

Explorant les oportunitats d'arduino com a alternativa als PLC industrials

Lluís Padullés Jover

Grau en enginyeria electrònica industrial i automàtica

Resum

En aquest projecte de final de grau es desenvolupa un programa per a controlar una bomba de calor mitjançant una placa Arduino UNO.

L'objectiu principal d'aquest treball és abaratir el cost que suposa programar-la amb un PLC. Per comparar els dos controladors s'han analitzat molts aspectes i característiques com la connectivitat o les condicions d'operació. També s'ha realitzat una comparativa de tres plaques Arduino per a veure quina és la més adient per controlar una bomba de calor.

La placa utilitzada és la Arduino UNO Rev3, que ofereix un gran ventall de possibilitats respecte els PLC industrials però també té les seves limitacions.

1. Introducció

En una societat cada vegada més preocupada per l'eficiència energètica, les bombes de calor s'han inventat com a una nova tecnologia per a climatitzar edificis residencials, comerços i grans indústries. Aquestes màquines poden proporcionar tant refrigeració a l'estiu com calefacció a l'hivern, consumint menys energia que les tradicionals calderes o dispositius d'aire condicionat.

A mesura que la tecnologia avança, s'espera que les bombes de calor siguin cada vegada més eficients amb un elevat rendiment i una gran capacitat d'adaptació a les noves tecnologies.

Una gran part de les bombes que existeixen estan controlades per un controlador lògic programable (PLC) que permet realitzar accions de control automàticament. Els PLC són dispositius que s'utilitzen per automatitzar processos i a partir de senyals externes, ja siguin analògiques o digitals, elaborar i enviar accions com a resposta.

En aquests temps, ha anat creixent l'interès per a diversos microcontroladors, com l'Arduino, que són una alternativa viable per a controlar processos automàtics.

En aquest treball, s'estudien les possibilitats que ens ofereix el microcontrolador Arduino per controlar una bomba de calor com a alternativa als PLC tradicionals.

Aquest, és un projecte real suggerit i realitzat a l'empresa BAXI, filial del grup europeu BDR Thermea. BAXI, és una empresa que dona feina a més de 6.400 persones en tot europa i factura més de 1.200 milions d'euros a l'any.

2. Bombes de Calor

Una bomba de calor, és un dispositiu que utilitza els principis de la termodinàmica per refrigerar o escalfar un espai. Està format principalment per un compressor, un evaporador, un condensador i una vàlvula d'expansió.



Fig. 1. Bomba de calor

El funcionament d'una bomba de calor es pot descriure en quatre etapes on el fluid refrigerant, gràcies a les seves propietats, permet dur a terme el procés següent:

- En primer lloc, el refrigerant es troba en estat líquid a baixa pressió i temperatura i passa per l'evaporador. Allà hi passa aire de l'exterior a través on el fluid absorbeix calor de l'exterior, i com a conseqüència, passa a estar en estat gasós.
- Seguidament, el gas passa per el compressor el qual augmenta considerablement la pressió del mateix i fa que surti a una temperatura elevada.
- Aquest gas a alta temperatura i pressió, passa a través del condensador on dissipa tota aquesta calor a l'exterior i poc a poc es va tornant una altra vegada en estat líquid.
- Per últim, aquest líquid passa per la vàlvula d'expansió on la seva funció és disminuir aquesta pressió i temperatura que encara té el refrigerant perquè aquest líquid passi a estar en un estat semilíquid i pugui absorbir calor de l'exterior o l'estància, segons el mode de funcionament, i torni a començar aquest cicle.

3. Controladors Lògics Programables

Un PLC, “Controlador Lògic Programable” o autòmat programable, és una màquina electrònica que està dissenyada per fer, en temps real, automatismes combinacionals i seqüencials. Està pensada per ser programada per personal de caràcter no informàtic.

Aquests PLC són ordinadors capaços d'automatitzar processos, els quals són utilitzats en moltes indústries i màquines i generalment són fàcils de manejar per els operadors. Bàsicament l'autòmat és capaç d'executar una acció, com per exemple accionar un motor, segons la senyal que li arribi d'algun altre procés.

El PLC té tres parts fonamentals:

- La unitat central de procés o de control
- La memòria
- Els elements d'entrada i sortida

4. Arduino

Arduino és una companyia i plataforma per al desenvolupament de programari i maquinari lliure. Va ser creat amb l'objectiu que tant dissenyadors com aficionats poguessin treballar-hi i crear-hi els seus programes.

