



*Che**m**bot*

CHEMBOT:

Disseny i construcció d'un sistema automàtic per la preparació de materials mitjançant coprecipitació

Roger Montané Güell

2n de Batxillerat A

Curs acadèmic 2017-2018

Tutor del treball: Albert Andreu Sabadell

Institut d'Altafulla

Altafulla

RESUM

Donat un gran interès en els camps de l'automatització, la robòtica i l'electrònica en general, i coneguda la necessitat d'automatitzar un procés de coprecipitació, es planteja l'estudi i construcció d'una maqueta automàtica capaç de controlar processos de mesura i de pesatge.

Havent recopilat la informació necessària sobre els sistemes de control automàtic i coneixent-ne les seves parts i el funcionament d'aquestes, s'ha dissenyat una maqueta que compleixi les necessitats del nostre procés d'automatització.

Amb la construcció de la maqueta ja finalitzada i les proves corresponents efectuades, comprovem que sense excessius recursos, i bàsics coneixements en electrònica, es pot arribar a construir un sistema de control automàtic funcional amb una precisió elevada.

ABSTRACT

The large interest in the fields of automation, robotics, and general electronics as well as the need to automate co-precipitation processes have given rise to the study and construction of an automatic/automated model capable of controlling measurement and weighing processes.

With the necessary information about automatic control systems compiled, the relevant parts listed and known their usage, a model that satisfies the needs of our Automation processes has been designed.

With the construction of the model already finished and the corresponding tests performed, we prove that without excessive resources and basic knowledge in electronics, you can build a fully functional automatic control system with pretty high precision.

TAULA DE CONTINGUTS

INTRODUCCIÓ	5
1.- AUTOMATITZACIÓ	8
1.1.- QUÈ ÉS? QUÈ ES PRETÉN?	8
1.2.- TECNOLOGIES MÉS HABITUAL EN L'AUTOMATITZACIÓ	8
1.3.- ELS CIRCUITS AUTOMÀTICS DE CONTROL	10
1.3.1.- Generadors	12
1.3.2.- Conductors	12
1.3.3.- Receptors o actuadors	12
1.3.4.- Sensors	12
1.3.5.- Elements de control	13
1.3.6.- Elements de protecció	13
1.4.- ARDUINO	14
1.4.1.- Què és Arduino?.....	14
1.4.2.- La placa.....	14
1.4.3.- Arduino IDE.....	16
1.4.4.- Programació	17
2.- PROJECTE: DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÀTIC	19
2.1.- DEFINICIÓ I ABAST	19
2.2.- ANÀLISI D'ALTERNATIVES	19
2.3.- DISSENY DE LA UNITAT	23
2.4.- PLÀNOLS	25
2.4.1.- Elèctrics/Electrònics	25
2.4.2.- Mecànics	29
2.5.- PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ	32
2.5.1.- Llistat de materials	32
2.5.2.- Construcció	32
2.5.3.- Pressupost	35
2.6.- ESTABLIR UN PROTOCOL DE MESURA	36
3.- RESULTATS	42
CONCLUSIONS	45

FONTS DOCUMENTALS.....	47
ANNEXOS	49
Annex I: Programació Arduino	50
Annex II: Plànols mecànics	57
Annex III: Imatges muntatge	62
Annex IV: Taules de registres de dades	66

AGRAÏMENTS

En el moment de finalitzar el redactat d'aquesta memòria voldria agrair a totes les persones que han fet possible aquest treball de recerca. Especialment a Tamara Esquitino, tècnica de laboratori de la URV que em va proporcionar les dissolucions i el material necessari per a dur a terme l'experiment; a Ernest Arce, tècnic del taller mecànic de la URV que va mecanitzar les tapes frontal i posterior de la caixa, i al departament d'Enginyeria Química de la URV per facilitar l'accés a les instal·lacions necessàries per a dur a terme l'experiment.

Per últim, també voldria agrair al meu tutor Albert Andreu, qui m'ha guiat durant tot aquest procés i m'ha proporcionat l'ajuda necessària.

INTRODUCCIÓ

Aquest treball té com a objectiu l'estudi de l'automatització, i el disseny i construcció d'un sistema de control automàtic, mitjançant Arduino.

En una primera instància es buscava automatitzar un petit vehicle de control remot mitjançant les ones cerebrals. És a dir, un sensor llegiria les ones cerebrals d'una persona i les enviaria a l'Arduino mitjançant Bluetooth. Llavors, el programa determinaria l'acció del vehicle segons el tipus d'informació que rebés. Però donats certs problemes amb la tecnologia Bluetooth, vaig considerar que no tindria temps per dur a terme el projecte i, ja que disposava d'una placa Arduino vaig decidir buscar un problema o una necessitat reals a resoldre.

El problema me'l va plantejar un familiar, que treballa en l'àmbit de l'Enginyeria Química a la URV¹ i em va explicar que li seria útil si automatitzés un cert procés de coprecipitació per al seu laboratori, que té com a objectiu obtenir catalitzadors, ja que aquest procés és llarg i es fa de forma manual, gastant moltes hores de feina i sovint introduint errors.

A més, em va explicar que existia maquinària capaç de dur a terme aquest procés, però que és molt cara, donat que se'n poden trobar a partir de 15.000€.

Això em proposa elaborar un prototipus el més barat possible amb una precisió el similar a la de l'equipament professional, i que fos capaç d'elaborar un dels catalitzadors que estudien al laboratori.

Però, què és un catalitzador? Doncs bé, els catalitzadors són substàncies que faciliten les reaccions químiques. Tenen una doble funció, per una banda augmenten la velocitat amb que transcorre una reacció química, això s'anomena activitat. Per altra banda afavoreixen la creació d'un cert producte d'entre molts de possibles que es poden originar en la reacció. Això s'anomena selectivitat.

Aquestes dues característiques fan que els catalitzadors siguin abundantment emprats en la indústria química moderna, i que les empreses inverteixin una gran quantitat de recursos per elaborar catalitzadors més actius i selectius, ja que com més es potenciïn aquests aspectes més s'eleva l'eficiència dels processos productius i, alhora, es redueix el consum d'energies no renovables reduint també l'impacte medi-ambiental de la indústria química.

Per a sintetitzar substàncies catalítiques es poden emprar diferents tècniques, però la que s'utilitzarà en aquest projecte, i la més comuna per a obtenir catalitzadors metà·lics és la tècnica de coprecipitació controlada. La coprecipitació controlada comprèn quatre etapes:

1. **Preparació d'un material precursor** mitjançant la reacció de dues solucions aquoses. La primera conté sals solubles dels metalls que s'han d'emprar, a una certa concentració i en una proporció entre metalls que varia

¹ Universitat Rovira i Virgili (Tarragona).

segons el catalitzador a fabricar. La segona solució és alcalina². Per dur a terme la reacció s'addicionarà, a una poca quantitat d'aigua inicial, un cabal constant (d'entre 1 i 4 g/min), mentre que la segona es dosificarà només quan sigui necessària per a mantenir el pH estable en el medi de la reacció (normalment entre 8 i 11). A més, caldrà també aplicar agitació mecànica per a que tant la composició de la mescla com el pH i la temperatura siguin homogenis durant tot el procés. Tot aquest procés és el que buscarem automatitzar amb l'Arduino, ja que dut a terme per un operari en un laboratori pot durar entre 1 i 3 hores.

2. **"Maduració" del precursor.** Es deixa en suspensió³ el precursor sòlid en agitació a una temperatura entre ambient i 80°C durant un temps d'entre 6 i 48 hores.
3. **Calcinació del precursor.** Un cop acabada la maduració, es filtra el precursor es renta i s'asseca en una estufa (105 a 110°C) durant la nit i posteriorment es calcina a temperatures d'entre 300 i 800°C.
4. **Reducció per a obtenir la forma activa del catalitzador.** El material ja calcinat es redueix a temperatura controlada en contacte amb hidrogen gas per a obtenir la forma activa del catalitzador. Normalment aquest pas es du a terme just abans de començar la reacció amb el catalitzador.

Amb les quatre etapes conegeudes i sabent que la única que suposa un problema per a dur a terme és la primera, em vaig plantejar els objectius del projecte, que consistien en crear un sistema amb les següents característiques:

- Control de pH estable amb una variabilitat màxima de $\pm 0,1$ unitats. El valor del pH s'ha de poder escollir d'entre 8 i 11.
- Dosificar un cabal constant d'entre 1 i 5 g/min de la primera dissolució. Aquest cabal també s'ha de poder escollir abans de començar la reacció.
- Dosificar un cabal variable de la segona dissolució que mantingui el pH establert constant.
- El sistema ha d'enregistrar el pH i la quantitat de cada dissolució afegida al llarg del temps.
- El sistema s'ha d'aturar de forma automàtica un cop s'hagi alimentat la quantitat de dissolució de metalls prefixada al començament de l'experiment.
- La mesura de les quantitats afegides s'ha d'efectuar en massa i no en volum.

Un cop establert que l'objectiu del projecte era el disseny i la construcció d'un sistema automàtic de control capaç de dur a terme un procés de coprecipitació, es va determinar la metodologia per dur-lo a terme. Primer, estudiar què és i com funciona l'automatització. Després, caluria estudiar el funcionament d'Arduino i, per últim, fer ús de coneixements previs sobre circuits elèctrics.

Tota aquesta informació aniria compresa en la memòria, que s'estructurarà de la següent manera. Primer, s'establiria l'estudi teòric sobre l'automatització i les

² Solució bàsica, de pH superior a 7.

³ Un sòlid en suspensió és una mescla heterogènia d'un sòlid o una pols dispersos en un medi aquós.

tecnologies més habituals en ella. A continuació, s'estudiaria el funcionament de l'Arduino, arribant a conèixer, així, què és, com és la placa i, per últim, l'entorn de software Arduino IDE i la programació de la placa. Després s'hi plasmaria la metodologia emprada per construir el sistema automàtic de control i les eines, físiques i digitals utilitzades.

Finalment es faria un recull dels resultats obtinguts en el procés de coprecipitació i se n'extraurien les conclusions, per confirmar la hipòtesi plantejada en el treball, és a dir, si és possible o no crear un prototipus plenament funcional i capaç de dur a terme un procés de coprecipitació per a l'obtenció de materials mitjançant Arduino.

1. AUTOMATITZACIÓ

1.1. QUÈ ÉS? QUÈ ES PRETÉN?

"Que funciona mecànicament sense ésser dirigit per la mà de l'home". Aquesta és una de les definicions que apareix al DICC⁴ quan hi busquem la paraula automàtic, i la que més s'ajusta a l'automatització tractada en aquest treball.

Així doncs, l'automatització és aconseguir que un objecte, o un conjunt d'objectes sigui capaç de dur a terme una operació determinada repetidament, inclús coordinant-se amb altres objectes automatitzats. En certa manera es pot dir que l'objecte és intel·ligent, ja que és capaç d'operar sense necessitat d'ajuda humana, tot i que per a que un objecte sigui automàtic cal una intervenció humana prèvia.

L'automatització pretén accelerar i millorar processos que, duts a terme per les persones, serien més complicats i tediosos de completar. Un exemple molt clar n'és l'automatització en la indústria. L'automobilística, per exemple, utilitza diferents robots que fan una sola acció repetidament i, coordinats un amb l'altre, completen una cadena de muntatge. Aquests robots permeten dur a terme accions de manera més ràpida, precisa i segura que una persona. Això fa que es redueixin els costos de producció i millori la qualitat del producte.

Per tant, resumint-ho, l'automatització pretén:

- Millorar la productivitat d'una empresa/indústria (es redueixen els costos i augmenta la qualitat ja que es millora el control de qualitat).
- Millorar les condicions del personal, ja que desapareixen els treballs físicament durs i la seguretat augmenta.
- Poder realitzar operacions que manualment serien impossibles de dur a terme per una persona.
- Reduir el temps de producció, fet que provoca una major disponibilitat del producte.

1.2. TECNOLOGIES MÉS HABITUALS EN L'AUTOMATITZACIÓ

Les tecnologies en l'automatització es poden dividir en dues grans branques, la Tecnologia cablada, que utilitza la pneumàtica, la hidràulica i la elèctrica/electrònica, es pot considerar com la "antiga" ja que és la que s'utilitzava quan encara no existia la Tecnologia programada, que utilitza microordinadors, microcontroladors i autòmats programables.

La Tecnologia cablada està basada en la unió física dels components que formen la unitat de control. Per a fer aquestes unions possibles i funcionals és necessari un coneixement previ d'electrònica, hidràulica i/o pneumàtica. Però aquests sistemes tenen diversos inconvenients. Ocupen molt d'espai, i és complicat introduir-hi un canvi o una modificació. A més, quan hi ha una averia és difícil d'identificar-la, i no estan adaptats a funcions de control complexes. Tot això, i el fet de que augmentés

⁴ Diccionari de l'Institut d'Estudis Catalans.

la disponibilitat d'equips programables, anomenats microcontroladors, va iniciar la introducció de la Tecnologia programada a la indústria.

Un microcontrolador no és més que un dispositiu capaç de llegir unes instruccions en codi binari i executar una acció o una altre dependent de la instrucció rebuda. Un microcontrolador, com qualsevol equip programable, té una memòria, on emmagatzema el programa que executa i les dades amb les que està treballant, i està compost de diferents blocs funcionals que compleixen una tasca en concret. A l'interior del microcontrolador hi trobem la memòria, una CPU⁵ i les unitats d'entrada i sortida amb les que es comunica amb l'entorn.

Aquesta gran capacitat de processament de dades que tenien els microcontroladors van fer que se substituïssin els equips cablejats per equips programables. Un exemple clar, en aquest cas, n'és la indústria química o la petroquímica, on els microcontroladors tenen la capacitat d'interpretar volums, densitats, pH, temperatures i pressió, per exemple, de manera ràpida i executen accions dependent d'aquestes variables.

En l'actualitat podem trobar microcontroladors en qualsevol objecte tecnològic que tingui una certa capacitat de processament com els ordinadors, els mòbils, les càmeres fotogràfiques, els automòbils i les rentadores, microones, calefacció, alarma, etc. (en el cas d'una casa domòtica). Els microcontroladors també els podem trobar a les plaques Arduino, utilitzades per a la part pràctica d'aquest TDR, com en les Raspberry PI i altres plaques de desenvolupament de hardware i aplicacions. Són una part fonamental de la tecnologia actual.

Per altra banda, en la Tecnologia programada també hi trobem els microordinadors i els autòmats programables. Quan es van introduir els microordinadors a l'àmbit industrial van aportar avantatges donada la seva capacitat de tractament d'informació, però també hi van aportar inconvenients, ja que estaven poc adaptats a l'entorn industrial, requerien de personal especialitzat per a la programació i el manteniment dels equips, i tenien un cost molt elevat. Per aquestes raons, avui en dia els ordinadors s'utilitzen més en tasques de supervisió, comunicació amb la xarxa d'autòmats i microcontroladors, funcions de processament i emmagatzematge de dades, representació gràfica de resultats, visualització de l'estat dels processos, etc.

Per altra banda tenim els autòmats programables, els quals van sorgir a la dècada dels 70 als Estats Units. Un autòmat programable, o PLC⁶, és un equip electrònic amb el que es poden controlar diferents processos seqüencials a temps real en aplicacions industrials, i presenten les següents avantatges:

- Gran fiabilitat
- Millora del control de processos
- Permet introduir canvis ràpids a les maniobres de processos
- Controla i protegeix els dispositius
- Augmenta el grau de seguretat de les instal·lacions que controla

⁵ Unitat Central de Processament (de l'anglès Central Processing Unit).

⁶ Controlador Lògic Programable (de l'anglès Programmable Logic Control).

1.3. ELS CIRCUITS AUTOMÀTICS DE CONTROL

Un circuit automàtic té la finalitat de fer actuar un conjunt d'elements de manera coordinada seguint unes ordres. Pot ser molt semblant a un circuit elèctric, pneumàtic o hidràulic tradicional, però amb uns elements addicionals que no trobem en els circuits més convencionals.

Els circuits de control automàtic treballen amb dos tipus de senyals:

- **Senyals analògics:** són senyals de tipus continu, és a dir, treballen amb qualsevol valor real, ja sigui 1 o 1,3. Els senyals analògics, solen representar magnituds físiques com la temperatura, el pes, etc.
- **Senyals digitals:** són aquells que treballen amb unes magnituds específiques, de "tot o res". És a dir, representen estats de nivell: obert-tancat, activat-desactivat, etc. Treballen amb codi binari, 1 i 0, on 1 representa un estat i 0 el contrari.

Ara bé, els elements de control, dels quals es parlarà més endavant, treballen amb valors digitals, per tant, com poden llegir un valor analògic? Per a poder interpretar un valor analògic duen a terme el que s'anomena com a conversió analògica-digital. Aquest procés, mostrat a l'esquema de la Figura 1, consisteix en convertir el senyal de corrent que es rep d'un sensor analògic, a codi binari per a que l'element de control sigui capaç d'interpretar-ne els valors. Això s'aconsegueix agafant uns certos punts del senyal analògic per crear una seqüència de bits. Però si s'agafen pocs punts, o s'agafen en un interval de temps massa gran, es perd informació i, alhora, precisió de mesura.

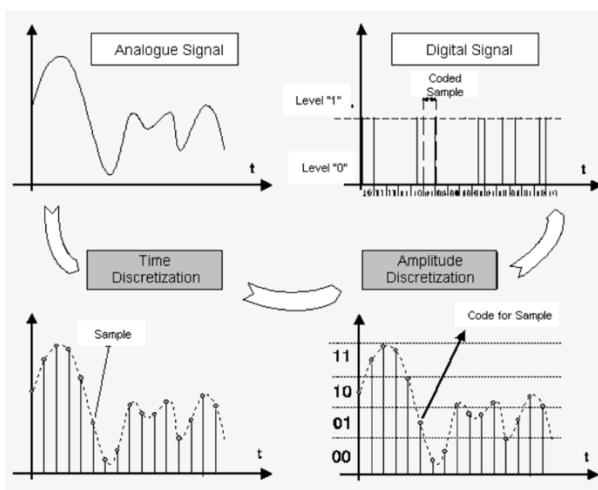


Figura 1. Esquema del procés de digitalització d'un senyal analògic

Tot i això els senyals rebuts són menys sensibles al soroll⁷ o a altres interferències. El procés s'anomena digitalització, i sovint s'anomena amb les sigles CAD⁸ o ADC⁹.

⁷ Factors externs aliens al sistema que produeixen errors o redueixen la precisió de la mesura.

⁸ Conversió Analògica-Digital

⁹ De l'anglès Analog to Digital Conersion.

A més, els sistemes automàtics de control els podem classificar en dos grups:

- **Sistemes de llaç obert:** es mostren a l'esquema de la Figura 2. Un cop activats, executen el procés durant un temps determinat i el finalitzen sense importar-ne el resultat. És a dir, el sistema no supervisa el resultat de l'acció. Alguns sistemes de llaç obert que utilitzem diàriament podrien ser una torradora, una rentadors, un sandvitxera, etc.

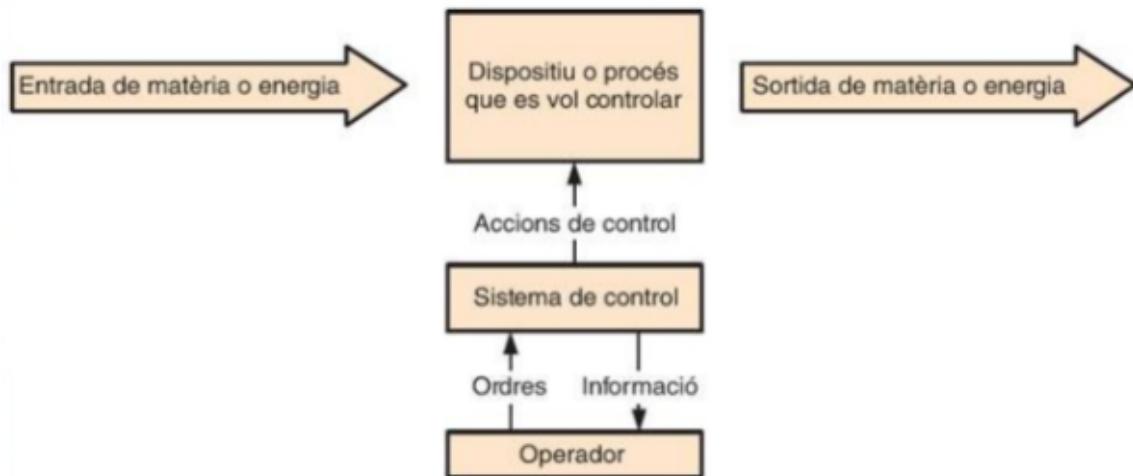


Figura 2. Esquema d'un sistema de llaç obert

- **Sistemes de llaç tancat:** aquest tipus de sistemes, mostrats a la Figura 3, un cop donada l'ordre de començar el procés, n'analitzen el resultat i, si no compleix les condicions especificades, torna a executar els processos fins que el resultat les compleixi. Alguns exemples de sistemes de llaç obert podrien ser un ascensor, una calefacció amb termòstat, els sistemes robòtics, etc.

