

Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrielles (GETI)

**Anàlisi de la planta de pràctiques de
Dinàmica de Sistemes i Control
Automàtic**

MEMÒRIA

26 de maig de 2022

Autor: Roger Sala Guadaña

Directors Cristina Lampón Diestre

Convocatòria: mm/AAAAA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Todo list

■ Treure llista i restaurar la pàgina en blanc	1
■ per algun motiu no esta indentant la primera línia del paràgraf	11
■ Aconseguir la llista de problemes o fer un test dels exercicis	13
■ Refer	13
■ Massa reptitiu? Revisar al final d'una sola lectura	13
■ Esquemes de connexions en DS i CA (En la mateixa línia?)	14
■ Passar els diagrames a tikzpicture	14
■ Afegir Font de les imatges	15
■ redundant anar posant LJ Create en els peus de figura?	16
■ Apareix una pàgina en blanc que no hauria	17

Treure ll
taurar la
blanc

Resum

1 pàgina.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdier, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Mae- cenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Índex

Resum	3
Glossari	9
Prefaci	11
1 Introducció	13
1.1 Objectius del projecte	13
1.2 Abast del projecte	13
1.3 Equipament actual	13
1.3.1 Mòdul de control de motors DC	14
1.3.2 Mòdul de controlador PID	15
1.3.3 Potenciómetre de comandament	16
1.3.4 Adquisició de dades amb Arduino i Simulink	16
2 Anàlisis i Tests	19
2.1 Tests preliminars	19
2.1.1 Precisió dels aparells de mesura	19
2.1.2 Mesura de masses	19
2.2 Càcul dels coeficients del model	19
2.2.1 Motor	19
2.2.2 Tacòmetre	19
2.2.3 Potenciómetre	19
2.3 Tests de zona morta	19
3 Sol·lucions	21
4 Planificació temporal	23
4.1 Planificació original	23
4.1.1 Diagrama de Gantt	23
4.2 Planificació final	23
4.2.1 Diagrama de Gantt	23
5 Pressupost	25
5.1 Cost de personal	25
5.2 Cost de llicències	25
5.3 Cost de material	25
5.4 Cost energètic	25
5.5 Cost fungibles ...	25
5.6 Cost total associat	25
6 Impacte ambiental	27
6.1 Implementació	27
6.2 Vida útil	27
6.3 Fi de vida útil	27
Conclusions	29

Agraïments	31
Bibliografia	33
A Dades dels tests i càlcul dels coeficients	35
B Esquemàtics i simulacions de la sol·lució	35

Índex de figures

1.1	Equipament actual	14
1.2	Diagrama de connexions	14
1.3	Planta de LJ Create	15
1.4	Controlador PID de LJ Create	16
1.5	Mòdul de comandament de LJ Create	16
1.6	Arduino Due amb el <i>shield</i> a mida	17

Índex de taules

Glossari

ESAII PID PCI PCIe Shield

Prefaci

Origen del projecte

L'estiu passat (estiu de 2021) al departament d'ESAII es va decidir reemplaçar el material utilitzat a les pràctiques de **Dinàmica de Sistemes i Control Automàtic**, ja que les plantes (**Un controlador PID i una placa d'alimentació d'un motor de corrent continu**) presentaven ja desgast i el sistema d'adquisició de dades, que aleshores consistia en unes targetes d'expansió PCI, era difícil de reemplaçar en cas de fallada i de mantenir, ja que no se'n fabriquen de noves, requereixen ordinadors antics amb un bus PCI (avui en dia els ordinadors utilitzen PCIe, el seu successor) i el software necessari per al seu funcionament requereix Windows XP, que ja no té manteniment oficial i és obsolet.

Les plantes, que ja eren adequades per als exercicis i l'únic problema era que s'havien enveilit i deteriorat, es van reemplaçar per unes del mateix model i fabricant noves, amb **l'excepció del motor, que es va substituir per un altre que el fabricant** de les plantes considerava tenia unes característiques prou semblants i que a la pràctica es comportaria igual, doncs l'original es va deixar de produir.

