.2.3.3. Connexió dels motors pas a pas

Existeixen dos configuracions bàsiques per a connectar dels motors pas a pas depenent de les seves característiques. Aquestes són la connexió unipolar i la bipolar.

Connexió unipolar

Aquest tipus de connexió és la que consisteix en que la corrent circuli per les bobines en un sol sentit. No permet la circulació d'intensitat per totes les bobines del motor alhora, el que fa reduir el parell motor fins a un 40%. Això presenta problemes a la hora d'arrancar i en moviments de baixa freqüència.

Com podem veure a la Figura 12, les bobines tenen connexions intermèdies que podríem apreciar amb 5 o 6 fils de sortida. La forma d'alimentar aquest motor consisteix en posar a massa la presa central i anar aplicant, segons una seqüència determinada, polsos de voltatge a un extrem de la bobina i a l'altre (mai simultàniament). De tal manera que la intensitat que circula per cada mitja bobina sempre ho fa en el mateix sentit, utilitzant un o varis connectors centrals a les bobines com a drenador o col·lector.

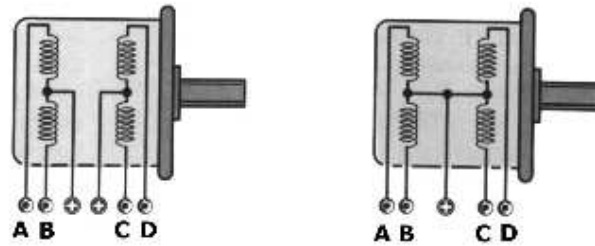


Figura 12: Esquema de diferents connexions de motors pas a pas amb configuració unipolar (sense connexió entre preses intermèdies i amb connexió de preses intermèdies).

Connexió bipolar

Aquest altra tipus de connexió és en el qual el sentit de la circulació de la corrent a través de les bobines pot canviar-se des del controlador successivament per generar els camps magnètics corresponents. Presenta un aprofitament major de les prestacions del motor, ja que es pot fer circular corrent per totes les bobines alhora. Per tal d'alternar les tensions entre els dos terminals de la bobina per dur a terme el canvi de sentit de la corrent, exigeix que el controlador disposi de dos ponts complets (que introduïrem més endavant).

Tal com veiem a la Figura 13, es distingeixen per presentar 4 connexions externes, una per a cada extrem de les bobines.

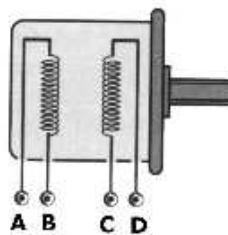


Figura 13: Motor pas a pas amb connexió bipolar.

Per a governar aquest últim tipus de connexió de motors pas a pas d'íman permanent generalment s'utilitza una configuració molt estesa; convencional però robusta: els ponts en H.

3.2.3.4. Control del motor pas a pas: Ponts en H

Per a controlar motors pas a pas mitjançant hardware el circuit electrònic més utilitzat són els **Ponts en H** (majoritàriament de transistors). S'anomenen així degut a la seva representació gràfica del circuit (Figura 14). Està construït per 4 interruptors, ja siguin mecànics o transistors. Quan els interruptors Q1 i Q4 es troben tancats i els Q2 i Q3 oberts, s'aplica una corrent positiva entre els terminals A i B (en el cas de tenir-hi connectada la bobina de l'estator del motor). Per contra, obrint Q1 i Q4 i tancant Q2 i Q3 s'obté una tensió de sentit contrari entre A i B.

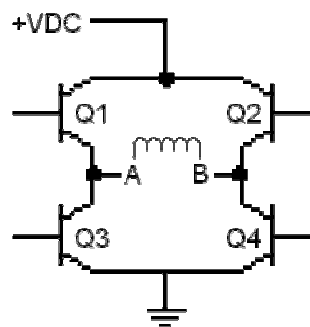


Figura 14: Pont en H.

Així, alternant els interruptors d'aquesta manera, es pot invertir la polaritat del camp magnètic, necessari i crucial a l'hora de controlar el motor pas a pas.

Es poden trobar esquemes dels Ponts en H on apareixen un parell més de transistors o interruptors per tal d'obrir o tancar les senyals reguladores dels dos grups d'excitació. Així es podria controlar el circuit amb només dues senyals.

Cal tenir en compte que els parell Q1-Q3 i Q2-Q4 no estiguin tancats alhora ja que d'aquesta manera es crearia un curtcircuit entre la font d'alimentació i el terra, sent possible que es cremessin els transistors i es causessin danys al motor i a la font d'alimentació.

Com s'ha comentat anteriorment, per a governar les corrents d'un motor pas a pas d'iman permanent de dues bobines a l'estator amb connexió bipolar són necessaris dos Ponts en H.

3.2.4. El motor pas a pas de la bomba LPVX

Després de fer aquesta catalogació de motors pas a pas es veu que el motor utilitzat en les bombes LPVX és un motor pas a pas d'iman permanent amb connexió de 4 fils, és a dir, que es regularà amb configuració bipolar, amb la que es pot obtenir parell motor elevat. Aquesta configuració és la que s'observa a la Figura 15, on a més a més es presenta la seqüència de control per a governar el seu sentit de gir.

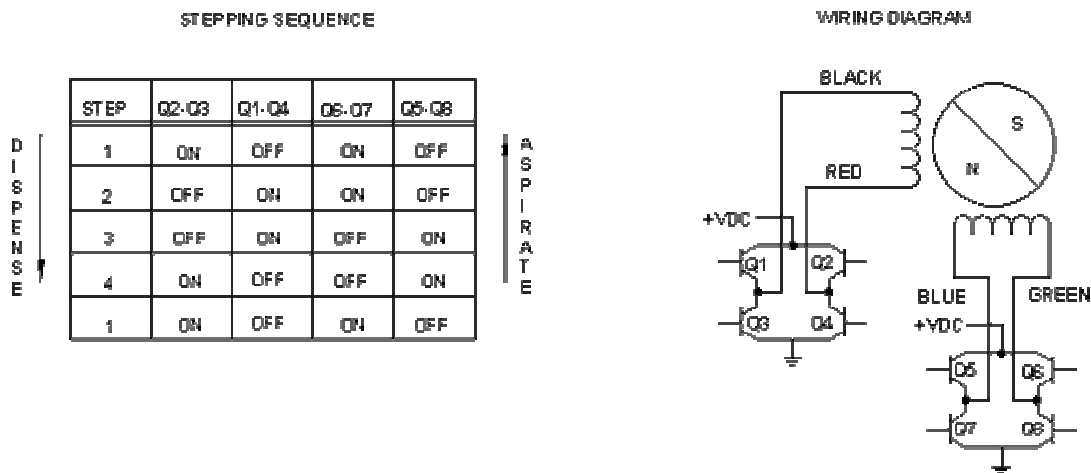


Figura 15: motor pas a pas de les bombes LPVX.

Un cop vist com es governa el motor que regula aquest tipus de bomba i com aquests són capaços de canviar el seu sentit de rotació depenent de les senyals de control dels Pots en H, és més fàcil d'entendre com aquestes bombes aspiren o expulsen fluid de dins la seva cambra.

A continuació es presenten els diferents modes de treball de la bomba depenent de la connexió a altres actuadors immediats: les vàlvules.

3.2.5. Modes d'utilització de la bomba LPVX

Aquest tipus de bombes - xeringa poden funcionar amb diferents configuracions gràcies a que la seva cambra posseeix directament una doble entrada/sortida. Aquests dos orificis es poden utilitzar simultàniament, alternades o pot fer-se'n servir una i tapar l'altra indiferentment.

Generalment s'utilitzen les configuracions següents:

Aspirar i Dispensar directament.

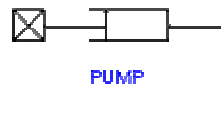


Figura 16: Configuració aspirar/dispensar directament.

Tal com es veu a la Figura 16, aquesta configuració es basa en la incorporació d'un tub a l'entrada/sortida principal de la bomba. Al tenir la cambra i el tub de succió plens del fluid a dispensar el funcionament és comparable al d'una xeringa, és a dir, el fluid entra i surt per la mateixa obertura amb el moviment del pistó dins l'èmbol.

Bomba connectada a una vàlvula de tres vies

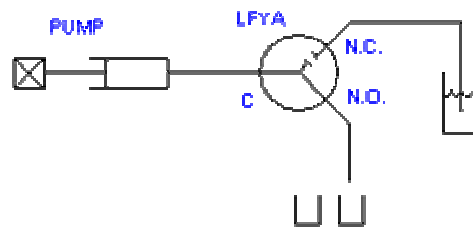


Figura 17: Bomba connectada a una vàlvula de tres vies.

En canvi, es connecta l'obertura principal a una vàlvula de tres vies com en la Figura 17, s'aconsegueix una configuració i funcionament diferent.

Una vàlvula de tres vies permet permutar el port comú de la vàlvula amb les altres dues obertures, de tal manera que, connectant el port comú a la sortida de la bomba, es pot aconseguir un moviment lineal del fluid a través dels altres dos connectors (emissor - receptor) quan es van alternant les posicions de la vàlvula conjuntament amb el moviment del motor (aspirar o dispensar).

Bomba connectada a dues vàlvules de dos vies

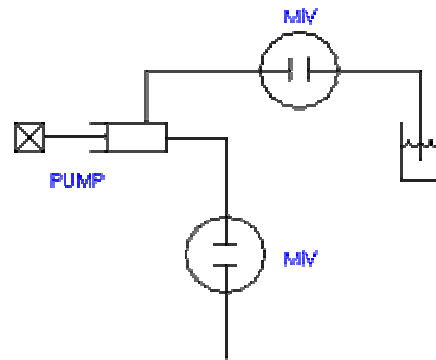


Figura 18: bomba connectada a dues vàlvules de dues vies.

Aquesta configuració utilitza les dues connexions que posseeix la cambra, de manera que són necessàries dues vàlvules d'un únic camí per a poder controlar el moviment del fluid (Figura 18).

Aquesta permet un funcionament similar a la anterior configuració, però oferint una precisió superior degut a que les vàlvules de tres vies sempre poden incorporar un petit volum de permutació. En canvi les de dos vies, no n'acostumen a produir.

Així, per a optimitzar la precisió si el que es desitja és assimilar el funcionament al d'una bomba peristàltica, aquesta seria la configuració adient.

Vistes aquestes possibilitats, cal esmentar que en aquest projecte s'ha utilitzat la primera configuració d'Aspirar i Dispensar. Posteriorment, si es vol canviar la configuració de la bomba a una funció més similar a la d'una bomba peristàltica i es posseeix el control digital de les vàlvules utilitzades mitjançant la targeta d'adquisició de dades, caldria fer una senzilla modificació del programari de control.

El control dels actuadors es realitza mitjançant sistemes d'instrumentació que permetin a l'usuari interactuar de manera senzilla amb el dispositiu a controlar.

Aquests sistemes actualment s'implementen mitjançant el que anomenem la Instrumentació Virtual que es descriu a continuació.

3.3 Instrumentació virtual

La instrumentació virtual fa referència a l'ús d'un PC o PDA com a instrument de mesura per a fenòmens físics com ara temperatura, pressió, caudal etc. Va més enllà de la mesura de corrent i voltatge ja que permet analitzar, emmagatzemar, processar o enviar les dades que s'adquireixen del fenomen a mesurar [6].

Els principals avantatges són:

- la personalització de cada instrument,
- la ràpida incorporació de noves tecnologies,
- la millora de la qualitat de les mesures,
- el baix cost per canal i funció
- i sobretot la alta flexibilitat i funcionalitat que ofereix.

Per contra

- s'ha d'anar actualitzant el programari (pagament de llicències i problemes d'actualització),
- s'han d'utilitzar targetes d'adquisició i distribució de dades que presenten un cost addicional,
- i s'han d'acondiconar de les senyals per a introduir-les o distribuir-les mitjançant aquestes targetes.

A continuació es presenten dos elements bàsics en la Instrumentació Virtual: **LABVIEW**, una de les eines més utilitzades en el desenvolupament d'Instruments Virtuals i les **targetes d'adquisició i distribució de dades**.

3.3.1. LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) és un sistema de programació gràfic dissenyat per al desenvolupament de diferents aplicacions com l'anàlisi i l'adquisició de dades i el control d'instruments [7].

Aquest programa ofereix la possibilitat de crear un entorn gràfic de fàcil utilització i aconseguir una programació d'alt nivell.

LabVIEW està especialitzat en la *Instrumentació Virtual*, amb una programació d'alt nivell gràfica basada en sistemes de finestres i amb un entorn de fàcil utilització.

Així s'utilitzen els ordinadors per a realitzar mesures (de temperatura, pressió, caudal, ...) o controlar instruments o sistemes sencers aprofitant les característiques de potència de càlcul, productivitat, capacitat de visualització gràfica i capacitat de connexió amb altres dispositius per a optimitzar els resultats que ofereixen els ordinadors.

Cal esmentar que quan es programa amb LabVIEW es treballa sobre 2 finestres molt diferenciades.

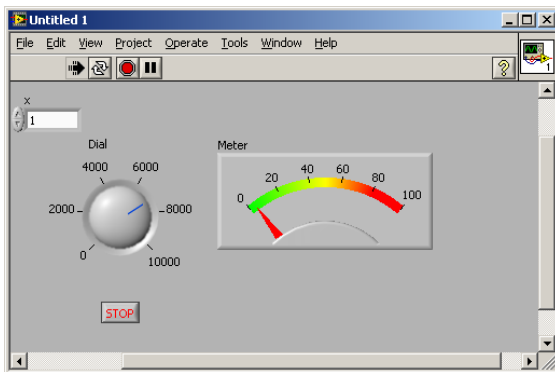


Figura 19: Front Panel.

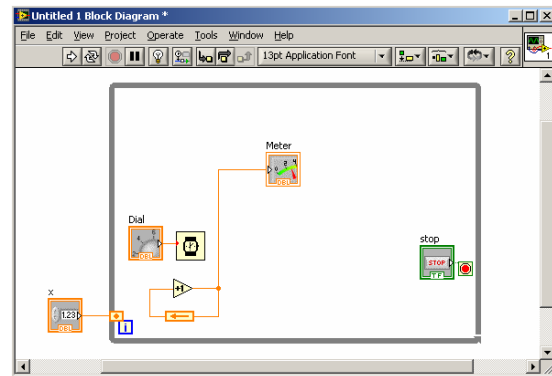


Figura 20: Block Diagram.

La primera, la més visual, és el Panell Frontal (*Front Panel*) que es pot veure a la Figura 19, on s'introdueixen els controls i els indicadors que simulen l'instrument físic. Serà l'encarregat de fer d'interfície entre el programa i l'usuari, i serà aquí on es presentaran les dades, i on es controlarà i manipularà l'instrument. Tots els elements que calgui introduir-hi, ja siguin indicadors,

actuadors, controls o simplement elements estructurals, es troben dins la Paleta de Control (Figura 21), estructurats segons la seva naturalesa.

Per altra banda, el lloc on hi haurà la programació purament dita serà el Diagrama de Blocs (*Block Diagram*). Aquí es pot apreciar l'estructura del programa, la seva funció i algorisme de forma gràfica (llenguatge G), en el qual les dades circulen a través de línies (veure Figura 20). El flux d'aquestes dades va d'esquerra a dreta, i es pot observar com el programa és seqüencial. Totes les funcions es troben catalogades dins de la Paleta de Funcions (Figura 22).

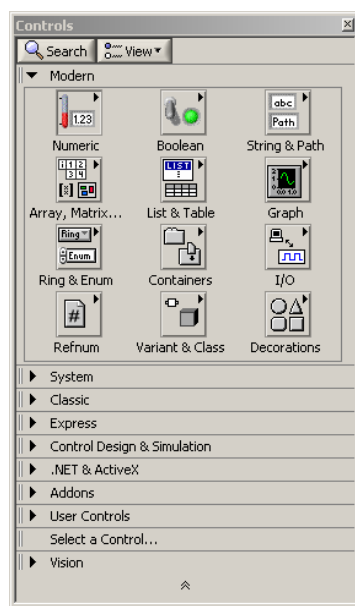


Figura 21: Control Palette.

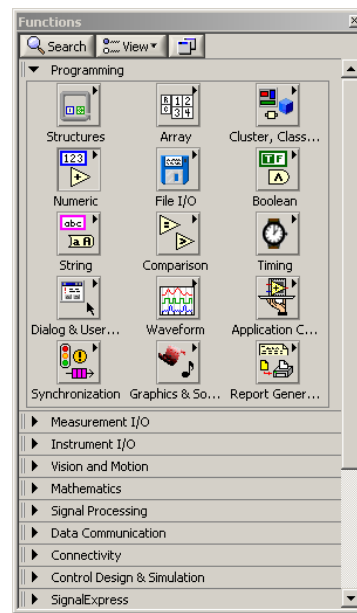


Figura 22: Functions Palette.

A més a més, tenim la Paleta d'Eines (*Tools Palette*) de la Figura 23 per ajudar-nos en la confecció tant del Diagrama de Blocs com del Panell Frontal, que permet seleccionar la funció del cursor del ratolí, ja sigui per a modificar un text, manipular controls, moure algun element, crear línies de flux de dades, etc.



Figura 23: Tools Palette.

Per a fer córrer un sol cop l'aplicació creada, com per a executar-la continuadament, pausar-la, aturar-la o visualitzar-la pas per pas per comprovar el seu funcionament; el programa consta de la Paleta d'Execució (Figura 24).



Figura 24: Execution Palette

Fent ús d'aquest llenguatge seqüencial referit a objectes i el seu flux de dades a través de diagrames mitjançant aquest programa obtenim els següents **avantatges**:

- compatibilitat amb eines de desenvolupament similars y la possibilitat de treballar amb programes com ara Matlab o fulls de tractament de dades, a més de tenir la possibilitat de transportar els codis d'un sistema operatiu a l'altre (Windows - Linux)
- fàcil integració amb el maquinari, de medicació i de processament (incloent imatges), especialment targetes d'adquisició de dades, així com cal destacar la seva integració en xarxes, comunicacions, bases de dades, etc.
- fàcil de manejar degut al nou sistema de programació gràfica (*llenguatge G*).
- és un programa enfocat directament a la instrumentació virtual, amb eines potents com ara botons, indicadors, controls... molt esquemàtics i versàtils.

Un cop es s'ha realitzat un programa que permeti controlar un sistema o instrument, per acabar d'arrodonir la instrumentació virtual, cal comunicar les dades cap a l'exterior. Així a continuació es presenta l'eina utilitzada per a tal efecte.

3.3.2. Targeta d'Adquisició i Distribució de Dades.

Els sistemes d'**adquisició i distribució de dades** funcionen a mode d'interfície normalment entre sistemes digitals i sistemes analògics, i sistemes digitals entre sí. Quan es parla de l'entrada d'informació cap al sistema digital, es parla

d'adquisició de senyals (o dades), mentre que la sortida d'informació del sistema digital es denomina **distribució** [6].

Les **targetes d'adquisició i distribució de dades** (normalment anomenades simplement targetes d'adquisició de dades) són les encarregades d'efectuar aquesta comunicació entre el sistema a controlar amb l'ordinador i viceversa.

Així l'**adquisició** de dades es basa en agafar mostres del món real (sistema analògic) per a **generar dades que puguin ser manipulades per un ordinador** (sistema digital). En altres paraules, consisteix en agafar un conjunt de variables físiques, convertir-les en tensions analògiques elèctriques i digitalitzar-les.

La **generació** de senyals funciona en sentit contrari, és a dir, a partir d'unes dades digitals (a partir de determinades especificacions de funcionament del sistema) **es generen senyals, ja siguin analògics o digitals capaços de regular els actuadors dels sistema.**

Molts cops és necessària una etapa d'acondicionament per adequar les senyals a nivells compatibles amb els elements que hi intervinguin, tant en l'adquisició com en al distribució.

Val a dir que actualment **moltes de les dades que es volen controlar ja tenen una naturalesa digital** i merament el sistema es limita a funcionar com a pont entre l'ordinador i l'exterior.

Aquestes targetes poden ser connectades als ordinadors mitjançant les ranures de la placa mare (PCI, ISA) o als ports (paral·lel, sèrie, USB, etc.) depenent del model.

Les principals característiques que observem a la hora d'adquirir una d'aquestes targetes són:

- Número de **canals d'entrada analògica** (*Analog Inputs*). Aquests ports presentaran una sèrie de característiques que cal tenir en compte com ara: la resolució del convertidor analògic-digital o ADC (número de bits), el rang de tensions que són capaços de suportar, la màxima i mínima velocitat de mostreig, o la corrent màxima que hi pot circular.

- Número de **canals de sortida analògica** (*Analog Outputs*). Les seves especificacions són semblants a les anteriors, però referint-se a les senyals de sortida: resolució del convertor digital-analògic o DAC, rang de tensions de sortida, corrent de sortida, resolució temporal, etc.
- Número de **canals digitals** (*Digital I/O*). Aquest tipus de ports, al ja tindre una naturalesa digital, es poden fer servir tant d'entrada (*Input*) com de sortida (*Output*). Les especificacions bàsiques a mirar són: voltatge màxim i mínim d'entrada, voltatge màxim i mínim de sortida, freqüència màxima de rellotge, etc.

National Instruments, la mateixa casa que proporciona el programari d'instrumentació virtual esmentat, ofereix una àmplia gamma de targetes d'adquisició de dades amb una compatibilitat excel·lent amb LabVIEW. Entre elles en destaquem les anomenades targetes d'adquisició de dades *Low Cost* o anomenades també *Serie M* com les que es poden veure a la Figura 25. Aquestes a més a més de ser de baix preu, ens ofereixen una àmplia gamma de possibilitats en la major part dels casos, sobretot per a sistemes senzills que no requereixen un gran nombre de senyals a governar.

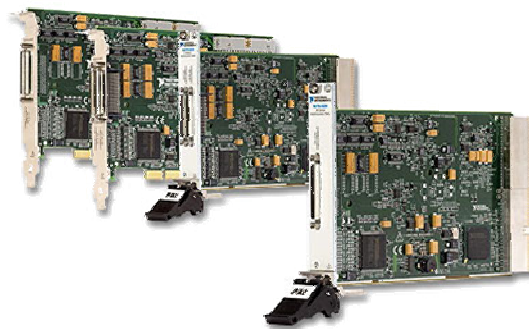


Figura 25: Sèrie de targetes d'adquisició de dades M-series de National Instruments.

S'ha de tenir en compte que en un laboratori químic sempre hi poden haver processos que s'hagin de produir amb condicions de perillositat més elevada del normal, amb la qual cosa mitjançant un cable suficientment llarg es permet controlar el sistema a distància.

Per tal de millorar els sistemes d'instrumentació, una aportació molt útil i senzilla pot ser el **funcionament remot de l'instrument**, és a dir, de poder governar el programa de control i amb això el sistema sencer des d'un altre ordinador a través de la xarxa d'Internet. Els avantatges són clars ja que permet **regular processos sota condicions hostils amb la seguretat de poder estar allunyat del procés o poder fer anàlisis d'un medi *in situ* i al moment.**

També fora possible mitjançant una connexió sense fils i un distribuïdor de senyals, poder regular un procés exterior com seria el control de la contaminació de les aigües d'un riu, la concentració de clor en una piscina o qualsevol altre procés des de la distància. A la Figura 26 es pot veure un exemple d'un sistema miniaturitzat d'anàlisi que es controla a distància, integrat tot dins d'una petita embarcació que rep ordres i envia les dades obtingudes del medi mitjançant un control remot.

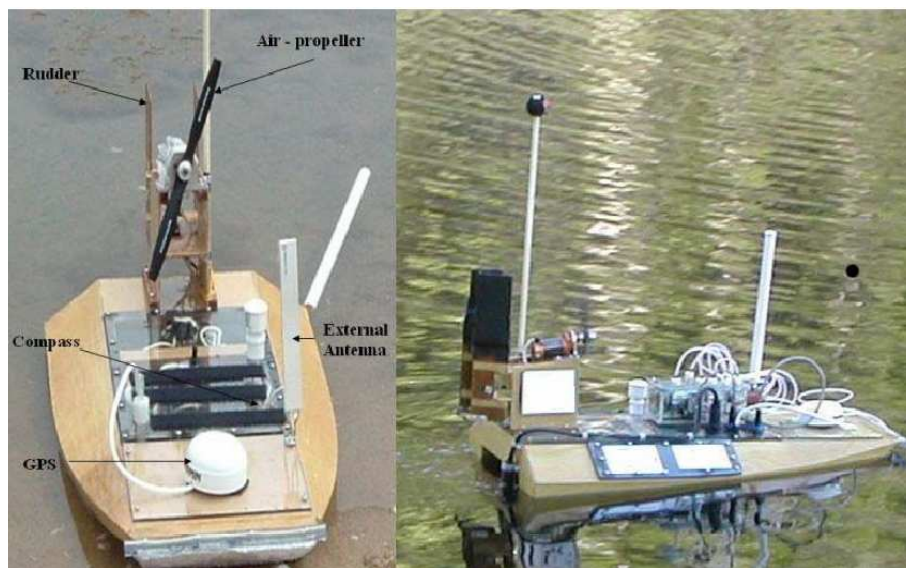


Figura 26: Exemple de control remot.

Per tal d'assegurar-se un bon funcionament, una altra aportació molt útil per al desenvolupament d'un sistema d'instrumentació analítica pot ser la **monitorització del procés**, és a dir, poder **veure una imatge en directe del que està succeint al procés** a governar; més encara quan es treballa remotament, ja que permet observar-ho a distància.

A continuació s'explica una mica més en detall les possibilitats que ofereix el programari en quant a aquests dos processos.

3.3.3. Control Remot

Per a poder controlar Instrument Virtual de manera remota des d'un altre ordinador mitjançant una connexió Internet, LabVIEW ofereix la possibilitat de fer-ho de dues maneres diferents, amb els seus corresponents avantatges i inconvenients.

Aquestes dues formes són l'establiment d'una **connexió directa** entre els dos ordinadors que es faran servir, el servidor i el client, i l'altre consisteix és penjar el programa dins d'una **plana web**.

Tots dos sistemes fan funcionar l'instrument de la mateixa manera i el resultat final és molt similar.

3.3.3.1. Mitjançant connexió directa TCP/IP

Quan es parla d'establir una connexió directa mitjançant el protocol TCP/IP (*Transmission-Control-Protocol / Internet Protocol*) es fa referència a la utilització de les direccions específiques de xarxa dels ordinadors a utilitzar per tal de dirigir-s'hi directament. Així s'estableix un lligam que permet intercanviar informació (dades) entre els dos ordinadors.