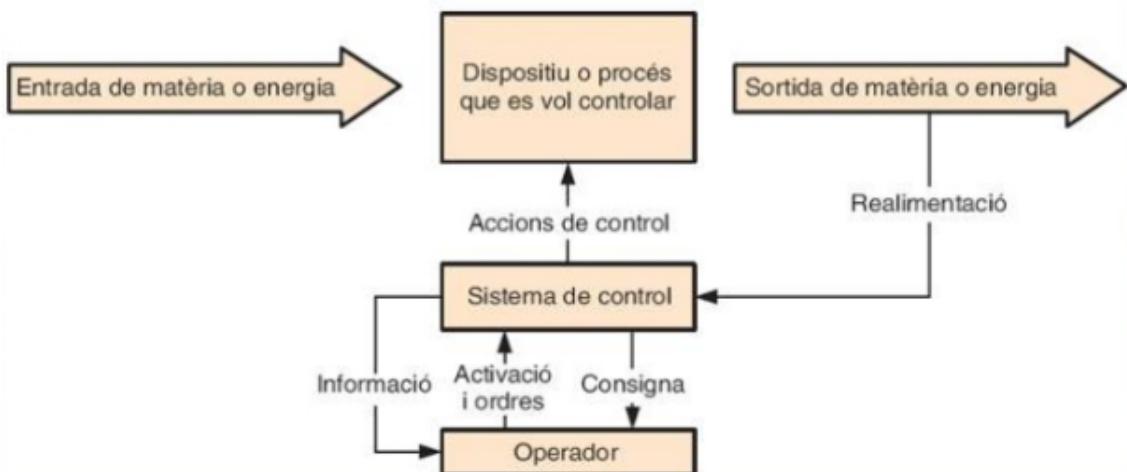


Figura 3. Esquema d'un sistema de llaç tancat

En un circuit automàtic de control podem diferenciar les següents parts:

1.3.1. Generadors

Són els elements que s'encarreguen de proporcionar l'energia al circuit. Creen una diferència de potencial entre els seus dos terminals, el de corrent (positiu) i el de terra (negatiu), i això permet que el corrent elèctric circuli. Els generadors poden ser piles, bateries, generadors, dinamos, etc.

1.3.2. Conductors

Són els encarregats de transportar el corrent elèctric entre els diferents elements del circuit. Normalment el cablejat elèctric està fet de fils de coure trenat recoberts d'un plàstic aïllant.

1.3.3. Receptors o actuadors

Els receptors s'encarreguen de transformar l'energia elèctrica que reben a través dels conductors en formes més útils per a nosaltres. Aquestes formes poden ser llum, moviment, so, calor... Hi ha una gran varietat de receptors, però els més comuns són les bombetes, motors, altaveus, etc.

1.3.4. Sensors

Els sensors reben informació del món físic i l'envien a la unitat de control. Transformen informació com la temperatura, la pressió, el volum, el pes, etc. en un corrent elèctric de manera que els elements de control la puguin interpretar. Els sensors tenen diverses característiques:

- Rang de mesura: és el rang de magnituds que pot mesurar el sensor.
- Precisió: l'error de mesura màxim que s'espera del sensor. Com menys error, més precisió.
- Offset o desviació del zero (compensació): el valor que mesura l'instrument quan el valor real és zero.
- Correlació lineal: mesura la proporcionalitat existent entre el valor de la variable mesurada i el senyal de sortida de l'instrument.
- Sensibilitat: es refereix al canvi en la lectura de l'instrument respecte d'un canvi en la variable de l'instrument.
- Resolució: es refereix al canvi més petit en la variable al que l'instrument serà sensible. És a dir, per a canvis menors a aquest valor, l'instrument no variarà la seva lectura.
- Velocitat de resposta: el temps que tarda el sensor a fer la mesura. Pot ser fixa o variar, dependent de la capacitat del sistema.
- Derives: és el canvi d'una lectura fixa al llarg del temps. És a dir, en $\text{temps} = 1 \text{ minut}$ l'instrument mesura un valor de $10,1 \text{ kg}$ per a un pes real de 10 kg . Si en $\text{temps} = 10 \text{ minuts}$, l'instrument mesura $10,5 \text{ kg}$ ens trobem amb una deriva. N'existeixen de dos tipus i poden succeir simultàniament:
 - Deriva del zero (canvia el zero al llarg del temps = canvi en la compensació)
 - Deriva del pendent (canvia la sensibilitat)
- Repetibilitat: és l'error que s'espera del sensor al repetir la mateixa mesura diverses vegades.

Els sensors també es poden classificar segons la magnitud que mesuren i la seva característica, que es refereix a la manera en que envien la informació a l'element de control, ja sigui del tipus analògica o digital.

Per exemple, una cel·la de càrrega mesura una magnitud de pes i la seva característica és analògica, ja que el valor que mesura pot ser qualsevol, ja sigui 1kg o 20,5kg.

1.3.5. Elements de control

Els elements de control ens permeten maniobrar amb els elements del circuit, connectant-los, disconnectant-los o enviant ordres.

Els elements de control més convencionals són els interruptors, polsadors i els commutadors. Però també existeixen altres elements de control, com els microcontroladors.

Com ja hem vist en l'apartat 1.2, els microcontroladors reben informació contínuament dels sensors i envien ordres als actuadors dependent de la informació rebuda. A més, els microcontroladors poden inclús interactuar amb altres elements de control, com botons o polsadors, ja que en poden rebre la informació i enviar una ordre a un actuador segons l'estat del botó/polsador.

Els microcontroladors més coneguts poden ser la Raspberry Pi, la Beagleboard o l'Arduino, del qual parlarem més endavant.

1.3.6. Elements de protecció

Els elements de protecció són els encarregats de protegir als operaris o usuaris i a la instal·lació de les possibles averies que poden aparèixer en aquesta.

Els elements de protecció més comuns en una instal·lació elèctrica domèstica són els següents:

- Interruptor de control de potència màxima (ICPM): té la funció d'evitar que la potència subministrada per la companyia elèctrica superi la potència contractada pel client.
- Interruptor general automàtic (IGA): protegeix contra sobrecàrregues i curtcircuits.
- Interruptor diferencial (ID): protegeix a les persones del contacte directe amb el circuit ja que detecta les fuites.
- Petits interruptors automàtics (PIA): protegeixen cada un dels circuits de la instal·lació interior de sobrecàrregues i curtcircuits.
- Dispositiu de protecció contra sobretensions (DPS): detecta sobretensions perilloses pel circuit i les desvia cap al terra de la instal·lació.
- Born de terra: protegeix a l'usuari en cas de que entri en contacte amb el circuit.

1.4. ARDUINO

1.4.1. Què és Arduino?

Arduino és una plataforma de codi obert que facilita el desenvolupament tant de software com de hardware. Aquesta empresa va ser creada el 2005 a Itàlia amb la intenció de facilitar el prototipat tecnològic a estudiants o a qualsevol persona que no comptés amb coneixements d'electrònica i/o programació.

Com ja s'ha esmentat prèviament, Arduino és una plataforma oberta (*open source*), això ha facilitat durant aquests anys que es creï una enorme comunitat de creadors que comparteixen idees i coneixements. Aquesta gran quantitat de *feedback* per part dels usuaris cap a altres usuaris i cap a la pròpia empresa, li ha permès a aquesta millorar i adaptar les seves plaques a les necessitats dels usuaris, creant encara més usos per a aquest tipus de tecnologia.

Aquesta facilitat d'aprenentatge, gràcies tant a la simplicitat d'Arduino com al gran volum d'informació que es pot obtenir sobre aquesta plataforma ha fet d'aquestes plaques una icona en el món de l'electrònica.

1.4.2. La placa

Existeixen diferents tipus de plaques Arduino, depenent de la funció per a la qual la necessitem, o el nombre de pins que precisi el nostre projecte.

En aquest cas, utilitzarem la placa Arduino Mega 2560 rev3 que consta de 54 pins digitals, 16 analògics, una memòria RAM de 8 KB, una memòria flash de 256 KB i una velocitat de processament de 16 MHz.

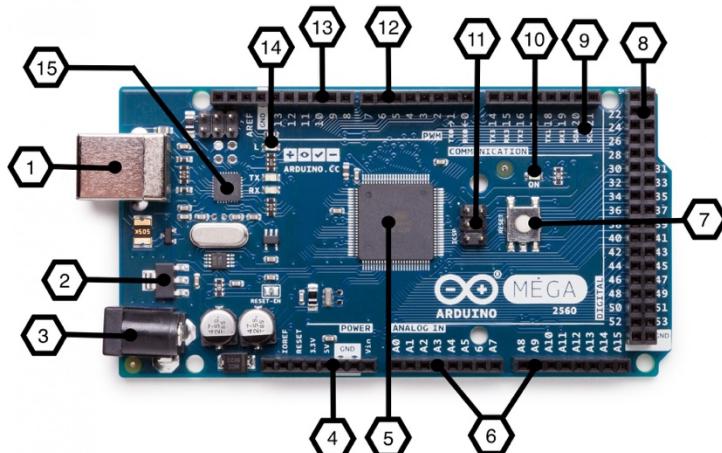


Figura 4. Placa comercial Arduino Mega 2560.

A la placa, que es mostra a la Figura 4, s'hi poden diferenciar les següents parts:

1. **Connector USB:** permet alimentar la placa amb un cable USB mitjançant un ordinador.
2. **Regulador de voltatge de 5V:** transforma el voltatge de l'element #3 en un voltatge estabilitzat.

- 3. Connexió per a font d'alimentació externa:** la placa també es pot alimentar directament amb una font d'alimentació externa connectada a la corrent. Les accepta d'entre 7 i 12 V.
- 4. Port de connexions:** consta de 8 pins amb diferents funcions:
- IOREF: serveix per a que la placa reconegui el tipus d'alimentació que necessiten els shields¹⁰.
 - RESET: permet reiniciar el programa carregat
 - 3.3 V: subministra un voltatge de 3.3 V
 - 5 V: subministra un voltatge de 5 V
 - Pins de GND: proporcionen el born de terra per al circuit
 - Vin: s'utilitza per alimentar la placa des d'una font d'alimentació externa d'energia, com una font d'alimentació de corrent alterna.
- 5. Microprocessador AT Mega 2560:** es pot considerar el cervell de la placa.
- 6. Ports d'entrades analògiques:** la placa consta de 16 pins analògics (des d'A0 fins A15), que llegeixen un valor analòtic d'un sensor de pH, per exemple, i el converteixen en un valor digital que la placa pugui interpretar.
- 7. Botó RESET:** té la mateixa funció que el pin RESET esmentat anteriorment, reinicia el programa ja carregat en la placa al ser polsat.
- 8. Port de connexions digitals:** consta de 34 pins Input/Output digitals i 2 pins de GND¹¹.
- 9. Port de connexions TX i RX:** consta de 4 pins TX i 4 pins RX. Aquests pins estan reservats a la comunicació sèrie, on TX serveix per transmetre informació i RX per rebre'n. Aquests pins també es poden usar per a la comunicació mitjançant Bluetooth. A més, consta també de dos pins, SDA i SCL que s'utilitzen per simplificar la connexió de pantalles LCD¹² mitjançant la interfície I2C¹³.
- 10. LED ON:** Aquest LED s'il·lumina quan la placa rep corrent, per a que l'usuari ho pugui saber fàcilment. És normal trobar aquest LED en els components electrònics.
- 11. Pins de programació ICSP:** s'utilitzen per a programar microprocessadors sobre una breadboard¹⁴ o circuits impresos, sense la necessitat de retirar-los del seu lloc.
- 12. Port de connexions:** consta de 6 pins digitals PWM¹⁵, que significa que poden ser emprats tant com pins digitals com a analògics en certa manera utilitzant la tècnica PWM que consisteix en modificar el cicle de treball d'un senyal periòdic, aconseguint així controlar el voltatge que s'envia al pin.

¹⁰ Placa annexionada sobre l'Arduino que proporciona millors o facilita les connexions. N'hi ha diferents tipus.

¹¹ Born de terra (de l'anglès Ground).

¹² Pantalla de Cristall Líquid (de l'anglès Liquid-Crystal Display).

¹³ Circuits Inter-Integrats (de l'anglès Inter-Integrated Circuits).

¹⁴ Placa utilitzada en el prototipat.

¹⁵ Modulació per amplada de polsos (de l'anglès Pulse-Width Modulation).

13. Port de connexions: consta amb 6 pins digitals PWM més, un altre pin de GND i un pin anomenat AREF, que s'utilitza per subministrar un voltatge diferent de 5V als pins digitals.

14. LED pin 13: és un LED incorporat a la placa, que normalment s'usa per al debugging¹⁶, és a dir, quan un programa no funciona com volem i no sabem on falla, fem que aquest LED s'engegui en certs punts del programa per així observar on falla.

15. Chip de comunicació sèrie: permet la conversió de senyals sèrie a USB, i viceversa.

1.4.3. Arduino IDE

L'Arduino IDE és un software o programari creat per la pròpia empresa que facilita la comunicació de l'usuari amb la placa Arduino. Aquest software proporciona exemples de codi simples per als usuaris nous que no estiguin familiaritzats amb l'entorn Arduino, que està basat en el llenguatge de programació C++.

El llenguatge C++ va ser creat a mitjans de 1980 per Bjarne Stroustrup, amb la intenció d'estendre un ja conegut llenguatge de programació anomenat C amb nous mecanismes que permetessin la manipulació d'objectes. Per fer una aplicació en C++ es segueixen els següents passos: escriure el codi en C, compilar-lo i crear l'executable en format binari i hexadecimal. De fet, malgrat que Arduino tingui la seva pròpria sintaxi a l'hora de programar també s'hi poden introduir comandaments de C++.

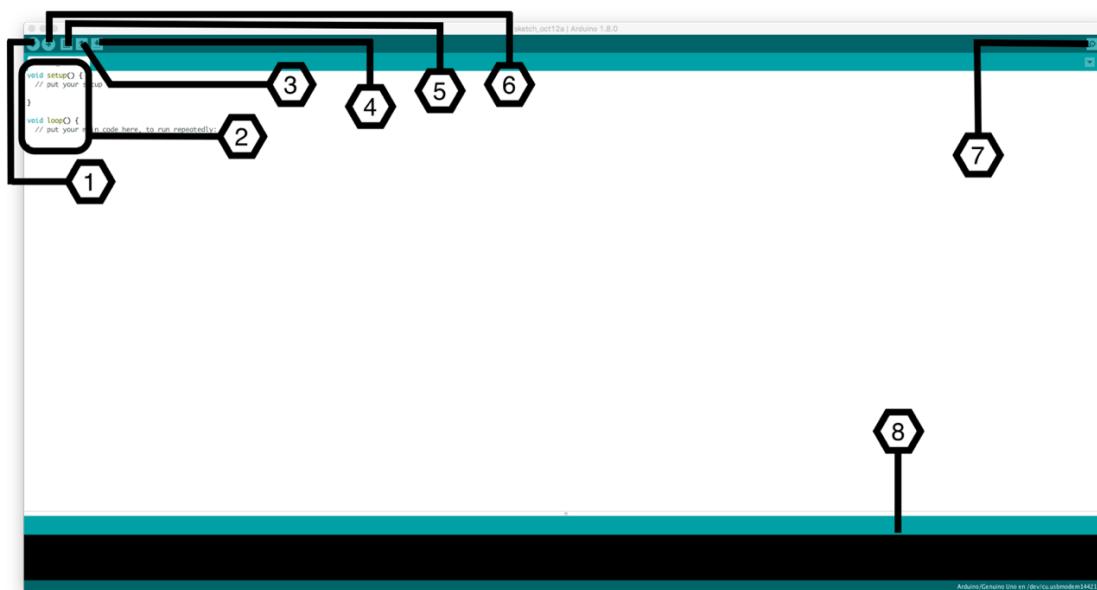


Figura 5. Pantalla d'inici de l'Arduino IDE

¹⁶ En català: depuració de programes. Consisteix en identificar i corregir errors de programació.

Només iniciar l'Arduino IDE ens trobem amb la pantalla mostrada a la Figura 5 en la que podem distingir diferents elements:

1. **Compilar:** permet comprovar si el programa té errors
2. **Programa:** espai on s'escriu el programa. Consta de tres parts diferenciades. La primera, que és sobre el setup, és on introduïm les variables, constants, llibreries, etc. La segona és el void setup(), on declarem si una variable o constant és un valor d'entrada o sortida, donem valors inicials a les variables i constants, etc. És una manera de preparar el codi per a la següent part, el void loop(). Aquest es repeteix constantment i executa totes les ordres que hi programem dins.
3. **Obrir:** ens permet obrir altres programes que ja tenim guardats a l'ordinador.
4. **Desa:** ens permet desar el codi en el que estem treballant.
5. **Nou:** ens permet obrir un nou sketch(codi) en blanc.
6. **Puja:** ens permet enviar el programa a la placa Arduino per a que executi el programa.
7. **Monitor sèrie:** ens permet obrir el monitor sèrie, amb el que ens podem comunicar amb la placa Arduino, tant enviant-li informació com rebent-ne.
8. **Consola:** ens envia missatges d'error quan compilem o ens dóna informació de l'estat de la pujada del programa a la placa.

1.4.4. Programació

Com ja s'ha esmentat en apartats anteriors, Arduino esta basta en el llenguatge de programació C++, per tant inclou les seves funcions i aquestes són reconegudes per la placa. El C++ és un llenguatge considerat senzill, ideal per a aquells que s'inicien en el món de la programació i té una sintaxi considerablement simple.

La programació en Arduino es pot dividir en tres parts:

- **Estructures:** relacionen tots els elements del programa i s'encarreguen de definir-ne les parts (setup, loop, etc.). Les estructures utilitzades en la part pràctica d'aquest projecte són:
 - if...else: proposa una condició inicial i executa un programa, quan la condició no es compleix, s'executa el programa pertanyent a else. Vindria a ser semblant a: Si($x=1$), executa A, si ($x\neq 1$), executa B.
 - for: s'empra normalment per repetir un seguit d'accions una certa quantitat de vegades, per al que s'implementa sovint un comptador amb un increment de 1.
 - while: es repetirà indefinidament fins que la condició dins dels parèntesis sigui falsa.
 - ;(punt i coma): determina el final de cada declaració.
 - {}: determinen on comença i on acaba el programa dins d'una estructura de control (if, while, else, etc.).
 - //: s'empren per escriure comentaris.
 - /* */: s'empren per a comentar blocs de codi.
 - **Operadors aritmètics**: = (assignació), + (suma), - (resta), * (multiplicació), / (divisió) i ++ (increment en 1).

- **Variables:** determinen l'estat o donen informació dels elements existents en el nostre circuit elèctric. Les variables utilitzades en la part pràctica del projecte són:
 - HIGH/LOW: determinen l'estat d'un senyal digital: HIGH, quan hi ha corrent, LOW quan no.
 - INPUT/OUTPUT: determinen si un element extern aportarà informació a l'Arduino (INPUT), o si per el contrari precisarà de la informació que l'Arduino li envií (OUTPUT).
 - void: s'empra en la declaració de funcions que no esperen que se'ls hi retorni informació.
 - int: declara números enteros.
 - unsigned long: són variables de mida estesa per a números. No accepta números negatius.
 - float: declara números amb nombre decimal. Sovint utilitzada per a valors de tipus analògic.
 - const: declara un tipus de variables que no pot canviar, només es pot utilitzar per enviar-la o llegir-la.
- **Funcions:** s'empren per a executar accions. Les funcions utilitzades per a la programació en la part pràctica del projecte són:
 - pinMode(): determina com és el pin. Per fer-ho caldrà escriure, entre parèntesis, el pin, que ja haurem definit abans, i a continuació de quin tipus és (INPUT o OUTPUT).
 - digitalWrite(): executa un valor HIGH o LOW a un pin digital.
 - digitalRead(): comprova en quin estat es troba un pin digital (HIGH o LOW).
 - analogWrite(): executa un valor analògic en un pin d'aquest tipus. La sintaxi és igual que en el digitalWrite, canviant HIGH/LOW pel valor necessari.
 - analogRead(): llegeix el valor en un pin analògic.
 - millis(): dóna el valor de temps que ha transcorregut des de que s'ha iniciat el programa en milisegons.
 - delay(): para el programa durant una certa quantitat de temps, expressada en milisegons.
 - Serial: s'utilitza en la comunicació sèrie. Té diferents variables: Serial.begin(), Serial.print(), Serial.println(), etc.