El sistema d'adquisició de dades es va modernitzar a una placa Arduino Due amb un *Shield* dissenyat a mida [2] per a adaptar els diferents rangs de voltagge del sistema i uns models de Simulink per a fer la captació, processament de les dades i implementació del controlador en les pràctiques de Control Automàtic.

Malauradament, al llarg del primer quadrimestre després de fer el canvi el professorat de pràctiques de laboratori va adonar-se que certs exercicis no donaven els resultats esperats.

per algun
no esta i
la primera
del paràgr

1 Introducció

1.1 Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest TFG és detectar, caracteritzar i corregir els errors detectats per el personal de laboratori al fer les pràctiques de Dinàmica de Sistemes i Control Automàtic. D'acord amb el contingut d'ambdues assignatures, la planta amb el motor es modela com un sistema de primer ordre, al que s'engranen uns sensors (tacòmetre i potenciómetre) a fi d'alimentar un controlador amb el que es tanca el llaç. El problema és que sota certes condicions el sistema no es comporta com s'esperaria del model teòric que en principi el representa.

A continuació és mostra un recull dels errors notificats pels docents: *Detectats en Dinàmica de Sistemes:*

- El derivador té un soroll excessiu.
- En certs exercicis les condicions d'estabilitat calculades analíticament no semblen corresponente amb les de la planta.
- En mode de control de posició, per a consignes amb valor igual o major a 3V i amb controlador P amb K_p baixa, sobre 1 o 2, tot i que teòricament el sistema és de Tipus 1 la planta presenta error estacionari no nul a una consigna graó.

Detectats en Control Automàtic:

- <FALTA>

Aquests errors no es donaven, o no eren prou notables en les plantes antigues amb el sistema d'adquisició basat en targetes PCI.

Aconsegta de profer un exercicis

1.2 Abast del projecte

Aquest projecte pretén identificar els errors i elaborar una solució, ja sigui en hardware o software, per tal que la planta tingui un comportament suficientment lineal per a reflexar el model teòric en el que es basen les pràctiques de DS i CA.

Refer

1.3 Equipament actual

El material actual està format per un conjunt de 3 mòduls físics (Motor¹, controlador PID² i mòdul de comandament³) del fabricant LJ Create (antigament LJ Technical Systems) i un sistema d'adquisició de dades basat en Arduino Due propi dissenyat al departament.