Aquest tipus de control remot permet obrir, mitjançant LabVIEW un *Visual Instrument* (partir d'ara VI) que es troba a un altre ordinador. Però per a fer-ho s'ha de conèixer **la direcció IP** d'aquest servidor i **el port** utilitzat com a entrada i sortida de dades des de LabVIEW. També s'haurà de saber **el nom del VI** que interessa controlar a distància i que haurà d'estar guardat al servidor.

Com a característiques principals s'ha de remarcar que per a fer servir aquest tipus de connexió cal que els **dos ordinadors tinguin instal·lat el programa LabVIEW**, ja que les aplicacions corren des de dins el mateix programa. Tanmateix, es trobaran problemes de compatibilitat si les versions que s'utilitzen en ambdós ordinadors no són les mateixes, i no ens permetrà realitzar la connexió. Per contra, utilitzant aquesta metodologia, al no estar

enviant dades addicionals, s'obté un rendiment de velocitat de transmissió una mica més elevat, sense ser però un factor molt destacable. Tot i així, la velocitat de transmissió es pot veure afectada per la velocitat de processament ja que s'ha d'estar executant LabVIEW.

3.3.3.2. Mitjançant servidor web html

Per altra banda, LabVIEW també ofereix la possibilitat de poder **accedir als panells d'aplicacions a distància penjant el VI en una plana web** on a més a més permet introduir-hi un títol, una explicació de l'aplicació a sobre del panell i una altra a la part inferior, aportant informació del funcionament o funcionalitat de l'instrument a distància.

A la hora de penjar el VI al web, es pot escollir entre varies opcions depenent de la finalitat amb la que es pengi l'Instrument Virtual: poder-lo controlar a distància, visualitzar-ne només una imatge o obtenir una imatge cada cert temps.

Aquesta opció potser és més atractiva de cara a que l'ordinador remot, des de on es visualitzarà o governarà el control de l'instrument, no cal que tingui instal·lat el programa LabVIEW. Tot i així, si la opció desitjada és la de controlar l'instrument, cal instal·lar un *pluguin* addicional al explorador que es faci servir. Un *pluguin* és una aplicació que es relaciona amb una altra per tal d'aportar-li una funció nova i generalment molt específica. Aquest complement és l'anomenat *LabVIEW Run Time Engine* (que es pot descarregar gratuïtament des de la web oficial de *National Instruments* [7]).

Ambdues maneres de governar a distància el programa de control són bones, tot i que a efectes pràctics, molts cops es convenient **escollir la segona opció** (mitjançant un servidor web) per **avantatges de mobilitat entre ordinadors** fora dels laboratoris que no tinguin instal·lat el programa (o una versió diferent a la utilitzada en el laboratori) i facilitar-ne l'accés.

Cal remarcar que LabVIEW també incorpora un conjunt de proteccions d'accessibilitat als panells remots. Així es poden configurar tant els usuaris que poden accedir-hi, com els VI als que es poden accedir com si es vol una visualització o un control dels panells remots. La seva implementació s'explicarà més endavant.

3.3.4. Monitorització

Existeixen diverses maneres d'implementar un seguiment visual del procés, però aquest projecte es centren les que ens ofereix el mateix programa de control que es fa servir per a crear l'instrument virtual doncs al cap i a la fi es vol que acabi formant part del propi instrument.

Una manera econòmica que es troba d'implementar-ho és mitjançant una *webcam* amb connexió USB a l'ordinador. LabVIEW en un principi no incorpora un controlador per a poder-la governar, però es pot descarregar gratuïtament el paquet **NI-IMAQ USB** des del web oficial de *National Instruments*.

El *Driver NI-IMAQ per a càmeres USB* [7] suporta qualsevol dispositiu amb un filtre *DirectShow*. Actualment, per regla general, qualsevol càmera USB, micròfon, escàner, gairebé qualsevol càmera IEEE-1394, i fins i tot adaptadors de vídeo que converteixi una senyal de vídeo analògica a USB compten amb aquest filtre. No està destinat a aplicacions de visió d'alt nivell, ja que les càmeres amb aquest filtre normalment són equips comercials, amb baixa resolució comparats amb les opcions disponibles amb l'estàndard IIDC/DCAM per a usos industrials (National Instruments també proveeix el *driver* de *NI-IMAQdx* per a comunicar-se amb càmeres IIDC/DCAM).

El Driver de *DirectShow* està destinat a aplicacions acadèmiques i usuaris per a adquirir imatges sense importar que no siguin d'alta qualitat. Aquest filtre normalment comprimeix les imatges i agrega degradació per compressió que causen que la imatge sigui difícil de processar. A més a més, no permet rebre imatges de més d'una càmera a la vegada.

Aquest *driver* ha d'anar d'acord amb la versió de LabVIEW que es tingui instal·lada. A l'hora d'aplicar aquest paquet de llibreries, es demana tenir prèviament instal·lat el programa *Vision Development Module*. Aquest programa sota llicència de *National Instruments* serveix per a poder operar i processar sobre imatges mitjançant LabVIEW. No és de llicència lliure, però és possible instal·lar-se'n una versió d'avaluació sense problemes. Així es necessita instal·lar simplement aquesta versió per a poder aplicar el paquet de llibreries de *NI IMAQ USB*, ja que quan aquesta llicència caduqui, es podrà continuar fent servir *NI IMAQ USB*.

Un cop complerts aquests requisits, generar un mòdul o bloc dins el programa de control que governi la càmera és relativament senzill seguint els múltiples exemples que es poden trobar de totes les utilitzacions permeses com:

- la obtenció d'una sola imatge,
- la successió d'aquestes amb intervals programables,
- la visió dinàmica de la imatge
- la gravació d'aquesta.

4. DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

En termes generals, el que es vol aconseguir amb aquest projecte és el control de la microbomba LPVX explicada a la introducció per funcionar a mode de xeringa.

Per dur a terme aquest requisit s'ha dissenyat un sistema basat en una Instrumentació Virtual que permet, a través d'un ordinador, governar un controlador de motors pas a pas que regularà el funcionament de l'actuador.

A més a més s'ha afegit una càmera web per a visualitzar el procés al panell del instrument i finalment s'ha implementat tot el sistema per a poder ser regulat a distància mitjançant Internet.

4.1 Esquema general de la instrumentació

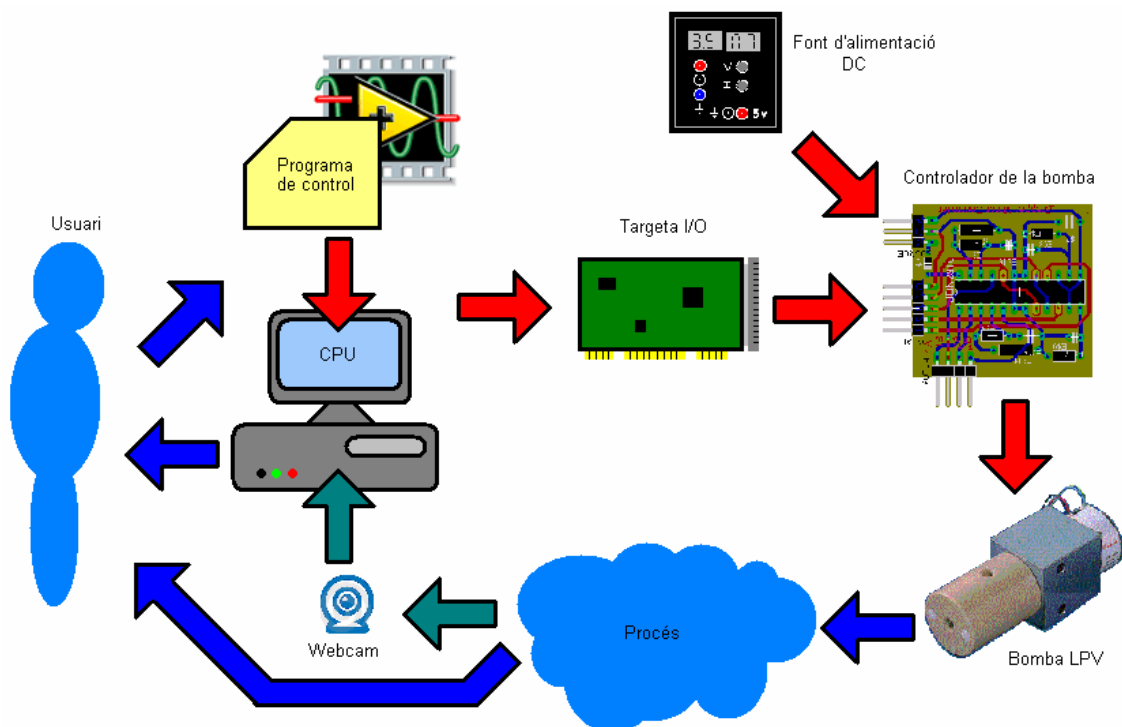


Figura 27: Esquema del sistema d'instrumentació directa.

Com podem veure a la Figura 27 el resultat del sistema a implementar és un sistema d'instrumentació virtual de falç llaç tancat.

L'anomenem falsament tancat perquè tot i tenir un controlador del procés, aquest és simplement visual i no es regularà automàticament. Així doncs, l'encarregat de tancar el llaç serà l'usuari de l'aplicació [8].

A la Figura 27 també podem veure tots els elements que hi intervindran.

En primer lloc es pot veure el **programa de control** que funcionarà d'interfície entre l'usuari i el sistema i que es descriurà més endavant, desenvolupat sota l'entorn de LabVIEW. Aquest programa utilitza la **Unitat Central de Processament** (CPU) de l'ordinador per a realitzar els càlculs adients i necessaris. Un cop es té el programa executant-se, es necessita enviar les dades resultants cap a l'exterior. Per a fer-ho s'utilitza una **targeta d'adquisició i distribució de senyals**. Concretament s'utilitzarà la targeta multifuncions de la gamma de baix cost de *National Instruments PCI 6221 M (68-pin)*. Aquesta targeta permet enviar les dades a un circuit integrat per al control de motors pas a pas.

Aquest controlador és necessari per a fer funcionar el motor ja que la potència subministrada per la targeta no és la mateixa que el motor necessita. Conseqüentment s'ha dissenyat un **circuit controlador** que farà d'acondicionador entre les senyals generades pel programa de control i el motor. Aquest controlador s'ha realitzat basant-se en el microxip *UDN2916B(DIP)* d'*Allegro MicroSystems*, que també s'explicarà més endavant.

Aquest circuit cal alimentar-lo, i és per això que està connectat a una **font d'alimentació** que proporcionarà al microxip del controlador una tensió de 5v necessària per al seu funcionament i al motor la tensió necessària un cop haver acondicionat la senyal.

El **motor**, adjunt al cos de la **bomba LPVX**, excitarà el pistó i farà funcionar l'actuació resultant.

Per a controlar el procés s'ha introduït una **càmera web** que plasmarà les imatges al programa de control a l'ordinador, a fi que l'**usuari** (o operari) pugui fer un seguiment del funcionament del procés.

L'esquema del sistema d'instrumentació s'amplia quan s'introdueix el control remot per Internet (Figura 28), ja que convé incorporar el sistema inicial a la xarxa mitjançant una **connexió a Internet**, i **un altre ordinador** per a governar remotament el programa, aquest també **connectat a Internet**.

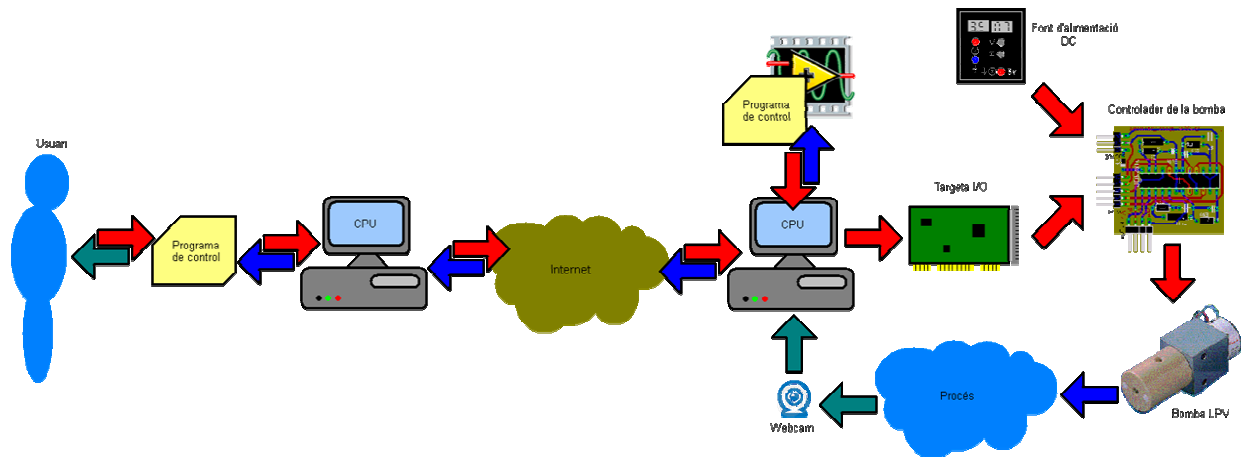


Figura 28: Esquema general utilitzant control remot.

A continuació s'explicaran detalladament el disseny i el desenvolupament de les etapes que formen part d'aquest sistema.

4.2 Circuit de control

A la introducció s'ha fet un petit repàs del que és un Pont en H. S'ha vist també que per a governar un motor pas a pas d'iman permanent amb una connexió bipolar cal la utilització de dos ponts d'aquestes característiques.

Així, abans de fer el disseny en sí cal escollir un microxip de control que contingui els ponts en H i estudiar-ne el funcionament.

En el mercat actual existeixen varis models de microxips específics per a governar senyals com les que es necessiten que basen el seu funcionament en Ponts en H. Generalment, es poden diferenciar per tres qualitats diferenciadores:

- el nombre de Ponts en H que contenen,

- el mode d'activació de les sortides (ja sigui a partir d'una sola senyal de rellotge o a partir d'una senyal per a cada fase)
- el rang de voltatge i corrent que són capaços de suportar.

D'acord amb les especificacions de les bombes LPVX, es pot veure que les demandes de corrent i tensió no són gaire significatives, doncs amb una resistència interna per cada fase (R_{fase}) d' 11Ω i un rang de corrents per fase (I_{fase}) entre els 260 i 340mA (mínim i màxim entre les dues bombes) tan sols es necessiten **tensions entre 3 i 4V**. Tanmateix es necessiten **dos Ponts en H**. Així que el **que s'ha d'escollir és la senyal d'entrada**, si es genera a partir d'un pols de rellotge o a partir de dues senyals diferenciades.

L'elecció finalment es decanta cap a la generació de **dues senyals diferenciades** per a permetre **més flexibilitat en el disseny**, i especialment cap al microxip **UDN2916B** de *Allegro Microsystems*.

4.2.1. El microxip UDN 2916 B

Aquest microxip UDN2916B de la Figura 29 (Annex 3) està compost per dos Ponts en H i dos controladors del corrent mitjançant Modulació per Amplitud de Polsos o PWM (*Pulse Width Modulation*). Està especialment dissenyat per a generar seqüències de motors pas a pas o la direcció de dos motors en continua.

Els dos controladors PWM serveixen per a poder regular la potència que s'envia pel Ponts en H. D'aquesta manera permeten regular:

- la potència necessària per a regular seqüències de mig pas o *half-step* (aquestes consten en 8 passos, en els quals apareixen entre cadascun dels quatre passos convencionals quatre passos més on sols exciten una de les bobines, sent necessària més potència per a generar el mateix parell motor),
- seqüències específiques en motors amb càrrega per arrencar-los sent necessària més potència per a superar el parell motor exercit per la càrrega,

- la velocitat en motors en contínua, variant aquesta segons la intensitat que se'ls envii.

Amb aquest microxip es pretén crear la interfície que relacioni les senyals generades amb l'ordinador i el motor de la bomba.

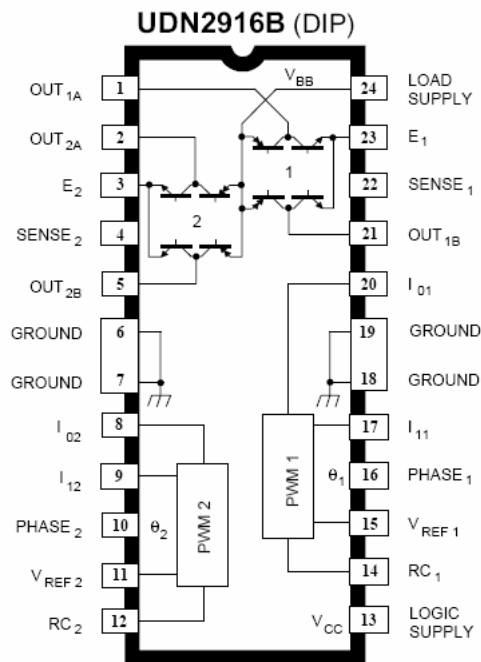


Figura 29: Esquema intern i connexions del controlador UDN2916B.

Com a principals característiques en destaquem:

- que està limitat a un corrent de sortida de 750mA, adequant-se a la suma del corrent de les dues fases de la bomba amb més demanda ($2 \times I_{\text{faseMAX}} = 2 \times 340\text{mA} = 690\text{mA} < 750\text{mA}$),
- que a més a més permet controlar per l'usuari el màxim corrent de sortida al 0, 33, 67 o 100% del corrent de sortida mitjançant PWM,
- que permet un voltatge d'operació de fins a 45V, molt superior al que es necessita, però que compren el valor a utilitzar,
- que conté díodes de protecció front a les transicions del valor de les inductàncies (permutació del sentit del corrent que hi circula).

- i que conté una protecció tèrmica que deshabilita les sortides si la temperatura excedeix el límit d'operació segura.

A més a més, existeix la possibilitat d'obtenir el microxip en diversos encapsulats: DIP, PLCC i SOIC. El que s'utilitza en aquest projecte és el DIP (de les sigles en anglès de *Dual In-Line Package*) degut al seu baix cost i la facilitat d'integrar-lo sobre un circuit imprès (PCB) o en una *protoboard* a l'hora de fer-ne el primer prototip

Si es mira el seu esquema de connexions de la Figura 30 es pot veure un primer esquema del disseny del circuit de control.

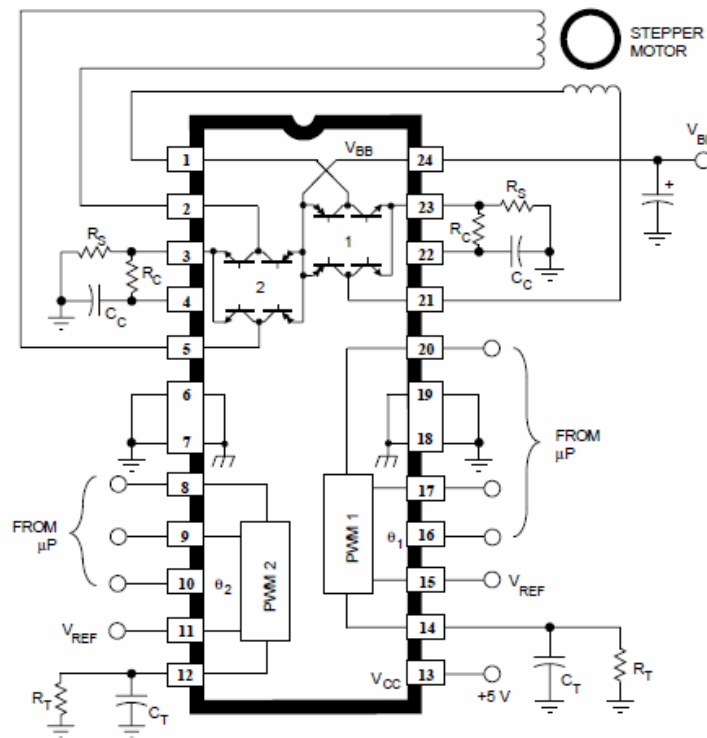


Figura 30: Esquema de connexions del UDN2916B (DIP).

S'observa que són necessàries sis senyals de control des del microcontrolador o l'ordinador (a la figura apareix com a *FROM μP*). Aquestes són la **FASE1**, la **FASE2** i els controls de la intensitat I_{00} , I_{01} , I_{10} i I_{11} , tot i que aquestes 4 últimes les podem ajuntar amb tan sols dos, ja que les dues fases responen a les mateixes característiques tal i com veurem més endavant ($I_{00} = I_{10}$ i $I_{01} = I_{11}$).

La tensió que proporcionarà el pas de corrent per les bobines del motor és la que es descriu com a V_{BB} (pin 24), i la que proporcionarà el voltatge de 5V per al funcionament del microxip és V_{CC} (pin 13).

Els dos ponts en H finalment proporcionen quatre sortides (OUT_{1A} , OUT_{1B} , OUT_{2A} i OUT_{2B}), governades dos a dos per les senyals de les dues fases ($FASE_1$ i $FASE_2$). Aquestes senyals de sortida són les que proporcionen la diferencia de potencial entre els dos terminals de cadascuna de les dues bobines.

En el cas que es du a terme s'ha configurat una potència sempre igual en els 4 passos del motor, ja que en tots ells s'exciten les dues bobines i no existeixen variacions aparents en necessitats d'intensitat. Tanmateix el parell motor necessari tant per a treballar continuadament com per a arrancar el motor no són aspectes significatius. Per tal de no fer treballar el microxip a la màxima potència allargant així la seva vida útil, s'ha escollit treballar utilitzant el 67% de la intensitat total.

4.2.2. Disseny del circuit de control

Així doncs el resultat del disseny esmentat, basat en l'esquema de connexions que ens proporciona el fabricant del microxip, és el de la Figura 31.

S'han utilitzat valors estàndards dels components per tal de treballar dins els paràmetres normals dels microxip sense forçar-lo tal que:

$$\begin{aligned} R_c &= R_t = 1K\Omega \\ R_s &= 1\Omega \\ C_c &= C_t = 470pF \end{aligned}$$

La tensió d'alimentació del circuit (V_{BB}) es pot deduir a partir de les especificacions dels motors de les bombes:

Per a la bomba LPVX0502150BB, amb una corrent per fase d'entre 260 i 290 mA, normalitzant-lo a 275 mA; i una resistència per fase de 11Ω (Annex 1) tenim:

$$V_{fase} = R_{fase} \cdot I_{fase} = 11\Omega \cdot 275mA = 3,025V$$

Per a la bomba LPVX0502250BB, amb una corrent per fase d'entre 310 i 340 mA, normalitzant-lo a 325 mA; i una resistència per fase també de 11Ω (Annex 2) tenim:

$$V_{fase} = R_{fase} \cdot I_{fase} = 11\Omega \cdot 325mA = 3,575v$$

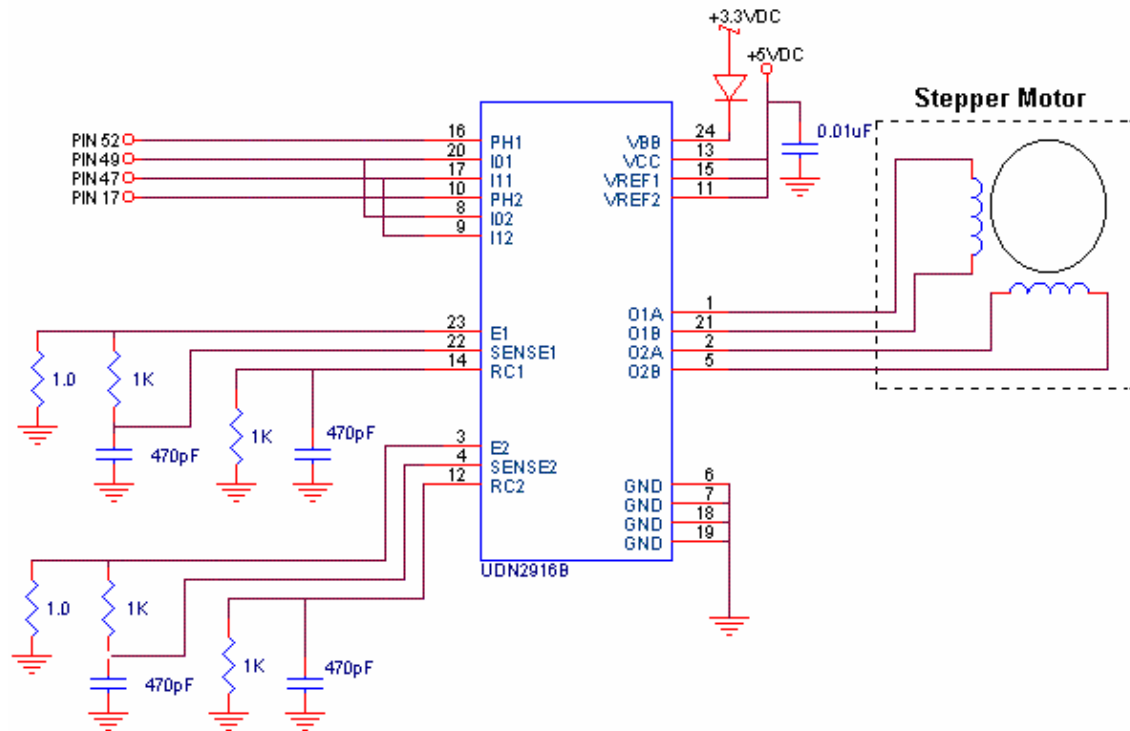


Figura 31: Disseny del circuit de control.

A efectes pràctics, veient la robustesa de les bombes, la tensió d'alimentació V_{BB} que proporcionarà V_{fase} s'ha regulat a 3,3V essent aquest valor un entremig de les dues tensions vàlids per al funcionament d'ambdós motors, tot i que podria variar-se als valors calculats anteriorment per a proporcionar un rang més òptim.

A l'esquema també es pot observar la incorporació d'un díode limitador de corrent que talla el corrent d'entrada a 700 mA, inferior a la suma màxima dels corrents possibles per a l'alimentació del motor. Aquest component s'ha introduït per tal de protegir el microxip per evitar l'activació del sistema de

protecció tèrmica del circuit que ens deshabilita les sortides curtcircuitant la font d'alimentació (V_{BB}) amb terra, inutilitzant el microxip.

Un cop dissenyat el circuit, aquest s'ha implementat físicament.

4.3 Fabricació del circuit de control

El primer pas a l'hora de iniciar la fabricació ha estat la creació d'un prototip en *protoboard*, per a verificar el funcionament. Un cop comprovat, s'ha traspassat el disseny a un circuit imprès.