Cal destacar, però, que només s'ha fet esment de la programació utilitzada en el projecte, i que existeixen més elements en les tres parts.

Els programes emprats per al projecte estan presents en l'annex I.

2. PROJECTE: DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÀTIC

2.1. DEFINICIÓ I ABAST

La part pràctica del treball proposa el disseny i construcció d'un sistema automàtic que té com a objectiu dur a terme la síntesi de catalitzadors mitjançant un procés de coprecipitació. En general consisteix en la precipitació de carbonats metà·lics a pH controlat, segons el procediment següent:

- En un recipient dotat d'un agitador magnètic, s'hi diposita un petit volum d'aigua, i es munta una sonda de pH.
- Amb l'agitador engegat, s'addiciona lentament una dissolució d'una base forta i carbonat càlcic, fins que s'assoleix un determinat pH a la zona bàsica. Acostuma a estar entre 8 i 11, segons el catalitzador que s'està preparant.
- A continuació s'afegeix a un ritme constant, gairebé gota a gota, una dissolució dels metalls que formaran la fase activa del catalitzador. Aquesta acostuma a ser en forma de nitrat.
- A mesura que la dissolució de nitrats entra en contacte amb la dissolució bàsica, es formen els carbonats metà·lics que precipiten. Això fa disminuir el pH, raó per la qual cal afegir més dissolució bàsica per a mantenir el pH al valor necessari.

Un cop acabat aquest procés, i havent deixat el producte resultant a una certa temperatura durant unes 24 hores remenant-se, obtindrem el precursor del catalitzador en forma de pols que posteriorment caldrà activar per obtenir el catalitzador definitiu.

Tot aquest procés, s'acostuma a fer de forma manual però és llarg i tediós, i és fàcil que es produixin fluctuacions de pH massa elevades. Existeixen al mercat equips de laboratori que poden utilitzar-se per efectuar aquesta reacció de coprecipitació, però són molt cares. És per això que busquem aconseguir un prototipus raonablement barat i fiable utilitzant una placa Arduino Mega, dues cel·les de càrrega, dues bombes peristàltiques i un sensor de pH. A més, haurem d'utilitzar el software propi d'Arduino, ja esmentat, per dissenyar el programa informàtic que coordinarà les cel·les de càrrega, les bombes peristàltiques i el sensor de pH, creant, així, un circuit automàtic.

2.2. ANÀLISI D'ALTERNATIVES

Per a la construcció de la maqueta s'han tingut en compte diferents variables que afecten al disseny i la funcionalitat del disseny.

Per començar, el disseny general de la maqueta podia prendre diferents direccions, ja que les cel·les de càrrega i les bombes peristàltiques podien situar-se en diferents posicions. Des del principi ja es considerava separar la part que gestiona els fluids de la part electrònica. Això es pot aconseguir fàcilment col·locant el capçal de les bombes fora de la caixa i l'inductor magnètic a dins, separats per la paret de la caixa, quedant de la manera com es mostra en el plànol de la tapa frontal, present a l'annex II.

Les cel·les de càrrega són l'únic component elèctric que queda exposat als fluids, però donat que són fàcils de reemplaçar, no hauria de suposar cap problema. El que

sí que ho pot suposar, però, és la posició de les cel·les, ja que si les situem sobre la caixa i per algun motiu el fluid es vessa sobre aquesta, pot fer malbé tot el circuit elèctric, per tant, es va decidir posar-les sota la caixa, acollant tant aquesta com les cel·les a una estructura de barres d'alumini.

En quant al circuit elèctric, també existien vàries alternatives. Començant per el cervell del circuit, com ja s'ha esmentat prèviament, existeixen diferents plaques de codi obert, tals com la Raspberry Pi, la Beagleboard, etc. Però donat un coneixement previ de la placa Arduino i del llenguatge de programació C++, es va optar per triar l'anterior. Ara bé, existeixen diferents models de la marca Arduino, per tant, s'havia de buscar la que més s'adiés al projecte. Finalment es va optar per triar la placa Arduino Mega 2560 rev3, ja que proporciona un gran nombre d'entrades tant digitals com analògiques, encara que eren aquestes últimes les més necessàries.

Després s'havia d'escollar una sonda de pH que fos compatible amb Arduino, per al qual precisaria d'una placa que estaria connectada entre l'Arduino i la sonda i que duria a terme un procés de digitalització. Per internet se'n poden trobar una gran varietat de models de diferents característiques i preus. Finalment, es va optar per una sonda de preu reduït però que comptés amb les característiques necessàries.

Per al pesatge dels recipients de dissolucions, en un inici la intenció era utilitzar balances de laboratori que es poden connectar a l'ordinador i enviar la informació, però donada la seva complexitat i el elevat preu que tenen, es va optar per una alternativa més econòmica però a la vegada molt còmoda. Aquest eren les cel·les de càrrega, que, com en el cas de la sonda de pH, per internet se'n poden trobar diversos models a diferents preus. Existeixen cinc tipus diferents de cel·les de càrrega:

- **De punt únic:** són usades per a pesatges petits, que van des dels 100 mg fins als 50 kg. Es munten mitjançant cargols en un dels extrems, on s'hi ajunten els cables, i s'aplica la força a l'altre extrem, en el sentit de la fletxa. Aquest tipus de cel·les operen mesurant un efecte d'elasticitat de la biga, i no la flexió d'aquesta. Això permet, muntant una plataforma en l'extrem de mesura, l'obtenció de mesures precises independentment de la posició de l'objecte en la plataforma.
- **De tipus S:** conegeudes així per la seva forma, són un tipus de cel·la que cobreix les necessitats dels entorns industrial i comercial exigents, ja que pot treballar amb valors elevats i mesura tant pes com tensió.
- **De compressió:** també conegeudes com cel·les de botó, solen estar fetes de materials resistentes com l'acer i l'acer inoxidables, ja que s'utilitzen en àmbits industrials de gran exigència amb pesos elevats. També s'utilitzen en aplicacions que precisen d'una forma prima, ja que aquestes es munten cargolades per la part inferior. En aquestes cel·les la força s'ha d'aplicar de forma perpendicular per obtenir bones mesures.
- **De tipus barra:** de forma semblant a les cel·les de punt únic, però amb major capacitat de pesatge. A més, pot treballar juntament amb altres cel·les del seu o d'un altre tipus. La capacitat de càrrega d'aquestes cel·les és de mitjana-alta, i són emprades en la indústria i en el comerç.
- **De doble suport:** sovint utilitzades en els àmbits econòmic, industrial i comercial. Tenen forma cilíndrica-rectangular i s'empren en entorns corrosius. Estan dissenyades per a l'ús de càrregues dinàmiques, com per exemple, en cintes transportadores.

En aquest cas eren necessàries unes cel·les que suportessin fins a 1 kg de pes com a màxim i que fossin compatibles amb Arduino, per al que es precisava de les plaques HX711. Aquestes plaques s'encarreguen de la digitalització de la que ja hem parlat anteriorment, que permet interpretar a l'Arduino els valors de les cel·les de manera fàcil i precisa. Per tant, donat el valor de càrrega petit, i la necessitat d'una càrrega rígida, es va optar per comprar cel·les de càrrega de punt únic, que, al portal de compra online Amazon, es poden trobar amb les plaques HX711 corresponents per uns 4,30€ la unitat, com es pot observar en el pressupost.

A continuació, també caldrà determinar quina bomba hidràulica s'ajusta més al disseny. Per començar, hem de saber quins tipus de bombes per al transport de líquids unidireccionals existeixen, ja que el que necessitem és transportar dissolucions des dels recipients a les cel·les de càrrega fins al recipient de la coprecipitació. Així doncs, les bombes de desplaçament positiu rotatoris es poden classificar de la següent manera:

- **Bombes d'engranatges:** com el seu nom indica, estan compostes per dos engranatges molt ajustats dins d'una carcassa que giren en sentits contraris. Aquest tipus de bombes generen una pressió en el sistema d'entre 1500 i 4000 psi¹⁷, i els engranatges poden arribar a girar a 4000 rpm¹⁸.
- **Bombes d'aspa:** consta d'un rotor excèntric que conté diverses aspes que giren dins d'una carcassa. Proporcionen pressions d'entre 2000 i 4000 psi.
- **Bombes de cargol:** també conegeudes com a bombes d'Arquímedes, tenen l'avantatge de que distribueixen un flux constant, no com les d'engranatges o d'aspes per exemple. A més, són més silencioses que la majoria d'altres bombes, i treballen amb pressions de 3000 psi.
- **Bombes de cavitat progressiva:** proporcionen un flux suau i continu. Quan el rotor gira dins la cavitat, es formen cavitats amb les que els líquids avancen. Treballen amb pressions de 900 psi i soLEN emparar-se per moure líquids molt viscosos (xampú, xarop de poma, etc.).
- **Bombes de lòbul:** són molt semblant a les d'engranatges, però en comptes d'aquests, utilitzen uns rotors amb dos, tres o més lòbuls que s'ajusten dins la carcassa.
- **Bombes peristàltiques:** consten d'un tub de plàstic que captura el líquid mitjançant l'acció d'uns rodets interiors que generen pressió sobre les parets del tub i giren per a fer moure el líquid. Treballen amb baixes pressions i se soLEN emparar en processos químics, mèdics, processaments alimentaris, etc.
- **Bombes de pistó:** com el seu nom indica, fan ús d'un pistó per a generar una pressió que mou els fluids. Aquest pressió sol ser elevada en aquest tipus de bomba ja que s'usen per a moure fluids d'alta densitat.

Coneguts tots els tipus de bombes hidràuliques i el seu funcionament, s'observa que el tipus que més s'ajusta a les necessitats del projecte, és la bomba peristàltica, donat que treballa a poca pressió, mou poques quantitats de líquid, el qual és

¹⁷ Lliura per polzada quadrada (de l'anglès Pounds per Square Inch). La unitat de pressió en el SI (Sistema Internacional) és el Pa (Pascal), i 1 psi = 6.894,75729 Pa.

¹⁸ Revolucions per minut (de l'anglès revolutions per minute).

essencial per al correcte desenvolupament del procés de coprecipitació, ocupa poc espai i no precisa de manteniment de neteja.

Però aquestes bombes peristàltiques necessiten 12V per a funcionar, per tant, també seria necessària una font d'alimentació. Un cop més, a Amazon se'n pot trobar una gran varietat amb voltatges, intensitat i grandàries diverses. Per tant, només va ser necessari buscar-ne una que proporcionés un voltatge igual o major a 12V i un amperatge major o igual al que necessiten les bombes. Però aquest últim no venia especificat, per tant, utilitzant la potència i el voltatge amb que treballen les bombes, els quals coneixem podem trobar la intensitat necessària. Partim de la següent igualtat:

$$P = V \cdot I$$

On P equival a la potència, V al voltatge i I a la intensitat. Per tant, aïllem aquesta última:

$$I = \frac{P}{V}$$

Substituïm pels valors numèrics proporcionats per la informació de les bombes peristàltiques:

$$[I = \frac{7,5}{12} = 0,625A]$$

Per tant, la font d'alimentació haurà de proporcionar un voltatge igual o major que 12V, un potència igual o major que 7,5W i un amperatge igual o major a 0,625A.

Per últim, caldrà trobar un caixa on hi vagi muntat tot el circuit elèctric. Aquesta hauria de ser metàl·lica i comptar amb orificis de ventilació per si algun element del circuit se sobre calenta durant el funcionament. Aquesta vegada, per Amazon no és possible trobar-ne cap amb aquestes característiques, i en tendes especialitzades en l'àmbit industrial els preus són massa elevats. Per tant, s'opta per buscar una tenda d'electrònica propera, on s'hi troba no només una caixa útil per al projecte, si no que també altres components que també eren necessaris, com un interruptor per la font d'alimentació, una placa de connexions, etc.

2.3. DISSENY DE LA UNITAT

Pel disseny de la unitat es considera cada un dels elements requerits per separat:

- les bombes per alimentar els líquids
- les cel·les de càrrega
- el sensor de pH

Per a dissenyar el circuit encarregat del control de les bombes utilitzarem una eina online anomenada Tinkercad, que és un software ideat per l'empresa Autodesk. L'utilitzarem perquè les bombes treballen a 12V i volem assegurar-nos de que el circuit és correcte abans d'introduir-lo a l'Arduino, evitant així crear curtcircuits o, en el pitjor dels casos, cremar la placa.

Tinkercad ens permet crear un circuit elèctric amb Arduino, introduir-hi el codi i fer-ne una simulació. El circuit, obtingut del llibre de projectes d'Arduino, citat a la bibliografia, s'explica amb deteniment a l'apartat 2.4.1 on es parla del circuit elèctric en profunditat, i consta d'un transistor, un diòde i una resistència per a cada motor.

A la Figura 6 es mostra la implantació del circuit de control de les dues bombes en Tinkercad, i a la Figura 7 el codi mínim necessari per a fer moure els motors contínuament. Cal esmentar que en el circuit de la simulació s'incorporen amperímetres i voltímetres per determinar si els valors d'intensitat i voltatge que reben els motors són viables, que com s'observa, sí que ho són.

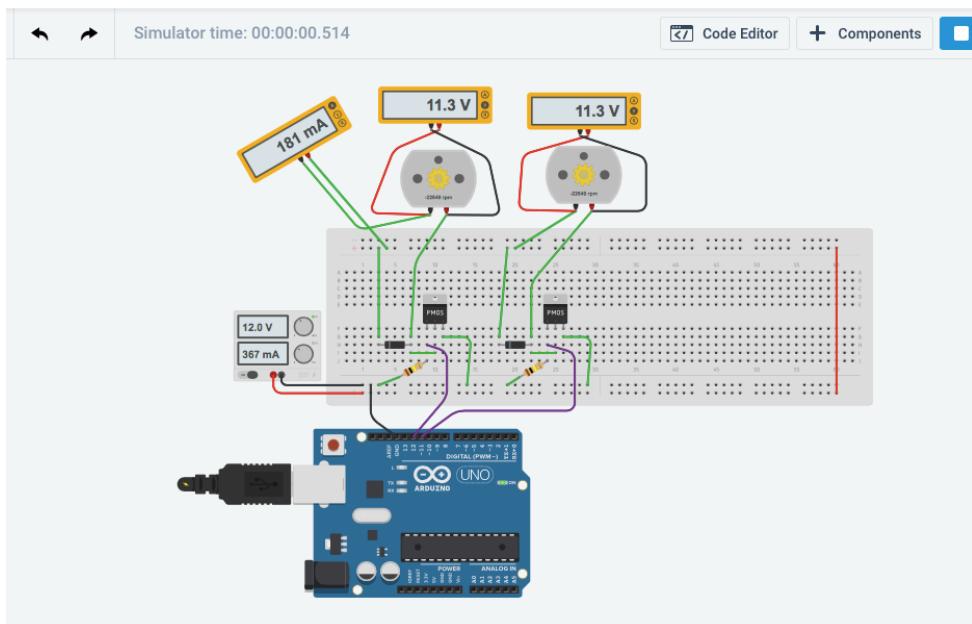


Figura 6. Esquema de simulació del mòdul de bombes en Tinkercad

Quan a les cel·les de càrrega i les plaques HX711 que les controlen, el circuit es troba al portal web Prometec, on hi ha una gran varietat de tutorials sobre electrònica. En l'article referent a les cel·les, a més del circuit també se n'exposa el calibrat però l'únic que utilitzarem seran les connexions entre les cel·les, les plaques HX711 i l'Arduino.

```

1 int pump1 = 11;
2 int pump2 = 12;
3
4 // the setup routine runs once when you press reset:
5 void setup() {
6     // initialize the digital pin as an output.
7     pinMode(pump1, OUTPUT);
8     pinMode(pump2, OUTPUT);
9 }
0
1 // the loop routine runs over and over again forever:
2 void loop() {
3     digitalWrite(pump1, HIGH);
4     digitalWrite(pump2, HIGH);
5 }
6

```

Figura 7. Codi Arduino necessari per accionar els motors de les bombes en Tinkercad

Per a la sonda de pH, les connexions són més aviat simples i intuïtives, ja que només consta de tres pins. Un per als 5 volts de corrent, un per al born de terra i l'últim per a la connexió del pin analògic de l'Arduino. Aquesta connexió tant simple bé donada, com en el cas de les cel·les, gràcies a una placa auxiliar que fa d'intermediària entre l'Arduino i la sonda.

Aquesta placa es pot trobar a la venta fàcilment juntament amb la sonda, només s'ha de buscar una que funcioni a 5V, tingui un rang de mesura d'entre 0 i 14 i una precisió de $\pm 0,1$ unitats. Així doncs, a Amazon se'n troba una amb aquestes característiques i que a més treballa a temperatures d'entre 0 i 60°C i que té un temps de resposta ≤ 1 minut, característiques que també seran útils.

2.4. PLÀNOLS

2.4.1. Elèctrics/electrònics

Per fer els plànols elèctrics existeixen diverses eines multimèdia que en faciliten la creació. Una d'aquestes eines és Fritzing que conté diverses llibreries de components electrònics de diverses marques, el qual ens facilita molt la creació de plànols electrònics ja que conté quasi tots els components necessaris.

Només iniciar Fritzing ens trobem amb un menú amb informació sobre l'aplicació i a l'esquerra els nostres fitxers guardats. A la part superior de la finestra trobes diverses pestanyes, amb les que podem accedir a les diverses funcions del programa. Seleccionem la pestanya "Schematic", que ens permet crear plànols elèctrics des de zero, i apareix la pantalla mostrada a la Figura 7. Observem que a la dreta tenim un petit buscador, aquest ens permet buscar els components necessaris per crear el plàtol del nostre circuit elèctric.

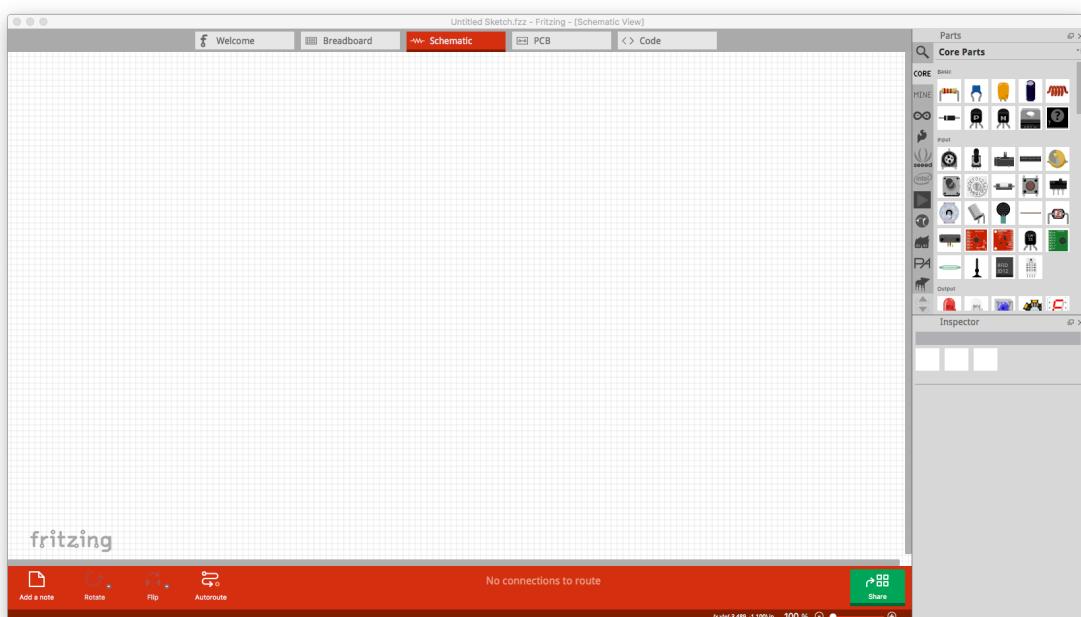


Figura 7. Pantalla de treball del programa Fritzing per a confeccionar plànols de circuits electrònics

Per tant, comencem posant-hi la placa Arduino Mega, dos motors, que representen els motors de les bombes peristàltiques, i hi afegim dos diòdols, dos transistors i dues resistències de $220\ \Omega^{19}$, tal com es mostra a la imatge de la Figura 8. Els diòdols se situen en paral·lel entre els borns positiu i negatiu del motor per evitar que la contra corrent cremi el circuit. La contracorrent la genera el motor en sentit contrari al de l'alimentació. Per tant, el diòde redirigeix aquest possible contracurrent evitant, així, que es cremi el circuit.

¹⁹ Ω : Ohm. Unitat de resistència elèctrica.