Un sistema arduino està format per tres grups d'elements que junts funcionen amb la finalitat de donar el servei que es demana. Els principals són:

- Placa Arduino: hi han moltes plaques Arduino però totes tenen diverses característiques que són comunes. Tenen un microcontrolador, ports d'entrades i sortides i connectors.
- Sensors i actuadors: els sensors més utilitzats en plaques arduino són els de temperatura, llum i moviment. Els principals actuadors són LEDs, motors o relés.
- Accessoris i shields: els més comuns són l'Ethernet Shield i el motor Shield, entre d'altres.

Una gran qualitat de la plataforma Arduino, és la gran varietat de plaques que ofereix per a cobrir les diferents aplicacions que es vulguin fer. A continuació, hi ha una taula on s'han comparat les característiques tècniques de les tres plaques més adients per l'aplicació en una bomba de calor, l'Arduino UNO, MEGA i DUE.

	UNO	MEGA	DUE
Voltatge d'operació	5 V	5V	3.3 V
Voltatge d'alimentació	6-20 V	7-12 V	7-12 V
Flash (KB)	32	256	512
SRAM (KB)	2	8	96
I/O digitals/PWM	14/6	54/15	54/12
Pins analògics I/O	6/0	16/0	12/2
UART	1	4	4
Compatible amb shields	Excel·lent	Bona (algunes diferències de pins)	Dolenta (diferències de pin i voltatge)
Preu	24	42	42

Taula 1. Taula comparativa de plaques Arduino

En aquest cas particular, es necessita una placa amb un total de set entrades digitals, cinc sortides digitals i sis entrades analògiques. Al no necessitar una gran memòria per al programa, s'ha escollit la placa Arduino UNO, perquè el programa que es vol substituir no és molt complex i es vol intentar que tingui el mínim cost possible.



Fig. 2. Placa Arduino UNO Rev3

5. Comparació entre equips

Tant els PLC com les plaques Arduino controlen processos automàtics i disposen d'entrades i sortides digitals i analògiques. En els dos casos es poden expandir amb mòduls addicionals configurats a la placa.

Tot i tenir aquestes grans similituds en les seves funcions i característiques, tenen molts aspectes que no comparteixen. Les característiques tècniques principals dels PLC i Arduino es poden resumir en la següent taula:

	PLC	ARDUINO
Font d'alimentació	AC 100-240V	DC 6-20V o USB
Dimensió	Gran	Petita
Aplicació principal	Indústries	Educació i projectes d'aficionats
Entrades i sortides	Varietat d'entrades digitals i analògiques, es poden connectar fàcilment a a sensors i actuadors industrials.	Nombre limitat d'entrades i sortides, amb opció d'ampliar-les utilitzant mòduls addicionals.
Programació	Llenguatge ST, LD, FBD i SFC principalment.	Llenguatge de programació basat en C/C++.
Preu	Cars	Assequible
Durabilitat i fiabilitat	Alta	Baixa
Entrades/Sortides digitals	10/12	14 entrades/sortides
Entrades/Sortides analògiques	12/4	6/6(PWM)
Temperatura de treball	-40 a 60°C	-40 a 85°C
Comunicació	RS232, RS485, Ethernet	USB, SPI, I2C, WI-FI, Bluetooth, IR

Taula 2. Taula comparativa entre PLC i Arduino

Com es pot veure en la taula, el PLC es pot alimentar a una tensió entre 100 i 240 Volts mentre que l'Arduino només entre 6 i 24 Volts. Això requereix l'ús d'un transformador per a la placa Arduino si el corrent prové d'una xarxa elèctrica i per tant, és un cost adicional.

La dimensió del PLC en comparació amb un Arduino és considerablement més gran i alhora són més pesats. El motiu principal d'aquestes mides és la intenció amb la que han estat dissenyats, uns per aplicacions industrials i els altres per aplicacions més petites i prototipatge.

Els PLC tenen una gran varietat d'entrades i sortides que es poden connectar a sensors o actuadors, en canvi, la placa Arduino disposa d'un nombre més limitat d'entrades i sortides amb l'opció de poder ampliar-les. En el cas d'una bomba de calor amb només un circuit refrigerant, com és aquest cas, no caldrà afegir-hi cap mòdul adicional.

Un punt important és la temperatura a la que poden treballar. Tant l'Arduino com els PLC poden treballar fins a una temperatura de -40°C. Les bombes de calor, al ser un equipament que està situat normalment a l'exterior dels edificis, pot arribar a temperatures molt baixes i per tant en aquest cas no tindrien problemes per funcionar però és un aspecte a tenir en compte a l'hora d'escollir altres components.