4.3.1. Prototip en protoboard

La primera fase de prototipatge s'ha realitzat sobre una placa *protoboard* o tableta experimental. És una eina que ens permet interconnectar els elements electrònics sense la necessitat de soldar-los. Això és possible gràcies a la seva estructura de forats amb contacte de pressió on s'encerten les potes dels components.

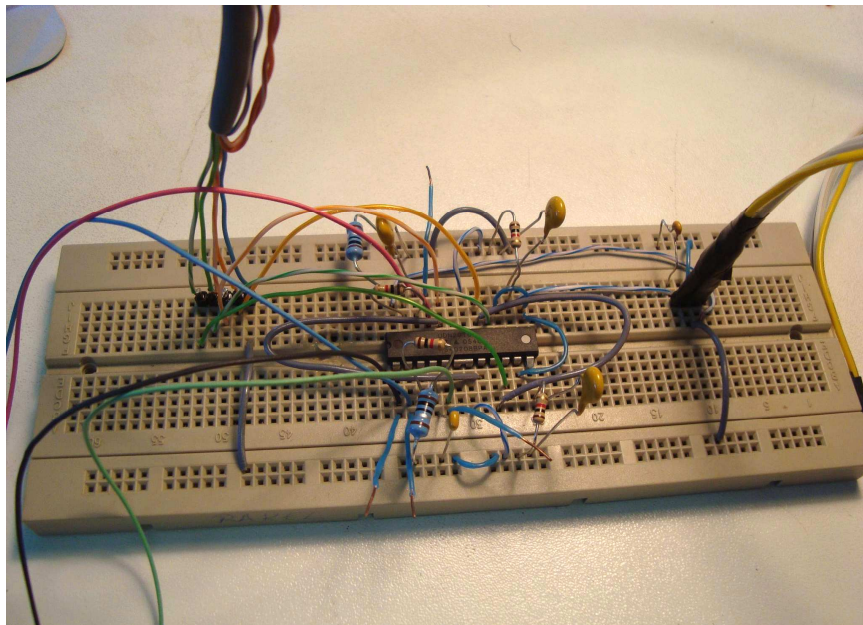


Figura 32: Prototip en protoboard.

A la Figura 32 es pot veure el resultat. Al centre s'hi ha col·locat el microxip per facilitar les connexions amb els elements (resistències i condensadors). A part del circuit s'aprecien els 3 entramats de cables: els procedents de la font d'alimentació (dreta), els procedents de la targeta d'adquisició de dades (esquerra) i els que van cap al motor de la bomba (fils solts: negre, vermell, blau i verd).

Per a testejar el funcionament, s'han realitzat comprovacions de les senyals d'entrada i sortida mitjançant un oscil·loscopi i un multímetre per a mirar el valor de les tensions, la forma de les senyals i la freqüència d'aquesta.

Un cop verificat el funcionament del circuit és el moment de fer un pas endavant en el prototip i es decideix implementar-lo en un circuit imprès que en reduirà les dimensions, el cablejat i n'augmentarà la maniobrabilitat. A més a més ordenarà les connexions externes aportant més robustesa i evitant males connexions.

4.3.2. Disseny del circuit imprès

El circuit imprès s'ha implementat en forma d'una petita placa PCB de aproximadament 3,5x3,5 cm.

Per dur-ho a terme és necessari dissenyar-lo primer mitjançant un programa especialitzat. En aquest cas s'ha utilitzat l'*EAGLE layout editor 4.11*.

El primer pas és introduït tots els elements tenint en compte les seves dimensions:

- 6 espais per a resistències (4 de 7,5mm i 2 de 10mm respectant la mida de les resistències escollides)
- 5 per a condensadors
- 1 per al díode
- 1 per al UDN2916B (DIP)

Per a les senyals externes s'han introduït connectors de diferents pins:

- 3 pins per a la senyal procedent de la font d'alimentació (5V, 3.3V i GND)

- 4 pins per a la sortida cap al motor (OUT_{1A}, OUT_{1B}, OUT_{2A} i OUT_{2B})
- 5 pins procedent de la targeta d'adquisició i generació de dades (FASE₁, FASE₂, I₀, I₁ més una senyal de terra de la interfície digital de la targeta per a interconnectar les terres).

Un cop inserits tots els components, existeix la possibilitat d'enrutar-los automàticament (havent-ne fet una connexió virtual abans) o de fer un enrutat manual. Quan parlem d'enrutar ens referim a unir els components amb les connexions necessàries, és a dir, de dibuixar el traçat que tindran les pistes sobre la placa.

En aquest projecte s'ha optat per a fer-ho manualment ja que l'automàtic generava més d'una *via* per passar d'una capa a una altra.

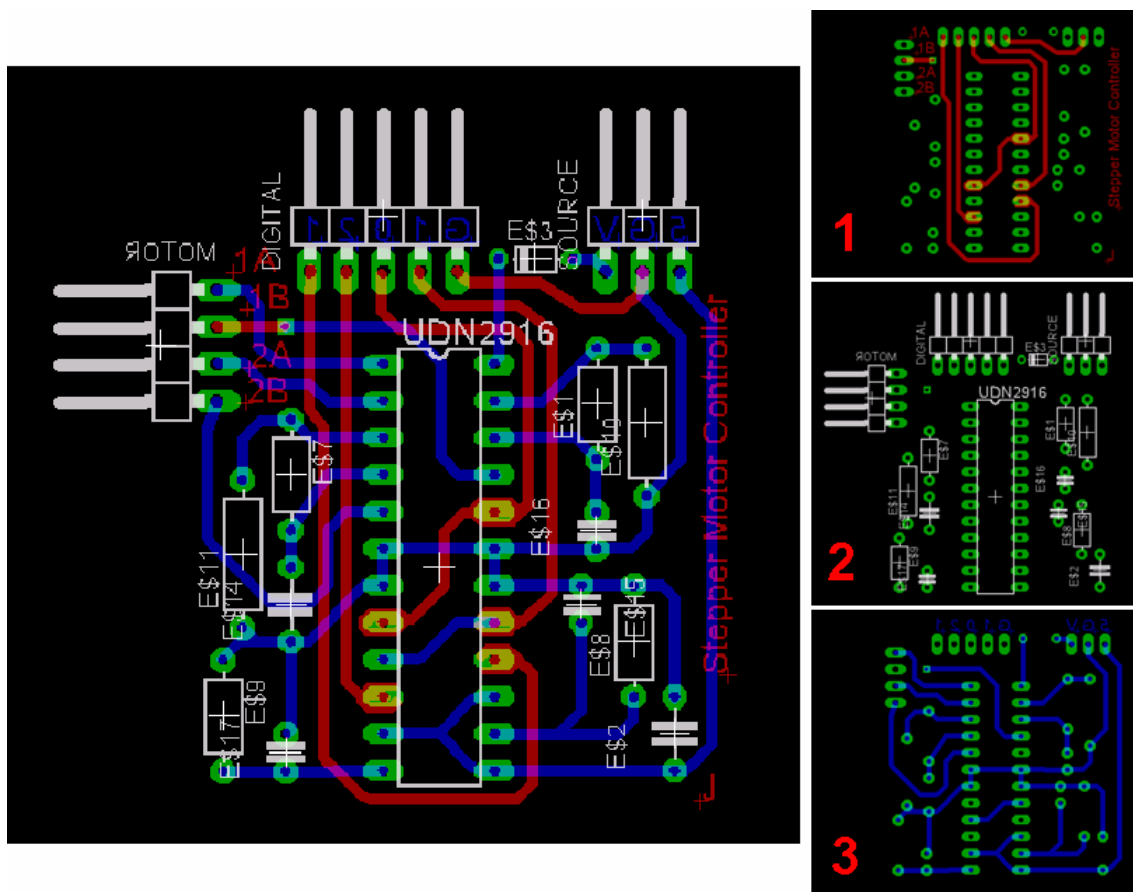


Figura 33: Disseny del circuit imprès.

El disseny d'un circuit imprès depèn de les capes que necessitem. En aquest cas, tal i com podem veure a l'esquema general de la Figura 33 el disseny que finalment es dibuixarà sobre la placa és el resultat de dues capes: la capa superior (*top*) representada a l'esquema 1 de la figura i la inferior (*bottom*), representada a l'esquema 3.

Aquests programes de disseny permeten afegir, treure i visualitzar o no visualitzar tot el seu conjunt de capes. Un exemple n'és la capa destinada als components (esquema 2 de la figura), la qual no serà impresa però ens és essencial per a fer-ne el disseny. La capes on apareixen dibuixats els components s'anomenen *tPlace* i *bPlace*, i la dels noms dels components *tName* i *bName*.

Un cop dissenyat el circuit imprès, s'ha dut a fabricar al Laboratori del Departament d'Electrònica de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la UAB amb l'ajuda del Tècnic.

4.3.3. Fabricació de la placa PCB

La fabricació de la placa de circuit imprès o PCB de les seves sigles en anglès (*Printed Circuit Board*) consisteix en dibuixar les pistes amb un metall conductor sobre un material de suport no conductor. En aquest projecte s'ha utilitzat un substrat de FR-4 de doble capa (superior i inferior), fàcil de tractar i mecanitzar i de baix cost. Aquest inicialment consisteix en dues petites capes de coure sobre un substrat de fibra de vidre resistent a les flames (*Flame Resistor* o FR).

Per a traçar les pistes hi ha varies tecnologies, generalment dividides en atacs mecànics i químics.

Per a la realització de la placa del projecte s'ha fet mitjançant una atac químic del coure que no és necessari de la placa tal i com es pot veure a les dues imatges de la dreta de la Figura 34.

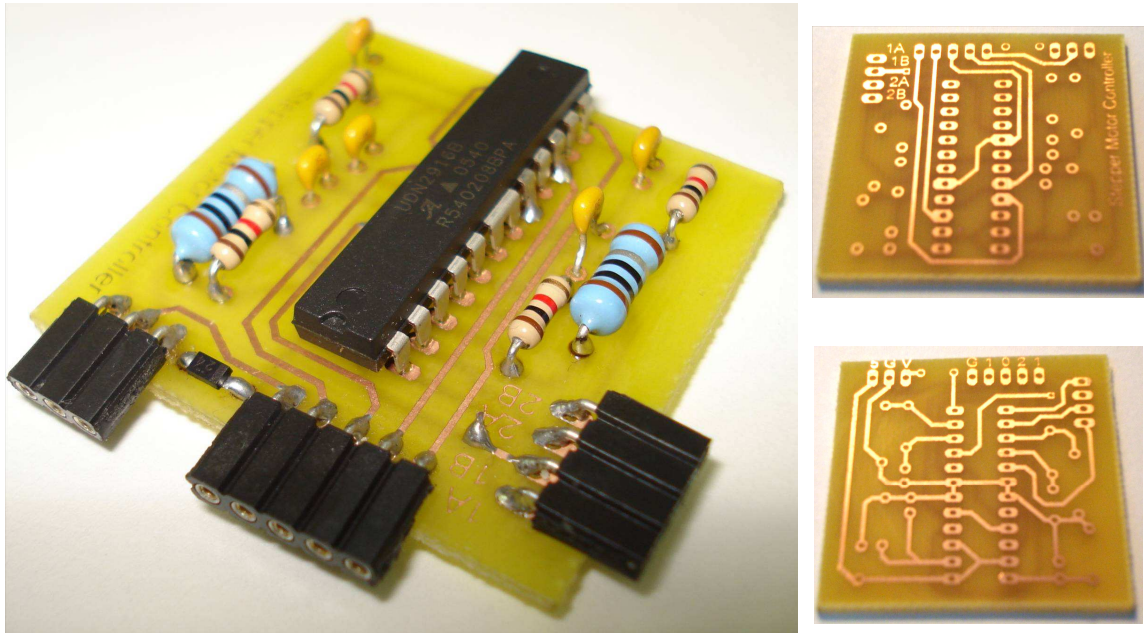


Figura 34: Diferents imatges del circuit imprès. Vista general un cop soldats els components (esquerra), vista de la capa superior top sense components (dreta a dalt) i vista de la capa inferior bottom sense components (dreta a baix).

s la placa, cal fer-hi els forats per on s'inseriran els components. Aquests forats s'han realitzat amb un minitrepan elèctric (Figura 35) amb dues broques de 0.8mm i 1mm depenent de la mida de les potes dels components.

Un cop enllestit aquest procés, s'ha netejat la placa amb acetona per a eliminar impureses i netejar la superfície del coure per tal d'aportar eficiència al procés de soldadura. Un cop ben net s'han soldat els components amb l'ajut de pasta de soldar, estany i un soldador.

Finalment, després de netejar el circuit de les restes de la pasta de soldar altre cop amb acetona, el resultat és el de la fotografia de l'esquerra de la Figura 34.

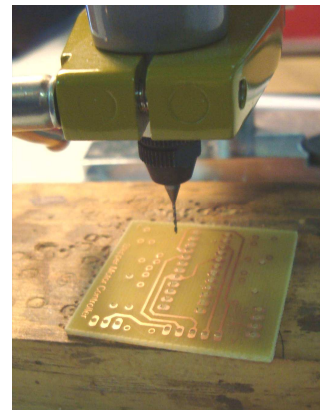


Figura 35: Trepant els forats a la PCB.

Un cop finalitzada la fabricació de la circuiteria de control i vistes les senyals que l'han de governar i les internes del microxip, cal elaborar una seqüència de

control que sigui capaç d'activar els Ponts en H del UDN2916 de tal manera que implementi el moviment circular del motor en ambdós sentits.

4.4 Seqüència de control

Veient la relació de senyals que genera la taula de la veritat de les senyals de sortida del UDN2916 (Taula 2) comparant-la amb la de governació del motor pas a pas d'iman permanent bipolar de la bomba (Taula 3) es pot generar la Taula 4 amb la seqüència de les senyals digitals que s'han d'enviar des del programa per a governar el circuit de control. Per a fer-ho s'ha de tindre clars el nom de les senyals i s'ha de relacionar:

- Q2-Q3 i Q6-Q7 (de l'esquema de control del motor de la bomba) amb OUT1A i OUT2A (del microxip)
- i Q1-Q4 i Q5-Q8 amb OUT1B i OUT2B

També s'ha d'afegir que s'entén que:

- OUT1A i OUT1B són regulats per la FASE1
- i OUT2A i OUT2B són regulats per la FASE2

Així doncs la Taula 4 és el resultat de la fusió de les dues taules anteriors.

Taula 2: Taula de la veritat del UDN2916B.

TRUTH TABLE		
PHASE	OUT _A	OUT _B
H	H	L
L	L	H

Taula 3: Taula de la seqüència de governació del motor pas a pas de les bombes LPVX.

OUT	BIPOLAR	Q2-Q3	Q1-Q4	Q6-Q7	Q5-Q8	IN
	STEP					
	1	ON	OFF	ON	OFF	
	2	OFF	ON	ON	OFF	
	3	OFF	ON	OFF	ON	
	4	ON	OFF	OFF	ON	
	1	ON	OFF	ON	OFF	

Taula 4: Senyals de regulació del circuit de control.

OUT	PAS	Fase 1	Fase 2	IN
↓	1	L	L	↑
	2	H	L	
	3	H	H	
	4	L	H	

A més a més, s'ha de determinar la potència que s'envia a les bobines del motor. S'ha explicat el motiu pel qual es treballarà utilitzant només el 67% de la intensitat màxima. Per tal d'implementar aquesta intensitat, ens fixem en la Taula 5 del control de la corrent del microxip. Com s'ha dit, les senyals que governen les dues bobines seran sempre les mateixes en els 4 passos degut al seu mode d'utilització, concretament $I_0=H$ i $I_1=L$.

*Taula 5: Taula de la veritat del control de la corrent mitjançant PWM.***CURRENT-CONTROL TRUTH TABLE**

I_0	I_1	Output Current
L	L	100%
H	L	67%
L	H	33%
H	H	0%

Finalment es pot generar la Taula 6 amb totes les senyals que s'enviaran des de l'ordinador cap al controlador.

Taula 6: Conjunt final de senyals que s'han d'enviar a partir del programa cap al microxip.

Pas	Fase ₁	Fase ₂	I_0	I_1
1	L	L	H	L
2	H	L	H	L
3	H	H	H	L
4	L	H	H	L

Després de descriure el disseny i la implementació del circuit regulador i entesa la seqüència de control, s'introduirà el disseny i el desenvolupament del programa de control amb la finalitat, entre d'altres funcions afegides, que generi aquesta seqüència de senyals de regulació del circuit seguint les operacions que esculli l'usuari.

4.5 Disseny i desenvolupament del programa de control.

Degut als avantatges que ens ofereix LabVIEW i la Instrumentació Virtual ja esmentats, s'ha utilitzat aquest entorn per a crear el programa de control del sistema, essent així la interfície que utilitzaran els usuaris, tant per a governar com per visualitzar l'evolució del procés.

La versió d'aquest utilitzada durant el projecte ha estat la versió 8.5 tot i que les totes les funcions que s'han utilitzat es poden trobar en versions anteriors de LabVIEW.

Aquest es diferencia en dos apartats relacionats entre sí: l'entorn d'usuari o Panell Frontal i el Diagrama de Blocs, cadascun amb la seva funcionalitat diferenciada i amb aspectes específics.

4.5.1. Panell Frontal: l'entorn d'usuari

A la Figura 36 apareix el panell resultant amb els elements necessaris per a implementar l'instrument, constituït per dos parts diferenciades: el control de la bomba i la monitorització.

En la part esquerra del panell s'hi pot observar els elements que permeten **configurar el funcionament de la bomba**.

D'acord amb els requisits necessaris per a governar la bomba, el panell frontal del instrument virtual ha de permetre controlar els paràmetres bàsics de funcionament del sistema: la quantitat de volum a processar i en el cas de voler fer una execució continuada, el temps entre execució i execució.

Primer de tot cal especificar quina de les dues bombes s'ha connectat a la targeta d'adquisició de dades ja que les dues tenen una precisió per pas i una capacitat màxima diferent. Això es pot indicar a l'apartat ***Indicar la bomba***.

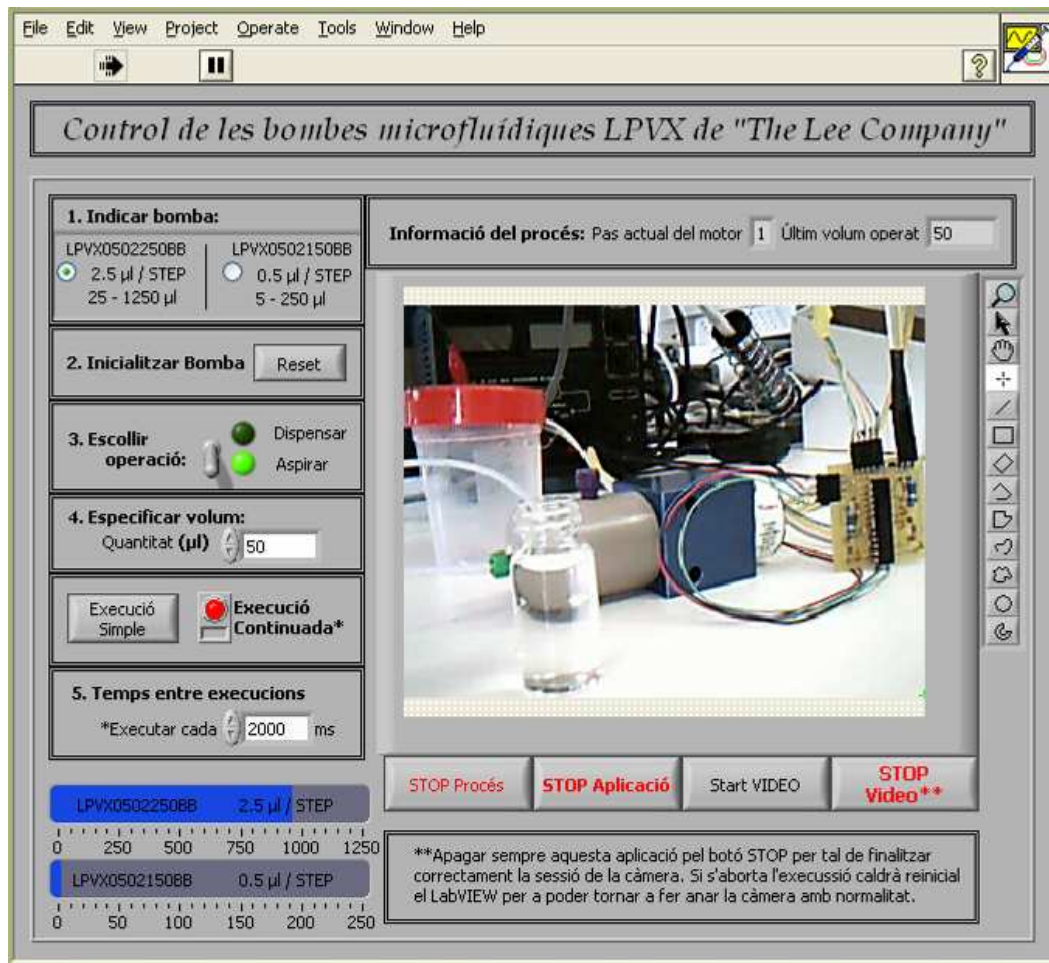


Figura 36: Entorn d'usuari.

A l'hora de començar a fer-la servir inicialment s'ha de reinicialitzar la bomba, omplint-la per complet del fluid a utilitzar. Per a fer això cal prémer el botó de **Inicialitzar Bomba (Reset)**. Aquesta primera operació és important degut a que quan iniciem el programa i es connecta la bomba no es coneix la posició del pistó dins la bomba, cosa que pot portar molts mal de caps a la hora d'executar-la amb normalitat.

Un cop inicialitzada la bomba, ja es pot procedir a fer-la servir. S'ha d'escollir quina de les dues funcions ha de fer: **Aspirar** o **Dispensar**.

També s'ha d'especificar la quantitat de líquid a tractar a la casella d'**Especificar Volum: Quantitat (µl)**.

Un cop especificada la quantitat, es pot escollir entre els dos tipus de funcionament: execució simple o continuada.

El botó *Executar* permet realitzar l'operació una sola vegada, és a dir, que s'aspirarà/dispensarà el volum de fluid escollit un sol cop.

Per altra banda apareix l'opció d'*Execució continuada*. Aquesta permet escollir, a més a més de la quantitat de volum, el temps entre execució i execució (afegint els milisegons pertinents a l'apartat *Temps entre execucions*) de tal manera que es pot aspirar/dispensar el volum indicat cada cert temps fins que s'esgoti la capacitat per a fer-ho.

En els dos casos anteriors, es té la possibilitat d'aturar l'execució, es trobi en el punt on es trobi el procés. Es durà a terme mitjançant el botó que apareix sota la descripció de *STOP Procés*.

A la part inferior esquerra apareixen dues barres horitzontals. Aquestes fan referència a la posició del pistó de la bomba, i amb això al volum retingut per aquestes al seu interior. N'apareix un per a cadascuna de les bombes. Aquestes variaran a cada pas del motor, essent un punt de referència alhora d'escollir tant la quantitat de volum com l'operació d'aspirar o dispensar.

Per a verificar que la seqüència de control ha funcionat correctament, s'ha afegit dos indicadors que permeten visualitzar:

- el nombre del pas del motor (del 1 al 4) en el que es troba actualment (*Pas actual del motor*) fent servir la configuració del motor que apareix a les especificacions de la bomba i que s'ha fet servir per governar les senyals de control.
- i l'últim volum que s'ha aspirat/dispensat (*Últim volum operat*).

Aquest últim paràmetre permet controlar el volum si en algun moment s'ha tingut que aturar el procés de forma abrupta.

A la dreta, en canvi, s'hi troba la part dedicada a la **monitorització del procés**. Aquesta part consta principalment del visor on es plasma la imatge que proporciona la *webcam*.

A més a més apareixen dos botons que permeten inicial la obtenció d'imatges (*Start VIDEO*) i aturar-ne la imatge (*STOP VIDEO*).

A l'hora de voler apagar el programa (*Stop Aplicació*), és important tindre en compte que primer cal apagar l'execució del vídeo per tal de poder aturar el programa, ja que com es veurà més endavant si la sessió de la càmera web no es tanca amb normalitat apareixeran problemes a l'hora de tornar-la a fer servir i s'haurà de reiniciar LabVIEW.

Darrere del Panell Frontal, de cada botó, controlador i indicador hi ha especificat el seu funcionament en el Diagrama de Blocs que veurem a continuació.

4.5.2. Diagrama de Blocs: nivell de programació.

Tal com s'ha explicat, aquest és el lloc on realment es pot apreciar el funcionament del programa de control.

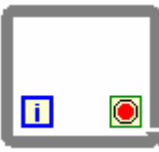
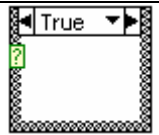
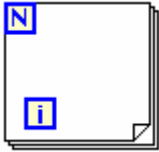





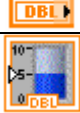





Per a introduir el seu funcionament primer es presentaran els elements bàsics que s'han fet servir per a la seva programació. Després s'explicarà una vista general i més endavant se'n detallarà el funcionament de cadascun dels blocs.











4.5.2.1. Elements bàsics en la programació amb LabVIEW

Dins de les llibreries de LabVIEW hi ha una àmplia gamma de controls i de funcions que alhora es poden personalitzar per a adaptar el seu funcionament a les necessitats del programa.

Els elements que s'han fet servir en aquest es presenten els de la Taula 7 on s'indica la seva representació gràfica, el seu nom i una petita descripció esquemàtica de la seva funció o utilitat.

Taula 7: elements bàsics en la programació amb LabVIEW.