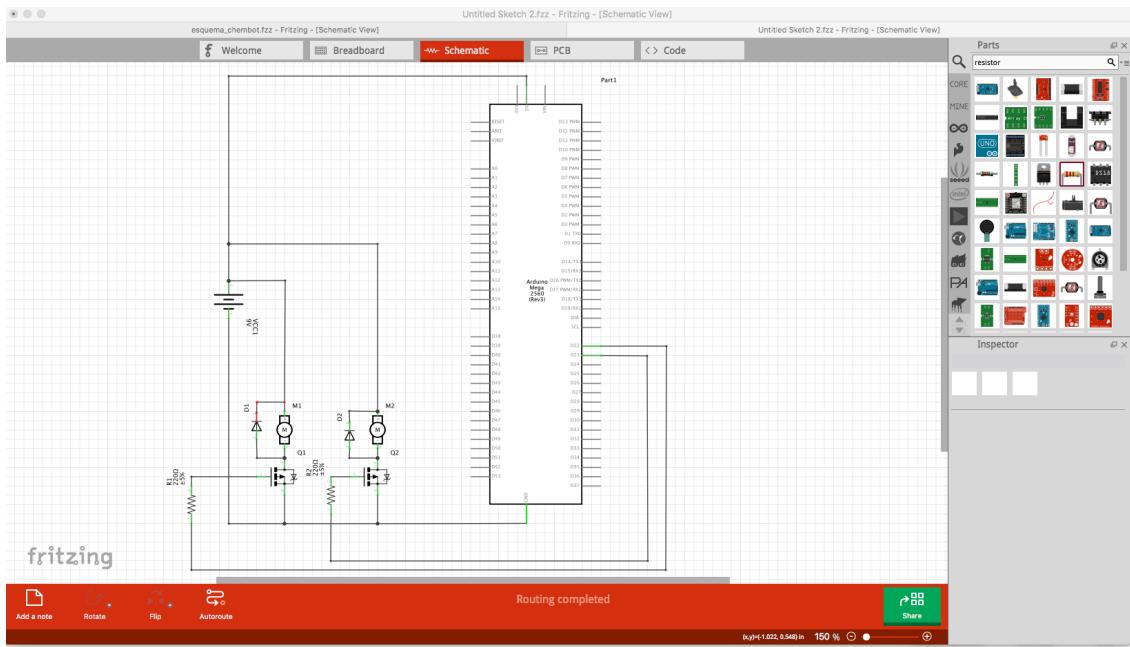


Figura 8. Esquema elèctric incloent la placa Arduino i els circuits de control dels motors de les bombes.

Els transistors, situats davant dels diòdols i els motors, són uns dispositius semiconductors que donen un senyal de sortida en funció d'un senyal d'entrada. Compten amb 3 potes (emissor, col·lector i base). Aquestes es poden comparar amb les parts d'una aixeta, on l'emissor equivaldria a la sortida d'aigua, el col·lector a l'entrada i la base al control, que permet obrir-la i tancar-la. Per tant, com funciona un transistor? Doncs de manera molt semblant a com ho faria una aixeta, ja que en aquesta, si movem el control constantment, el flux d'aigua serà proporcional a l'angle del control en cada instant. En un transistor si apliquem un procediment semblant, amb un corrent variable a la base, el flux de corrent entre emissor i col·lector seguirà el senyal de la base però amplificat. Però, per què és útil fer servir un transistor? En aquest cas és important ja que, com es pot observar en la imatge, se situa una resistència a la base del transistor. Això provoca que quan hi circulin 12V el corrent entre emissor i col·lector passarà sense problemes, però quan el corrent sigui de 0V, el valor de la resistència quedarà amplificat tallant per complet el pas de corrent entre emissor i col·lector, la qual cosa protegeix també del contracorrent ja mencionat anteriorment. Això fa que sigui quasi impossible cremar la placa Arduino. Ja que en cas de que falli el diòde i un contracorrent circuli cap a la placa el transistor ho tallarà i com a molt es cremarà.

També es pot observar que hi afegim una font d'alimentació de 9V. Aquesta hauria de ser de 12V, però el programa no n'incorpora cap, per tant hi afegirem una nota explicativa.

El pas següent és incorporar els mòduls HX711 que controlen la comunicació entre les cel·les de càrrega i la placa Arduino, que queden connectats com es mostra a la Figura 9.

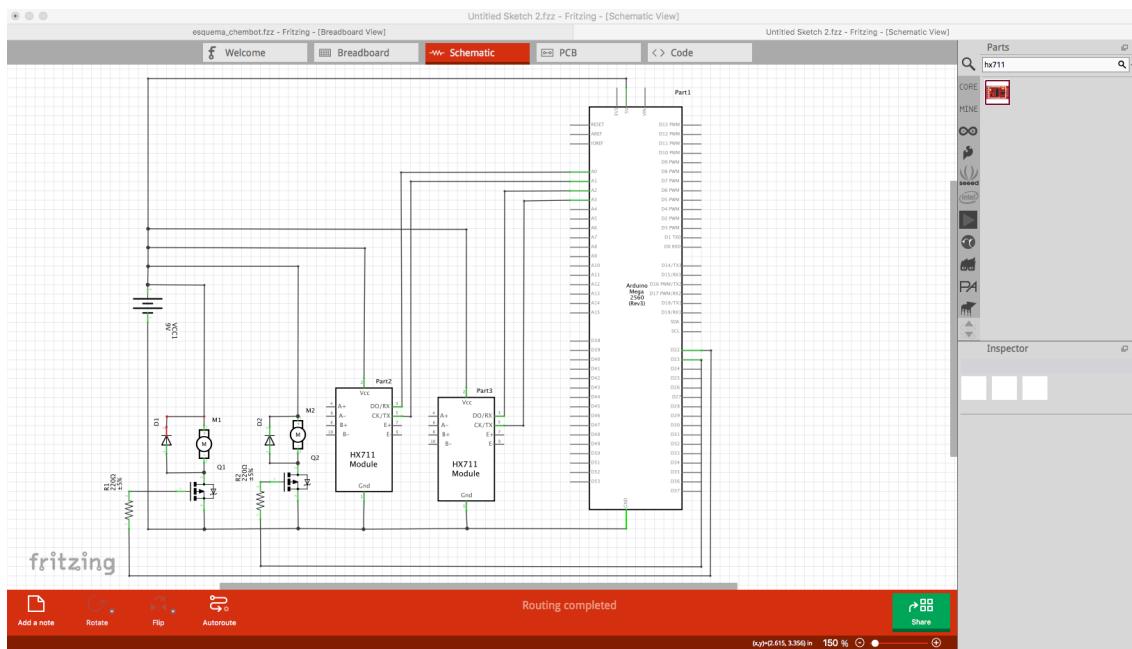


Figura 9. Esquema elèctric incloent la placa Arduino, els circuits de control dels motors de les bombes i els mòduls HX711 de les cel·les de càrrega.

Per últim, només caldrà incorporar les cel·les de càrrega i el sensor de pH, però un cop més, ens trobem amb que Fritzing no incorpora aquests components, per tant, el que farem per les cel·les de càrrega serà incorporar un component qualsevol amb quatre pins de connexió i tapar-lo amb una etiqueta sota el nom "Cel·la de càrrega A" i "Cel·la de càrrega B" respectivament. Aquests quatre pins els connectarem a els pins corresponents de les plaques HX711. Per al sensor de pH farem el mateix amb un component qualsevol de tres pins de connexió també amagat sota una etiqueta amb el nom de "Sensor de pH", i connectarem un pin a la línia de terra comuna, un altre a la línia de 5V i l'últim pin a una de les entrades analògiques de l'Arduino. Per tant, el circuit queda distribuït com es mostra a la Figura 10.

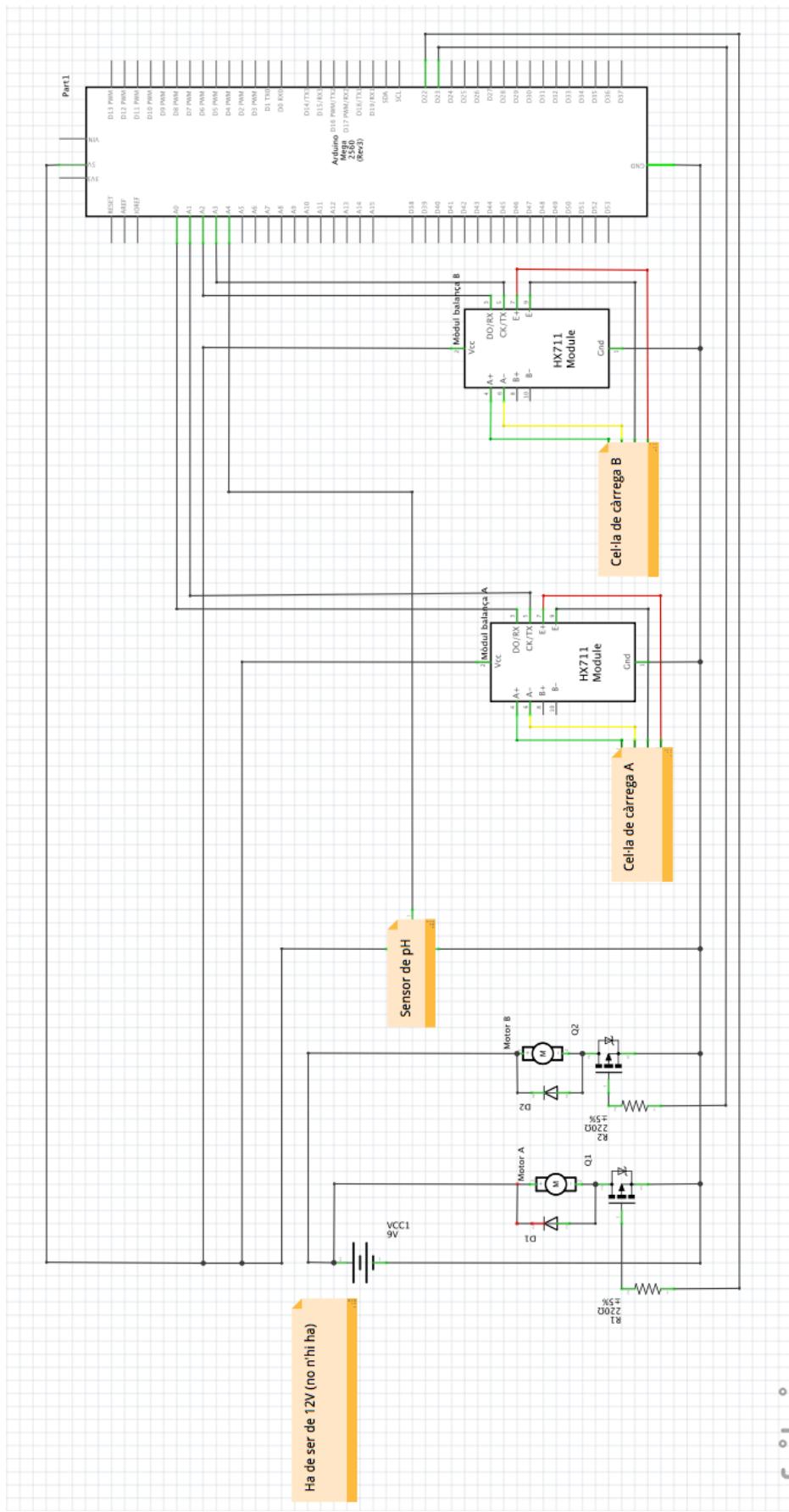


Figura 10. Plànor complet de l'esquema elèctric/electrònic

2.4.2. Mecànics

Per dur a terme els plànols mecànics o de muntatge utilitzarem un altre aplicació informàtica anomenada QCAD. Aquesta eina ens permet reproduir formes geomètriques senzilles com rectangles, quadrats i circumferències de forma fàcil i intuïtiva. Només iniciar el programa ens trobem amb una pantalla mostrada a la Figura 11.

Els plànols d'aquest projecte es faran de forma simplificada utilitzant només rectangles i circumferències. Però abans de començar haurem de convertir les unitats, que quan s'inicia el programa estan en centímetres, a mil·límetres, per aconseguir una millor exactitud a l'hora de fer els plànols.

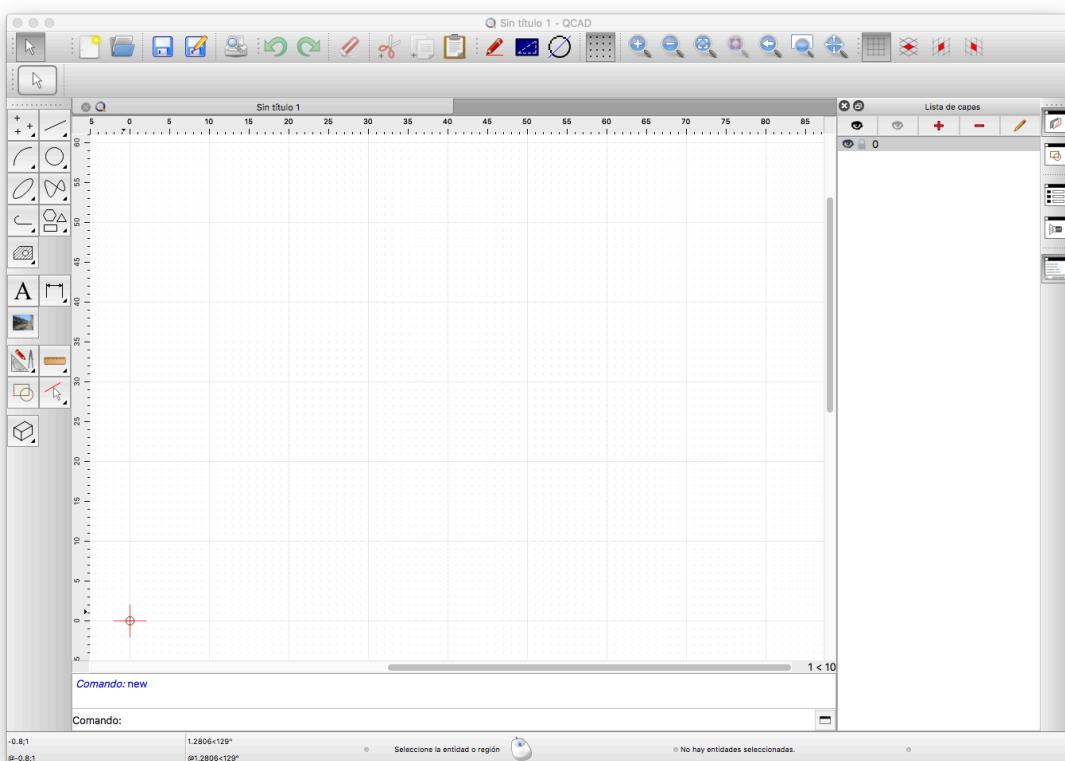


Figura 11. Pantalla de treball del programa QCAD

Començarem construint la base de la caixa i utilitzarem l'eina anomenada "Herramientas de forma", que permet construir diversos polígons regulars, com rectangles, triangles, pentàgons, etc.

Primer haurem de seleccionar l'eina per crear rectangles (Figura 12-a). Per facilitar la creació dels plànols crearem el rectangle a partir del punt amb coordenades (0,0), marcat pel programa amb una creu vermella. Llavors, cliquem en el punt inicial i utilitzant la barra de comandaments (Figura 12-b), introduïm les mides dels costats de la base. Les dades les introduirem de la següent manera: 241;204. Això per al programa vol dir que els dos costats de l'eix X del rectangle mesuren 241mm i els dos costats de l'eix Y mesuren 204mm.

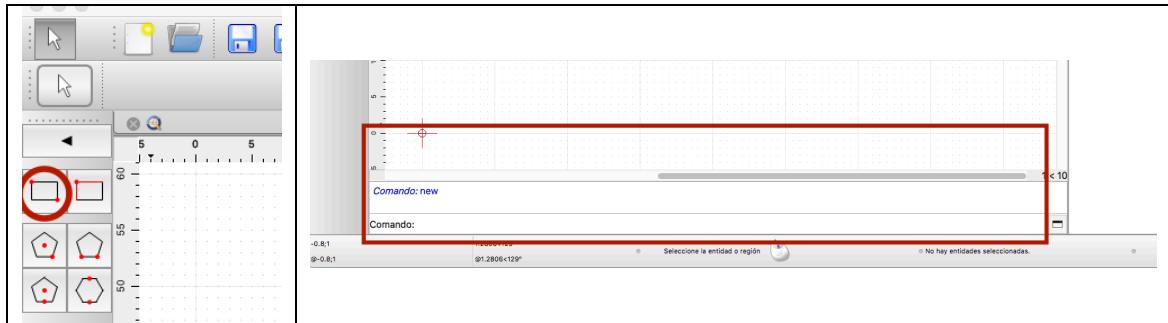


Figura 12. Vista de l'eina per a crear rectangles (a, esquerra), i de la barra de comandaments (b, dreta) del programa QCAD

Per finalitzar el plàtol de la base, haurem de seleccionar l'eina que ens permet crear circumferències (Figura 13-a), i dins seleccionarem la primera eina, que permet crear una circumferència donat el seu centre i un punt extern o el valor del radi (Figura 13-b). Un cop seleccionada l'eina, només caldrà situar les diverses circumferències del plàtol. Per fer-ho, utilitzarem un cop més la barra de comandaments per introduir les coordenades del centre de la circumferència i per, posteriorment introduir-hi el valor del radi. Per exemple una de les circumferències està situada al punt 15;166, i té com a valor de radi 3 mm.

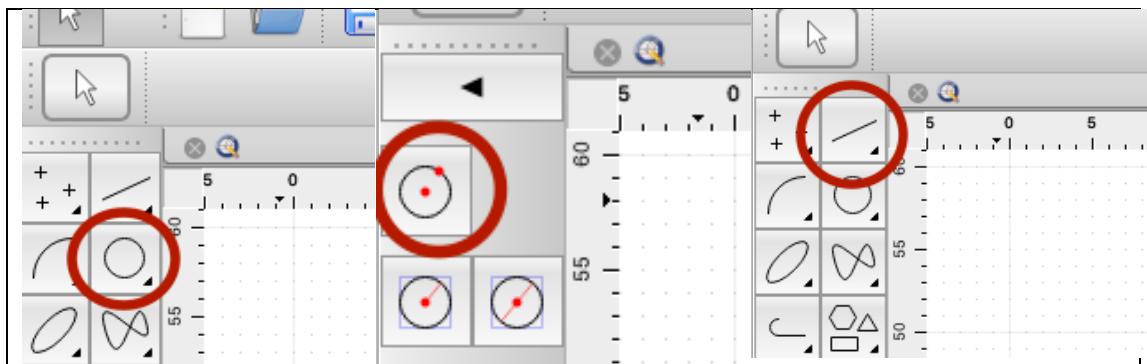


Figura 13. Vista de l'eina per a crear circumferències (a, esquerra), fixant el centre i el radi (b, centre). Vista de l'eina per a crear línies rectes (c, dreta).

Per finalitzar el plàtol només caldrà enquadrar-lo i construir un caixetí que contindrà informació com l'escala del dibuix, la data o la part de la maqueta que representa el plàtol. Aquest caixetí el podem construir fàcilment utilitzant l'eina de línies (Figura 13-c).

Per construir la tapa de la caixa només cal copiar la base, enganxar-la en un nou document i situar les circumferències a la deguda posició.

Per construir les tapes frontal i posterior copiarem el document de la base i el tornarem a enganxar en un nou document, però aquest cop no podrem aprofitar el

rectangle ja que són de dimensions diferents. Per tant, seguint el mateix procediment que quan hem construït la base de la caixa, construirem un rectangle aquest cop de 247 mm d'amplada i 87 mm d'alçada, i al rectangle li haurem de fer un tall a les cantonades a 1 cm de distància en alçada i llargada de cada vèrtex.

Per a la tapa frontal, hem de fer l'obertura que permet que la part electrònica de les bombes quedi dins la caixa, i el capçal, que fa moure les dissolucions, quedi fora. Com ja s'ha esmentat posteriorment, això evitarà que cap dels dos líquids pugui entrar dins la caixa i danyar els circuits elèctrics.

Aquesta obertura la podrem construir fàcilment amb les eines de rectangles i circumferències.

Per a la tapa posterior copiarem i enganxarem el document de la tapa frontal en un de nou, i n'eliminarem l'obertura de les bombes. Ara només caldrà fer 3 circumferències, 1 per a la connexió del sensor de pH i dues per a la sortida dels cables de les plaques HX711 cap a les cel·les de càrrega, i dos rectangles, un per a l'interruptor de la font d'alimentació i un altre per a la connexió USB de la placa Arduino.

Amb això ja tindrem finalitzats els plànols mecànics del projecte, presents a l'annex II.