6. Punts a analitzar

Per a comparar els dos controladors i veure les virtuts i debilitats que té cada un, s'han analitzat vuit aspectes molt importants: la tecnologia, la seguretat, el cost, la connectivitat, el servei "post venda", la innovació, la sostenibilitat i les condicions d'operació.

S'han creat dos gràfiques de radar per veure de manera visual les propietats dels dos controladors en dos aplicacions diferents on s'expliquen en detall a la memòria.

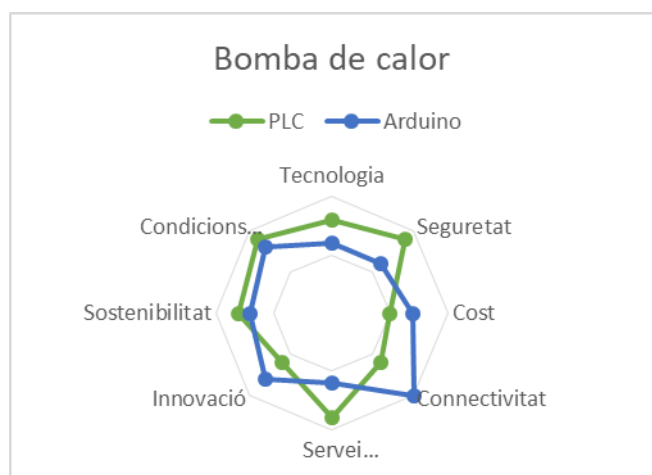


Fig. 3. Gràfic de radar comparatiu per a una bomba de calor

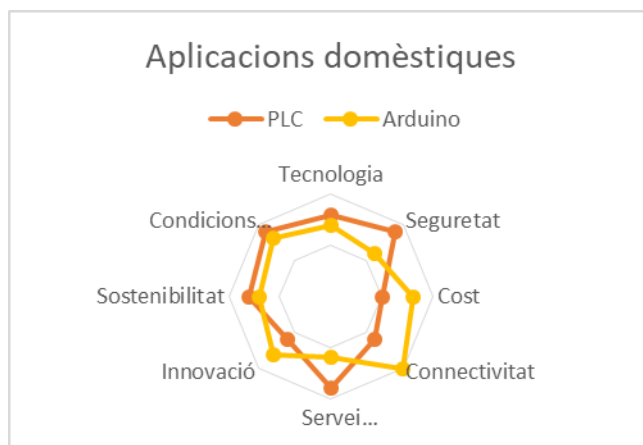


Fig. 4. Gràfic de radar comparatiu per aplicacions domèstiques

7. Programació amb OPENPLC

OpenPLC és un controlador lògic programable que igual que l'Arduino, és de codi obert i és fàcil d'utilitzar. Les seves aplicacions principals són sistemes domòtics o en àmbits industrials.

Aquesta plataforma ha estat creada per poder programar de la manera més fàcil possible des de la placa més petita d'Arduino fins a un PLC, sense necessitat de canviar o modificar el programari.

La bomba de calor que s'ha programat és una aigua-aire i té només un circuit refrigerant amb un compressor. La instal·lació del dispositiu es fa sempre dins un espai interior i per tant la placa no tindrà problemes de congelació ni condicions climàtiques extremes. A la màquina hi han diversos sensors i actuadors controlats per el programa.

Les entrades digitals de la placa són:

- Tèrmic ventilador interior
- Tèrmic compressor
- Encès/apagat en remot
- Pressòsotat de baixa
- Pressòsotat d'alta
- Mode de funcionament

Les sortides digitals són:

- Estat del ventilador interior
- Alarma
- Estat del compressor
- Estat de la vàlvula de quatre vies

Les entrades analògiques són:

- Temperatura d'entrada d'aigua
- Temperatura de sortida d'aigua
- Temperatura ambient de retorn

Funcionament del programa

La funció d'una bomba de calor és calefactar o refrigerar un espai o circuit a una temperatura específica. Per poder fer-ho, el circuit disposa d'un compressor i un ventilador que funcionen a partir de les entrades digitals i analògiques de la placa. A continuació s'expliquen quines són les condicions que han de donar-se perquè els actuadors o sortides es posin en marxa.

Estat del ventilador

Aquesta sortida és la que engega el ventilador quan està activa. Per tal que el ventilador estigui en funcionament es poden donar dos possibles casos. El primer és quan el compressor està en marxa i la unitat està encesa, en aquesta situació el ventilador ha d'estar funcionant sempre perquè sinó el compressor podria tenir algun error en el seu correcte funcionament.