Massa re
Revisar a
d'una so

¹<https://ljcreate.com/uk/engineering/d-c-motor-control-module/>

²<https://ljcreate.com/uk/engineering/pid-controller-module/>

³<https://ljcreate.com/uk/engineering/command-potentiometer/>

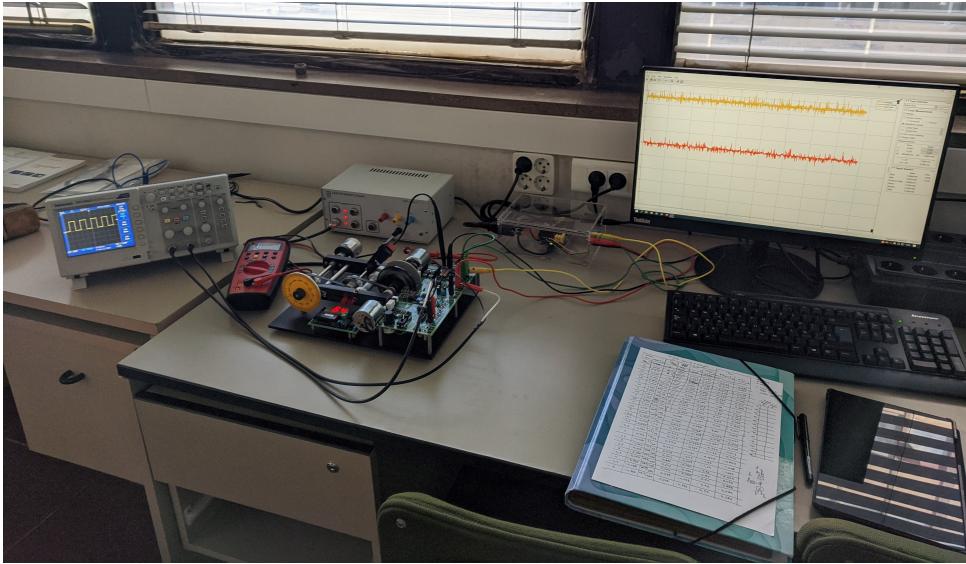
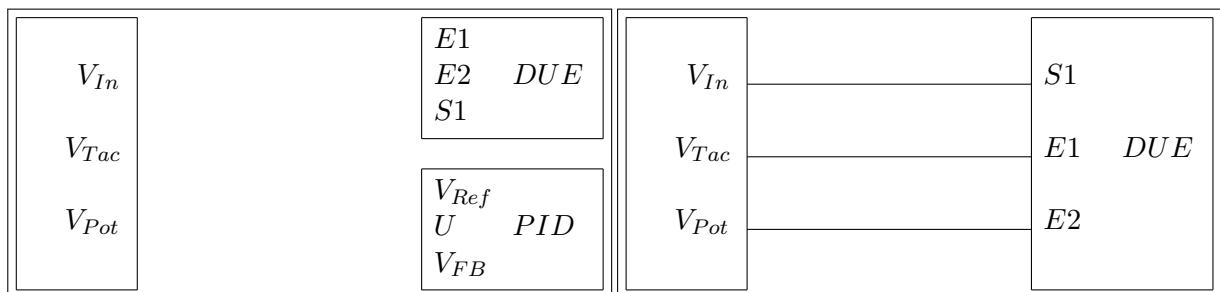


Figura 1.1: Equipament actual

- En Dinàmica de Sistemes es connecten **dues senyals** entre motor i controlador, la de control i el feedback. L'arduino s'utilitza com a oscil·loscopi de dos canals i com a generador de funcions per al senyal de consigna, tot i que aquesta última funció també es pot fer amb el potenciómetre de comandament.
- En Control Automàtic, es connecta el motor únicament amb l'arduino amb els mateixos senyals (control i feedback), ja que en aquest cas tot el controlador s'implementa en software.



(a) Dinàmica de Sistemes

(b) Control Automàtic

Figura 1.2: Diagrama de connexions

1.3.1 Mòdul de **control** de motors DC

Aquest mòdul és l'utilitzat com a planta en les pràctiques. Es tracta del model 207-15 (inicialment tret al mercat com a MS15) de la **marca**, format per un motor DC amb escombreres de **12V**, dissenyat per a ser retroalimentat a través d'un tacòmetre, un disc perforat o un disc codificat Grey, solidaris a l'eix del motor, o amb un potènciometre de rotació contínua, acoblat mitjançant un tren reductor 9:1. Tots els senyals generats pels sensors tenen contactes **elèctrics** dedicats. Addicionalment també hi ha incorporats indicadors visuals per a la velocitat angular, calculada a partir del disc codificat Grey i mostrada en rpm en un indicador 7-segments de 3

xifres, així com un disc transportador connectat a l'eix del potènciometre per a veure la posició. Es pot configurar el règim de treball mitjançant un fre magnètic amb 3 posicions seleccionables: desactivat, mitja càrrega i càrrega completa, i el tacòmetre, que es pot configurar com a una càrrega ajustable.