2.5. PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ

2.5.1. Llistat de materials

El muntatge consta de varis components que queden llistats, juntament amb la seva funció, en la següent taula 1.

Taula 1 – Llistat de components	
Component	Funció
Arduino Mega 2560 rev3	Controlar el procés d'automatització
Sensor pH	Llegir i enviar els valors del pH durant el procés de coprecipitació a l'Arduino
Cel·la de càrrega	Mesurar el pes de les dissolucions i enviar-ho a l'Arduino
Placa HX711	Facilitar les connexions entre les cel·les de càrrega i l'Arduino mitjançant la CAD (Conversió Analògica-Digital)
Bomba peristàltica	Moure els fluids des dels recipients de les cel·les fins al vas de precipitats
Font d'alimentació	Proporcionar els 12V que necessiten les bombes peristàltiques per a funcionar
Placa de connexions	Facilitar la connexió dels components i cables
Resistència	Controlar el voltatge i la intensitat que reben les bombes
Transistor	Dispositiu semiconductor que modula el pas de la corrent.
Díode	Evitar que es danyi el circuit a causa dels contracorrents que poden provocar les bombes
Cablejat	Connectar les diferents parts del circuit
Interruptor	Engregar i apagar la font d'alimentació
Caixa	Facilitar el muntatge
Barres d'alumini	Separen la part electrònica de les cel·les de càrrega i les dissolucions

2.5.2. Construcció

Per arribar a la construcció del prototipus final es van seguir diferents etapes.

Primerament, es va construir el un prototipus bàsic mitjançant una caixa de fusta i dues plaques de prototipat, també anomenades protoboards o breadboards, com es mostra en la Figura 14. Aquest prototipus al principi només comptava amb una bomba i una cel·la de càrrega, ja que l'objectiu era determinar-ne el funcionament d'ambdues i aprendre a calibrar-les correctament.

Un cop superada aquesta fase s'hi van incloure una bomba i una cel·la més, per aprendre a controlar dues bombes i dues cel·les simultàniament. Sobre les cel·les de càrrega es munta una plataforma de plàstic que servirà per a col·locar-hi les ampolles amb les dissolucions.

Finalment es va afegir la placa i el sensor de pH, i es van fer proves del conjunt emprant dissolucions àcides i bàsiques preparades amb productes de neteja de piscines.

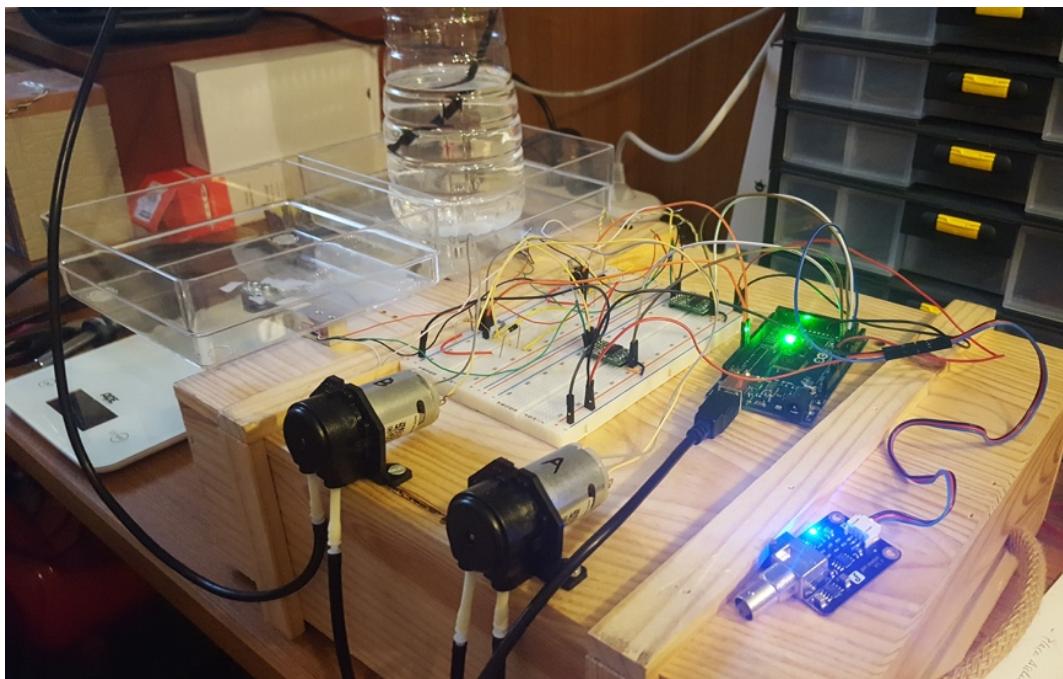


Figura 14. Vista global del primer prototipus construït emprant protoboards

Completat el procés d'aprenentatge sobre els elements de control i comprovat que el seu funcionament era correcte, es va disposar a construir el prototipus final. Es comença per la caixa, ja que serà la part més laboriosa de dur a terme. Dins d'aquesta s'hi situaran la font d'alimentació, la placa Arduino, la placa de la sonda de pH, la placa de connexions i la part elèctrica de les bombes, amb la distribució aproximada mostrada a la Figura 15.



Figura 15. Distribució dels components al prototipus final (bombes, font d'alimentació, placa Arduino, placa del sensor de pH i placa de connexions)

La part més lenta de crear serà la placa de connexions, on aniran soldats amb estany tots els components i cables del circuit. Primer s'ha de determinar la manera en que es distribuiran els elements en aquesta placa. Es dividirà la placa en dos regions (Figura 16), a la part superior s'hi situaran les plaques HX711, que per sobre tindran la línia de corrent de 5V provinent de l'Arduino. A la part inferior s'hi situaran els circuits dels motors, que per sota tindran la línia de corrent de 12V provinent de la font d'alimentació. Entre mig s'hi situarà una línia de terra comuna, compartida entre l'Arduino i la font d'alimentació, on cada un dels quatre circuits aïllats hi anirà connectat.

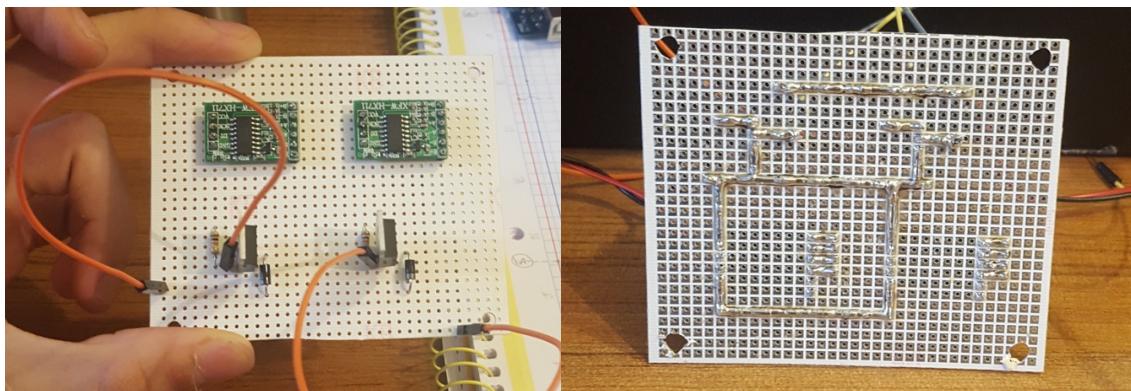


Figura 16. Vista anterior (esquerra) i posterior (dreta) de la placa de connexions

Un cop acabada la placa de connexions, i amb tots els elements situats dins la caixa (Figura 17) s'ha de construir una base on hi aniran situades les cel·les, per tant aquesta ha de ser prou alta per a que les ampolles que suporten les cel·les hi càpiguen sense problemes. Per a construir la base s'empraran barres d'alumini annexades entre elles amb encaixos de plàstic (Figura 18)

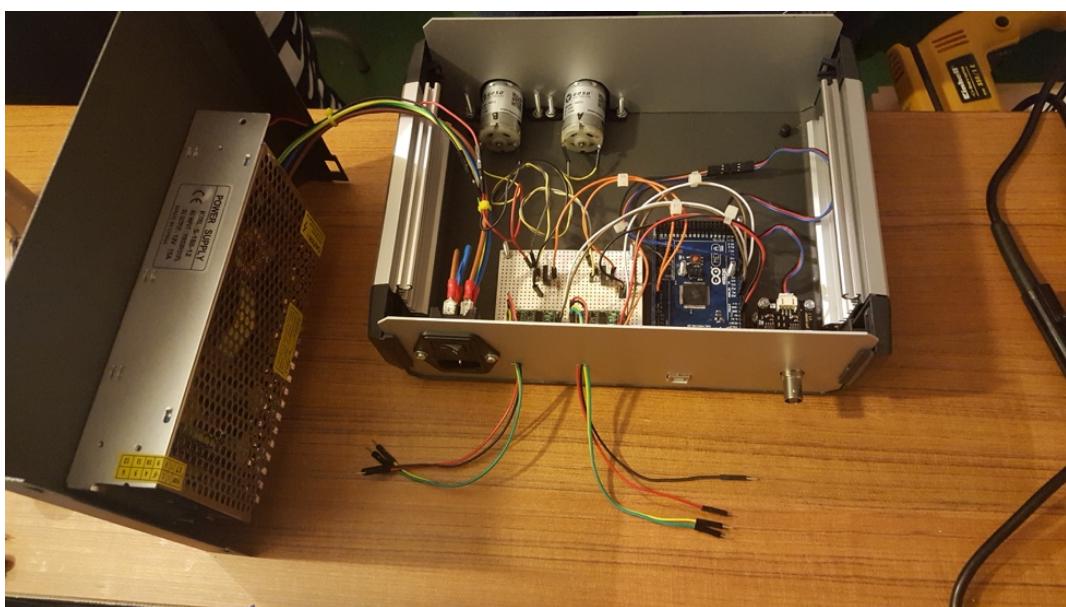


Figura 17. Vista de la caixa de control un cop finalitzada

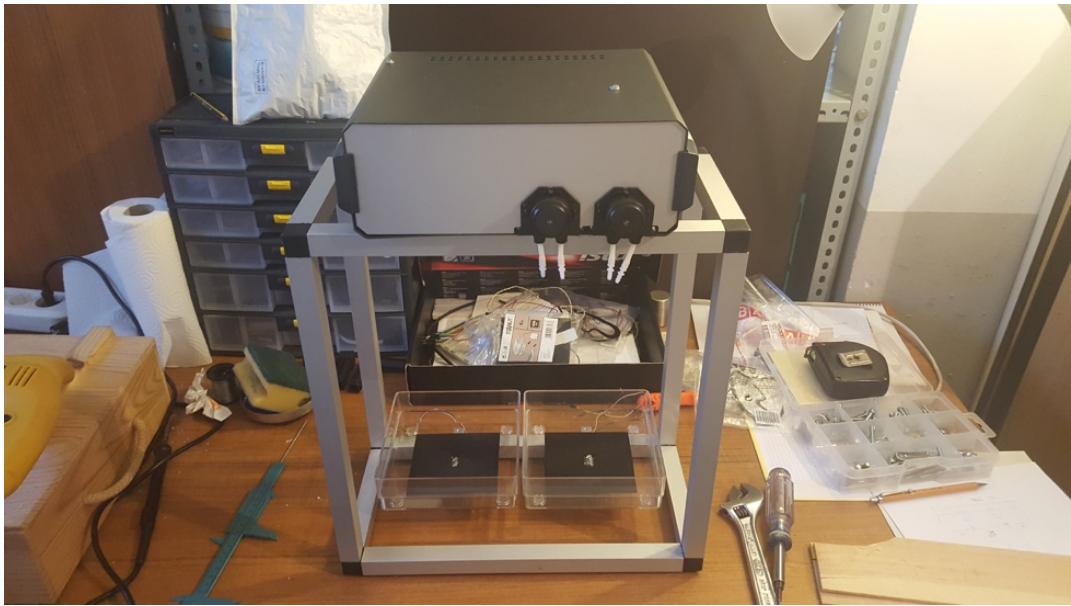


Figura 18. Vista del prototipus complet incloent l'estructura de suport en alumini

Amb aquests procediments ja estaria finalitzat el muntatge del prototipus final. Cal esmentar que els talls efectuats en els plafons frontal i anterior de la caixa els va dur a terme un operari del servei de recursos científics i tècnics al taller de la URV, donada la seva complexitat i la necessitat de precisió.

2.5.3. Pressupost

Així, utilitzant la taula anterior podem calcular el pressupost total (taula 2):

Taula 2 – Pressupost		
Component	Quantitat	Preu (€)
Arduino Mega 2560 rev3	x1	40,00
Sensor pH	x1	55,77
Cel·la de càrrega + placa HX711	x2	12,86
Bomba peristàltica	x2	11,28
Font d'alimentació	x1	16,99
Placa de connexions	x1	2,00
Hardware divers	-	3,00
Cablejat	x1 paquet	8,99
Interruptor	x1	2,00
Caixa	x1	55,00
Barres d'alumini	x4	35,00
TOTAL:		242,89

2.6. ESTABLIR PROTOCOL DE MESURA

Per a establir un protocol de mesura i funcionament del sistema, utilitzarem un diagrama de flux, creat amb una eina online anomenada Lucidchart, que permet crear diagrames i esquemes.

Per a crear el diagrama de flux utilitzarem 4 figures diferents, on cadascuna representa una funció diferenciada:

- **Terminadors:** maquen l'inici i el fi del programa



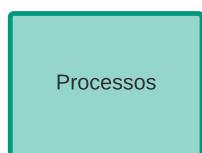
- **Processos predeterminats:** es refereixen a processos fixos que sempre es donen de la mateixa manera en el mateix moment



- **Decisions:** determinen el compliment o no d'una certa condició (SÍ o NO)



- **Processos:** determinen processos que no sempre es donen en el mateix moment o no sempre seran iguals



Per tant, seguint el raonament lògic de fets que s'han de donar durant el procés de coprecipitació, obtindrem una diagrama de flux com el que es mostra a la Figura 19.

L'últim pas per a finalitzar el sistema de control de la coprecipitació serà traslladar aquest diagrama a la programació en Arduino per a crear el "programa coprecipitació", present en l'annex I.

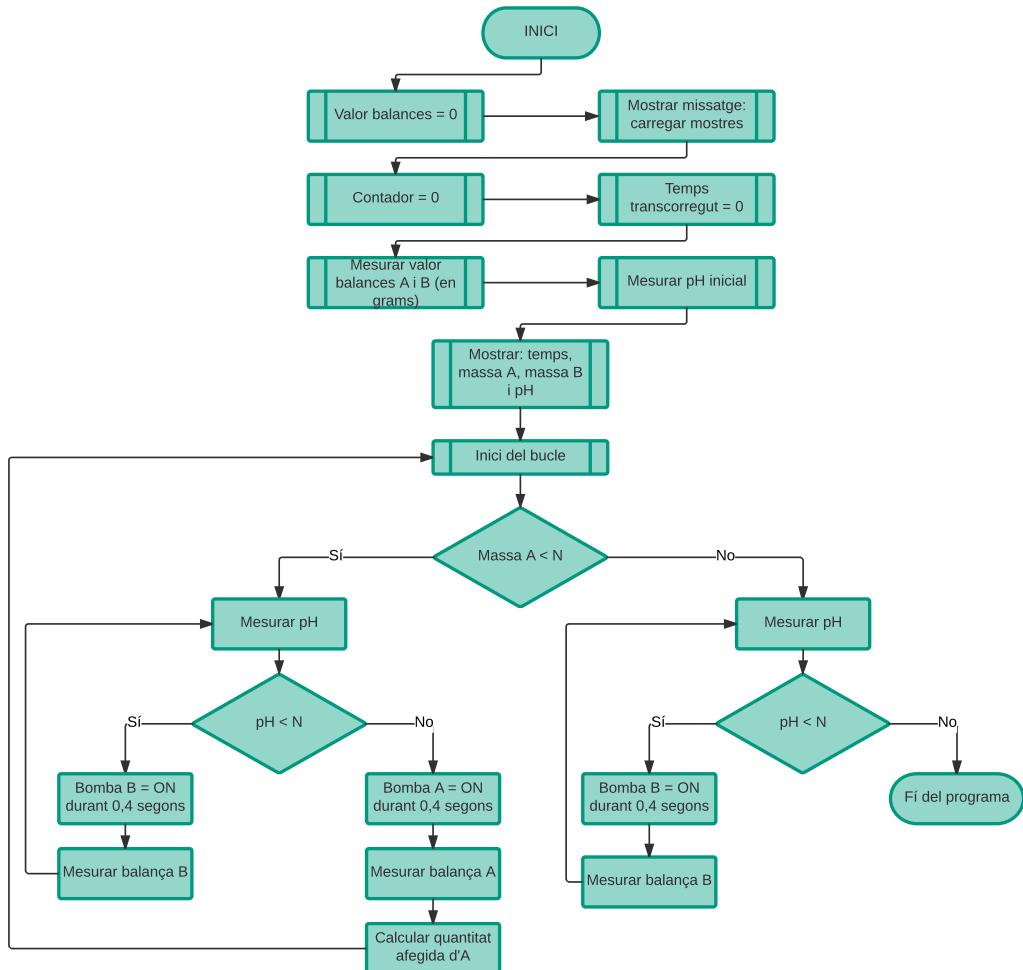


Figura 19. Diagrama de flux del programa de control de la unitat per al procés de síntesi per coprecipitació a pH constant.

Cal esmentar, però, l'origen d'uns certs valors d'aquest programa. Començant pels valors que s'utilitzen per a calcular el pes de les balances, aquests deriven del calibrat de les cel·les, el qual consisteix en crear una taula de valors mitjançant Excel i observar la lectura que proporciona l'Arduino i comparar-lo amb el valor real del pes, ja conegit. Això ens origina una recta, de la qual utilitzem el pendent, que es multiplicarà pel resultat de restar el valor que lleixa la cel·la menys la tara inicial. Vegem-ne, doncs, un exemple pràctic en el programa:

```
valorA_0 = (pesA.read_average(30)-taraA) * 1,0614e-03;
```

En aquest cas, el valor inicial del pes A és igual a la resta d'una mitja de 30 lectures de la cel·la amb la tara d'A, i el resultat multiplicat pel pendent de la recta del gràfic de la Figura 20, que deriva de la taula 3 present en l'annex IV.