	Nom	Descripció
	While loop	Repeteix el subdiagrama intern fins que no rep una ordre d'aturada. El requadre que conté una "i" indica el nombre d'execucions que porta (iniciat en 0), i el que conté una rodona vermella és on s'hi indica la condició d'aturada.
	Case	Té dos o més diagrames. Quan s'executa només se'n executa un una sola vegada. Aquest cal indicar-lo al requadre amb un interrogant verd.
	For Loop	Repeteix l'execució del seu interior N vegades. El requadre blau amb una "i" indica la iteració (des de 0 fins a N-1). També s'hi pot afegir una condició per a forçar-ne la sortida.
	Button o Boolean Control	Control de naturalesa booleana (<i>True or False</i>).
	Led o Boolean Indicator	Indicador de naturalesa booleana.
	Boolean Constant	Constant de naturalesa booleana.
	And Or Not	Operacions amb entrades i sortides booleans.
	Numeric Control	Control numèric. L'extensió pot variar, normalment entre <i>double</i> o <i>extended</i> .
	Numeric Indicator	Indicador de valors numèrics de diferents extensions.
	Add, Subtract, Multiply, Divide	Operacions bàsiques amb valors numèrics.
	Greater?, Greater or Equal?, Less?, Less or Equal?	Comparacions entre valors numèrics. La seva sortida és booleana.
	Select	Permet seleccionar entre un valor o un altre mitjançant una dada booleana.
	Wait	S'espera el nombre de milisegons que se l'hi indiqui i retorna el nombre de milisegons que s'ha esperat (útil si li entrem 0 ms i volem saber la resposta temporal de l'ordinador).
	DAQ Assistant	Assistent que ens permet llegir o escriure dades des de la targeta d'adquisició de dades. L'assistent (doble clic sobre la icona) guia a l'usuari per a poder governar la targeta sense complicacions. Simplifica molt els diagrames de lectura i escriptura.

	<i>IMAQ USB Enumerate Cameras</i>	Crea una llista de les càmeres USB que estan a disposició.
	<i>IMAQ Create</i>	Crea un espai temporal en la memòria de l'ordinador per a una imatge
	<i>IMAQ Grab Setup</i>	Configura i inicia l'adquisició continuada d'una imatge.
	<i>IMAQ USB Grab Adquire</i>	Adquireix una imatge durant una adquisició continuada.
	<i>Image</i>	Presenta en pantalla imatges, tant estàtiques com dinàmiques.
	<i>IMAQ USB Close</i>	Tanca una sessió d'una càmera USB iniciada.
	<i>IMAQ Dispose</i>	Destruïx una imatge i allibera l'espai ocupat en la memòria
	<i>Control microbomba LPVX</i>	Programa principal (s'explica a continuació)
	<i>Execucio</i>	Subsistema d'Execució (s'explica més endavant)
	<i>Control Bomba</i>	Subsistema de control de la posició de l'èmbol de la bomba (s'explica més endavant)

4.5.2.2. Vista General

Tal i com es pot veure a la Figura 37 el programa de control consta de diferents parts ajuntades, relacionades entre sí a mode de diagrama. Generalment es poden diferenciar els diferents usos mitjançant les estructures que les emmarquen (bucles *while*, *for* o *cases*).

Aquestes es poden diferenciar en dos grans blocs generals igual que en el Panell Frontal, el bloc ubicat a la part superior (1), dedicat al **control de la bomba**, tant a la seva execució (simple o continuada) com a la seva inicialització, i el bloc inferior dedicat a la **monitorització** del procés amb el control de la webcam (2).

A més a més, el primer bloc de control de la bomba, el més complicat, podem fragmentar-lo en dos subblocs diferenciats per la seva funció tot i que molt relacionats ja que utilitzen les mateixes variables internes i es complementen. Aquests diferencien el moviment d'**execució** (3) del de inicialització o **reset** (4).

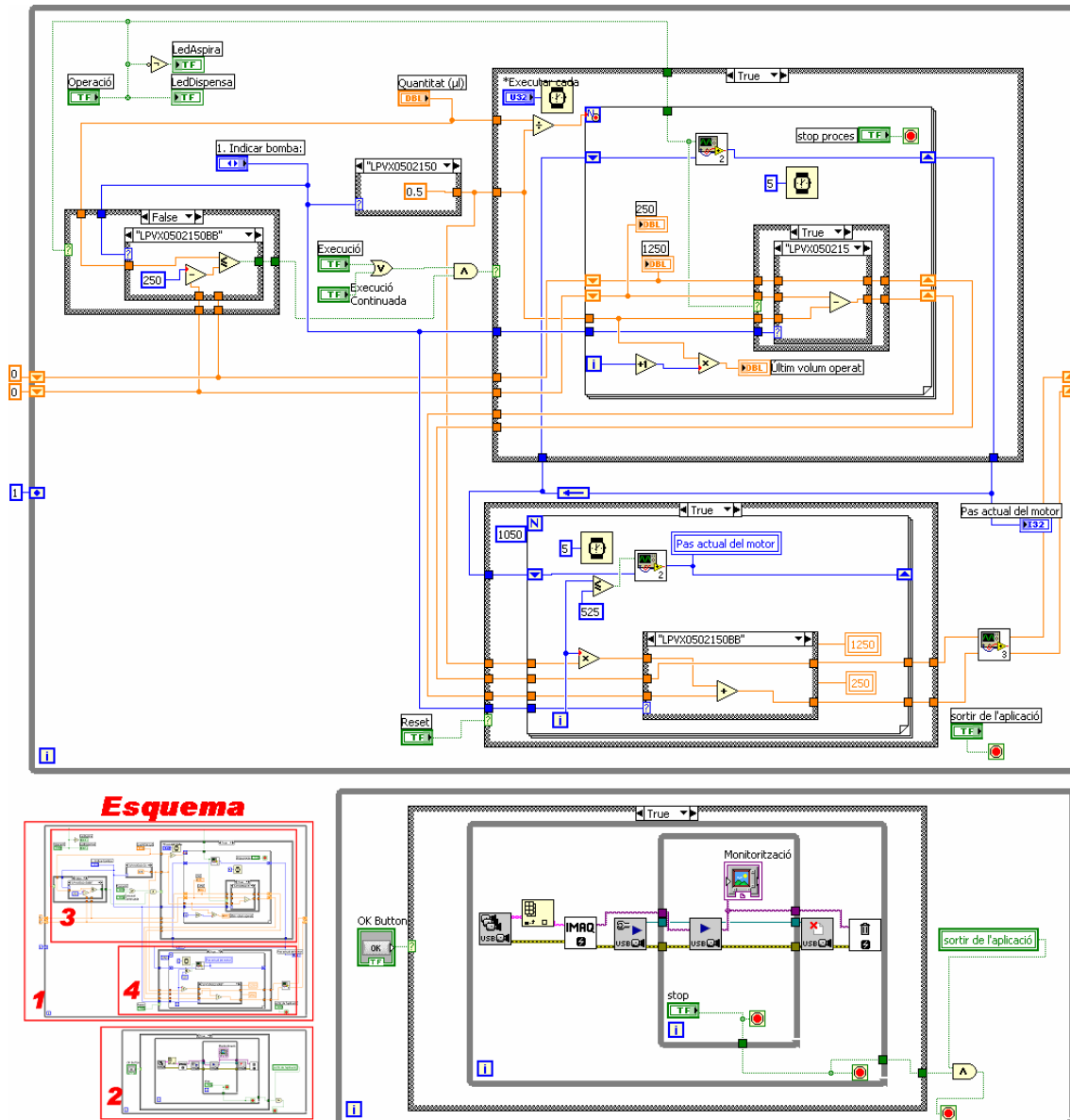


Figura 37: Vista general del Diagrama de Blocs amb esquema.

4.5.2.3. Subbloc d'Execució

Aquest subbloc forma el cos principal del programa de control. En aquest apartat és on es llegeixen les variables que s'utilitzaran per a regular l'instrument. Aquestes provenen dels controls de l'entorn d'usuari del panell frontal i són: la indicació de quina de les dues bombes es fa servir (**secció 1** de l'esquema de la Figura 38), la operació a executar (**secció 2**), la quantitat de volum a operar (**secció 3**), i el temps entre execució i execució en el cas d'una execució continuada (**secció 4**).

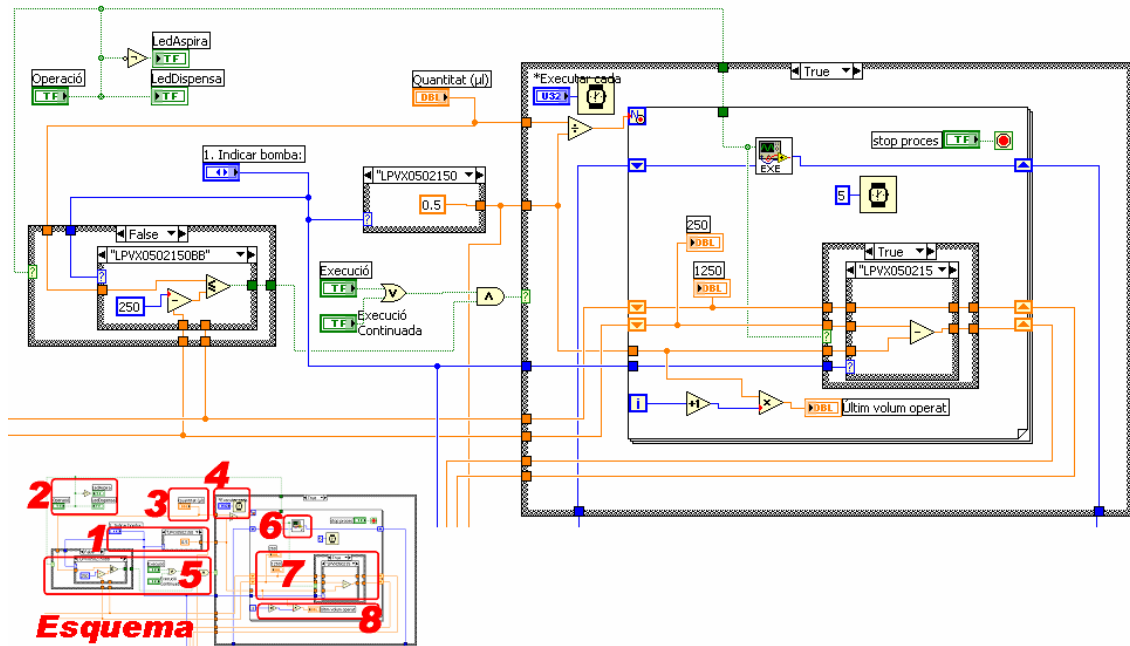


Figura 38: Subbloc d'Execució.

Quan s'indica la bomba es selecciona alhora un *case* on s'indica el volum d'un pas d'aquesta bomba (0,5 o 2,5), valor que s'utilitzarà en diferents ocasions.

A l'hora d'executar la operació, es pot triar entre execució simple o continuada, i alhora s'ha de tenir en compte que hi hagi prou volum a l'èmbol com per satisfer les necessitats especificades (una simple comparació entre la demanda de quantitat a executar i la quantitat existent o l'espai que queda dins a l'èmbol escollit). Així, la operació final que iniciarà el procés d'execució serà una operació booleana entre aquestes tres característiques. Aquesta queda representada a la **secció 5**, i la podem escriure com a:

(Execució OR Execució Continuada) AND (Prou volum disponible)

El resultat d'aquesta operació governa una estructura *case* amb dos diagrames interns: quan el resultat és negatiu trobem una simple connexió de les variables d'entrada amb les de sortida (explicades a continuació), i en canvi, quan és certa, passen a la part principal d'aquest bloc i a la regulació de la posició del pistó.

La part principal del bloc, quan el *case* es troba en la posició de *true*, està formada per un bucle *for*. Aquest ens permet executar N vegades el que hi ha en

el seu interior. El nombre N ve determinat per la quantitat de volum que es vol operar i la precisió del pas de la bomba triada, així

$$N = \text{Quantitat} / \text{Volum d'un Pas.}$$

D'aquesta manera el bucle s'executa tantes vegades com passos ha de fer el motor per a dispensar/aspirar la quantitat introduïda.

Per a poder governar correctament la bomba, com ara per a poder establir si tenim prou volum disponible per a executar, cal tindre en compte un parell de variables que s'hauran de mantenir presents durant tota la execució del programa, ja no tan sols dins d'aquest subbloc, sinó també en el subbloc de reset. Aquestes dues variables són el **pas en el que es troba el motor** en cada instant, tant d'execució com quan està parat i **la posició del pistó**.

Dins del bucle *for* trobem un subsistema d'execució (**secció 6** de la Figura 38) que veurem a continuació. Aquest és l'encarregat de controlar el pas del motor i d'enviar les dades corresponents a la targeta.

La *posició del pistó* en un inici ens és desconeguda, per això s'ha especificat a l'entorn d'usuari que cal inicialitzar la bomba cada cop que s'inicia el programa. Si no fos així, per defecte s'entén que l'èmbol està buit (posició 0). Un cop inicialitzada, es coneix la seva posició de tal manera que és possible anar-la controlant. Per a tal efecte s'ha introduït la **secció 7** de la Figura 38, que segons la bomba i segons la operació triada, suma o resta la quantitat operada a la posició de la bomba multiplicant la quantitat de passos que es fan per la precisió del pas. En aquesta secció apareixen dues senyals diferenciades com a 250 i 1250, fent referència a les capacitats màximes de les dues bombes, i tractades cadascuna per separat, que indiquen el seu valor als gràfics de representació dels èmbols.

Com a informació extra, també es mostra per pantalla l'últim volum executat (**secció 8** de la Figura 38). Aquest és simplement la multiplicació de l'últim nombre de passos executats per la precisió d'aquests.

Subsistema d'Execució

Aquest consta del contingut de la Figura 39. Podríem dir que aquest és potser la part essencial del programa, ja que és l'encarregat d'enviar les senyals que governaran el circuit controlador.

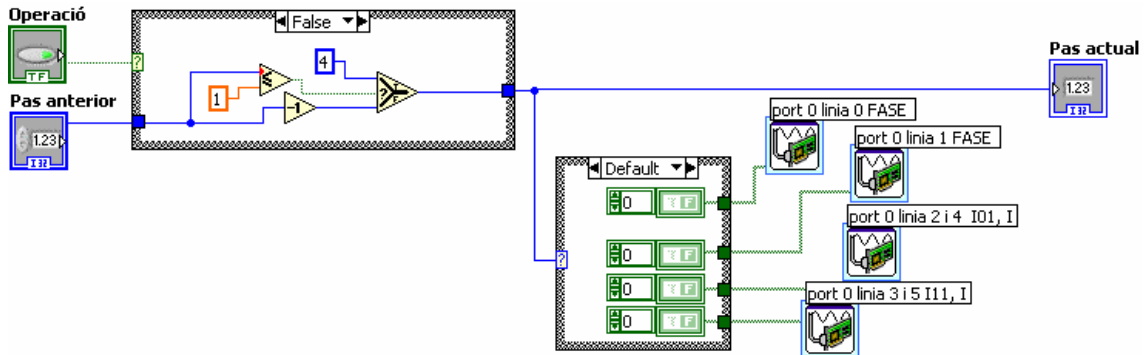


Figura 39: Subsistema d'Execució (seqüència ascendent - dispensar).

S'aprecia que la part superior és l'encarregada de generar la seqüència de passos entre 1 i 4 a partir del pas anterior del motor (dada que se l'hi ha de proporcionar) i de la operació triada. En el cas de la figura la seqüència es troba en un a posició ascendent, és a dir, seguint la seqüència de dispensar de fletxes verdes de la Figura 41. En el cas de seguir una seqüència descendent per tal d'aspirar fluid, la de les fletxes vermelles, aquest variaria per tal d'anar restant passos. L'estructura d'aquesta part del diagrama en aquest cas seria el de la Figura 40.

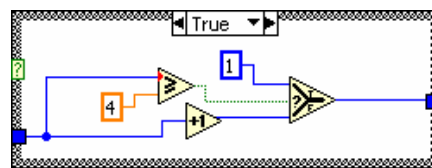


Figura 40: Seqüència descendent (aspirar).

La part inferior d'aquest subsistema fa referència a l'enviament de dades. Aquest envia dades en funció dels passos esmentats. Aquest tipus d'estructura s'ha realitzat mitjançant un *case*, que depenent de l'entrada de control (el número del pas), executa una pestanya o una altra. Dins de cadascuna de les pestanyes s'han implementat les dades que calen enviar per a que el motor es

trobi en la posició desitjada tal i com es pot veure a la Figura 41 a mode de constants booleans ja que es recorda que es treballa sobre senyals digitals.

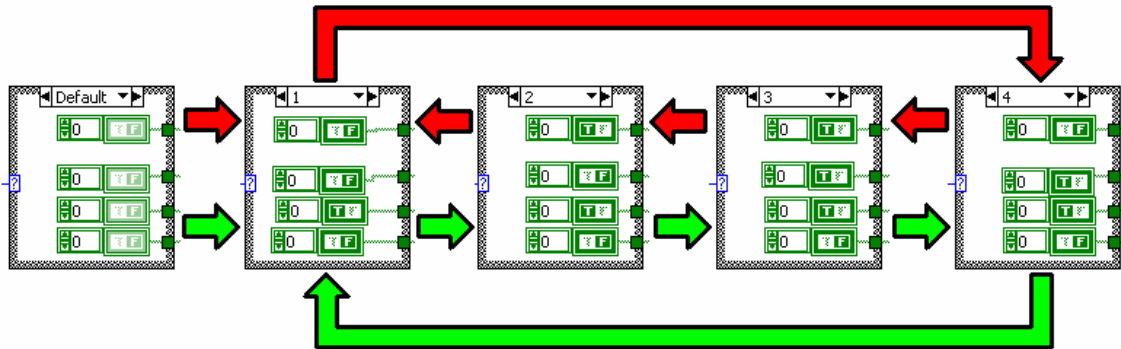


Figura 41: Seguiment de la seqüència de control.

Per a enviar les dades a la targeta d'adquisició de dades s'ha fet us de l'assistent que proporciona LabVIEW per a manipular les dades d'entrada o sortida de les targetes. Aquest assistent detecta automàticament la targeta que hi ha instal·lada a l'ordinador i pregunta quin dels ports es vol utilitzar. Un cop elegit el port i depenent de la naturalesa de la seva interfície (analògic o digital) també permet configurar els pins de cada port. Així s'han elegit quatre pins d'un dels ports de naturalesa digital que posseeix la targeta utilitzada i s'han configurat com a ports de sortida. Tanmateix es podria haver governat manualment però fora necessari més programació.

Aquest sistema retorna com a dada al programa principal el nou pas en el que es troba el motor que es mostra a l'entorn d'usuari i fa circular la informació durant tota la execució del programa principal.

4.5.2.4. Subbloc Reset

Aquest segon subbloc de la Figura 42 que forma part del bloc principal del programa es dedica exclusivament a reiniciar o inicialitzar la bomba. Per a fer-ho es crea una seqüència que inicialment buidi tot el contingut de l'èmbol i el torna a omplir de fluid.

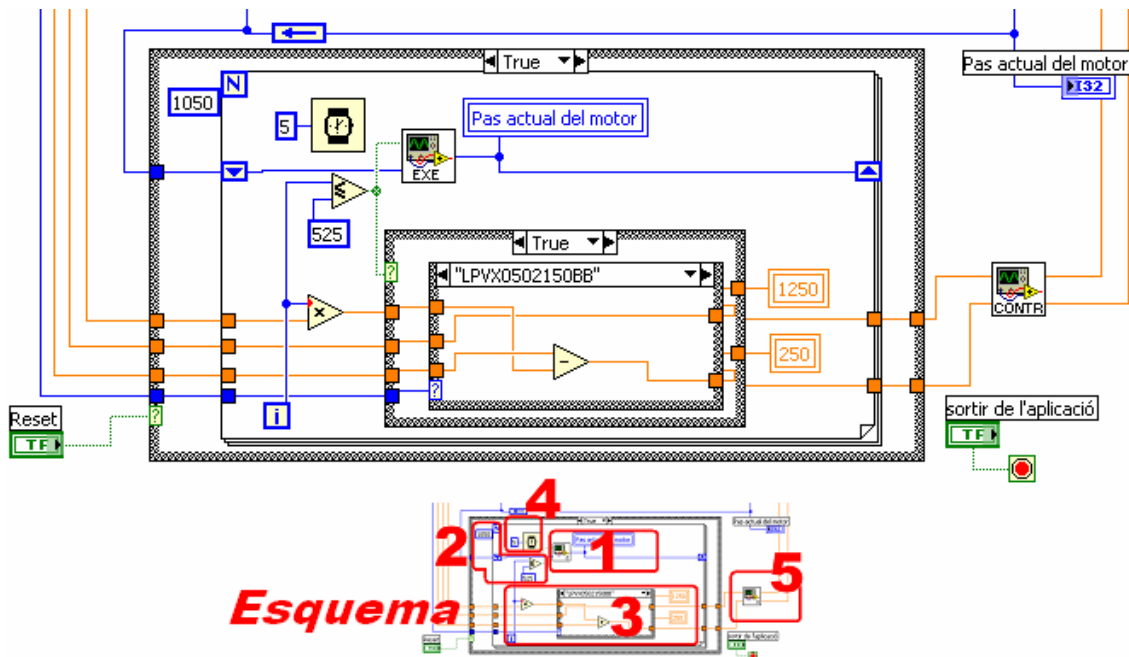


Figura 42: Subbloc Reset.

El principal problema que es presenta és que inicialment si no s'ha resetejat en algun moment donat la bomba, no es coneix la posició inicial de l'èmbol. Degut a aquest problema, la única forma que s'ha plantejat és la d'enviar tantes seqüències com capacitat té la bomba per a buidar-la del tot i les mateixes per a omplir-la. Experimentalment s'ha vist que la bomba té un cert marge de maniobra, amb la qual cosa s'ha decidit enviar 25 passos més per a buidar-la del tot i 25 passos més per a omplir-la del tot.

Les dues bombes s'omplen o buiden amb el mateix nombre de polsos ja que:

$$\frac{250\mu\text{l}}{0,5\mu\text{l}/\text{pas}} = \frac{1250\mu\text{l}}{2,5\mu\text{l} / \text{pas}} = 500\text{passos}$$

Així, per a cada ordre (buidar i omplir) s'enviaràn:

$$500\text{passos} + 25\text{passos}_{\text{marge_de_maniobra}} = 525\text{passos}$$

Per tal d'enviar les senyals, es torna a fer servir el subsistema d'Executar explicat anteriorment (**secció 1**). Aquest cop el bucle *for* on es troba es realitza 1050 vegades ($525_{\text{passos per buidar}} + 525_{\text{passos per omplir}} = 1050$). La operació del subsistema d'Execució ve definida per el nombre de passos realitzats fins el moment, així,

inicialment s'enviarà una ordre de dispensar fluid durant 525 passos, i després 525 passos d'aspirar. Aquest fet el podem apreciar a la **secció 2** de la Figura 42, amb un element comparador que en pic el bucle *for* ha superat les 525 iteracions, canvia l'operació del bloc d'execució.

Per tal de mantenir un control sobre la posició de l'èmbol, fem servir una estructura molt similar a la del bloc anterior. Aquesta és la que es pot veure a la **secció 3** amb la finalitat de visualitzar el gràfic que representa l'èmbol ple al finalitzar el procés de reset. Aquest, junt amb el subsistema de *Control de la Bomba* que veurem a continuació, ens dibuixa la posició de l'èmbol al màxim

Tant en el subbloc anterior com en aquest apareix un control del temps *wait* (**secció 4**). Aquest té com a finalitat controlar la freqüència dels passos que s'envien. Es manté constant a 5 milisegons ja que a les especificacions del motor de la bomba s'observa que la freqüència de treball màxima per a arrancar és de dos-cents passos per segon (200pps).

$$\frac{1}{0,005s} = 200pps$$

Tanmateix com que les quantitats de volum a treballar són petites, no s'ha cregut convenient accelerar els polsos fins ala freqüència màxima de treball (500pps).

Subsistema Control de la Posició de la Bomba

Fent referència al subsistema de la **secció 5** de la Figura 42, trobem el control de la representació gràfica de l'èmbol de les bombes. Aquest consta d'un parell de simples comparadors que fan que si la senyal és més petita de 0, es mantingui a 0 i que si és més gran que el màxim, es mantingui al màxim (Figura 43).

Es podria dir que aquest subsistema és simplement per a vigilar que a l'hora de resetejar la bomba, aquests paràmetres es mantinguin dins de la normalitat i a l'hora d'efectuar una execució, operi sense errors de posició.

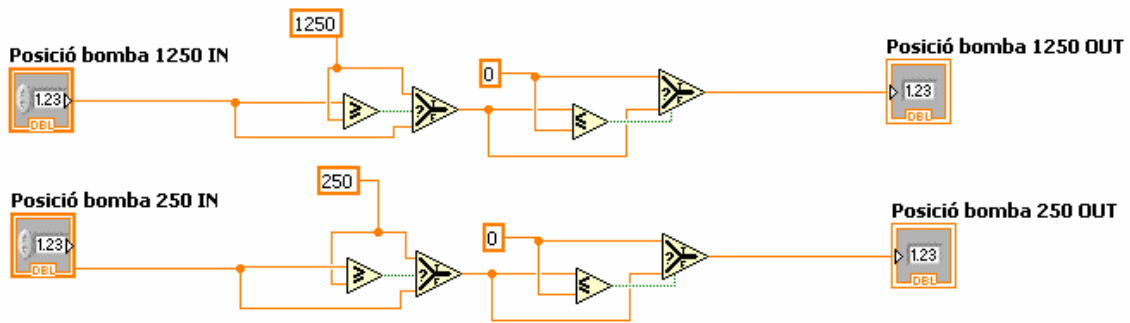


Figura 43: Subsistema de Control de la posició de la Bomba.

4.5.2.5. Bloc Monitorització

El segon bloc que constitueix el programa és el bloc de monitorització de la Figura 44. La seva funció principal és governar la senyal procedent de la càmera web per a visualitzar-la dins el panell remot.

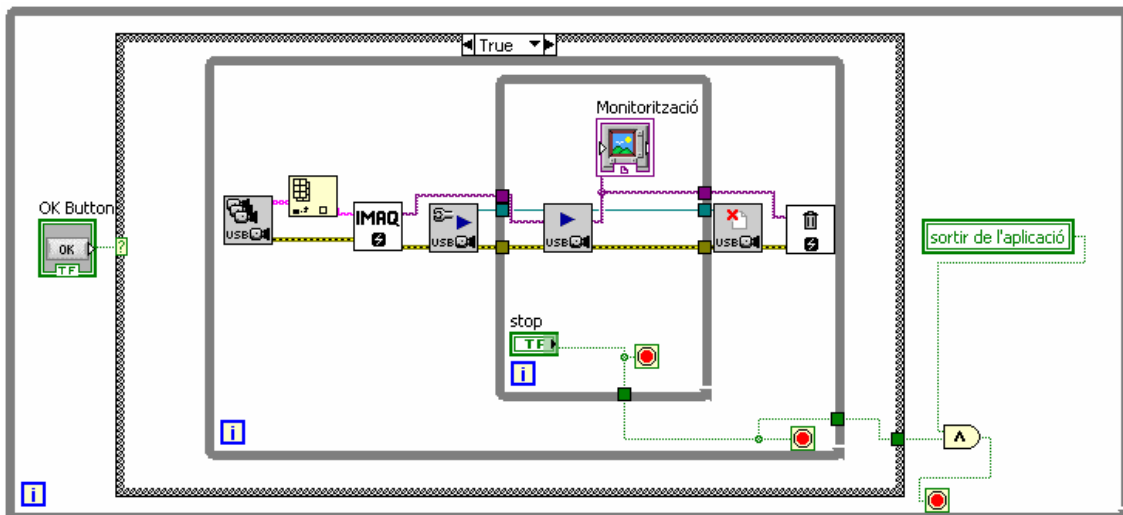


Figura 44: Bloc de Monitorització.