Afegir F
imatges

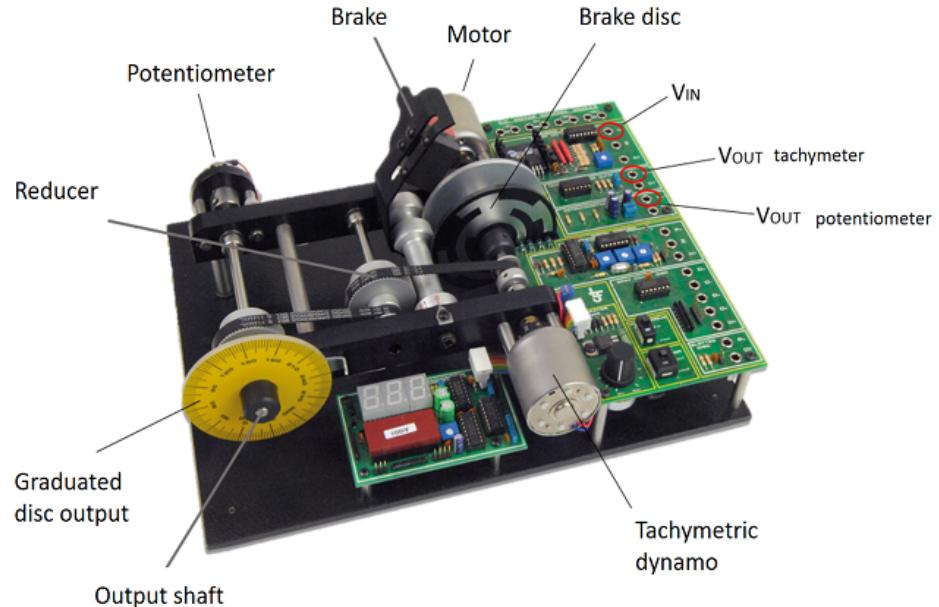


Figura 1.3: Planta de LJ Create

1.3.2 Mòdul de controlador PID

El controlador PID 207-04 (originalment AS4) és un mòdul analògic on cada acció es pot activar o desactivar individualment, així com graduar el seu pes en una escala discreta. Adicionalment, incorpora un filtre passabaix actiu situat entre el càlcul de l'error i les accions PID amb dues freqüències de tall seleccionables, a fi de minorar el soroll del sistema, particularment per a quan s'utilitzi l'acció derivativa. Tot i que no s'utilitzen en les pràctiques, disposa d'elements extres, que donat el cas es poden cablejar en el controlador principal. Dits elements són:

- Un terminal de realimentació auxiliar
- Un terminal de realimentació de llaç intern
- Un inversor del senyal
- Un amplificador
- Un filtre passaalt passiu

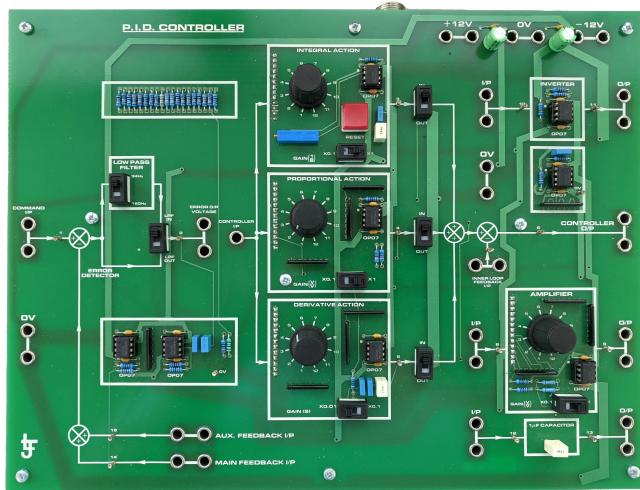


Figura 1.4: Controlador PID de LJ Create

1.3.3 Potenciòmetre de comandament

El 3r i últim mòdul del conjunt consisteix en un potènciometre rotatiu de 360 graus amb un disc graduat, que permet crear un senyal de tensió analògic d'entre -5 i 5V. S'utilitza en les **pràctiques de llaç obert** per a alimentar la consigna. També és útil a l'hora de fer proves i tests a l'equipament.