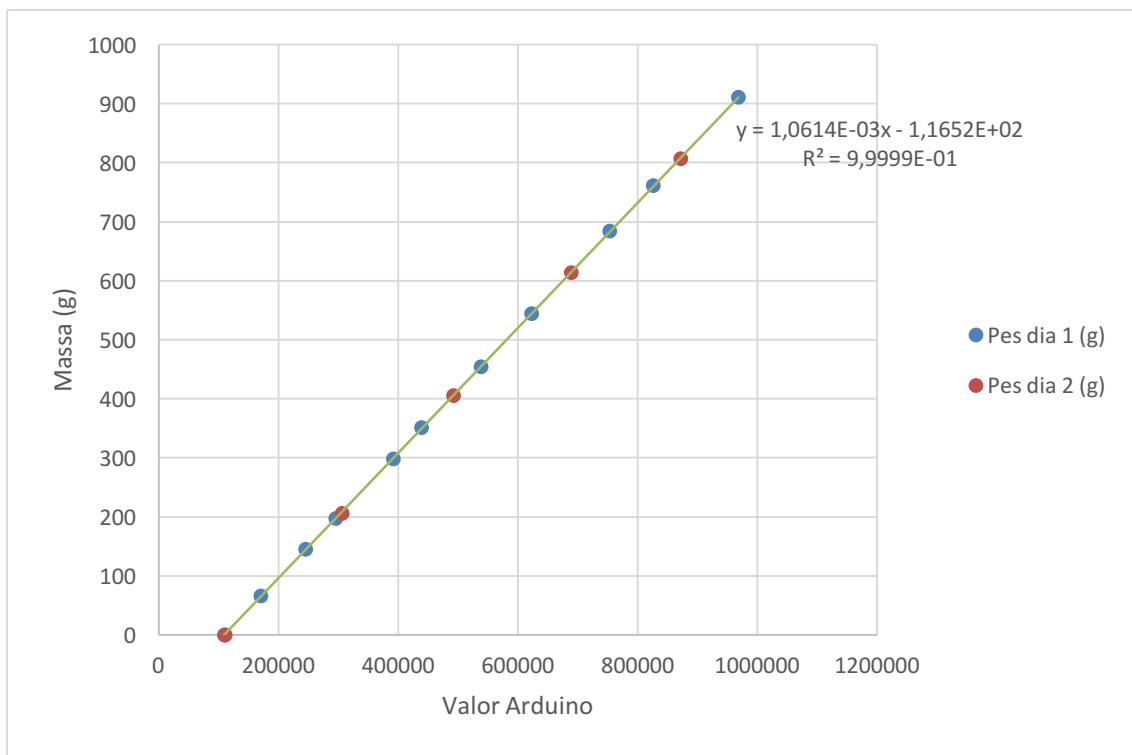


Figura 20. Recta de calibrat de la cel·la de carga del reactiv A

Cal observar que el calibrat es va fer en dies diferents per comprovar la repetibilitat de les cel·les, que, com es pot observar, origina un error mínim. Cada color representa un dia different. Per a la balança B, utilitzaríem la mateixa estructura sintàctica, canviant només el pendent per l'obtingut en el calibrat de la cel·la B, mostrat en la Figura 21 determinada per la taula 4 present en l'annex IV:

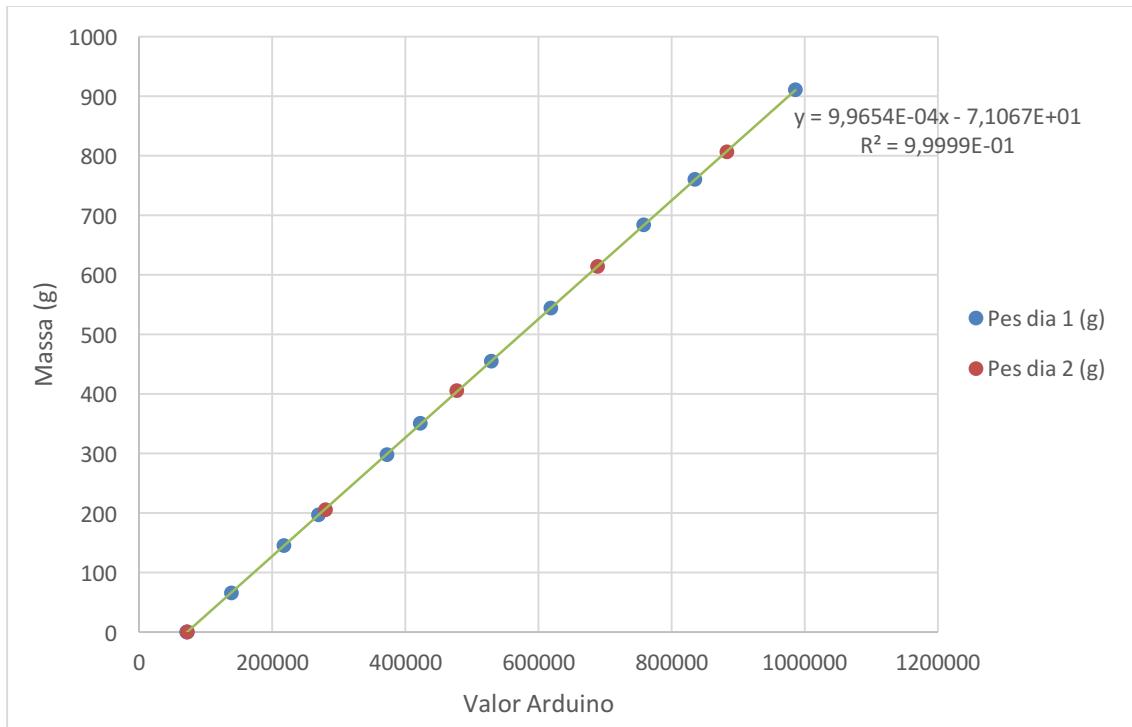


Figura 21. Recta de calibrat de la cel·la de carga del reactiv B

D'aquesta manera, en la programació utilitzaríem la següent acció per a calcular el valor inicial del pes B:

```
valorB_0 = (pesB.read_average(30)-taraB) * 9,9654e-04;
```

A continuació, haurem d'obtenir una nova equació per a calcular el valor real del pH utilitzant un mètode semblant. Agafarem tres medis (àcid, neutre i base) a diferents nivells de pH, prèviament determinat i llegirem el valor que dóna l'Arduino.

Tota la informació proporcionada pel "Programa pH" (annex I) l'emmagatzemem de nou en una fulla d'Excel i en fem una gràfica que ens donarà l'equació (taula 5 de valors present en l'annex IV):

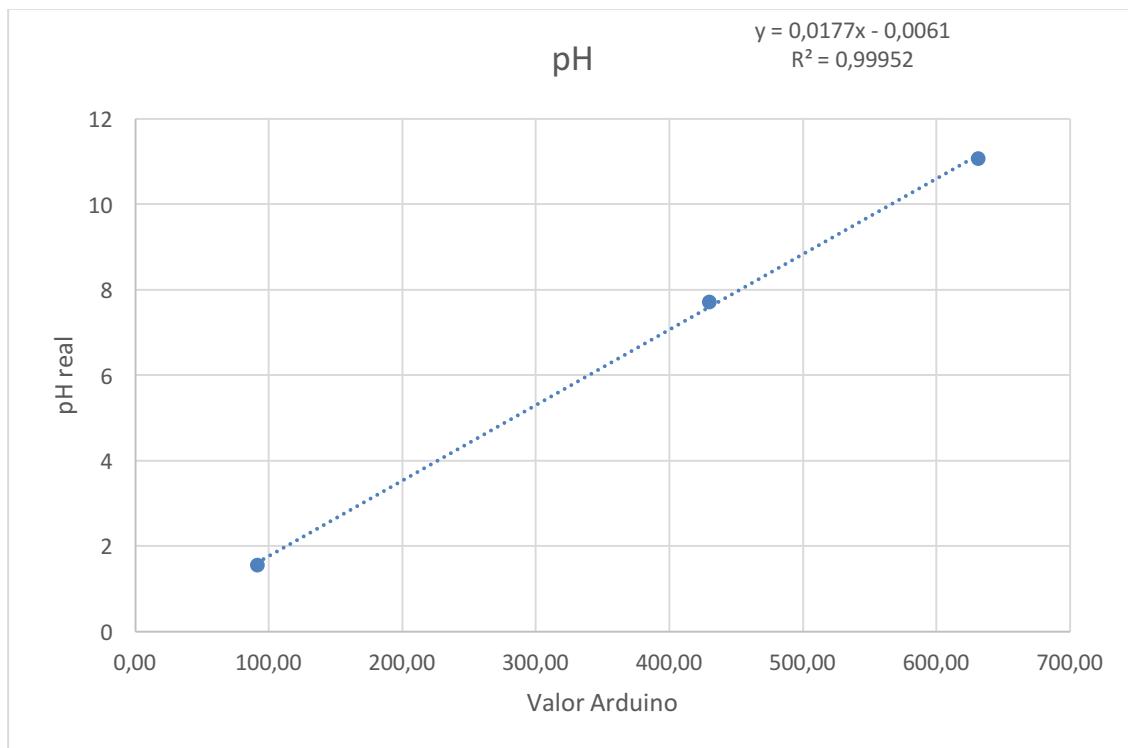


Figura 22. Recta de calibrat de la cel·la de carga del reactiu B

Per tant, per calcular el pH utilitzarem la següent equació:

$$pH = 0,0177 * mitja_pH - 0,0061;$$

On la "mitja_pH" es refereix a una mitja de 30 lectures directes que l'Arduino fa per reduir l'error de la mesura.

Per últim, caldrà determinar la manera en que engeguem i parem les bombes, és a dir, el temps que les engeguem i el temps que hauran de romandre parades. Per saber quants g/min subministrava cada bomba caldria combinar aquestes amb les seves respectives cel·les i s'utilitzarà el "Programa calibrats", present en l'annex I.

Per tant, farem, amb cada bomba, quatre proves diferents per veure de quina manera obtenim el cabal més adient a la recepta que es durà a terme. Els paràmetres emprats a les proves es llisten a la Taula 3. Per a les dues bombes es va observar que la millor

combinació era la de la prova 3, que en el cas de la bomba A proporcionava un cabal d'1,4446 g/min i en la bomba B d'1,4244 g/min.

Taula 3 – paràmetres de funcionament als assaigs de les bombes		
Prova	Decalatge (s)	Bomba en estat HIGH (s)
1	8	0,2
2	8	0,3
3	8	0,4
4	8	0,5

Per obtenir al cabal es segueix la mateixa metodologia que en el cas de les cel·les i en el del pH. Però en aquets cas per a la taula de l'Excel seran necessàries les variables de temps (en minuts) i els grams extrets respecte els inicials. Per tant l'Arduino haurà d'imprimir en el monitor sèrie el temps transcorregut des de l'inici i el pes que va registrant en cada moment, per posteriorment calcular els minuts i els grams.

Els resultats de la bomba A es mostren a la Figura 23 i per la bomba B a la Figura 24 (els valors enregistrats es llisten a les taules 6 i 7 de l'annex IV)

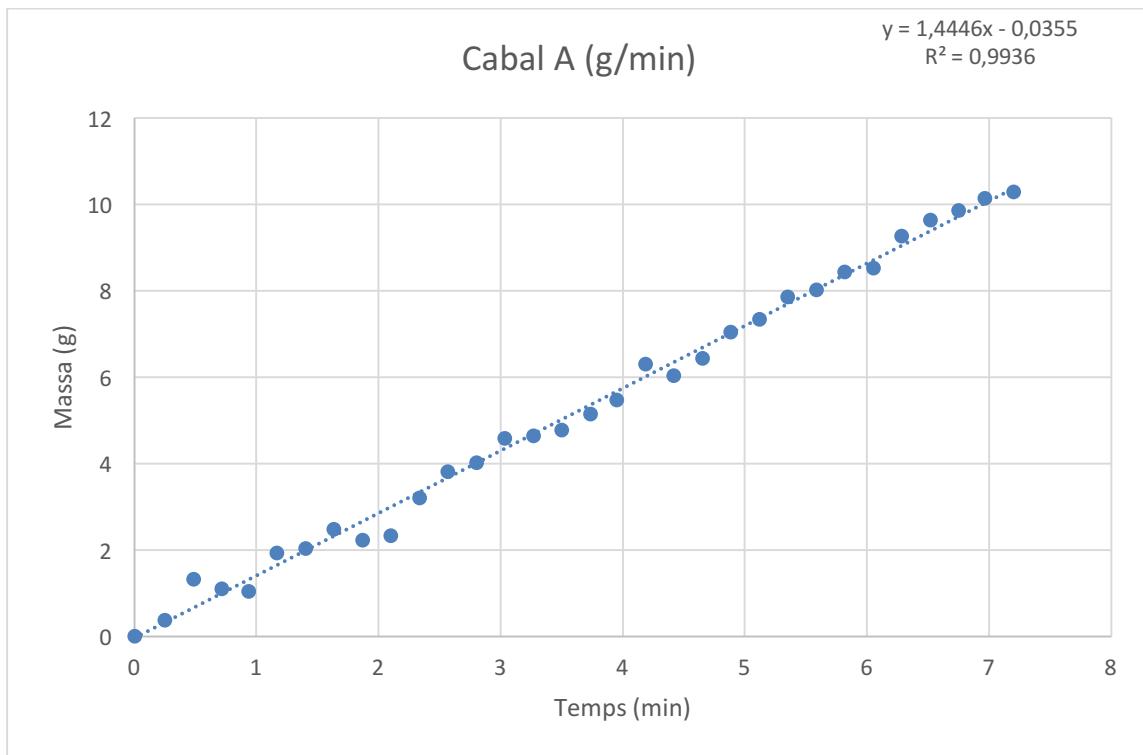


Figura 23. Recta de calibrat de la bomba A a les condicions de la prova 3 (Taula 3)

Les rectes obtingudes per la bomba A i B són, respectivament:

$$y = 1,4446x - 0,0355$$

$$y = 1,4244x - 0,1724$$

on el pendent²⁰ és el cabal mitjà en g/min.

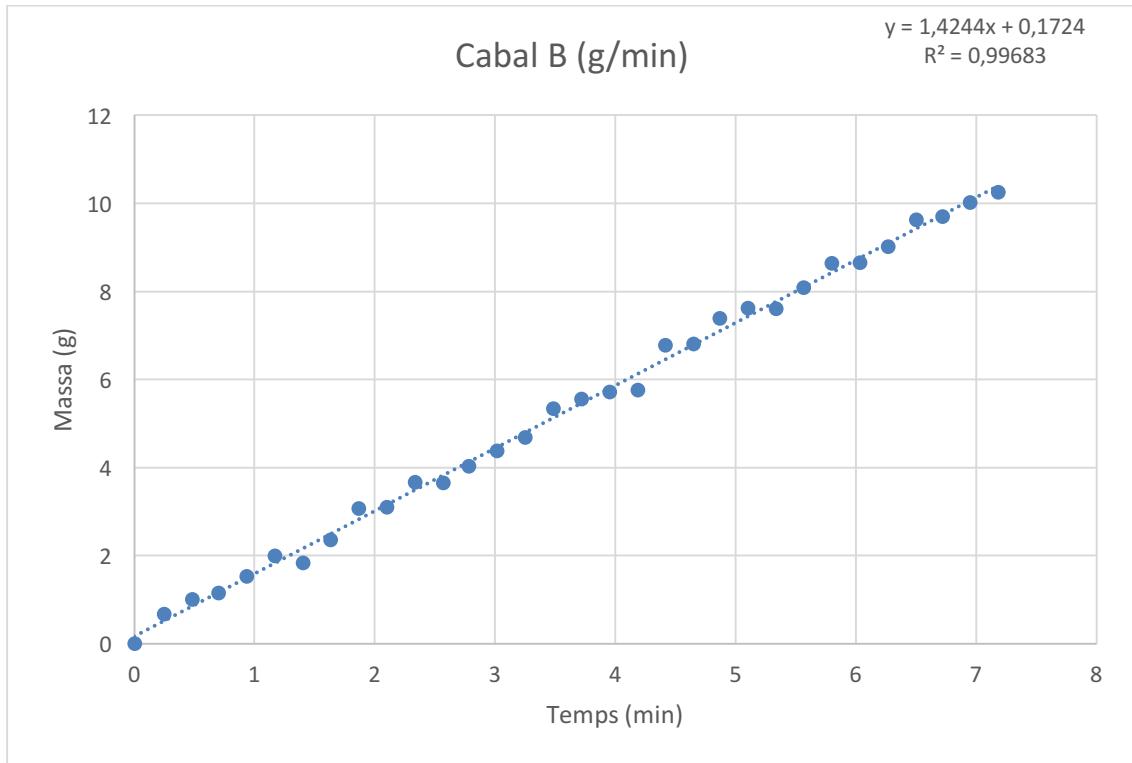


Figura 24. Recta de calibrat de la bomba B a les condicions de la prova 3 (Taula 3)

²⁰ En l'equació d'una recta ($y = mx + n$); m equival al pendent.

3. RESULTATS

Amb el prototipus final construït, el protocol de mesura establert i comprovat el correcte funcionament de tots els components, es disposa a dur a terme el procés de coprecipitació emprant els següents reactius:

- Dissolució dels metalls actius (A): conté 0,5 mol/L de nitrat²¹ de níquel [$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$] i 0,5 mol/L de nitrat d'alumini [$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$].
- Dissolució reguladora de pH i segon reactiu (B): conté 0,5 mol/L de hidròxid de sodi [NaOH] i 0,5 mol/L de carbonat de sodi [Na₂CO₃].

I seguint la següent recepta:

- La reacció s'efectua a temperatura ambient i amb agitació mecànica.
- Cal afegir entre 1,3 i 1,5 g/min de dissolució A fins arribar a una quantitat total de 100g.
- La dissolució B s'afegirà a conveniència per a mantenir el pH a un valor de 9,0 ± 0,1 unitats.
- En acabar, cal deixar el producte en agitació a 30°C durant 48 hores.

El procés es va dur a terme en un laboratori de la Universitat Rovira i Virgili, que disposava del material aliè al sistema de control automàtic necessari per a efectuar l'experiment (agitadora mecànica amb control de temperatura, pinça i suport de laboratori, i vas de precipitats). Amb el muntatge preparat (Figura 25) es va procedir a iniciar el programa mostrat a l'annex I. Durant el funcionament l'Arduino mostrava els valors llegits per les cel·les, el sensor de pH i el temps (en segons) transcorregut des de l'inici del programa (Figura 26).

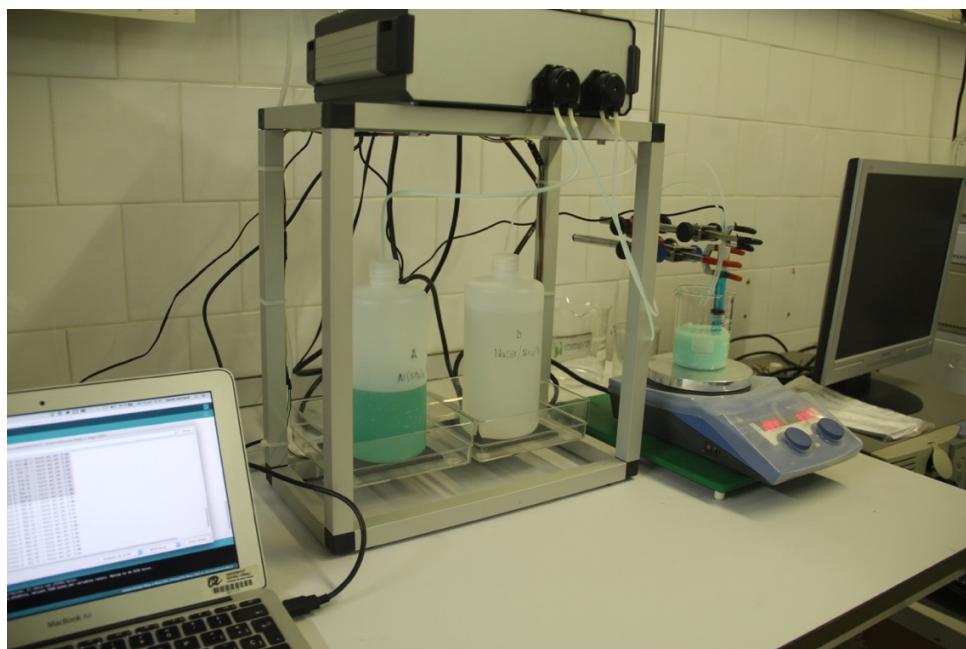


Figura 25. Sistema en funcionament a la prova efectuada als laboratoris de la URV

²¹ Un nitrat és un ió derivat de l'àcid nítric per descomposició, format per un àtom d'hidrogen, tres d'oxigen, i en aquest cas s'hi afegeixen dos àtoms de níquel.

/dev/cu.usbmodemFA131 (Arduino/Genuino N					
<hr/>					
Temps (s): 349		Pes balança A: 582.12		Pes balança B: 1003.95	Valor del pH: 9.15
Temps (s): 364		Pes balança A: 581.32		Pes balança B: 1003.87	Valor del pH: 9.01
Temps (s): 379		Pes balança A: 580.67		Pes balança B: 1003.22	Valor del pH: 9.16
Temps (s): 400		Pes balança A: 580.43		Pes balança B: 1003.32	Valor del pH: 9.02
Temps (s): 415		Pes balança A: 579.90		Pes balança B: 1002.53	Valor del pH: 9.17
Temps (s): 437		Pes balança A: 579.74		Pes balança B: 1002.67	Valor del pH: 9.08
Temps (s): 451		Pes balança A: 579.44		Pes balança B: 1001.45	Valor del pH: 9.19
Temps (s): 473		Pes balança A: 579.29		Pes balança B: 1001.49	Valor del pH: 9.12
Temps (s): 488		Pes balança A: 578.75		Pes balança B: 1001.09	Valor del pH: 9.04
Temps (s): 503		Pes balança A: 578.51		Pes balança B: 1000.64	Valor del pH: 9.16
Temps (s): 524		Pes balança A: 578.18		Pes balança B: 1000.41	Valor del pH: 9.08
Temps (s): 539		Pes balança A: 578.04		Pes balança B: 999.96	Valor del pH: 9.17
Temps (s): 560		Pes balança A: 577.51		Pes balança B: 999.39	Valor del pH: 9.08
Temps (s): 575		Pes balança A: 576.95		Pes balança B: 999.04	Valor del pH: 9.03
Temps (s): 590		Pes balança A: 576.87		Pes balança B: 998.10	Valor del pH: 9.11
Temps (s): 611		Pes balança A: 576.63		Pes balança B: 998.01	Valor del pH: 9.04
Temps (s): 626		Pes balança A: 575.94		Pes balança B: 997.27	Valor del pH: 9.13
Temps (s): 648		Pes balança A: 575.49		Pes balança B: 996.95	Valor del pH: 9.08
Temps (s): 663		Pes balança A: 575.32		Pes balança B: 996.55	Valor del pH: 9.03
Temps (s): 677		Pes balança A: 575.03		Pes balança B: 995.62	Valor del pH: 9.08
Temps (s): 699		Pes balança A: 574.43		Pes balança B: 995.67	Valor del pH: 9.04
Temps (s): 714		Pes balança A: 574.65		Pes balança B: 995.21	Valor del pH: 9.11
Temps (s): 735		Pes balança A: 573.85		Pes balança B: 994.78	Valor del pH: 9.07
Temps (s): 750		Pes balança A: 573.64		Pes balança B: 994.84	Valor del pH: 9.01
Temps (s): 765		Pes balança A: 572.94		Pes balança B: 994.71	Valor del pH: 9.08
Temps (s): 786		Pes balança A: 572.99		Pes balança B: 994.58	Valor del pH: 9.04

Figura 26. Captura de pantalla del registre temporal de masses i pH en un moment de l'experiment de coprecipitació

Com es pot observar en la taula 8 present en l'annex IV, el programa transcorre durant 4994,00 segons, és a dir 1 hora i 39 minuts. El valor de la Balança A varia en 100,26 grams; que és molt proper a el valor establert en el programa, de 100,00 g.