L'altre cas es pot donar quan la unitat està funcionant en mode calor, és a dir, està generant aire fred i hi ha l'alarma d'emergència del circuit activa. Per a que alguna d'aquestes dues opcions pugui habilitar-lo, sempre haurà d'estar el tèrmic del ventilador interior actiu, si no ho està el ventilador no podrà funcionar.

Quan es fa referència a la unitat és a tot el conjunt de la màquina, si la unitat està encesa la màquina podrà funcionar però si està apagada no.

Alarma

La variable de sortida alarma agrupa totes les alarmes greus que es poden donar i segons quina sigui, s'actuarà d'una manera o una altra. Per exemple, en el cas que l'alarma que apareixi sigui la de unitat, tota la unitat es parará de manera immediata per evitar qualsevol dany o perill en el circuit.

Estat del compressor

El compressor funcionarà només quan el circuit ho demani. Aquesta demanda vindrà determinada pel punt d'ajust al qual es vol mantenir la temperatura i la temperatura real que el sensor de temperatura ambient està registrant. En el cas que la màquina treballi en mode calor i la temperatura ambient sigui inferior a la del punt d'ajust, el compressor funcionarà, en canvi, si treballa en mode fred, funcionarà quan la temperatura ambient sigui superior a la del punt d'ajust.

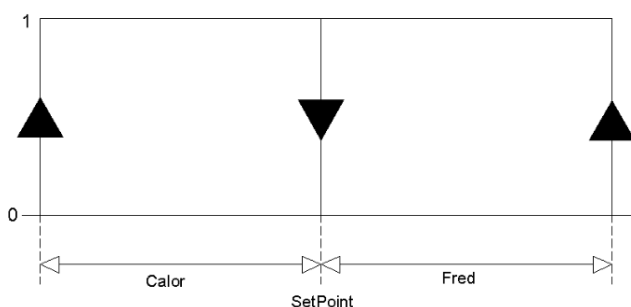


Fig. 5. Funcionament del compressor

Estat de la vàlvula de quatre vies

La vàlvula de quatre vies permet que el flux del circuit vagi en una direcció o en una altra, això dependrà del mode de funcionament en que la màquina es troba. Perquè la vàlvula pugui actuar, les dues condicions que té són que la unitat ha d'estar encesa i el compressor en marxa.

8. Simulació

Per a dur a terme la simulació del programa s'ha creat un simulador amb una placa Arduino UNO Rev3 i elements electrònics que simulen les entrades i sortides del circuit.

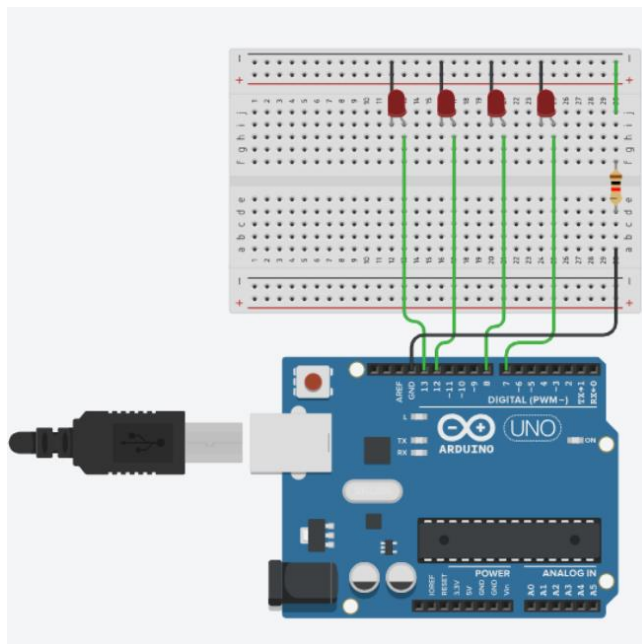


Fig. 6. Esquema del circuit del simulador d'Arduino

S'han utilitzat només LED's perquè el programa OPENPLC permet connectar-se amb la placa i simular els valors de les entrades. Si les senyals s'envien desde el controlador es poden evitar errors causats per un mal connexionat o per els propis components electrònics.

Amb la simulació s'ha comprovat com el programa ha respost correctament a les senyals d'entrada actuant de manera ràpida i precisa amb les senyals de sortida. Els errors que han sortit han estat rectificats correctament canviant part del software del programa.

El sistema pot ser ampliat a aplicacions més grans, però s'ha de tenir en compte l'espai de memòria que utilitzen les variables globals. En aquest cas utilitzen un 82% de la memòria i funciona sense problemes, però si aquesta fos més gran d'un 90% el programa podria fallar a l'hora de simular-ho o fins i tot, no podria ser pujat a la placa.