Els elements que hi apareixen pertanyen a la llibreria especialitzada esmentada a la introducció de IMAQ USB.

Aquest bloc s'ha dissenyat en un bucle *while* a part, per a que la seva execució sigui independent i paral·lela a la del programa de control de la bomba tot i executar-se alhora. Així en tot moment tenim la oportunitat d'iniciar o aturar el vídeo.

Un cop donada la ordre d'iniciar l'obtenció de les imatges de vídeo, s'inicia el bucle que està dins el *case* que activa el botó en el que, per ordre:

- s'analitzen les càmeres existents al sistema i es selecciona la primera,
- s'obté el nom de la ruta a utilitzar per a obtenir la imatge
- i s'inicia la sessió amb la càmera (és a dir, se li diu a la càmera que iniciï l'obtenció d'imatges)

Un cop iniciada la sessió i adquirida la ruta d'accés a la càmera es passa aquesta informació dins d'un altre bucle *while* que s'executarà fins que no aturem la sessió de vídeo amb el controlador del panell frontal. Dins d'aquest tercer bucle és on es manté contínua l'adquisició de dades o la senyal de la càmera i es presenta en el monitor del Panell Frontal.

Cal tenir present que es té una sessió inicialitzada i consegüentment la càmera està adquirint imatges fins que no es dona l'ordre d'aturar-ho. Un cop aturat el bucle de presentació de la imatge doncs cal:

- aturar la sessió amb la càmera (enviar-li una senyal per avisar-la de que ja no cal que continuï enviant dades)
- i eliminar la imatge obtinguda per a evitar errors.

Aquest bloc impedeix que s'aturi el programa principal sense que s'hagi donat l'ordre d'aturar la sessió amb la càmera per evitar aquests errors. Tanmateix es presenta la necessitat de poder monitoritzar el procés en diferents ocasions tenint la possibilitat d'aturar-lo quan no necessitem rebre imatges. És per això que la condició d'aturada del bucle principal d'aquest bloc conté la condició de

(Stop Video) AND (Stop Aplicació)

Aquest bloc sencer, excepte aquesta última condició, funciona de manera autònoma i es podria aplicar a altres programes o instruments virtuals ja dissenyats.

La unió d'aquests dos blocs explicats finalment crea el programa sencer que proporciona la governabilitat del circuit controlador del motor de la bomba i la visualització del procés amb la *webcam*.

Un cop descrit el programa de control, les senyals que s'envien i les seqüències que s'han de seguir, cal explicar també com s'envien aquestes seqüències de senyals cap a l'exterior de l'ordinador cap al controlador del motor de la bomba. Aquestes s'enviaran a partir d'una targeta d'adquisició i distribució de dades que es veurà més endavant.

A continuació s'explicarà com és possible realitzar el Control Remot de l'instrument.

4.6 Disseny i desenvolupament del Panell Remot

Com s'ha esmentat, hi ha dos vies per a controlar un Panell Remot, ja sigui mitjançant una connexió directa TCP/IP o fent servir un servidor web.

4.6.1. Connexió TCP/IP

Dins de les llibreries d'exemples de LabVIEW es poden trobar un parell de panells destinats a establir aquesta connexió de manera directa sempre i quan es conegui la IP del servidor, el port utilitzat i el nom del panell remot que es vol controlar o visualitzar.

És necessari configurar l'ordinador d'origen amb un port obert i executar un VI específic per a establir aquest ordinador com a servidor.

Un cop es coneix la IP del servidor, el seu port d'accés i el nom del VI que es vol controlar, cal executar un altre VI específic a l'ordinador de destí (client), on s'hi hauran introduir aquestes dades, de manera que ens permet establir la connexió directa entre els dos.

El VI que cal obrir a l'ordinador que funcionarà com a servidor, és a dir, on hi hagi el sistema de control, apareix a la llibreria d'exemples de LabVIEW (ubicats a la carpeta d'instal·lació del programa, normalment a l'adreça *C:\Archivos de programa\National Instruments\LabVIEW\examples\remotepanel*). El seu nom és *RemotePanelMethods-Server.vi*, i el seu panell frontal és el que es pot veure a la Figura 45.

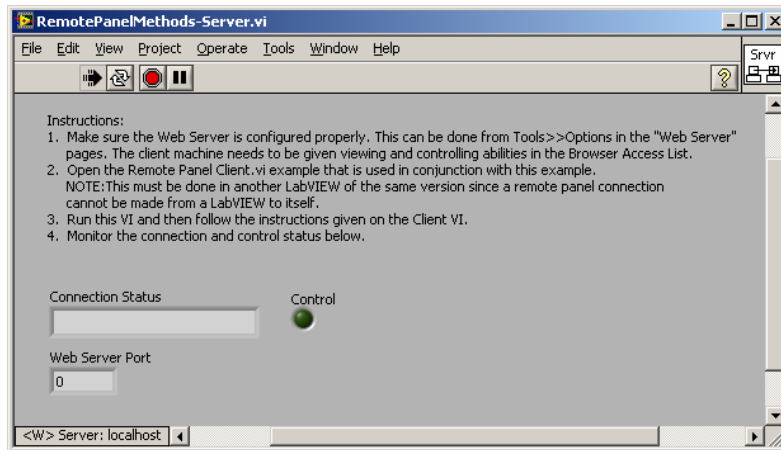


Figura 45: Remote Panel Server.

L'altre VI que cal obrir, aquest al ordinador de destí és el *RemotePanelMethods-Client.vi* de la Figura 46. Aquest també es troba a la mateixa carpeta d'exemples.

Un cop localitzats els dos panells i oberts (sense executar-los encara), cal seguir les instruccions. S'observa que ambdós incorporen la informació necessària per a establir l'enllaç correctament i poder executar els Panells Remots:

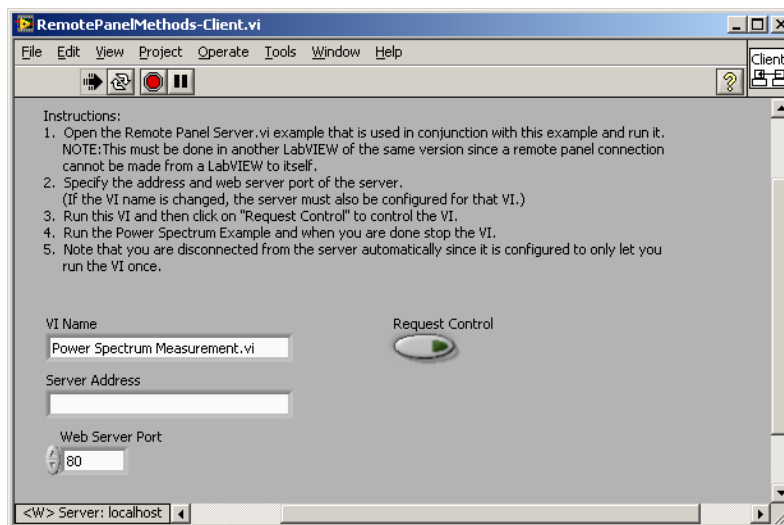


Figura 46: Remote Panel Client.

1. Primer cal configurar el servidor entrant al menú *Tools >> Options* i a l'apartat de *Web Server* establir el port HTTP adient (per defecte el port número 80, ressaltat a la Figura 47). Recordar que ha d'estar obert per a poder efectuar la connexió. En molts ordinadors és necessari desactivar el *Firewall* de l'antivirus, del propi sistema operatiu i/o del *Router*. També es poden elegir les carpetes de treball.

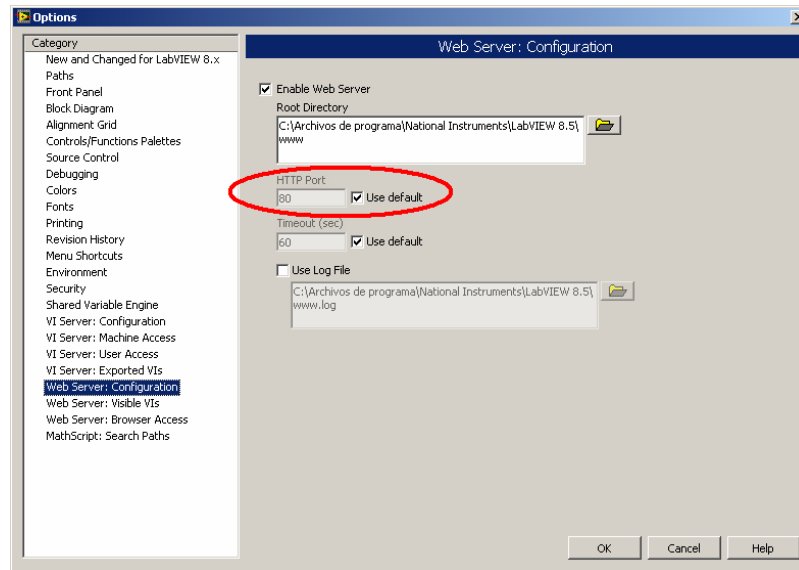


Figura 47: Web Server Configuration.

A més a més s'ha de configurar quins són els panells o VIs que l'ordinador permet visualitzar remotament. Això s'estableix a la mateixa finestra de *Tools >> Options* a l'apartat de *Web Server: Visible VI*. Aquests s'especifiquen amb el nom en que estan guardats. Si per contra es vol poder-los visualitzar tots, el que omplirem en aquest camp és un asterisc *"*"*. Si es volen visualitzar tots menys un d'específic, s'omplirà un camp amb *** i un altre amb el nom del que no es vol veure aplicant-li l'etiqueta de *"Deny access"*. Aquesta finestra la podem veure a la Figura 48.

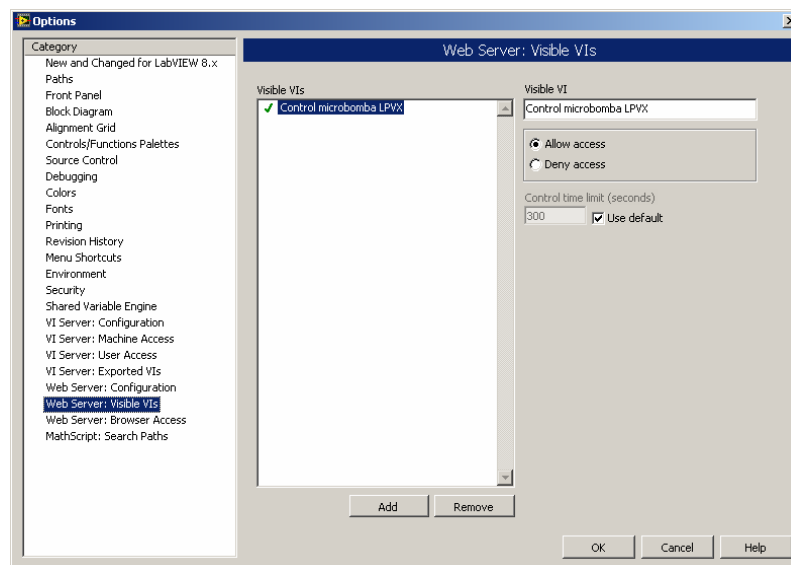


Figura 48: Web Server Visible VIs

Per finalitzar la configuració de forma correcta, cal fixar-se en la finestra de “Web Server: Browser Access” també del menú d’opcions. Aquesta permet configurar l’accés al servidor amb tres opcions diferents a les adreces del clients específiques: permetre visualitzar i controlar, simplement visualitzar o denegar l’accés. Altre cop l’asterisc (“*”) serveix com a referent general. Així, en l’exemple de la Figura 49 es tindria l’accés al control per a l’usuari amb l’adreça 158.109.56.141 i l’accés a la visualització per a la resta d’usuaris excepte per al de l’adreça 158.109.202.107.

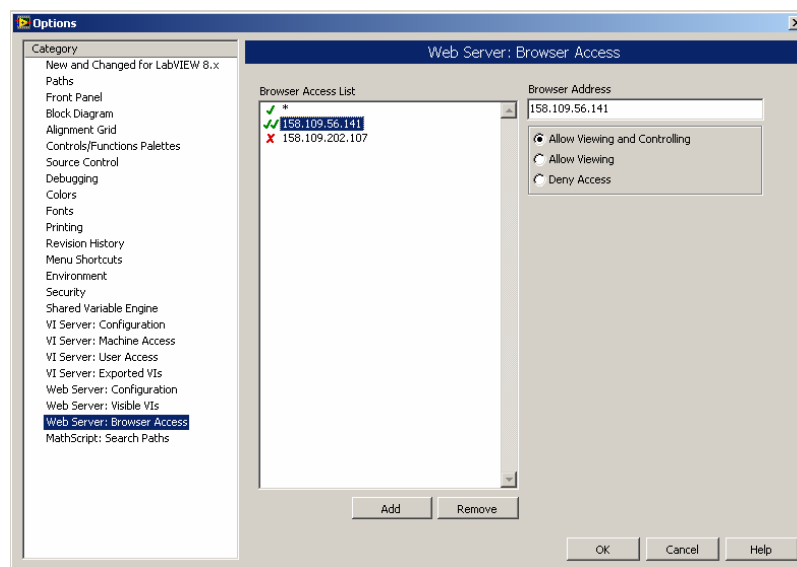


Figura 49: Web Server Browser Acces.

2. Un cop enllestida la configuració ja es pot executar el VI del servidor. En segon lloc s’ha d’obrir el *RemotePanelMethods-Client.vi* (a l’ordinador des d’on es vol obtenir el panell remot). En aquest panell s’ha d’indicar l’adreça IP del servidor i el port configurat per a la connexió (si no es coneix la IP i es treballa sota Windows, executar una terminal del sistema a l’ordinador del servidor i escriure la comanda *ipconfig*) així com el nom del VI que es vol controlar a distància.
3. En aquest punt ja es pot executar el VI del client, i si s’estableix la connexió al Vi del servidor apareixerà indicat.

4. En cas d'error verificar:
 - a. que les versions de LabVIEW siguin les mateixes,
 - b. que el port de connexió coincideixi i estigui obert,
 - c. que l'adreça sigui la correcta,
 - d. que el nom del VI estigui ben escrit
 - e. la configuració del servidor (accés del client permès, VI permès,...)
 - f. que la connexió a Internet dels dos ordinadors funcioni correctament.
5. A partir d'aquí ha d'aparèixer a l'ordinador client, directament des de l'aplicació de LabVIEW, el VI que s'ha sol·licitat.
6. Per demanar-ne el control des del client, s'ha de prémer al botó de *Request Control*, moment en el qual el *RemotePanelMethods-Client.vi* deixa d'executar-se per permetre la demanda d'un altre VI en cas de necessitar-ho.

Arribats a aquest punt, des del servidor no es podrà manipular l'instrument virtual ja que qui en tindrà el poder de control serà el client.

4.6.2. Servidor web

La segona opció alhora de controlar remotament el programa de control consisteix en crear una plana web on ens aparegui l'instrument virtual.

Per a fer-ho s'ha de configurar l'ordinador que funcionarà com a servidor de la mateixa manera que s'ha indicat en l'apartat anterior de Connexió TCP/IP.

Aquesta plana web es pot fer directament des de LabVIEW seguint els passos següents:

1. Dirigir-se al menú *Tools>>Web Publishing Tool...* Apareixerà la finestra que es mostra a la Figura 50. En aquesta finestra primer que tot s'ha d'especificar quin VI és el que es vol penjar al web. En segon lloc s'ha d'escollir la funcionalitat de la plana web entre permetre'n el control, enviar-ne una imatge estàtica, o enviar-ne imatges periòdicament. En el cas de permetre'n el control cal indicar si es desitja atorgar-lo directament al client que sol·liciti la plana web i si s'ha de permetre, en el cas d'haver utilitzat llibreries especials com és el cas del IMAQ USB, el suport de les llibreries afegides. En el cas d'enviar imatges periòdicament, s'ha d'escollir el temps entre imatge i imatge.

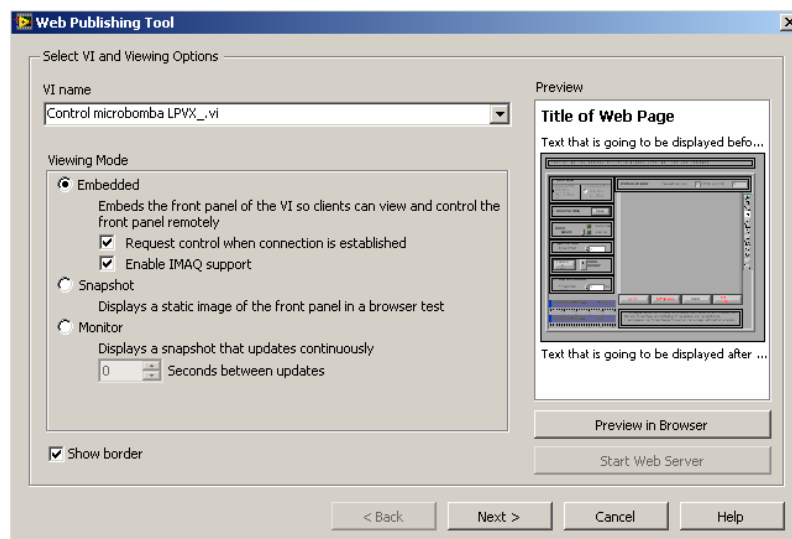


Figura 50: Web Publishing Tool.

Un punt indispensable és iniciar el Servidor Web. Si encara no s'ha fet caldrà prémer el botó destinat a tal efecte. Tanmateix, es té la possibilitat

durant tota la configuració de fer-ne una Previsualització a mida real a l'explorador que tinguem configurat per defecte a l'ordinador.

2. Si continuem la configuració ens canvia la finestra inicial amb el contingut de la Figura 51. En aquest cas el que es pot modificar és el text que acompanyarà l'aplicació a la plana web.

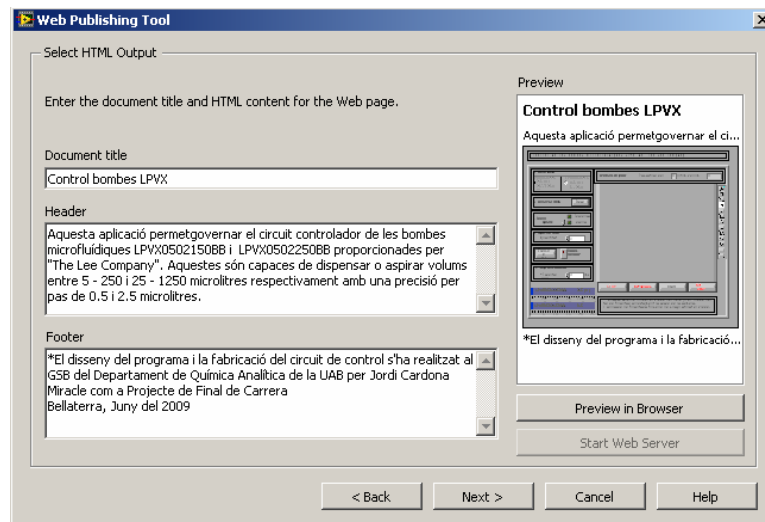


Figura 51: Web Publishing Tool 2.

3. Si continuem (Figura 52) es pot escollir la carpeta de l'ordinador que contindrà la informació per accedir a l'aplicació, és a dir, la ruta d'accés intern del servidor on hi haurà penjat el programa. Per defecte aquesta carpeta es troba dins la carpeta de LabVIEW. També podem canviar el nom de la plana web.

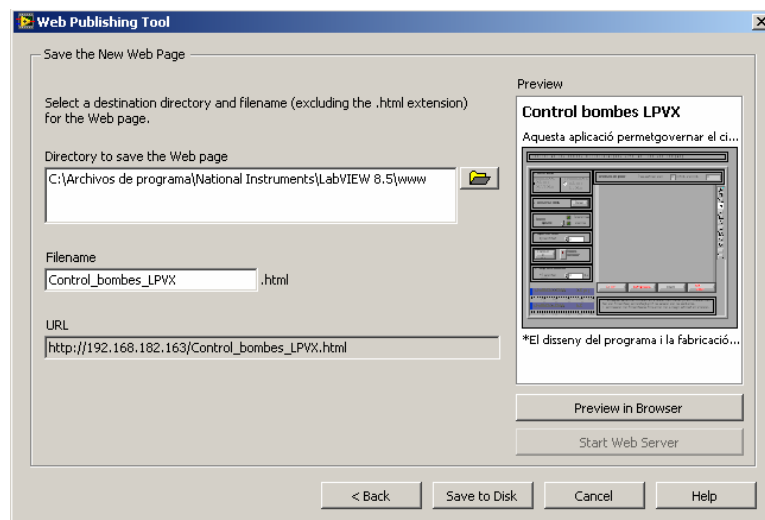


Figura 52: Web Publishing Tool 3.

4. Finalment, si es continua i es guarda a la memòria de l'ordinador, apareix la possibilitat de connectar-s'hi directament i ens apareix el nom final de l'adreça de la plana web per a accedir-hi. (Figura 53).

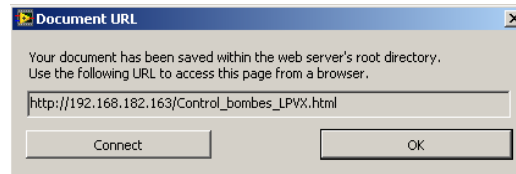


Figura 53: Enllaç al web.

El resultat final és una plana web que on apareix el programa de control amb un aspecte com el de la Figura 54.

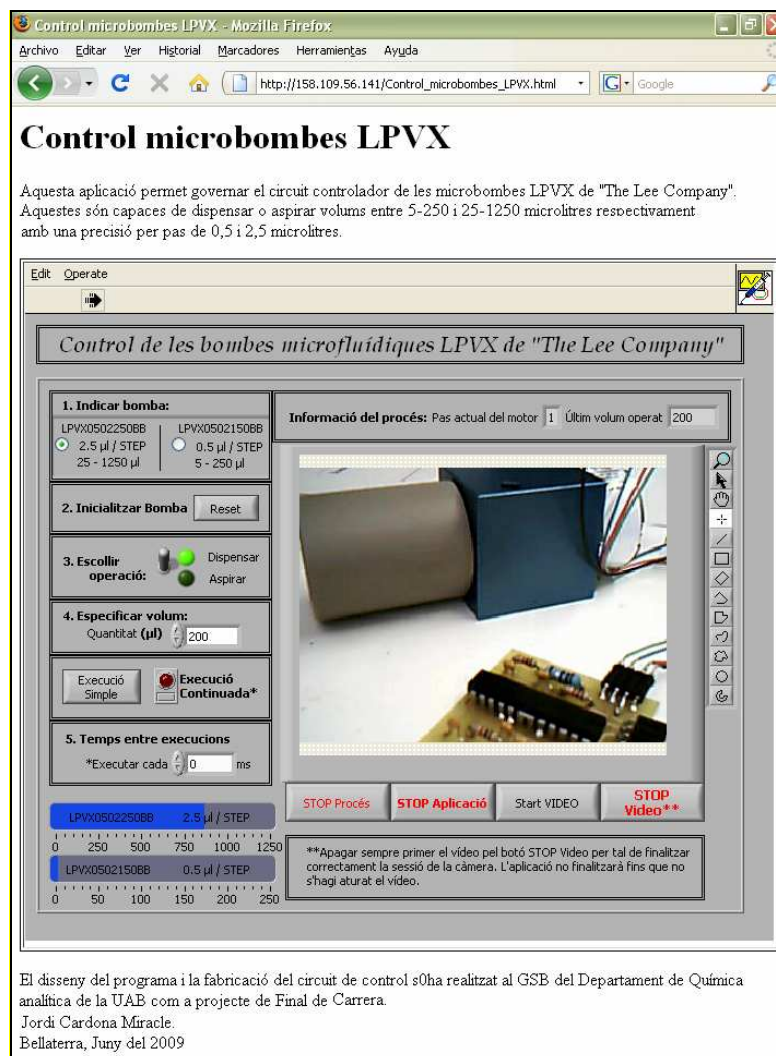


Figura 54: Panell Remot mitjançant servidor web.

En canvi, al programa original ubicat al servidor, ens apareix una requadre com el de la Figura 55 que ens indica que el control de l'aplicació s'ha donat a l'usuari que s'hi ha connecta remotament.

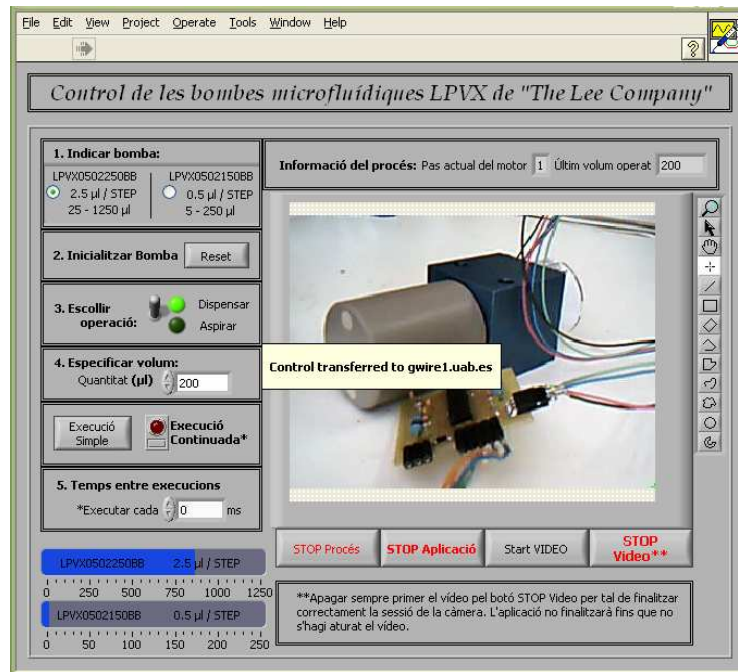


Figura 55: Al programa principal s'indica que aquest està controlat remotament.