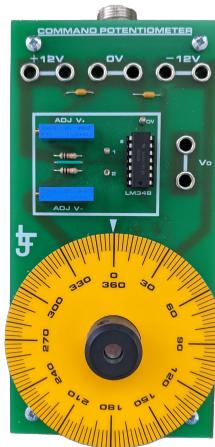


Figura 1.5: Mòdul de comandament de LJ Create

anar
Create
s de fi-

1.3.4 Adquisició de dades amb Arduino i Simulink

La **decisió** d'utilitzar un Arduino per a l'adquisició de dades en comptes d'un model més recent de targeta d'adquisició de dades s'enmarca dins de la iniciativa *Duino-Based Learning*, promoguda conjuntament per la UPC i Mathworks, que té com a objectiu donar un punt de partida a professors i estudiants en l'ensenyança i aprenentatge de control automàtic a través d'experiències pràctiques utilitzant projectes basats en Arduino, Matlab i plantes de baix cost. En el lloc

web⁴ podeu trobar scripts, video guies i instruccions per a reproduir els diferents experiments del laboratori de Control.

L'arduino ofereix dues entrades (referides a partir d'ara com E1 i E2) i una sortida (S1) a través del *shield*, que fa el tractament de senyal entre els rangs de tensions i corrents del dispositiu i el mòdul de la planta. Addicionalment, implementa diverses mesures de protecció contra sobre-tensions i soroll per si de cas un alumne cometés cap error al cablejar els diferents components. Les entrades fan la funció de sondes de l'osciloscopi virtual, que es pot veure a la pantalla de la figura 1.1 on es mostra l'equipament actual, i la sortida genera el senyal de consigna. En les pràctiques de Control Automàtic una de les entrades es fa servir per a captar el senyal de feedback i la sortida es connecta directament al motor i s'utilitza de senyal de consigna. L'Arduino Due es programa a través de Matlab amb models de Simulink i transmet els senyals captats a l'ordinador en temps real a través d'USB.



Figura 1.6: Arduino Due amb el *shield* a mida

Per a més informació podeu veure el TFM [2] i el document del disseny del *shield* [1] (ambdós en anglès).

Apareix
gina en b
no hauria

⁴<https://duinobasedlearning.github.io/>

2 Anàlisis i Tests

2.1 Tests preliminars

S'han de reforçar els punts que s'expliquen amb la bibliografia consultada [2].

2.1.1 Precisió dels aparells de mesura

2.1.2 Mesura de masses

2.2 Càcul dels coeficients del model

2.2.1 Motor

2.2.2 Tacòmetre

2.2.3 Potenciòmetre

2.3 Tests de zona morta

.

3 Sol·lucions

4 Planificació temporal

4.1 Planificació original

4.1.1 Diagrama de Gantt

4.2 Planificació final

4.2.1 Diagrama de Gantt

5 Pressupost

- 5.1 Cost de personal
- 5.2 Cost de llicències
- 5.3 Cost de material
- 5.4 Cost energètic
- 5.5 Cost fungibles ...
- 5.6 Cost total associat

6 Impacte ambiental

6.1 Implementació

6.2 Vida útil

6.3 Fi de vida útil

.

Conclusions

Agraïments

Moltes Gràcies

Bibliografia

- [1] Ramón Costa-Castelló Eneko Lerma Robert Griñó. *Disseny de l'adaptador de senyals*. UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. URL: <https://raw.githubusercontent.com/DuinoBasedLearning/Lab/master/Ca/AdapSenyal.pdf> (cons. 23-05-2022).
- [2] Eneko Lerma Macaya. «Development of a MATLAB/Simulink - Arduino environment for experimental practices in control engineering teaching». Treb. fin. de màst. UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial, jul. de 2019. URL: <http://hdl.handle.net/2117/182413> (cons. 19-04-2022).

A Dades dels tests i càlcul dels coeficients

B Esquemàtics i simulacions de la sol·lució