9. Pressupost

A l'hora d'elaborar un pressupost per a un projecte d'enginyeria cal tenir en compte tant el materials que s'han utilitzat com les hores de treball que s'hi han dedicat per a desenvolupar-lo.

El projecte de final d'estudis s'ha separat en cinc apartats i s'ha desenvolupat un pressupost en funció de les hores de dedicació. El preu per hora que s'ha establert és de 20€ l'hora i el total d'hores han estat 430.

	PREU/HORA	HORES	IMPORT(€)
Estudi Previ	20	80	1600
Selecció de les plaques	20	50	1000
Programació	20	100	2000
Simulació	20	60	1200
Documentació i recerca	20	140	2800
Total departament d'enginyeria			8600
	PREU/UNITAT	UNITATS	IMPORT(€)
Placa Arduino UNO REV3	24	1	24
Placa Protoboard	5,9	1	5,9
LED's	0,15	4	0,6
Resistència	0,05	1	0,05
Cables de pont	0,15	10	1,5
Total components del circuit simulador			32,05
TOTAL			8632,05

10. Conclusions

Com a conclusió principal d'aquest projecte s'ha demostrat que el microcontrolador Arduino és capaç de controlar una bomba de calor de la mateixa manera que ho fa un autòmat programable. El sistema ha complert els objectius confirmant que està capacitat per controlar aplicacions de caràcter industrial i no domèstic.

Amb les comparatives realitzades i la simulació del programa s'ha comprovat que l'Arduino UNO té certes limitacions principalment en la memòria i el volum d'entrades i sortides.

Per tal de poder superar aquestes limitacions, es podria passar d'una placa Arduino UNO a una altra amb més capacitat com la placa Arduino Mega, d'aquesta manera la placa disposaria de més ports digitals i analògics i més espai a la memòria i permetria la integració de components i funcions per millorar el control de la màquina.

La finalitat amb la que el projecte ha estat realitzat és per l'abaratiment del controlador i, com a conseqüència, de la màquina. Si el projecte volgués evolucionar a una màquina més complexa i s'hagués de canviar la placa, s'hauria de realitzar un anàlisi de costos i beneficis i valorar la seva viabilitat.

L'aplicació que s'ha utilitzat per programar la màquina, OPENPLC, és un controlador lògic programable de codi obert i fàcil d'utilitzar. Per a l'utilització de la majoria de programes s'ha de disposar d'una llicència que té un cost, en canvi OPENPLC és totalment gratuït i dona suport a un gran nombre de plaques.

Els PLC, tot i ser més cars, són aparells més robustos i aporten més durabilitat i fiabilitat. Segons la finalitat amb la que es volgués fer servir, s'hauria d'estudiar detalladament què és millor. En aquest cas, l'objectiu és abaratir el cost i que la bomba de calor funcioni, per tant l'Arduino és la opció que s'ha escollit.

El projecte no només ha servit per corroborar que és possible controlar una bomba de calor amb un Arduino, sinó que també ha servit per veure i explorar totes les oportunitats que ofereix el microcontrolador Arduino. Coneixent les seves propietats, es poden potenciar en l'evolució d'aquest projecte o per a donar-hi un altre ús.

11. Agraïments

Vull expressar el meu profund agraïment a totes aquelles persones que han estat partícips en la realització d'aquest projecte de final d'estudis. El seu suport i ajuda han estat molt beneficiosos per al desenvolupament del treball.

En primer lloc, vull agrair al meu director del projecte Jose Ignacio Perat pel seu suport incondicional i per acceptar a la primera la proposta, la seva predisposició i orientació han estat crucials per al desenvolupament del treball.

Al meu tutor de pràctiques Miquel, per haver-me donat l'oportunitat de realitzar aquest projecte en l'empresa i introduir-me en el món laboral de l'enginyeria electrònica industrial i automàtica.

Els meus companys del departament de control també han estat qui m'han ensenyat tot el funcionament de les bombes de calor i la seva programació, és per això, que els vull expressar també el meu agraïment perquè sense ells no hagués après tots aquests coneixements que m'han servit per a tirar endavant el projecte.

En últim lloc i no menys important, a la meua família i amics, que en els moments més feixucs del treball han estat allà per donar-me suport emocional i motivar-me quan la pujada tenia cada vegada més pendents.

Referències

- [1] ARDUINO. Arduino UNO REV3 Reference Manual, 2022. Disponible a: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>.
- [2] OPEN PLC, 2024. Disponible a: <https://autonomylogic.com/docs/openplc-overview/>
- [3] CAREL, c.pCO Programmable Controller, Manual, 2023. Disponible a: <https://www.carel.es/product/c-p-1>