4.7 La targeta d'adquisició i distribució de dades

Enllestit el controlador extern i el programa, es necessita externalitzar les 4 senyals des de l'ordinador cap al controlador. Aquestes són la senyals de la FASE₁, la FASE₂ i els controls de potència o intensitat del microcontrolador I₀ i I₁, i la seva naturalesa és digital

Per a generar-les es fa servir una targeta d'adquisició de dades, tenint en compte les necessitats, és a dir, ha de tenir com a mínim 4 canals digitals i una freqüència d'utilització superior o igual a 200 Hz. Aquests dos paràmetres no són gaire significatius davant l'estat tecnològic actual, així que amb una targeta senzilla de baix cost n'hi ha prou.

Fixant-se amb les que pròpiament ens ofereix el mateix distribuïdor del programari, *National Instruments*, es pot veure que hi ha la *M Series*, una sèrie de

targetes d'adquisició i distribució de senyals que compleixen en escriure aquestes característiques ja que poden tenir fins a 80 entrades analògiques, 48 línies d'entrada o sortida digitals, 4 sortides analògiques, 2 comptadors o temporitzadors i un *trigger* digital.

Davant la possibilitat en un futur d'implementar més instruments al mateix ordinador com ara les vàlvules esmentades per a poder fer servir la bomba amb diferents modes de d'utilització (més similars a una bomba peristàltica), convé escollir una targeta que posseeixi més entrades i sortides tant analògiques com digitals de les que es necessitin sense que el preu final sigui excessiu.

És per aquest fet que s'escull la targeta *PCI 6221 de la* Figura 56. Contrastant la seva diferència de preu i el seu ventall de possibilitats, s'escull la versió de 68 pins ja que la diferència de preu és poc significativa tenint en compte que és un element que podem fer servir per moltes aplicacions i durant molts anys, confiant que aquesta sigui compatible amb les següents versions de LabVIEW i les seves instrumentacions.

A més a més, les targetes d'aquesta sèrie es subministren amb diferents interfícies de connexió a l'ordinador: PCI, PXI o USB, tot i que la que surt més bé de preu és la PCI que s'ha escollit



Figura 56: Targeta d'adquisició de dades PCI 6221 M de 68 pins de National Instruments.

Com a principals característiques d'aquest model en concret (veure també l'Annex 5) cal destacar que posseeix:

- 8 canals diferencials o 16 de singulars d'entrada analògica amb un rang de fins a $\pm 10V$,
- 2 canals de sortida analògica amb una resolució de 16 bits i un rang de sortida com l'anterior,
- i 24 canals d'entrada o sortida digital amb una tensió que pot arribar als 2.2V a una freqüència màxima de fins a 1MHz

Un cop escollida la targeta, s'ha de facilitar la connexió dels cables als pins corresponents. Per a fer-ho *National Instruments* també ofereix estructures preparades com la placa CB-68LP, amb una simple connexió per a un cable de 68 pins i 5 regletes amb un total de 68 connexions. Aquesta placa la podem veure a la Figura 57. Aquesta placa va connectada a la targeta mitjançant un cablejat especial amb referència NI SHC68-68-EPM també a la figura.

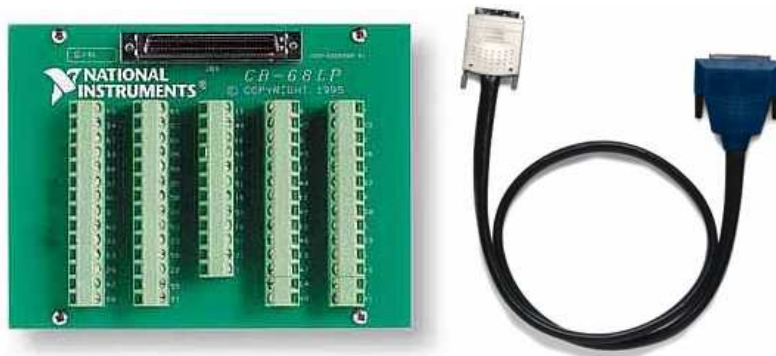


Figura 57: Placa CB-68LP i cable NI SHC68-68-EPM.

A l'hora de configurar els canals que s'han fet servir al programa de control s'han elegit les 4 primeres línies del primer port digital (port 0). Si es busca la sortida d'aquestes línies a l'esquema de connexions o *Pinout* de la targeta (veure Figura 58 o Annex 5) es pot generar la Taula 8 de connexions.

Taula 8: Taula de Connexions.

Senyal	Port/Línia	Referència	Pinout
FASE ₁	0/0	P0.0	52
FASE ₂	0/1	P0.1	17
I ₀	0/2	P0.2	49
I ₁	0/3	P0.3	47

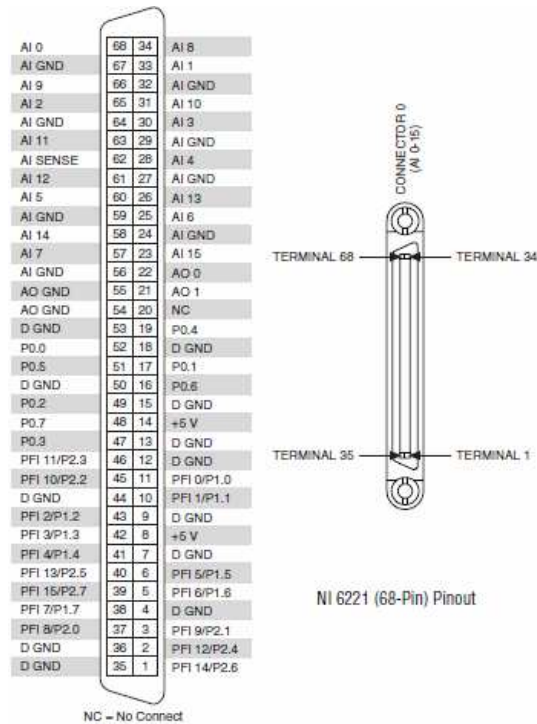


Figura 58: Pinout de la targeta NI 6221 de 68 pins.

Finalment s'han pogut explicar tots els components del sistema, com funcionen i com s'han implementat en aquest.

Així, un cop tot preparat i enllestit, s'ha connectat la targeta amb el controlador, i aquest amb el motor de la bomba a fi de realitzar les proves necessàries per a verificar que el sistema funciona correctament.

5. RESULTATS

Un cop enllestides totes les parts que formen el Sistema d'Instrumentació cal verificar el seu funcionament.

Per tal de verificar la transició de les senyals, tant les que surten de la targeta d'adquisició i distribució de dades com les que surten del circuit controlador, s'ha utilitzat un **oscil·loscopi** amb els següents resultats.

5.1 Sortides de la targeta d'adquisició i distribució de dades

Trens de polsos a les senyals de les fases (FASE₁ i FASE₂) amb tensions digitals de sortida de 2,2V amb una freqüència de 50Hz com els representats a la Figura 59. Aquesta freqüència és equivalent a 200pps ja que s'ha de tenir en compte que cada bobina canvia 2 cops la seva polaritat en un cicle sencer de 4 polsos. S'observa doncs que:

$$\frac{1}{50Hz} = 0,02s = 20ms = 4 \text{ passos} \cdot 5ms / \text{pas}$$

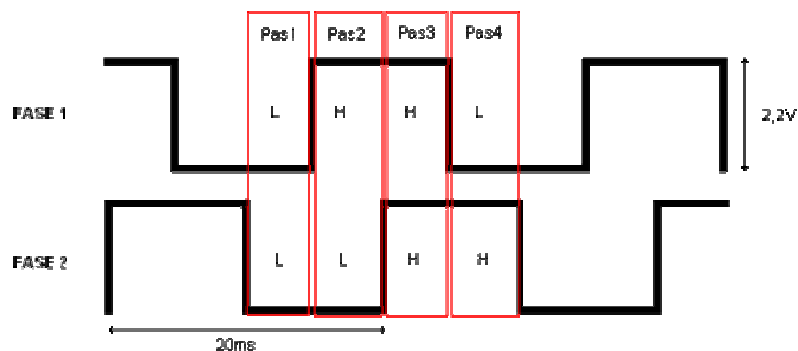


Figura 59: Esquema de les senyals de sortida de la targeta d'adquisició i distribució de dades amb l'oscil·loscopi donada una ordre de dispensar.

Tanmateix, les senyals encarregades des regular el PWM del microxip, les I₀ i I₁ es veuen simplement com a una tensió de 2,2V i una altra de 0V.

Així que es verifica la sortida de la targeta amb la taula de la veritat que havia de complir.

5.2 Sortida del circuit regulador

Trens de polsos als dos grups de dues de senyals de les sortides del microxip (OUT_{1A} OUT_{1B}, OUT_{2A} i OUT_{2B}) amb tensions de sortida de 3,3V amb una freqüència també de 50Hz com els representats a la Figura 60.

Val a dir que en aquesta ocasió els tens de polsos no eren tan nítids i presentaven un sobrepic en el moment de la transició de tensió baixa a alta (de L a H) d'aproximadament el 20% de la tensió resultant i un petit arrissat a la zona superior dels polsos.

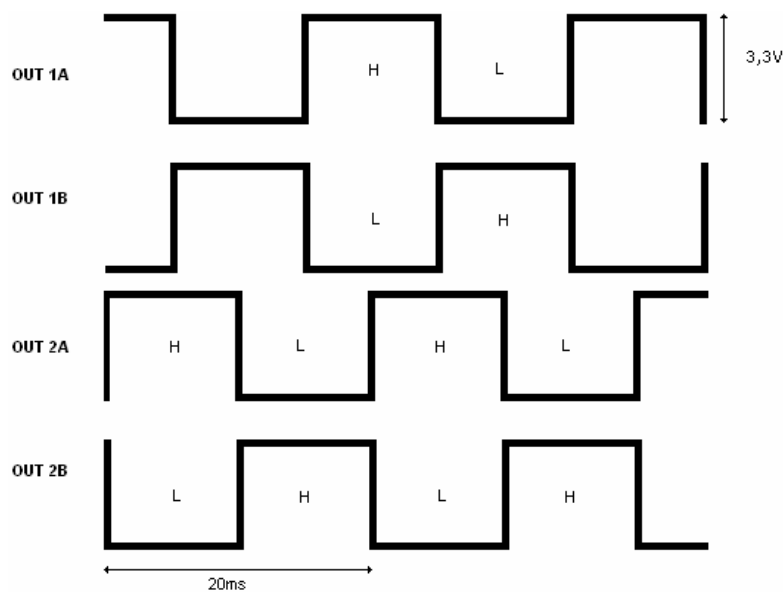


Figura 60: Senyals de sortida del UDN2916B.

Tot i així igualment s'ha pogut comprovar que el circuit regulador genera correctament la seqüència necessària i que aquesta, connectant-hi un motor pas a pas molt similar al que utilitza la bomba, fa funcionar el motor amb un moviment circular de velocitat uniforme (tot i notar-se que es tracta d'un moviment per passos).

Finalment s'hi ha connectat les bombes per a verificar el seu funcionament pràctic.

5.3 Avaluació del funcionament del sistema: proves de volum

Les proves per comprovar que el volum indicat al programa corresponia amb el dispensat per les bombes s'ha realitzat seguint el mètode següent:

- i. S'ha pesat un vial de laboratori (un petit vas de vidre fi poc pesant) amb una bàscula de precisió de dècimes de miligram (0,0001g). Aquest vial sempre s'ha manipulat amb guants esterilitzats per a no afectar al resultat de les proves amb l'adhesió de restes de greix o altres partícules, i a l'hora de dipositar-lo damunt d'alguna superfície, s'hi ha col·locat un tros de paper de cel·lulosa.
- ii. S'ha omplert la bomba amb aigua destil·lada i s'ha dispensat amb el major rigor possible una quantitat X dins del vial.
- iii. Immediatament s'ha tornat a pesar el contingent amb la mostra a dins a la bàscula de precisió i se n'ha llegit el resultat.
- iv. D'aquest resultat se n'ha extret la diferència màssica entre el pes total i la tara mesurada al pas 1.
- v. Per a realitzar la següent mostra, s'ha buidat el contingut del vial a la pica i s'ha assecat amb Nitrogen pur per tal d'eliminar qualsevol mica residual d'aigua destil·lada de la mesura anterior. Per a seguir mesurant mostres s'ha continuat des del pas número 2 ja que s'ha suposat que seguint les precaucions esmentades el pes de la tara no varia.

Aquest mètode és molt rudimentari i no gaire fiable tenint en compte que els valors de les quantitats són molt petites i que moltes vegades no arriben a dispensar prou quantitat de aigua destil·lada com per trencar o superar la tensió superficial de l'aigua i crear una gota. Conseqüentment l'avaluació de les proves de volum s'han vist afectades per aquest fenomen.

Tot i així, els resultats obtinguts en les proves màssiques s'han ajustat molt als valors esperats.

S'ha utilitzat aigua destil·lada ja que es pot aproximar la seva densitat a 1, així

$$1\text{mg}_{\text{H}_2\text{O}_{\text{destilada}}} = 1\mu\text{l}$$

A la Figura 61 es pot veure una fotografia dels elements utilitzats. El recipient gros s'ha utilitzat de dipòsit des d'on s'aspira el fluid, i el petit on s'ha dispensat per a realitzar les mesures.

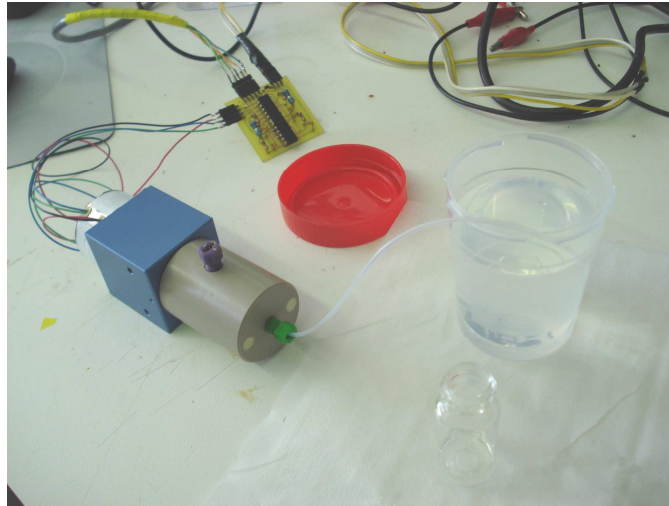


Figura 61: Representació del procés d'avaluació.

Les mesures en la bomba LPVX0502150B s'han realitzat cada 20 μl ja que s'ha observat que era aproximadament el volum mínim dispensat amb el que es formava una gota. El resultat de les mesures és la Taula 9, on també s'hi ha afegit la desviació de cadascuna de les mostres. Així podem graficar l'error en cada cas i extreure'n la desviació mitjana (Figura 62).

Taula 9: Resultats proves volumètriques LPVX0502150B.

Volum (μl)	Pes (mg) mesurat	Diferència (mg)	Desviació (mg)
(Tara) 0	8533,2	0,0	0,0
20	8551,9	18,7	-1,3
40	8572,1	38,9	-1,1
60	8593,7	60,5	0,5
80	8615,2	82	2,0
100	8635,6	102,4	2,4
120	8653,5	120,3	0,3
140	8674,6	141,4	1,4
160	8693,2	160	0,0
180	8713,5	180,3	0,3
200	8735,3	202,1	2,1
220	8755,1	221,9	1,9
250	8782,6	249,4	-0,6

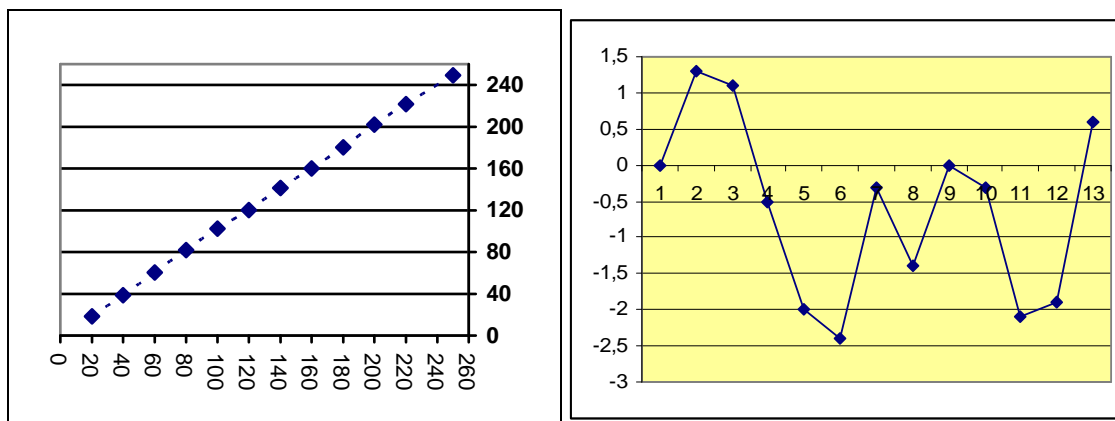


Figura 62: Gràfiques de la massa del volum mesurat i la desviació específica de cada mesura respecte a la senyal enviada.

Per a calcular-ne la desviació mitjana de l'error es pot fer de la següent manera.

$$\sigma_{mitjana} = \sum_{i=1}^n \frac{|M_{volum_indicat} - M_{mesurada_i}|}{n} = 1,28732163\text{mg}$$

En el cas de la bomba LPVX0502250B s'han realitzat mesures cada 100 μl . Els resultats són els tabulats a la Taula 10, prenent les mateixes dades que en el cas anterior i les trobem en forma de gràfics a la Figura 63.

Taula 10: Resultats proves volumètriques LPVX0502250B.

Volum (μl)	Pes (mg) mesurat	Diferència (mg)	Desviació (mg)
(Tara) 0	8675,0	0,0	0,0
100	8773,7	98,7	1,3
200	8870,9	195,9	4,1
300	8969,9	294,9	5,1
400	9064,9	389,9	10,1
500	9166,7	491,7	8,3
600	9277,2	602,2	-2,2
700	9373,9	698,9	1,1
800	9472,6	797,6	2,4
900	9570,6	895,6	4,4
1000	9671,1	996,1	3,9
1100	9771,7	1096,7	3,3
1200	9865,8	1190,8	9,2

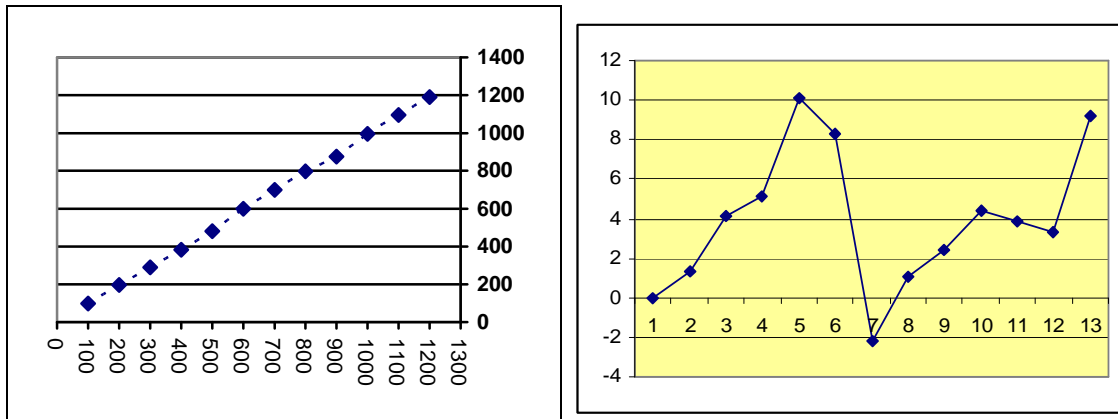


Figura 63: Gràfiques de la massa del volum mesurat i la desviació específica de cada mesura respecte a la senyal enviada.

En aquest cas, es pot observar que la desviació del valor mesurat amb el valor de referència és superior i també així la desviació estàndard de l'error:

$$\sigma_{mitjana} = 3,57478544\text{mg}$$

S'observa que les mitjanes de les desviacions són prou petites com per atribuir aquest error a diferents fenòmens:

- la tensió superficial esmentada anteriorment,
- l'error introduït per l'instrument de mesura (la bàscula),
- o a un error durant la medicació.

Tot i així, es veu el seguiment de la bomba amb la referència de volum mitjançant les gràfiques on observem la diferència massica entre el pes mesurat i la tara.

5.4 Limitacions de velocitat del sistema

Com s'ha explicat anteriorment, el sistema està limitat a 200pps degut als baixos volums que es subministren. Aquesta freqüència ofereix uns caudals respectivament segons la bomba utilitzada de:

$$Q_{volumètric_0,5} = 0,5 \frac{\mu\text{l}}{\text{pas}} \cdot 200 \frac{\text{passos}}{\text{s}} = 100 \frac{\mu\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_{volumètric_2,5} = 2,5 \frac{\mu\text{l}}{\text{pas}} \cdot 200 \frac{\text{passos}}{\text{s}} = 500 \frac{\mu\text{l}}{\text{s}}$$

Però tot i aquesta limitació, val a dir que gràcies a l'opció d'execució continuada, es pot manipular un caudal diferent (sempre més petit) si **com a quantitat s'expressa la precisió de la bomba** utilitzada i com a temps entre execució i execució el nombre adient seguint les definicions següents:

$$Q_{volumètric_0,5} = 0,5 \frac{\mu l}{pas} \cdot \frac{1 pas}{(5 + X)ms} \cdot \frac{1000ms}{1s}$$

$$Q_{volumètric_2,5} = 2,5 \frac{\mu l}{pas} \cdot \frac{1 pas}{(5 + X)ms} \cdot \frac{1000ms}{1s}$$

on X és el nombre que s'introdueix a l'apartat de *Temps entre execucions*

Cal diferenciar també la limitació de velocitat que existeix quan es controla l'instrument remotament. Observem que **la quantitat de passos per segon disminueix, limitats a la velocitat de transmissió entre el servidor i el client.**

També s'ha pogut experimentar que **durant una execució remota, quan s'inicia l'obtenció de la imatge de la webcam, la velocitat de funcionament queda molt afectada** ja que a cada instant d'execució s'ha de transmetre gran quantitat d'informació retardant així les ordres específiques del procés d'execució.

5.5 Pressupost

Com a resultat de tot el material emprat i les hores de dedicació, s'ha especificat el pressupost total a fi de crear una idea del preu final del prototip del projecte.

Aquest el podem trobar especificat a la Taula 11 diferenciat en apartats, separant el que són els recursos humans necessitats durant cada etapa del procés de disseny i fabricació dels materials emprats. El que no s'ha comptat és el preu de l'ordinador ni el de la connexió a Internet, entenent que aquests recursos ja existeixen en la major part de laboratoris.

Taula 11: Pressupost del projecte.

Disseny del circuit de control i muntatge del prototip en PCB			
Quantitat	Descripció	Preu unitari €	Subtotal €
Disseny i muntatge de la PCB			
25 hores	Enginyer Tècnic de Telecomunicacions en Sistemes electrònics: Disseny i muntatge de la placa de control de dos cares amb components estàndards.	12,00	300
Fabricació de la PCB			
3 hores	Tècnic de Laboratori	22,00	66
Disseny i programació del programa de control			
40 hores	Enginyer Tècnic de Telecomunicacions en Sistemes Electrònics: Disseny i programació Instrument Virtual + integració webcam al programa + control remot	12,00	480
Fase final			
20 hores	Enginyer tècnic de Telecomunicacions en Sistemes Electrònics: ensamblació sistema sencer + test sistema	12,00	240
Components de la PCB			
1	Allegro Microsystems UDN 2916B	3,54	3,54
4	Resistència 1K Ω 1W 5%	0,09	0,36
2	Resistència 1 Ω 0.5W 1%	0,04	0,08
4	Condensador 470pF 50V	0,12	0,48
1	Condensador 0.01 μ F 100V	0,09	0,09
1	Díode limitador corrent 700mA 400V	0,26	0,26
12	Regleta 1 via	0,09	1,08
1	PCB FR-4 35x35mm	16,34	16,34
Sistema d'instrumentació			
1	Bomba LPVX0502150BB	941,09	941,09
1	Bomba LPVX0502250BB	1053,28	1053,28
1	Llicència LabVIEW + 1any servei tècnic gratuït	2599,00	2599,00
1	NI PCI 6221	529,00	529,00
1	SHC68-68-EPM Cable (1m)	99,00	99,00
1	CB-68LP - Unshielded	79,00	79,00
1	QuickCam Logitech webcam	19,90	19,90
TOTAL €			6428,50

6. APLICACIONS DEL SISTEMA

Fixant-se amb el disseny final del sistema i entenent que formarà part d'un laboratori de Química Analítica, s'entén que la finalitat principal recau en el funcionament com a actuator de microfluídica. Així, observant fotografies o dissenys com la de la Figura 64 d'instruments analítics que s'estan realitzant actualment i que pertanyen al grup dels Micro Sistemes Totals d'Anàlisi esmentats (μ TAS), es pot fer una idea de que aquesta bomba anirà dirigida a dispensar petites quantitats de mostres fluídiques a aquests nous dispositius.

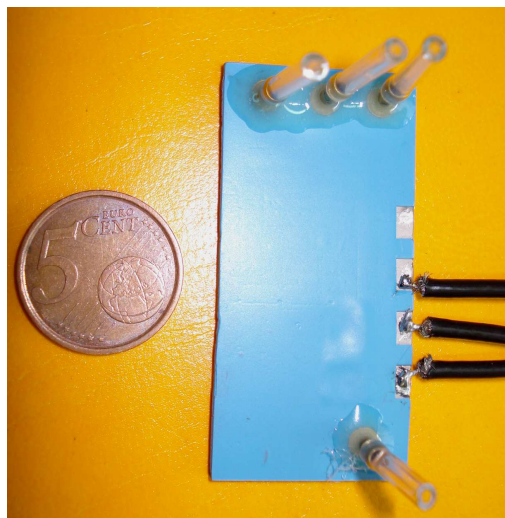


Figura 64: instrument de detecció potenciomètrica.

A la Figura 64 s'hi observen tres entrades diferents i una sortida de fluid. No obstant, el que no es pot apreciar és el sensor que regula aquest sistema doncs està integrat dins la placa ceràmica, però en podem veure les seves connexions.

Així doncs la **aplicació més directa serà la de substituir les actuals bombes de grans dimensions**, a fi d'aconseguir una integració dels actuadors dels microanalitzadors de fluid aplicats a la determinació de diversos paràmetres mediambientals.