La variació del valor de la Balança B no està establert ja que varia segons el pH. Al final del programa es drenen 119,03 grams de dissolució B.

En quant al pH, com es pot observar en la Figura 27, les primeres lectures són molt disperses. Això pot ser degut pel poc volum de líquid present al vas de precipitats a l'inici del procés, ja que quan la quantitat de producte dins del vas es major les mesures s'estabilitzen al valor desitjat (pH 9) amb un error de $\pm 0,1$, complint així una de les característiques necessàries del sistema proposades a la introducció. Aquesta gran fluctuació en els valors inicials seria un aspecte a millorar en la següent fase del prototipus.

També es pot observar en la Figura 27 que dos valors del pes A s'allunyen considerablement de la recta. Aquest fet pot ser originat pel soroll o pel fet de que es tracta de material de gamma baixa-mitja i, per tant, és menys fiable.

Amb la prova finalitzada, s'obté un producte en medi líquid que s'ha de deixar en agitació mecànica durant unes 48 hores a una temperatura a 30°C, com s'indica en la recepta.

Un cop finalitzat aquest període, es filtra el producte i s'obté una pols Figura 26 que calcinada a una temperatura d'entre 800 i 900°C, es transforma en un òxid mixt de níquel i alumini que ja es pot usar com a catalitzador.

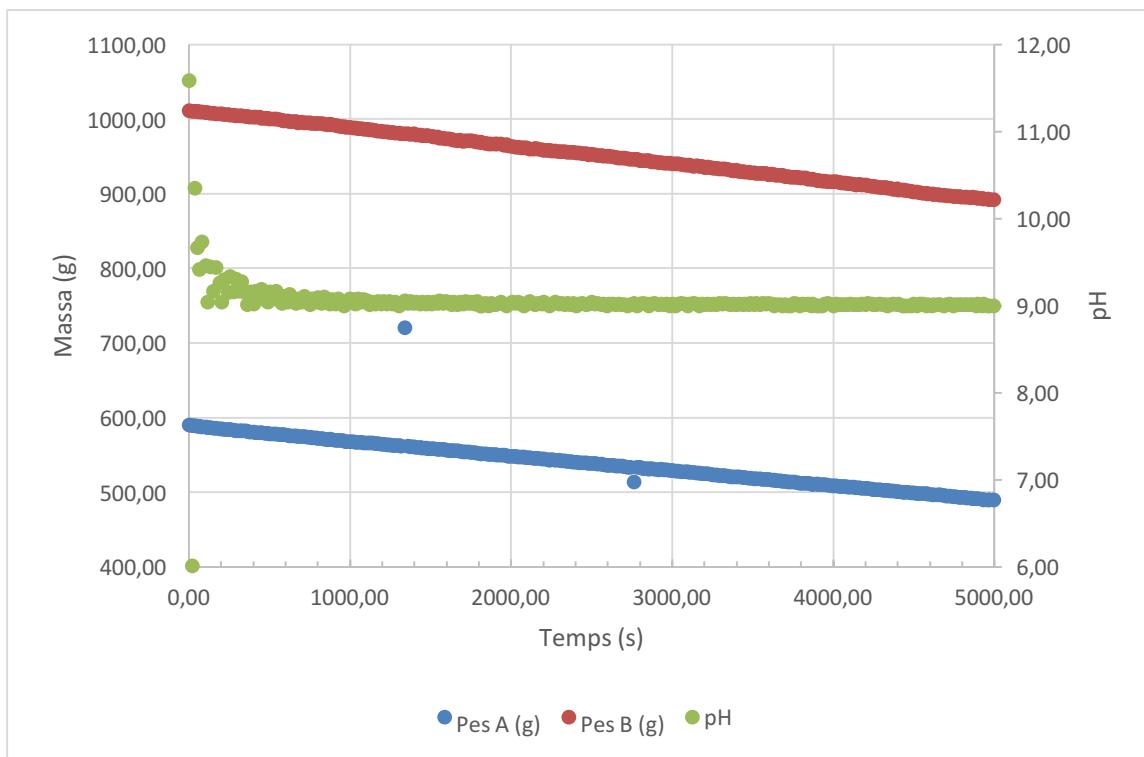


Figura 27. Registre temporal de masses i pH al llarg de l'experiment de coprecipitació



Figura 28. Vista del precursor del catalitzador de níquel/alumini preparat a la prova de validació del prototipus efectuada als laboratoris de la URV

CONCLUSIONS

Com síndica a la introducció l'objectiu del projecte és crear un sistema de control automàtic que compleixi amb les següents característiques:

- Control de pH estable amb una variabilitat màxima de $\pm 0,1$ unitats. El valor del pH s'ha de poder escollir d'entre 8 i 11.
- Dosificar un cabal constant d'entre 1 i 5 g/min de la primera dissolució. Aquest cabal també s'ha de poder escollir abans de començar la reacció.
- Dosificar un cabal variable de la segona dissolució que mantingui el pH establert constant.
- El sistema ha d'enregistrar el pH i la quantitat de cada dissolució afegida al llarg del temps.
- El sistema s'ha d'aturar de forma automàtica un cop s'hagi alimentat la quantitat de dissolució de metalls prefixada al començament de l'experiment.
- La mesura de les quantitats afegides s'ha d'efectuar en massa i no en volum.

Per tant, donant un cop d'ull als resultats obtinguts en la prova final, a l'apartat 3, observem que el pH es manté estable en el valor establert durant el procés amb una variabilitat de $\pm 0,1$; tot i l'error en les primeres lectures ja explicat a l'apartat anterior.

A més, el cabal també és constant durant el procés i està a l'interval de valors òptims, que va d'1 a 5 g/min; i és pot escollir abans de començar el procés, canviant l'equació en el programa.

En quant al cabal de la dissolució B, es dosifica només quan és necessari per equilibrar el pH de la reacció, compliant, així, les necessitats del disseny.

Per altra banda, el sistema enregistra i ensenya els valors del pH i la quantitat, en grams, de dissolució A i B afegida en cada moment. Tot i que aquest procés es podria optimitzar fent que ho enviés a un disc dur o a l'ordinador per a que guardessin la informació automàticament, ja que per guardar els valors que envia l'Arduino s'han d'anar copiant del monitor sèrie i enganxant-los a una fulla d'Excel.

Per últim, quan ja s'ha afegit la quantitat de dissolució A necessària i el pH és el necessari el sistema s'atura automàticament. Cal destacar, però, que donades les fluctuacions o el soroll que es poden produir en les cel·les al no tractar-se de material professional fan que, encara que el procés hagi acabat, l'Arduino pugui llegir que encara no s'ha afegit suficient quantitat de dissolució A i en torni a afegir una mica més de l'establert.

Aquest fet, juntament amb la fluctuació de les lectures del pH a l'inici del procés són els aspectes que caldria millorar de cara a un segon prototipus.

Tot i això, els resultats obtinguts són molt bons, ja que les balances tenen una precisió de 0,99999, que és molt elevada si considerem que es tracta de material que no arriba als 6,5€ la unitat. A més les bombes proporcionen cabals mitjans constants amb una precisió de 0,9936 per a la Bomba A i de 0,99683 per a la Bomba

B, que són valors molt elevats tractant-se de material que no sobrepassa els 6€ la unitat.

En quant a la sonda de pH, tot i la fluctuació inicial, aconsegueix estabilitzar-se al llarg del procés i permet la creació d'un precursor catalític útil per a processos químics.

Per tant, en general, el projecte es pot considerar un èxit, ja que s'ha creat un sistema de control automàtic que satisfà totes les característiques necessàries per a la creació d'un material precursor, i a un preu raonablement barat, comparat amb els models professionals presents en l'àmbit industrial o en laboratoris especialitzats.

FONTS DOCUMENTALS

DOCUMENTACIÓ:

ALCOSER, Raquel. Bombas y tipos. Ambato. Universitat Tècnica d'Ambato, 2011.<<https://es.slideshare.net/RakelAlcoser/bombas-y-tipos>>. [27-07-17]

Arduino MEGA 2560. Mantech electronics.
<<http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>>. [18-09-17]

Autómatas programables. Universitat del País Basc, 2001.
<<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>>. [11-09-17]

Celda de carga. Fundación Wikimedia, 2017.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Celda_de_carga>. [27-07-17]

Celdas de carga. Acomee.
<<https://www.acomee.com.mx/CELDAS%20DE%20CARGA.pdf>>. [04-09-17]

CRESPO, Enrique. Lenguaje de programación C++. 2015.
<<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/26/lenguaje-de-programacion-c/>>. [03-09-17]

Descobrint la internet de les coses a través d'Arduino. Barcelona. Dossier de treball (versió v1.0). Universitat Pompeu Fabra (UPF), 2017.

GONZALEZ, Martin. Explicación pines Arduino UNO.
<<https://martingonzalezproyectos.wordpress.com/arduino-2/explicacion-pines-arduino-uno/>>. [20-09-17]

How to Build a Peristaltic Pump Circuit Controlled By an Arduino. Learning about electronics. <<http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Peristaltic-pump-circuit-with-an-arduino-microcontroller.php>>. [15-08-17]

Instalaciones electrotécnicas, tema 34, Principios básicos de la automatización. Santiago de Compostela. Pértila, Escuela de Profesiones Técnicas.<<http://www.pertila.es/pdf/ie/ie34.pdf>>. [09-09-17]

Lenguage reference. Arduino.<<https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>>. [05-08-17]

Peristaltic pumps, MOSFETs and díodes for autodosing system. Arduino, 2013
<<http://forum.arduino.cc/index.php?topic=190013.0>>. [10-08-17]

RUIZ, Jose Manuel. Manual de programación Arduino. San Francisco, 2007.
<<http://arduinobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>>. [06-07-17]

SANZ, David. Unitat 8, Sistemes de control automàtic. Part d'un llibre de text de Tecnologia Industrial de 2n de BAT. 2012.
<<https://es.slideshare.net/davidsanz50/unitat-8-sistemes-automatics-i-de-control>> [13-08-17]

The Arduino projects book de Arduino Starter Kit. Desembre, 2015.

Transistores. Bilbao. Prometec, 2015. <<https://www.prometec.net/transistores>>. [25-08-17]

Tutorial trasmisor de celda de carga, Balanza digital. Nylamp Mechatronics, 2016. <http://www.nylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html>. [03-08-17] (prometec → HX711)

FIGURES:

Figura 1: <<http://www.pef.uni-lj.si/eprolab/comlab/introdaq/moreinfo/ADC.htm>>.

Figura 2: SANZ, David. <<https://es.slideshare.net/davidsanz50/unitat-8-sistemes-automatics-i-de-control>>.

Figura 3: SANZ, David. <<https://es.slideshare.net/davidsanz50/unitat-8-sistemes-automatics-i-de-control>>.

ANNEXOS

ANNEX I: Programació Arduino

Programa calibrats

```
#include "HX711.h"                                //S'inclou la llibreria.  
HX711 pesA(A1, A0);                            //Declarem els pins de la cel·la A.  
  
float taraA = pesA.read_average(100);    //Declarem una variable de tara per  
                                         //aconseguir el pes més tard.  
  
const int bombaA = 7;                           //Declarem el pin de la bomba A.  
int comptador = 0;                             //Creem una variable de comptador.  
unsigned long temps;                          //Creem una variable per registrar el  
                                         //temps.  
  
void setup() {  
    pinMode(bombaA, OUTPUT);  
    Serial.begin(9600);  
    Serial.println("Carregar mostra!");  
    delay(10000);  
                                         //Inici del setup.  
                                         //Declarem la bomba com a sortida.  
                                         //Iniciem el monitor sèrie a 9600 baud.  
                                         //Imprimim el missatge al monitor.  
                                         //Decalatge de 10 segons per carregar  
                                         //la mostra.  
  
    Serial.print("Valor A: ");           //Imprimim el valor del pes  
    Serial.print(pesA.read_average(30)); //sense utilitzar l'equació.  
  
    delay(100);                      //Decalatge de 0,1 segons.  
  
/* Calculem el pes real de la mostra utilitzant l'equació.  
float valorA_0 = (pesA.read_average(30)-taraA) * 1.0614e-03;  
*/  
  
    Serial.print(" Grams inicials: "); //Imprimim el valor del pes real  
    Serial.println(valorA_0);          //inicial al monitor sèrie.  
}  
  
void loop() {  
    temps = millis();                //Inici del bucle  
                                         //Diem que llegeixi el temps en milisegons.  
    if(comptador <=30){             //Creem un bucle de for amb la condició.  
  
        digitalWrite(bombaA, HIGH);   //Engeguem la bomba A.  
        delay(500);                  //Decalatge de 0,5 segons.  
        digitalWrite(bombaA, LOW);    //Parem la bomba A.  
  
        delay(8000);                 //Decalatge de 8 segons.  
  
        Serial.print("valor A: ");    //Imprimim el valor del pes  
        Serial.print(pesA.read_average(30)); //sense utilitzar l'equació.  
  
/* Calculem el pes real de la mostra utilitzant l'equació.  
float valorA_1 = (pesA.read_average(30)-taraA) * 1.0614e-03;  
*/  
  
        Serial.print("\t");          //Imprimim el valor en el  
        Serial.print(comptador);      //que es troba el comptador.  
        Serial.print(": ");           //Imprimim el valor real del pes A.  
        Serial.print(valorA_1);  
        Serial.print(" Segons: ");    //Imprimim el temps. Com que lleixa en  
        Serial.println(temps/1000);    //milisegons, ho dividim entre 1000 per  
                                         //obtenir el valor en segons.  
                                         //Decalatge de 0,3 segons.  
  
        delay(300);  
  
        comptador = comptador+1;     //El comptador augmenta en 1.  
  
    } else if(comptador>=30){  
        digitalWrite(pumpA, LOW);  
        Serial.println("Fí");  
        delay(2000);  
    }  
}
```

Programa coprecipitació

```
#include "HX711.h"                                //S'inclou la llibreria.
HX711 pesA(A1, A0);                            //Declarem els pins de les
HX711 pesB(A3, A2);                            //cel·les A i B.
float taraA = pesA.read_average(100); //Declarem una variable de tara
float taraB = pesB.read_average(100); //per aconseguir el pes més tard.

const int bombaA = 7;                           //Declarem els pins de
const int bombaB = 8;                           //les bombes A i B.

float lectura_pH; //Creem una variables per a llegir valors de pH.
float mitja_pH; //Creem una variable per fer la mitja de les lectures de pH.
float pH;      //Creem una variables per determinar el valor final del pH.

unsigned long temps;   //Creem una variable de temps per despré saber quant
                      //de temps porta el programa funcionant.

float valorA_0;     //Creem una variable float (nombres amb molts decimals)
                     //per al pes A inicial.
float valorB_0;     //Creem una variable float (nombres amb molts decimals)
                     //per al pes B inicial.
float valorA;       //Creem una variable float (nombres amb molts decimals)
                     //per al pes A.
float valorB;       //Creem una variable float (nombres amb molts decimals)
                     //per al pes B.

void setup() {                                     //Inici del setup.
    temps = millis();                          //Fem que llegeixi el temps en milisegons.
    mitja_pH = 0;                             //Donem un valor inicial a la mitja del pH.

    pinMode(bombaA, OUTPUT); //Declarem les bombes
    pinMode(bombaB, OUTPUT); //com a sortides.

    for (int j=0; j<30; j++){                //Creem un loop de for amb les tres
                                              //condicions.
        lectura_pH = analogRead(A4); //La variable lectura és igual al valor que
                                      //llegeixi del pin analògic A4.

        mitja_pH = mitja_pH + lectura_pH/30.0; //Aconseguim una mitja de 30
                                              //lectures.
    }
    pH = 0.0177 * mitja_pH - 0.006; //Aconseguim el valor del pH amb l'equació.
}

Serial.begin(9600); //Inicialitzem el monitor sèrie a 9600 baud.
Serial.println("Carregar mostres!"); //Imprimim l'ordre de carregar les
                                         //mostres a les balançs al monitor
                                         //sèrie.
delay(12000); //Decalatge de 12 segons, per
               //assegurar-nos de que tenim temps a
               //posar les mostres.

/*Imprimeix la mitja de 30 mesures de la cel·la A.
Serial.print("Mitja A: ");
Serial.print(pesA.read_average(30));
*/
Serial.print(" || ");
/* Imprimeix la mitja de 30 mesures de la cel·la B.
Serial.print("Mitja B: ");
Serial.println(pesB.read_average(30));
*/
```

```

delay(200);                                //Decalatge de 0.2 segons.

/*Aconseguim valors en grams de les cel·les A i B mitjançant una equació.
valorA_0 = (pesA.read_average(30)-taraA) * 1.0614e-03;
valorB_0 = (pesB.read_average(30)-taraB) * 9.9654e-04;
*/

/* Imprimeix els segons transcorreguts des de l'inici del programa, escrivim
Serial.print("Temps transcorregut(s): ");
Serial.println(tempo/1000);
tempo/1000 perquè llegeix milisegons i volem que ens doni els segons. */

Serial.print(" | | ");

/* Imprimeix els grams d'A. Imprimeix els
Serial.print(valorA_0);
*/

Serial.print(" | | ");

/* Imprimeix els grams de B.
Serial.print("Grams inicials de B: ");
Serial.print(valorB_0);
*/

Serial.print(" | | ");

/* Imprimeix el valor de pH inicial.
Serial.print("Valor del pH inicial: ");
Serial.print(pH);
*/
}

void loop() { //Inici del bucle principal, que s'anirà repetint constantment.

tempo = millis();                         //El temps el llegirà en milisegons.

float valorA_f = valorA_0 - 100.0;        //Resta el valor de dissolució A a
                                            //extreure en grams.
valorA = (pesA.read_average(30)-taraA) * 1.0614e-03;//Mesura el pes valor A.

if (valorA > valorA_f) {                  //Iniciem un if amb la seva condició.

mitja_pH = 0;                            //Donem valor inicial a la mitja del pH.
for(int j = 0; j < 30; j++){            //Iniciem un loop de tipus for per
                                            //calcular el pH.

lectura_pH = analogRead(A4);           //La variable lectura_pH és igual a la
                                            //lectura del pin analògic A4.

mitja_pH = mitja_pH + lectura_pH / 30.0; //Calcula el valor mitjà del
                                            //pH amb 30 lectures.
}

pH = 0.0177 * mitja_pH - 0.006; //Utilitzant l'equació de calibrat
                                    //prèviament trobada, es calcula el valor
                                    //real del pH.

while(pH < 9) {                        //S'inicia un bucle de tipus while, amb la
                                            //condició de que el pH s'ha de mantenir
                                            //inferior a 9.
}
}