L'exemple que s'ha posat al principi de la memòria d'un vaixell de control remot que incorpora sistemes d'anàlisi reflexa també bona part d'aquest

propòsit i aplicació, doncs poder analitzar *in situ* agilitza molt la feina i aporta més fidelitat a les lectures.

Tanmateix, el **control remot que s'ha explicat es pot aplicar en molts sistemes ja existents** permetent així governar a distància processos que poden ser perillosos o de difícil accés. Un aplicat d'aquesta part del projecte seria el control de processos dins de cambres blanques.

A més a més, si es vol aconseguir portar un control visual d'aquests processos, també es pot integrar **un panell de monitorització** independent que permeti executar-lo en el moment que es necessiti o simplement integrar-lo dins d'altres Instruments Virtuals també existents.

7. CONCLUSIONS

En aquest projecte s'ha desenvolupat el control d'un actuador utilitzat en microfluídica. Concretament **s'han controlat dos bombes capaces d'aspirar i dispensar volums molt petits de fluid amb gran precisió**. Per a fer-ho s'ha dissenyat un programa de control mitjançant LabVIEW on es pot escollir la quantitat de volum que es vol dispensar o aspirar i el temps que es vol entre execució i execució. Aquest consta d'una interfície simple i de fàcil utilització.

El que excita les bombes és un motor pas a pas que requereix **d'un circuit controlador extern consistent en dos Ponts en H** integrats en un microxip implementat sobre una PCB. Aquest està governat per les senyals que arriben des de l'ordinador i genera les senyals que es dirigeixen cap a les connexions del motor.

A més a més, s'han aconseguit introduir un parell d'ampliacions al projecte inicial. Aquestes han estat **l'obtenció d'una imatge en directe del procés i el control remot de l'instrument virtual mitjançant Internet**.

Tot i així, cal esmentar que **aquestes ampliacions per al control d'aquestes bombes no tenen gaire sentit en sí sol**, ja que el sistema final és poc funcional sense la intervenció en directe de personal.

És per això que **com a ampliacions futures a questa instrumentació caldria implementar** dins el mateix disseny i dins el mateix programa **el control de vàlvules que permetessin fer funcionar la bomba a mode de bomba peristàtica sense limitació del volum intern de retenció d'aquestes**. Així es podria deixar un procés executant-se durant un període de temps elevat sense estar-hi pendent. Llavors la utilització dels control remot i la càmera web, tindrien més sentit.

Val a dir però que la recerca **no ha estat en va**, doncs **s'ha investigat sobre aquest tema i s'ha esquematitzat la seva implementació i les seves instruccions per tal de poder-ho fer servir en altres instruments que necessitin aquestes eines.**

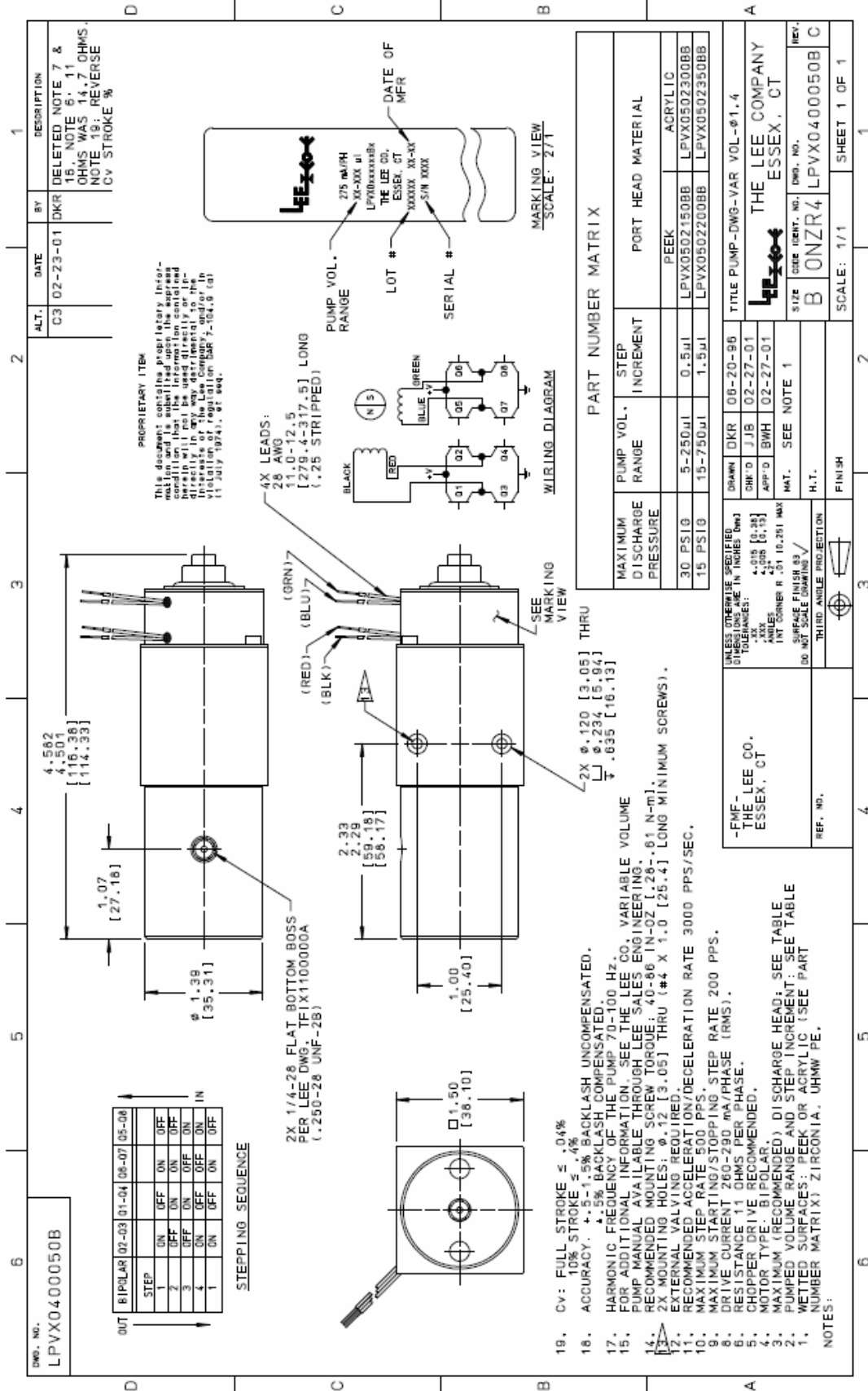
Pensant en aquesta línia, **aquest document ha estat redactat a mode de guia d'usuari** per a que qui necessiti implementar alguna d'aquestes eines pugui tenir recopilada la informació.

8. BIBLIOGRAFIA

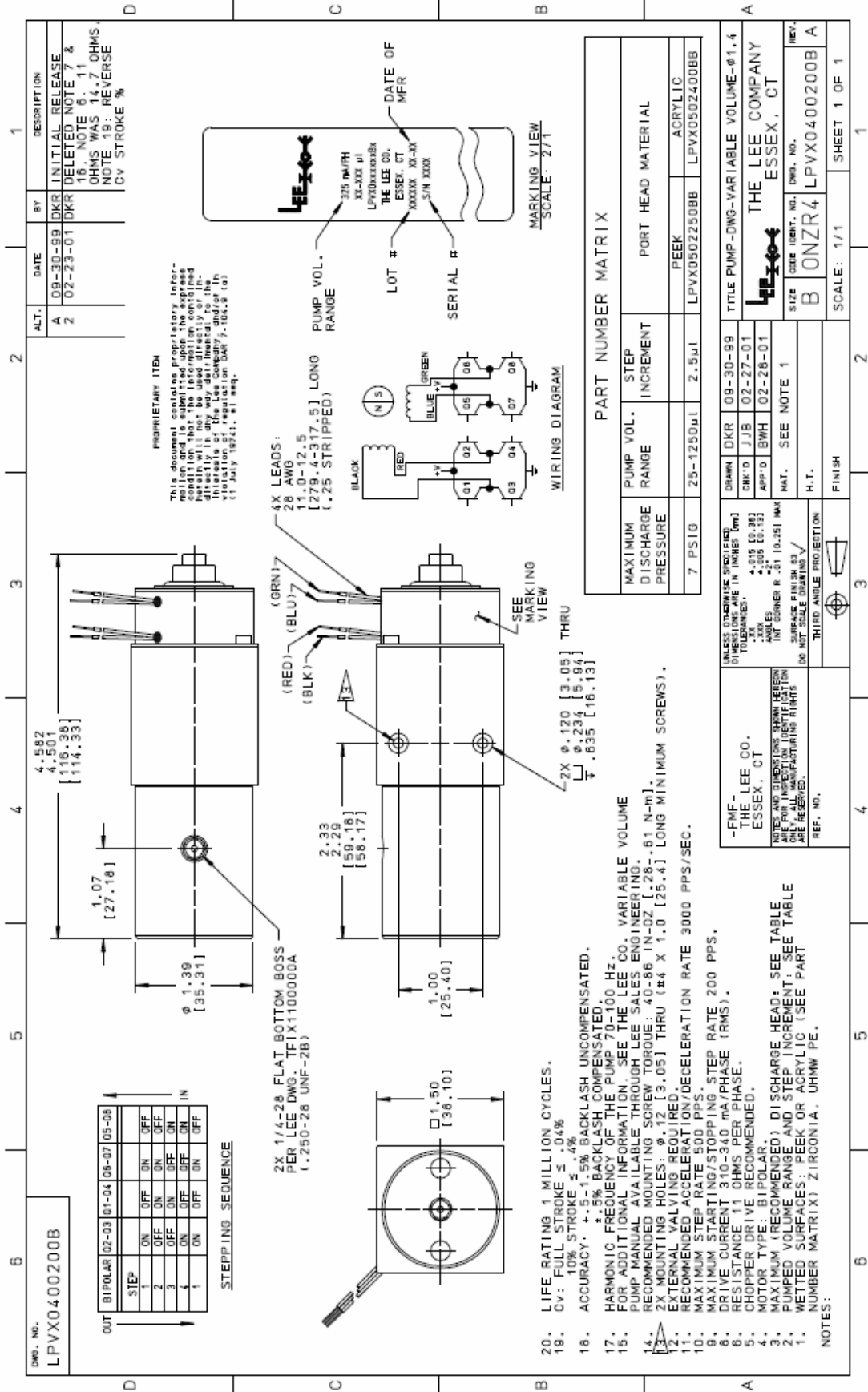
- [1] Cynthia S. Martínez Cisneros, "Sistemas Analíticos Integrados: Instrumentación, control y microfluídica", 2007.
- [2] La importància dels sistemes nets dins la química analítica:
<http://www.swagelok.com.mx> Juny 2009
- [3] Fabricants de bombes microfluídiques convencionals:
<http://www.tse-systems.com/pumps/pumps.htm>
<http://www.gilson.com/> Juny 2009
- [4] Plana web del fabricant de les bombes LPVX, especialitzats en sistemes de microfluídica:
<http://www.theleeco.com> Abril 2009
- [5] Guia molt completa sobre motors pas a pas:
<http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/#introduction>
Abril 2009
- [6] R. Pallás Areny, Adquisición y distribución de señal, Marcombo, 1993
- [7] Web oficial de National Instruments
<http://www.ni.com> Maig 2009
- [8] Miguel Ángel Pérez García, "Instrumentación Electrónica", Ed. Thomson.

9. ANNEXOS

Annex1: LPVX0502150BB



Annex 2: LPVX0502250BB



2916

Data Sheet
29319.20C*

DUAL FULL-BRIDGE PWM MOTOR DRIVER

The UDN2916B, UDN2916EB, and UDN2916LB motor drivers are designed to drive both windings of a bipolar stepper motor or bidirectionally control two dc motors. Both bridges are capable of sustaining 4.5 V and include internal pulse-width modulation (PWM) control of the output current to 750 mA. The outputs have been optimized for a low output saturation voltage drop (less than 1.8 V total source plus sink at 500 mA).

For PWM current control, the maximum output current is determined by the user's selection of a reference voltage and sensing resistor. Two logic-level inputs select output current limits of 0, 33, 67, or 100% of the maximum level. A PHASE input to each bridge determines load current direction.

The bridges include both ground clamp and flyback diodes for protection against inductive transients. Internally generated delays prevent cross-over currents when switching current direction. Special power-up sequencing is not required. Thermal protection circuitry disables the outputs if the chip temperature exceeds safe operating limits.

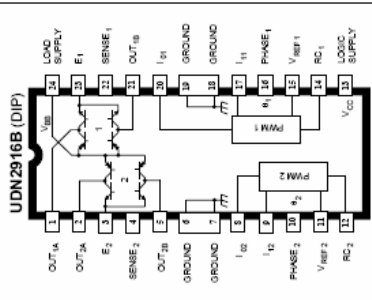
The UDN2916B is supplied in a 24-pin dual in-line plastic batwing package with a copper lead-frame and heat sinkable tabs for improved power dissipation capabilities. The UDN2916EB is supplied in a 44-lead power PLCC for surface mount applications. The UDN2916LB is supplied in a 24-lead surface-mountable SOIC. Their batwing construction provides for maximum package power dissipation in the smallest possible construction. The UDN2916B/EB/LB are available for operation from -40°C to +85°C. To order, change the prefix from 'UDN' to 'UDC'. These devices are also available on special order for operation to +105°C.

FEATURES

- 750 mA Continuous Output Current
- 4.5 V Output Sustaining Voltage
- Internal Clamp Diodes
- Internal PWM Current Control
- Low Output Saturation Voltage
- Internal Thermal Shutdown Circuitry
- Similar to Dual PBL3717, UC3770

Always order by complete part number:

Part Number	Package
UDN2916B	24-Pin DIP
UDN2916EB	44-Lead PLCC
UDN2916LB	24-Lead SOIC



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

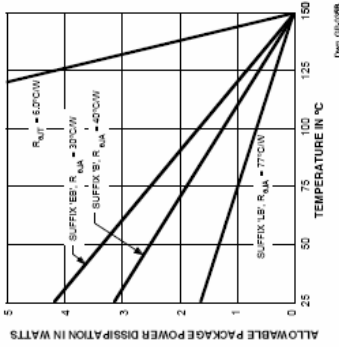
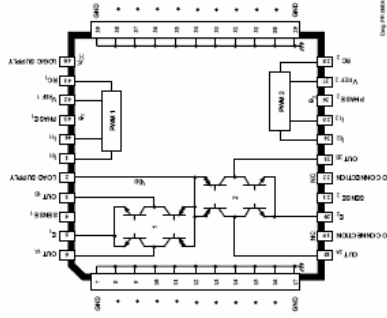
at $T_J \leq 150^\circ\text{C}$

- Motor Supply Voltage, V_{GS} 4.5 V
- Output Current, I_{OUT} +1.0 A (Peak) +750 mA (Continuous)
- Logic Supply Voltage, V_{CC} 7.0 V
- Logic Input Voltage Range, V_{IN} -0.3 V to +7.0 V
- Output Emitter Voltage, V_E 1.5 V
- Package Power Dissipation, P_D See Graph
- Operating Temperature Range, T_A -20°C to +85°C
- Storage Temperature Range, T_S -55°C to +150°C

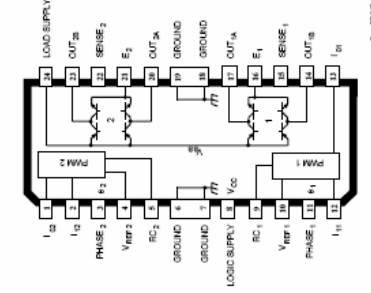
Output current ratings may be limited by duty cycle, ambient temperature, and heat sinking. Under any set of conditions, do not exceed the specified peak current rating or a junction temperature of +150°C.

2916 DUAL FULL-BRIDGE MOTOR DRIVER

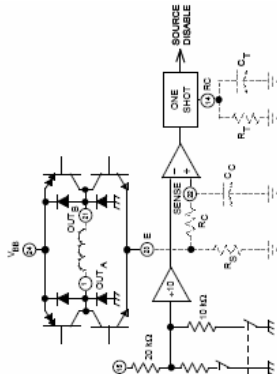
UDN2916EB (PLCC)



UDN2916LB (SOIC)



PWM CURRENT-CONTROL CIRCUITRY



TRUTH TABLE

PHASE	OUT_A	OUT_B
H	H	L
L	L	H



115 Northeast Circuit, Box 15038
Wilmington, Massachusetts 01815-0038 (603) 683-6000
Copyright © 1994, 2003 Allegro Microsystems, Inc.

**2916
DUAL FULL-BRIDGE
MOTOR DRIVER**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $T_A = +25^\circ\text{C}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 45\text{ V}$, $V_{CC} = 4.75\text{ V}$ to 5.25 V , $V_{REF} = 5.0\text{ V}$ (unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Limits		Units	
			Min.	Typ. Max.		
Output Drivers (OUT_A or OUT_B)						
Motor Supply Range	V_{BB}		10	—	45	V
Output Leakage Current	I_{OEX}	$V_{OUT} = V_{BB}$	—	< 1.0	50	μA
		$V_{OUT} = 0$	—	< -1.0	-50	μA
Output Sustaining Voltage	$V_{CE(SAT)}$	$I_{OUT} = \pm 750\text{ mA}$, $L = 3.0\text{ mH}$	45	—	—	V
Output Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	Sink Driver, $I_{OUT} = +500\text{ mA}$	—	0.4	0.6	V
		Sink Driver, $I_{OUT} = +750\text{ mA}$	—	1.0	1.2	V
		Source Driver, $I_{OUT} = -500\text{ mA}$	—	1.0	1.2	V
		Source Driver, $I_{OUT} = -750\text{ mA}$	—	1.3	1.5	V
Clamp Diode Leakage Current	I_R	$V_R = 45\text{ V}$	—	< 1.0	50	μA
Clamp Diode Forward Voltage	V_F	$I_F = 750\text{ mA}$	—	1.6	2.0	V
Driver Supply Current	$I_{BI(ON)}$	Both Bridges ON, No Load	—	20	25	mA
	$I_{BI(OFF)}$	Both Bridges OFF	—	5.0	10	mA
Control Logic						
Input Voltage	$V_{IN(1)}$	All inputs	2.4	—	—	V
	$V_{IN(2)}$	All inputs	—	—	0.8	V
Input Current	$I_{IN(1)}$	$V_{IN} = 2.4\text{ V}$	—	< 1.0	20	μA
		$V_{IN} = 0.5\text{ V}$	—	-3.0	-200	μA
Reference Voltage Range	V_{REF}	Operating	1.5	—	7.5	V
Current Limit Threshold (at trip point)	V_{REF}/V_{SENSE}	$I_S = I_1 = 0.8\text{ V}$	9.5	10	10.5	—
		$I_S = 2.4\text{ V}$, $I_1 = 0.8\text{ V}$	13.5	15	16.5	—
		$I_S = 0.8\text{ V}$, $I_1 = 2.4\text{ V}$	25.5	30	34.5	—
Thermal Shutdown Temperature	T_J		—	170	—	$^\circ\text{C}$
Total Logic Supply Current	$I_{CC(ON)}$	$I_S = I_1 = 0.8\text{ V}$, No Load	—	40	50	mA
	$I_{CC(OFF)}$	$I_S = I_1 = 2.4\text{ V}$, No Load	—	10	12	mA

**2916
DUAL FULL-BRIDGE
MOTOR DRIVER**

APPLICATIONS INFORMATION

PWM CURRENT CONTROL

The UDN2916B/E/LB dual bridges are designed to drive both windings of a bipolar stepper motor. Output current is sensed and controlled independently in each bridge by an external sense resistor (R_S), internal comparator, and monostable multivibrator.

When the bridge is turned ON, current increases in the motor winding and it is sensed by the external sense resistor until the sense voltage (V_{SENSE}) reaches the level set at the comparator's input.

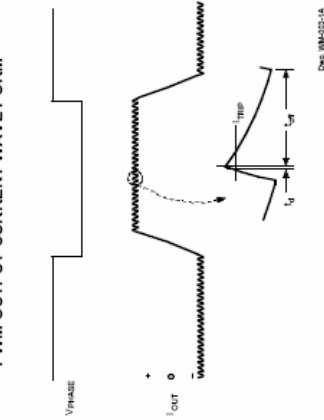
$$I_{TRIP} = V_{REF}/10 R_S$$

The comparator then triggers the monostable which turns OFF the source driver of the bridge. The actual load current peak will be slightly higher than the trip point (especially for low-inductance loads) because of the internal logic and switching delays. This delay (t_d) is typically 2 μs . After turn-off, the motor current decays, circulating through the ground-clamp diode and sink transistor. The source driver's OFF time (and therefore the magnitude of the current decrease) is determined by the monostable's external RC timing components, where $t_{OFF} = R_C C_C$, within the range of 20 k Ω to 100 k Ω and 100 pF to 1000 pF.

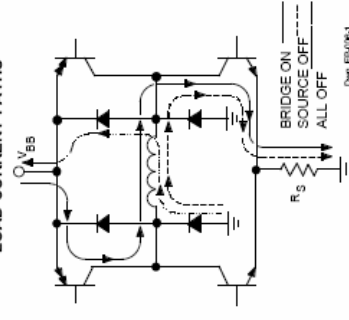
When the source driver is re-enabled, the winding current (the sense voltage) is again allowed to rise to the comparator's threshold. This cycle repeats itself, maintaining the average motor winding current at the desired level.

Loads with high distributed capacitances may result in high turn-ON current peaks. This peak (appearing across R_S) will attempt to trip the comparator, resulting in erroneous current control or high-frequency oscillations. An external RC time delay should be used to further delay the action of the comparator. Depending on load type, many applications will not require these external components (SENSE connected to E).

PWM OUTPUT CURRENT WAVE FORM



LOAD CURRENT PATHS



2916 DUAL FULL-BRIDGE MOTOR DRIVER

LOGIC CONTROL OF OUTPUT CURRENT

Two logic level inputs (I_L and I_H) allow digital selection of the motor winding current at 100%, 67%, 33%, or 0% of the maximum level per the table. The 0% output current condition turns OFF all drivers in the bridge and can be used as an OUTPUT ENABLE function.

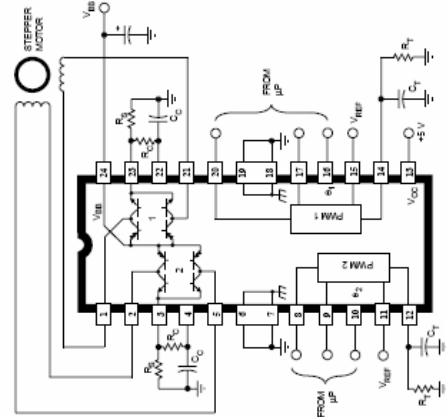
CURRENT-CONTROL TRUTH TABLE

I_H	I_L	Output Current
L	L	$V_{REF}/10 R_S = I_{TRIP}$
H	L	$V_{REF}/15 R_S = 2/3 I_{TRIP}$
L	H	$V_{REF}/30 R_S = 1/3 I_{TRIP}$
H	H	0

These logic level inputs greatly enhance the implementation of μP -controlled drive formats.

During half-step operations, the I_L and I_H allow the μP to control the motor at a constant torque between all positions in an eight-step

TYPICAL APPLICATION



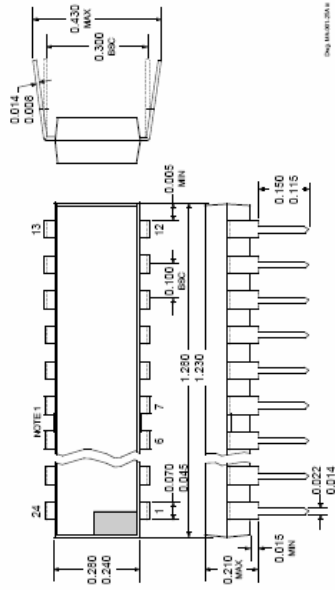
www.allegromicro.com

5

2916 DUAL FULL-BRIDGE MOTOR DRIVER

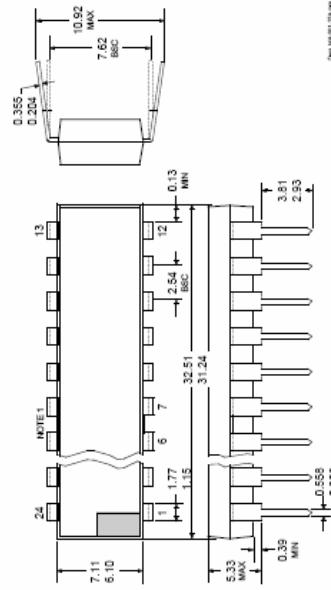
UDN2916B

Dimensions in Inches
(controlling dimensions)



Doc ID: 001 018 000

Dimensions in Millimeters
(for reference only)



Doc ID: 001 018 000

- NOTES: 1. Webbed lead frame. Leads 6, 7, 13, and 19 are internally one piece.
2. Lead thickness is measured at seating plane or below.
3. Lead spacing tolerance is non-cumulative.
4. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.

6



115 Northeast Cliff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

NI 622x Specifications

Specifications listed below are typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Number of channels	NI 6220/NI 6221	0
	NI 6224/NI 6229	2
	NI 6225	0, 2
		4
DAC resolution		16 bits
DNL		No missing codes guaranteed
INL		Refer to the AI Absolute Accuracy Table
Sampling rate		
Maximum		250 KS/s
Minimum		0 S/s
Tuning accuracy		50 ppm of sample rate
Timing resolution		50 ns
Input coupling		DC
Input range		±10 V, ±5 V, ±1 V, ±0.2 V
Maximum working voltage for analog input (signal + common mode)		±11 V of AI GND
CMRR (DC to 60 Hz)		95 dB
Input impedance		
Device on		
AI+ to AI GND		>10 GΩ in parallel with 100 pF
AI- to AI GND		>10 GΩ in parallel with 100 pF
Device off		
AI+ to AI GND		820 Ω
AI- to AI GND		820 Ω

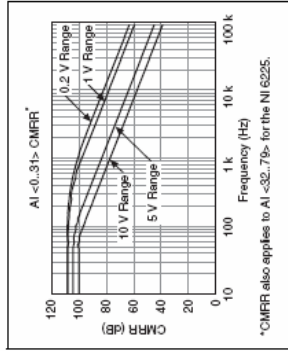
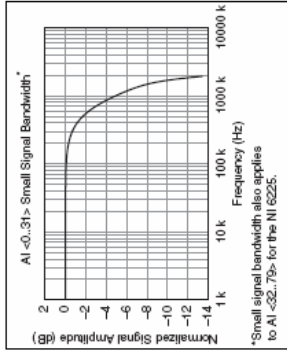
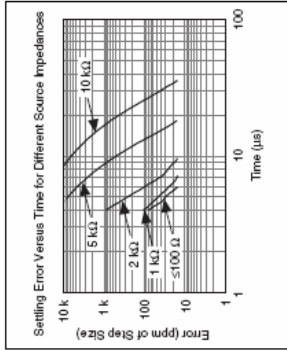
Input bias current		±100 pA
Crossstalk (at 100 kHz)		-75 dB
Adjacent channels		-90 dB
Non-adjacent channels		-90 dB
Small signal bandwidth		700 kHz
Input FIFO size		4,095 samples
Scan list memory		4,095 entries
Data transfers		DMA (scatter-gather), interrupts, programmed I/O
Overvoltage protection (AI<0..79>, AI SENSE, AI SENSE 2)		
Device on		±25 V for up to two AI pins
Device off		±15 V for up to two AI pins
Input current during overvoltage condition		±20 mA max/AI pin

Settling Time for Multichannel Measurements

Accuracy, full scale step, all ranges		±90 ppm of step (±6 LSB)
±40 ppm of step		4 μs convert interval
±30 ppm of step (±2 LSB)		5 μs convert interval
±1.5 ppm of step (±1 LSB)		7 μs convert interval

Annex 4: NI PCI 6221

Typical Performance Graphs



Analog Output

Number of channels	NI 6220	0
	NI 6221	2
	NI 6224	0
	NI 6225	2
		4
DAC resolution		16 bits
DNL		±1 LSB
Monotonicity		16 bit guaranteed
Maximum update rate		
1 channel		833 KS/s
2 channels		740 KS/s per channel
3 channels		666 KS/s per channel
4 channels		625 KS/s per channel
Timing accuracy		50 ppm of sample rate
Timing resolution		50 ns
Output range		±10 V
Output coupling		DC
Output impedance		0.2 Ω
Output current (in ve.)		±5 mA
Overvoltage protection		±2.5 V
Overdrive current		10 mA
Power-on state		±20 mV
Power-on glitch		8.5 V peak for 14.5 ms
Output FIFO size		8,191 samples shared among channels used
Data transfers		DMA (scatter-gather), interrupts, programmed I/O

AO waveform modes:		
• Non-periodic waveform		
• Periodic waveform regeneration mode from onboard FIFO		
• Periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update		



Setting time, full scale step
 15 ppm (1 LSB) 6 μs
 Slew rate 15 V/μs
 Glitch energy
 Magnitude 100 mV
 Duration 2.6 μs

Calibration (AI and AO)

Recommended warm-up time 15 minutes
 Calibration interval 1 year

AI Absolute Accuracy Table

Absolute Accuracy ² (μV)	Sensitivity ² (μV)	Residual Gain Error (ppm of Reading)		Residual Offset Error (ppm of Range)	Reference Tempo (ppm/°C)	Residual Offset Error (ppm of Range)	Tempo Offset (ppm/°C)	INL Error (ppm of Range)	Random Noise, σ (μV rms)	Accuracy at Full Scale ¹ (μV)	Sensitivity ² (μV)
		Nonnal Range	Negative Full Scale								
0.2	1	-0.2	135	25	5	80	175	76	13	11.2	5.2
1	5	-1	95	25	5	25	79	76	30	360	120
5	10	-5	85	25	5	20	60	76	122	1620	48.8
10	10	-10	75	25	5	20	57	76	244	3100	97.6

Absolute Accuracy = Reading · (GainError) + Range · (OffsetError) + NoiseUncertainty
 GainError = ResidualGainError + GainTempo · (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempo · (TempChangeFromLastExternalCal)
 OffsetError = ResidualOffsetError + OffsetTempo · (TempChangeFromLastInternalCal) + INL_{Temp} Error
 NoiseUncertainty = $\frac{\text{RandomNoise} \cdot 3}{\sqrt{100}}$ For a coverage factor of 3 σ and averaging 100 points.
¹ Absolute accuracy at full scale on the analog input channels is determined using the following assumptions:
 TempChangeFromLastInternalCal = 1 °C
 number_of_readings = 100
 CoverageFactor = 3 σ
 For example, on the 10 V range, the absolute accuracy at full scale is as follows:
 GainError = 7.5 ppm + 25 ppm · 1 + 5 ppm · 10
 OffsetError = 153 ppm
 NoiseUncertainty = $\frac{244 \mu\text{V} \cdot 3}{\sqrt{100}}$ NoiseUncertainty = 73 μV
 AbsoluteAccuracy = 10 V · (GainError) + 10 V · (OffsetError) + NoiseUncertainty. AbsoluteAccuracy = 3,100 μV
² Sensitivity is the smallest voltage change that can be detected. It is a function of noise.
 Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

Absolute Accuracy at Full Scale ¹ (µV)	Nominal Range		Residual Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range ² °C)	INL Error (ppm of Range)	3.230
	Positive Full Scale	Negative Full Scale							
	10	-10	90	10	5	40	5	128	
									3.230

¹ Absolute Accuracy at full scale numbers is valid immediately following internal calibration and assumes the device is operating within 10 °C of the last external calibration. Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

$$\text{Absolute Accuracy} = \text{Output Value} \cdot (\text{Gain Error} + \text{Range} \cdot (\text{Offset Error} + \text{Gain Tempco} \cdot (\text{TempChangeFromLastInternalCal} + \text{ReferenceTempco} \cdot (\text{TempChangeFromLastExternalCal} + \text{AOffsetError} + \text{AOffsetTempco} \cdot (\text{TempChangeFromLastInternalCal} + \text{INL}_\text{Error}))))$$

Digital I/O/PFI

Static Characteristics

Number of channels

- NI 6220/NI 6221 (68-pin)¹
 - NI 6225 24 total
 - 8 (P0<0..7>)
 - 16 (PFI <0..7>/P1, PFI <8..15>/P2)
- NI 6224/NI 6229 48 total
 - 32 (P0<0..31>)
 - 16 (PFI <0..7>/P1, PFI <8..15>/P2)
- NI 6221 (37-pin) 10 total
 - 2 (P0<0..1>)
 - 8 (PFI <0..7>/P1)

Ground reference D GND

Direction control Each terminal individually programmable as input or output

Pull-down resistor 50 kΩ to 75 kΩ

Input voltage protection¹ ±20 V on up to two pins

Waveform Characteristics (Port 0 Only)

Terminals used

- NI 6220/NI 6221 (68-pin)¹
 - NI 6225 Port 0 (P0<0..7>)
- NI 6224/NI 6229 Port 0 (P0<0..31>)
- NI 6221 (37-pin) Port 0 (P0<0..1>)

Port/sample size

- NI 6220/NI 6221 (68-pin)¹
 - NI 6225 Up to 8 bits
 - NI 6224/NI 6229 Up to 32 bits
 - NI 6221 (37-pin) Up to 2 bits

Waveform generation (DO) FIFO 2,047 samples

Waveform acquisition (DI) FIFO 2,047 samples

DO or DI Sample Clock frequency 0 to 1 MHz

DO or DI Sample Clock source² Any PFI, RTSI, AI Sample or Convert Clock,

AO Sample Clock, Ctr n Internal Output, and many other signals

PFI/Port 1/Port 2 Functionality³

- Functionality Static digital input, static digital output, timing input, timing output
- Timing output sources Many AI, AO, counter, DI, DO timing signals
- Debounce filter settings 1.25 ns, 6.425 µs, 2.54 ms, disable; high and low transitions; selectable per input

Recommended Operation Conditions

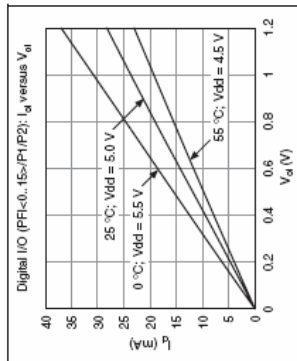
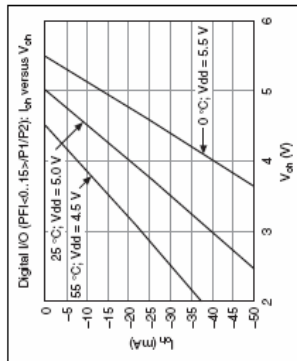
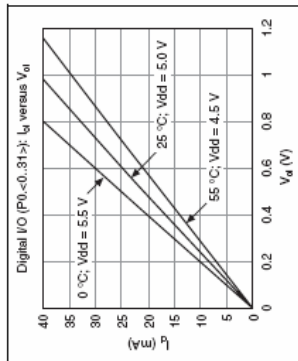
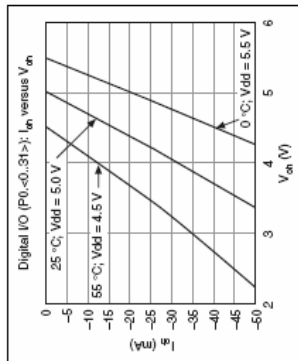
Level	Min	Max
Input high voltage (V _{ih})	2.2 V	5.25 V
Input low voltage (V _{il})	0 V	0.8 V
Output high current (I _{oh})	—	-24 mA
PO <0..31>	—	-16 mA
PFI <0..15>/P1/P2	—	—
Output low current (I _{ol})	—	24 mA
PO <0..31>	—	—
PFI <0..15>/P1/P2	—	16 mA

Electrical Characteristics

Level	Min	Max
Positive-going threshold (VT+)	—	2.2 V
Negative-going threshold (VT-)	0.8 V	—
Delta VT hysteresis (VT+ - VT-)	0.2 V	—
I _{ih} input low current (V _{ih} = 0 V)	—	-10 µA
I _{ih} input high current (V _{ih} = 5 V)	—	250 µA

¹ Stresses beyond those listed under *Input voltage protection* may cause permanent damage to the device.
² The digital subsystem does not have its own dedicated internal timing engine. Therefore, a sample clock must be provided from another subsystem on the device or an external source.
³ Port 2 is not available on the NI 6221 (37-pin) device.

Digital I/O Characteristics



General-Purpose Counter/Timers

Number of counter/timers 2

Resolution 32 bits

Counter measurements Edge counting, pulse, semi-period, period, two-edge separation

Position measurements X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading; two-pulse encoding

Output applications Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling

Phase-Locked Loop (PLL)

Number of PLLs 1

Reference signal PXL_STAR, PXL_CLK_I0, RTSI <0..7>

Output of PLL 80 MHz Timebase; other signals derived from 80 MHz Timebase including 20 MHz and 100 kHz Timebases

External Digital Triggers

Source Any PFI, RTSI, PXL_TRIG, PXL_STAR

Polarity Software-selectable for most signals

Analog input function Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Convert Clock, Sample Clock Timebase

Analog output function Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase

Counter/timer functions Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down

Digital waveform generation (DO) function Sample Clock

Digital waveform acquisition (DI) function Sample Clock

Data transfers Dedicated scatter-gather DMA controller for each counter/timer; interrupts; programmed I/O

Inputs Gate, Source: HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down

Routing options for inputs Any PFI, RTSI, PXL_TRIG, PXL_STAR, analog trigger, many internal signals

FIFO 2 samples

Frequency Generator

Number of channels 1

Base clocks 10 MHz, 100 kHz

Divisors 1 to 16

Base clock accuracy 50 ppm

Output can be available on any PFI or RTSI terminal.

Device-To-Device Trigger Bus

PCI devices RTSI <0..7>¹
 PXI devices PXI_TRIG <0..7>²
 PXI_STAR

Output selections 10 MHz Reference Clock;
 frequency generator
 output;
 many internal signals

Debounce filter settings 125 ns, 6425 μ s,
 2.54 ms, disabled;
 high and low transitions;
 selectable per input

Bus Interface

PCI or PXI 3.3 V or 5 V signal
 environment
 DMA channels 6, analog input,
 analog output,
 digital input,
 digital output,
 counter/timer 0,
 counter/timer 1

Power Requirements

Current draw from bus during no-load condition
 +5 V 0.02 A³
 +3.3 V 0.25 A³
 +12 V 0.15 A

Current draw from bus during AI and AO overvoltage
 condition
 +5 V 0.02 A³
 +3.3 V 0.25 A³
 +12 V 0.25 A

Power available from
 +5 V terminal⁴ 1 A max, each connector,
 with self-resetting fuse

Other power limit for
 PXI devices Current drawn from
 +5 V terminals and all
 P0/P1/P2 terminals
 should not exceed 2 A

- ¹ In other sections of this document, *RTSI* refers to RTSI <0..7> for PCI devices or PXI_TRIG <0..7> for PXI devices.
- ² The NI 6221 (37-pin) does not use +3.3 V from the bus. The 3.3 V current draw, shown in the *Power Requirements* section, comes from the +5 V instead.
- ³ +5 V terminal is not available on the NI 6221 (37-pin) device.
- ⁴ *Maximum working voltage* refers to the signal voltage plus the common-mode voltage.

Physical Requirements


Printed circuit board dimensions
 NI PCI-6220/6221/6224/
 6225/6229 9.7 cm \times 15.5 cm
 (3.8 in. \times 6.1 in.)
 NI PXI-6220/6221/6224/
 6225/6229 Standard 3U PXI

Weight
 NI PCI-6220 91 g (3.2 oz)
 NI PCI-6221 (68-pin) 92 g (3.2 oz)
 NI PCI-6221 (37-pin) 95 g (3.3 oz)
 NI PCI-6224 99 g (3.5 oz)
 NI PCI-6225 103 g (3.6 oz)
 NI PCI-6229 101 g (3.5 oz)
 NI PXI-6220 158 g (5.5 oz)
 NI PXI-6221 (68-pin) 162 g (5.7 oz)
 NI PXI-6224 170 g (5.9 oz)
 NI PXI-6225 174 g (6.1 oz)
 NI PXI-6229 171 g (6.0 oz)

I/O connector
 NI 6220/NI 6221 (68-pin) 1 68-pin VHDCI
 NI 6224/NI 6225/NI 6229 2 68-pin VHDCI
 NI 6221 (37-pin) 1 37-pin D-SUB

Maximum Working Voltage⁴

NI 6220/NI 6221/NI 6224/NI 6225/NI 6229
 Channel to earth 1 V,
 Measurement Category I

 **Caution** Do not use for measurements within
 Categories II, III, or IV.

Environmental

Operating temperature 0 to 55 °C
 Storage temperature -20 to 70 °C
 Humidity 10 to 90% RH,
 noncondensing
 Maximum altitude 2,000 m
 Pollution Degree
 (indoor use only) 2

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1
- CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1



For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit ni.com/certifications, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

Emissions EN 55011 Class A at
 10 m, FCC Part 15A
 above 1 GHz
 Immunity EN 61326:1997 +
 A2:2001, Table 1

CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant



For EMC compliance, operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE Marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety) 73/23/EEC
 Electromagnetic Compatibility
 Directive (EMC) 89/336/EEC



Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certifications, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

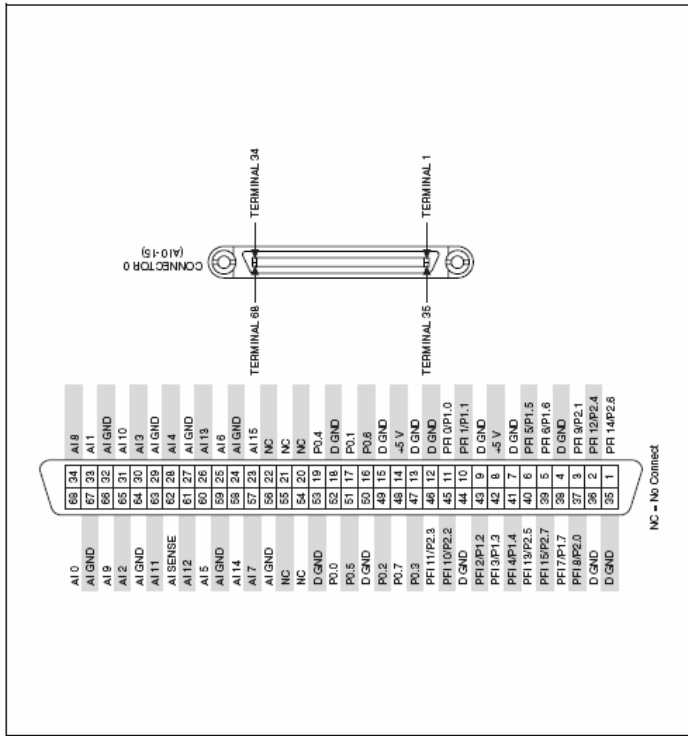


Figure 1. NI 6220 Pinout

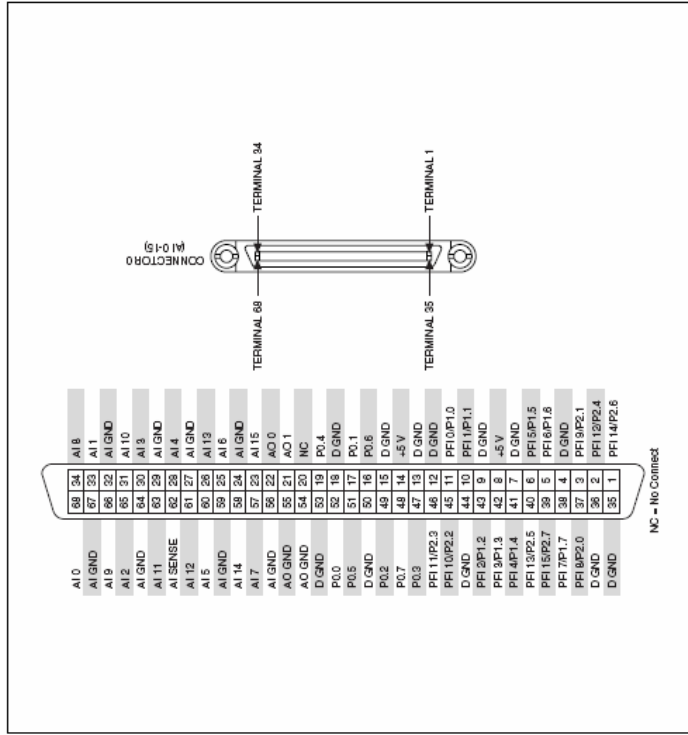


Figure 2. NI 6221 (88-Pin) Pinout

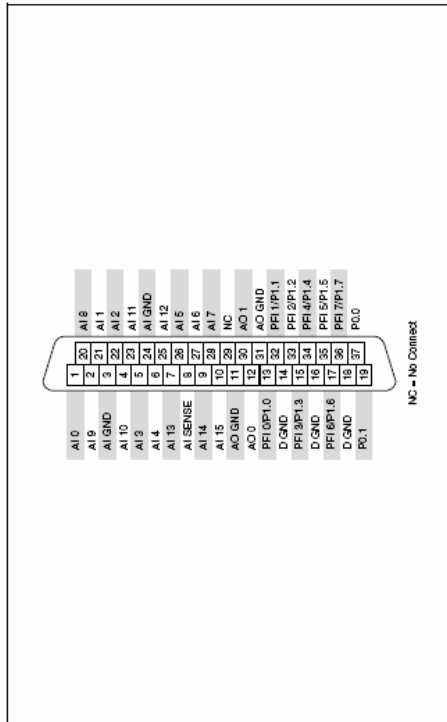


Figure 3. NI 6221 (37-Pin) Pinout

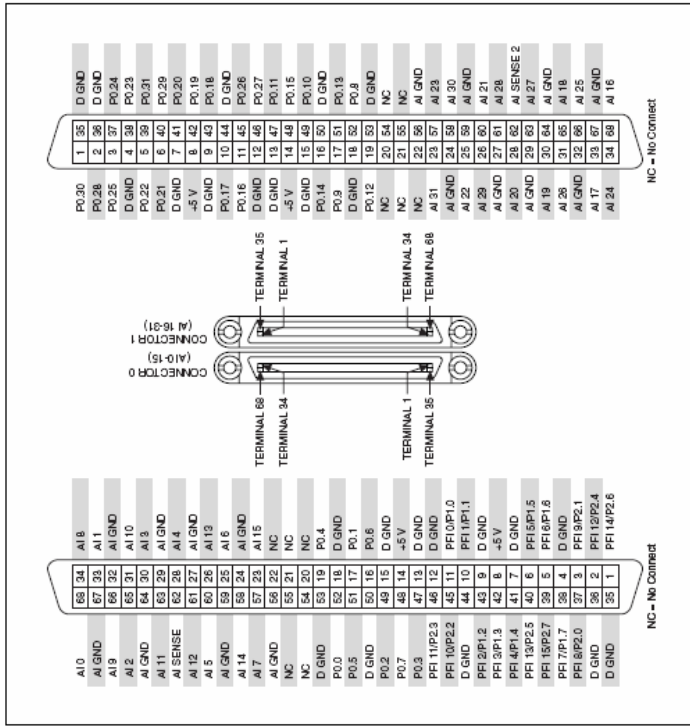


Figure 4. NI 6224 Pinout

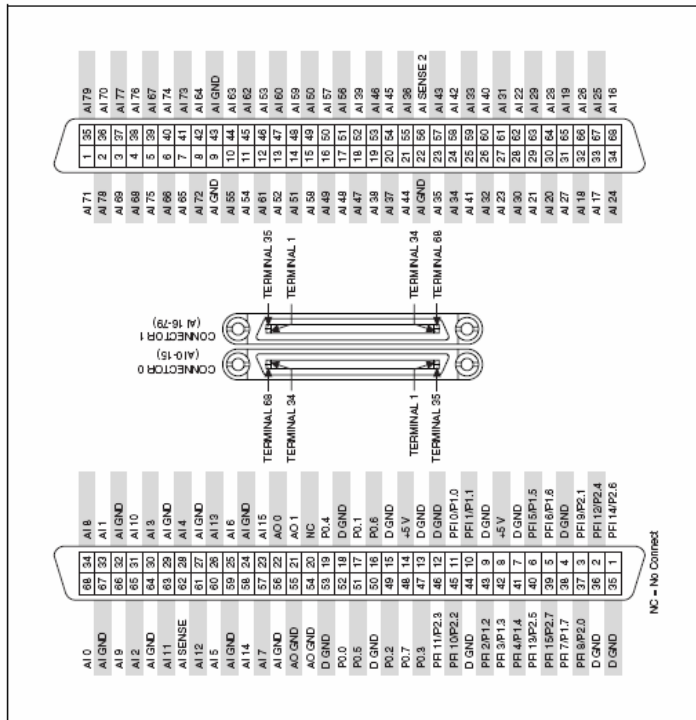


Figure 5. NI 6225 Pinout

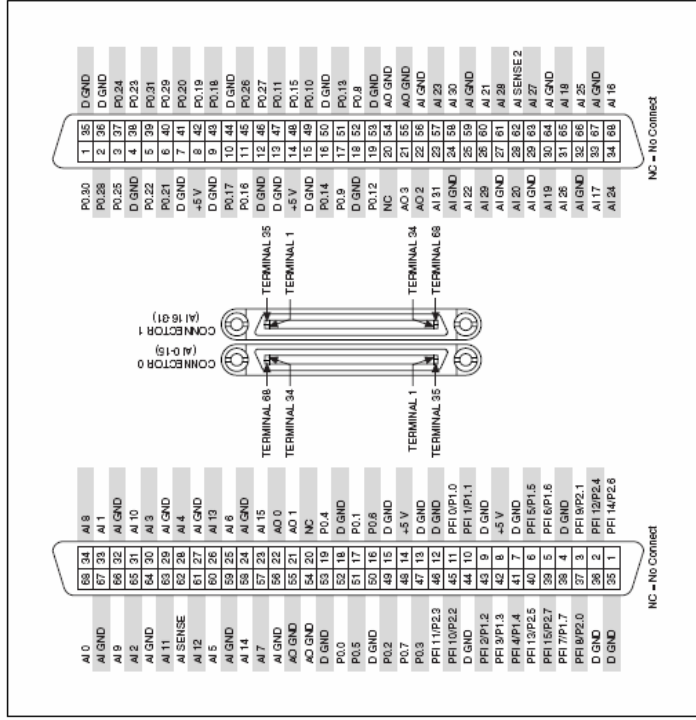


Figure 6. NI 6225 Pinout

Jordi Cardona Miracle

Bellaterra, 16 de Juliol del 2009

Resum:

En aquest projecte s'ha implementat un sistema de control per a les bombes microfluídiques LPVX de *The Lee Company* funcionant a mode de xeringa. El sistema consisteix en un circuit controlador basat en el microxip UDN 296 B de *Allegro MicroSystems*, que conté dos Ponts en H per a controlar motors pas a pas i dos mòduls de Modulació d'Amplada de Polsos (*PWM*), governat a partir d'un programa de control com a instrument virtual dissenyat sota l'entorn LabVIEW. El programa de control permet indicar la quantitat de volum a aspirar o dispensar per la bomba i escollir entre una execució simple o una de continuada, podent-ne controlar en aquest segona opció el temps entre execució i execució. El programa també permet visualitzar el procés mitjançant la obtenció de la imatge d'una *webcam* amb *DirectShow*. Finalment també permet el control remot de l'Instrument Virtual a través de la xarxa d'Internet.

Resumen:

En este proyecto se ha implementado un sistema de control para las bombas microfluídicas LPVX de *The Lee Company* funcionando a modo de jeringa. El sistema consiste en un circuito controlador basado en el microchip UDN 296 B de *Allegro MicroSystems*, que contiene dos Puentes en H para controlar motores paso a paso y dos módulos de Modulaci3n de Amplitud de Pulsos (*PWM*), gobernado a partir de un programa de control como instrumento virtual dise1ado bajo el entorno LabVIEW. El programa de control permite indicar la cantidad de volumen a aspirar o dispensar por la bomba i escoger entre una ejecuci3n simple o una de continuada, pudiendo controlar en esta segunda opci3n el tiempo entre ejecuci3n y ejecuci3n. El programa tambi3n permite visualizar el proceso mediante la obtenci3n de la imagen de una *webcam* con *DirectShow*. Finalmente tambi3n permite el control remoto del Instrumento Virtual a trav3s de la red de Internet.

Summary:

In this project it has been implemented a control system for LPVX microfluidic pumps from The Lee Company to operate as a syringe. The system consist in a driver circuit based on the UDN2916 microchip from Allegro MicroSystems, which contains two H bridges to control stepper motors and two Pulse With Modulation modules (*PWM*), driven by a virtual instrument developed under LabVIEW environment. The control program allows specifying the value of volume to aspire or to dispense by the pump and to choose simple or continuous execution, controlling, in this second option, the time between execution and execution. The program also lets to view the final process providing an image from a webcam with *DirectShow*. Finally also allows remote control of the Virtual instrument by the Internet network.