```

```

/* Posem la bomba B en funcionament durant 0.3 segons.
digitalWrite(bombaB, HIGH);
delay(300);
*/
digitalWrite(bombaB, LOW);      //Parem la bomba B.

valorB = (pesB.read_average(30)-taraB) * 9.9654e-04; //Calculem el
//valor del pes B.

delay(4000);                  //Decalatge de 4 segons.

mitja_pH = 0;                 //Li donem el valor de 0 a la mitja del pH.

for(int k = 0; k < 30; k++) {  //Iniciem un altre loop de tipus for
//per calcular el pH.

lectura_pH = analogRead(A4); //La variable lectura_pH és igual a la
//lectura del pin analògic A4.

mitja_pH = mitja_pH + lectura_pH / 30.0; //Calcula el valor mitjà del
//pH amb 30 lectures.
}
pH = 0.0177 * mitja_pH - 0.006; //Utilitzant l'equació de calibrat
//prèviament trobada, es calcula el
//valor real del pH.
}
digitalWrite(bombaA, HIGH);    //Posem la bomba A en funcionament
delay(400);                  //durant 0.4 segons.
digitalWrite(bombaA, LOW);     //Parem la bomba A.

/* Calcula el valor del pes A mitjançant el pendent de la balança A.
valorA = (pesA.read_average(30)-taraA) * 1.0614e-03;
*/
/* Calcula el valor del pes B mitjançant el pendent de la balança B.
valorB = (pesB.read_average(30)-taraB) * 9.9654e-04;
*/
Serial.print("Temps (s): ");           //Imprimeix el valor
Serial.print(temp/1000);              //del temps en segons.
Serial.print(" || ");
Serial.print("Pes balança A: ");       //Imprimeix el
Serial.print(valorA);                //valor del pes A.
Serial.print(" || ");
Serial.print("Pes balança B: ");       //Imprimeix el
Serial.print(valorB);                //valor del pes B.
Serial.print(" || ");
Serial.print("Valor del pH: ");        //Imprimeix el
Serial.println(pH);                  //valor del pH.
}

else {      //Iniciem la condició else en contraposició a la condició
//de l'if inicial.

digitalWrite(bombaA, LOW);          //Parem la bomba A.
mitja_pH = 0;                      //Li donem valor 0 a la mitja del pH.
while(pH < 9) {                    //S'inicia un bucle de tipus while, amb la condició
//que s'executi quan el pH sigui inferior a 9.

digitalWrite(bombaB, HIGH);         //Posem la bomba B en funcionament
delay(300);                       //durant 0.3 segons.
digitalWrite(bombaB, LOW);          //Parem la bomba B.
}
}

```

```

for(int q = 0; q < 30; q++) {           //Iniciem un bucle de tipus for
                                         //amb les tres condicions.

    lectura_pH = analogRead(A4);        //La variable lectura_pH és igual
                                         //a la lectura de la sonda de pH.

    mitja_pH = mitja_pH + lectura_pH / 30.0;   //Calcula el valor mitjà
                                         //del pH amb 30 lectures.
}

pH = 0.0177 * mitja_pH - 0.006; //Utilitzant l'equació de calibrat
                                 //prèviament trobada, es calcula el
                                 //valor real del pH.
}

if(pH >= 9) {                      //Iniciem un if amb la seva condició.
    digitalWrite(bombaA, LOW);       //Parem la bomba A.
    digitalWrite(bombaB, LOW);       //Parem la bomba B.
    Serial.println("Fí del procés."); //Imprimim la frase "Fí del procés".
    delay(1500);                   //decalatge d'1.5 segons.
}
}
}

```

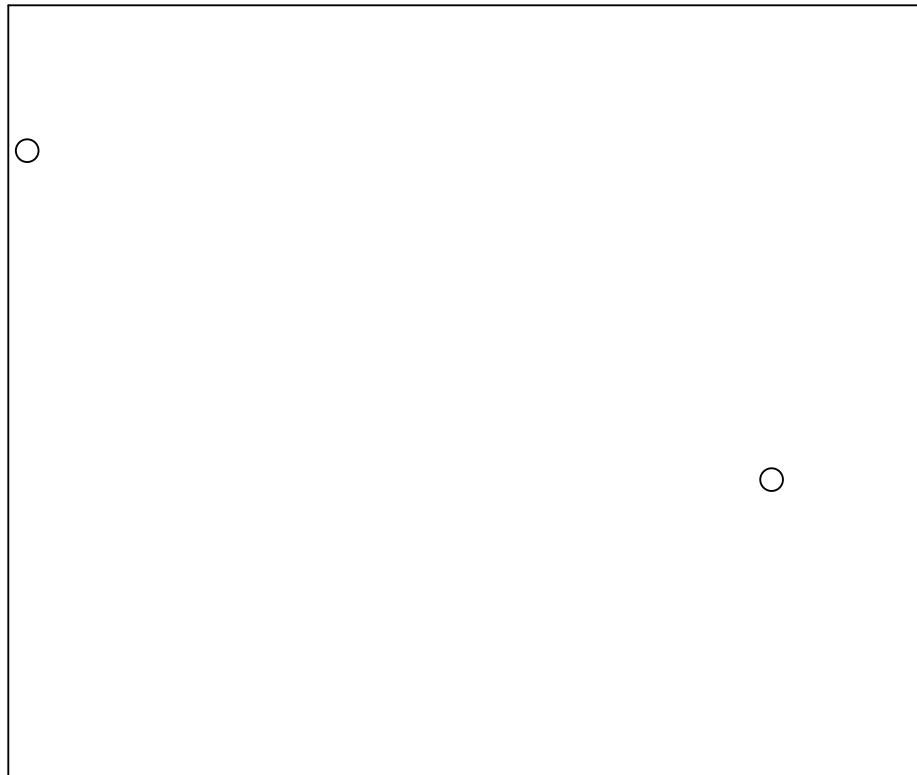
Programa pH

```
float lectura;           //Creem variable lectura.

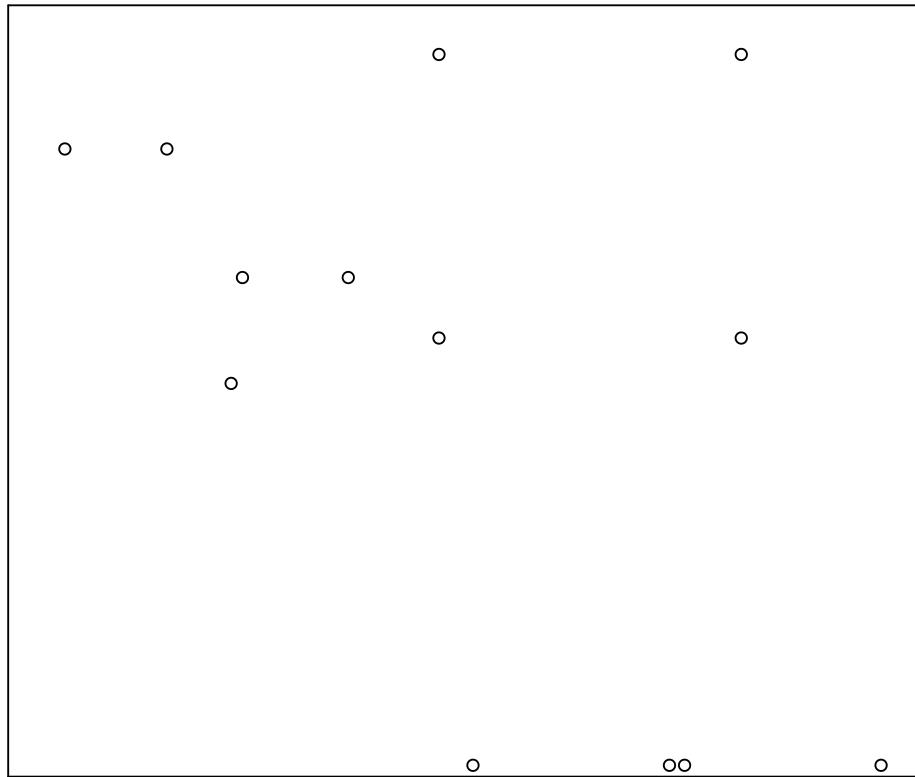
void setup() {            //Inici del setup.
  Serial.begin(9600);    //Iniciem el monitor sèrie a 9600 baud.
}

void loop() {             //Inici del bucle.
  for (int j=0; j<30;j++){ //Inici del bucle for amb les condicions.
    lectura = analogRead(A2); //La variable lectura = al que llegeix la
    //sonda connectada al pin analògic A2.
    Serial.println(lectura); //Imprimeix la lectura del pH.
    delay(500);           //Decalatge de 0,5 segons.
  }
}
```

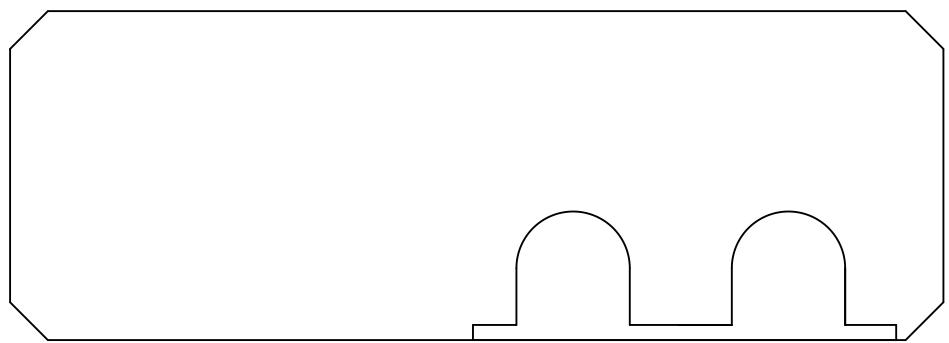
ANNEX II: Plànols mecànics



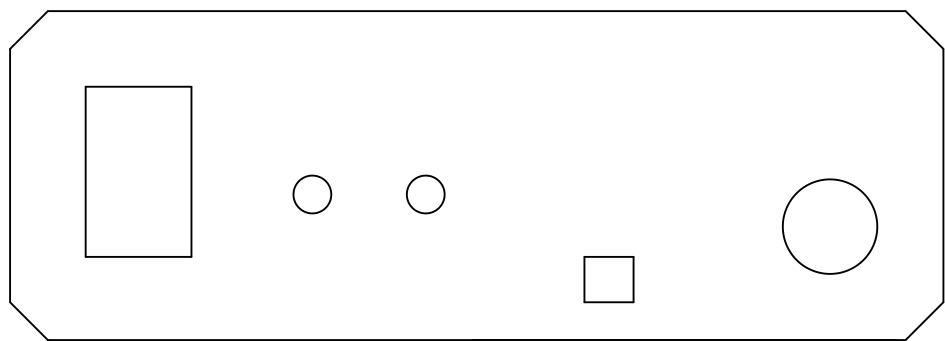
PROJECTE CHEMBOT	Plànol d'especejament	Tapa de la caixa	
Roger Montané Güell	28 de setembre de 2017	Escala 1 : 2	Institut d'Altafulla



PROJECTE CHEMBOT	Plàtol d'especejament	Base de la caixa	
Roger Montané Güell	28 de setembre de 2017	Escala 1 : 2	Institut d'Altafulla

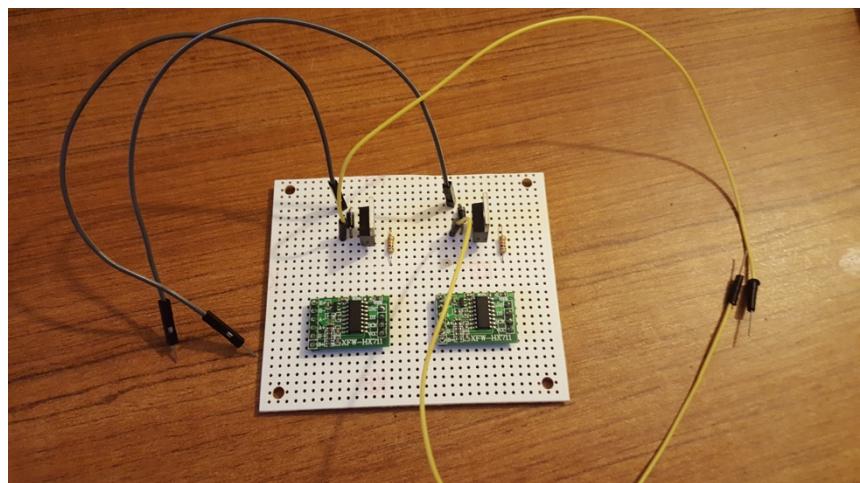
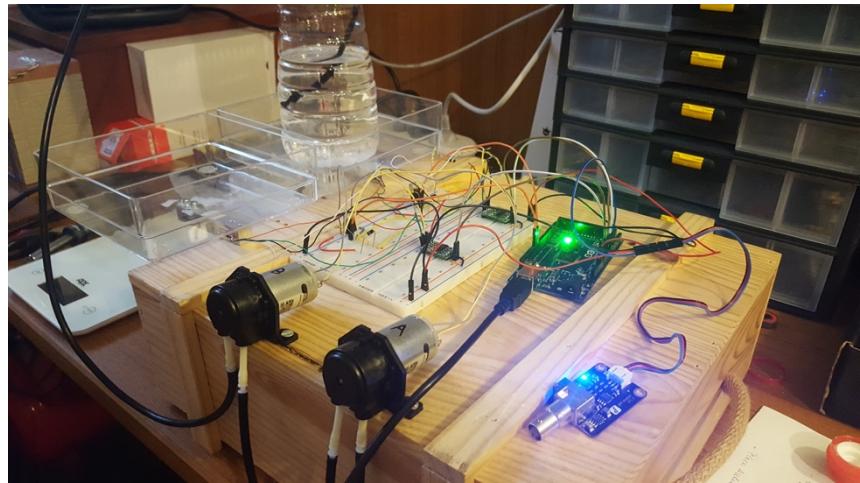


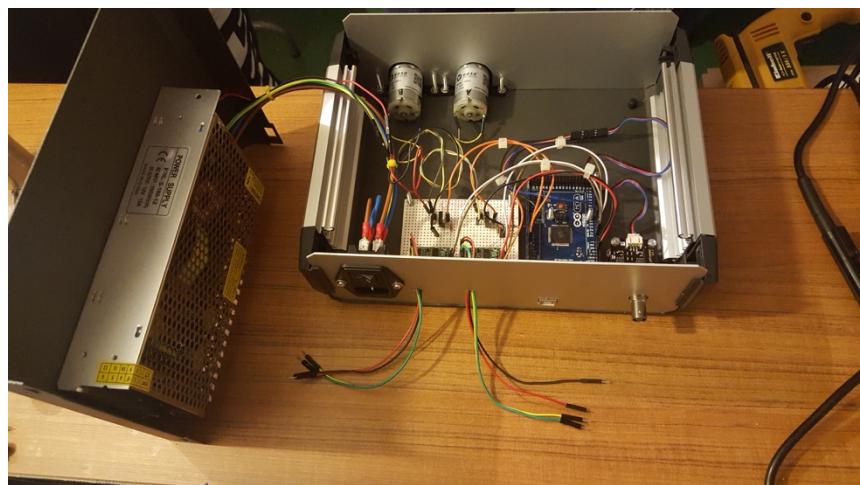
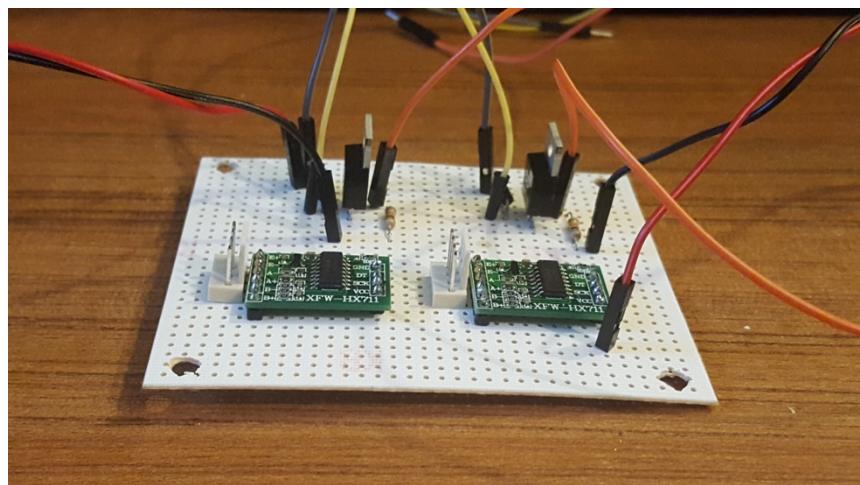
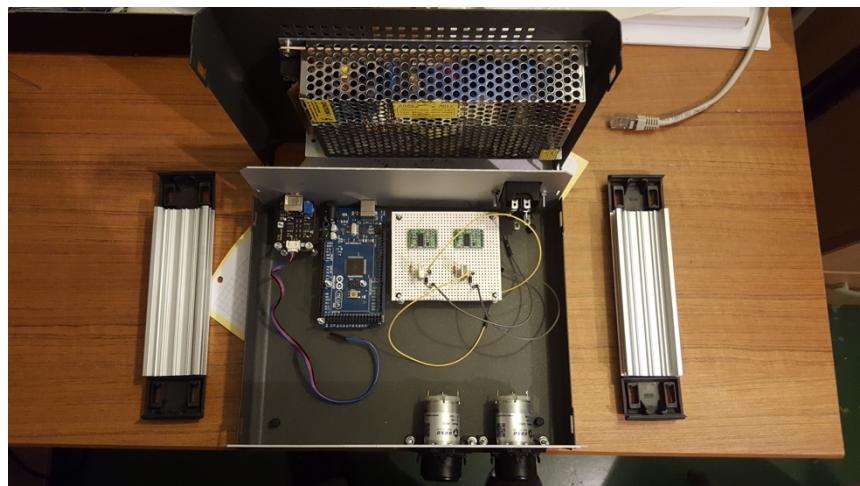
PROJECTE CHEMBOT	Plàtol d'especejament	Frontal de la caixa	
Roger Montané Güell	28 de setembre de 2017	Escala 1 : 2	Institut d'Altafulla

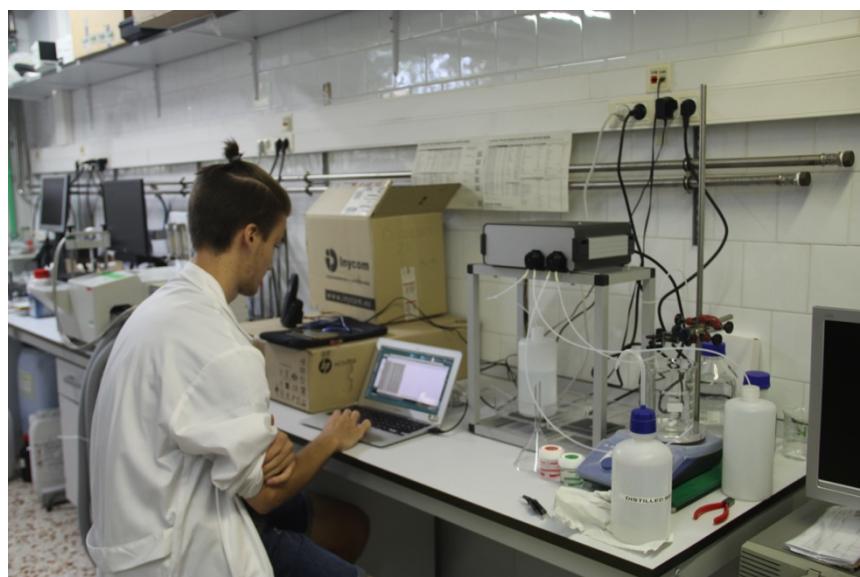
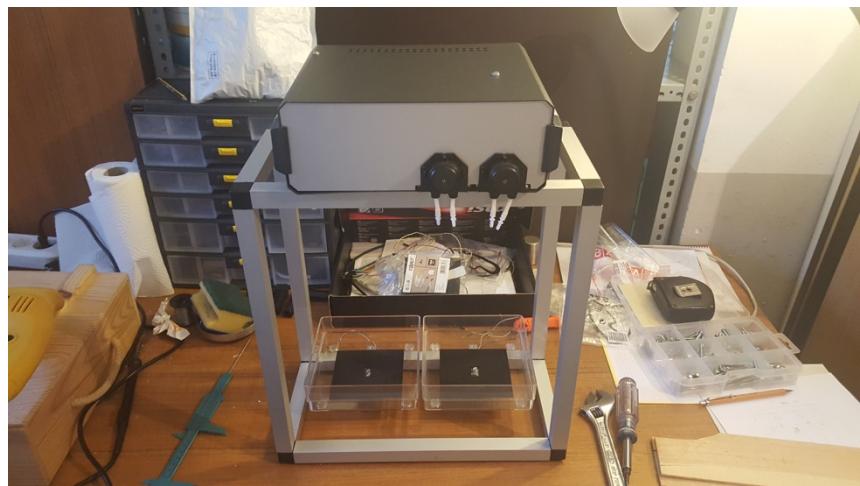


PROJECTE CHEMBOT	Plàtol d'especejament	Posterior de la caixa	
Roger Montané Güell	28 de setembre de 2017	Escala 1:2	Institut d'Altafulla

Annex III: Imatges muntatge







ANNEX IV: Taules de registres de dades

Taula 3: Calibrat cel·la A

Valor Arduino	Pes dia 1 (g)	Pes dia 2 (g)
110390	0	
170815	66	
295152	197	
438880	351	
622182	544	
826064	761	
967881	911	
753240	684	
537910	455	
391365	298	
245330	145	
109388	0	
110585		0
306087		206
492251		406
689327		614
871455		807

Taula 4: Calibrat balança B

Valor Arduino	Pes dia 1 (g)	Pes dia 2 (g)
71384	0	
138015	66	
268372	197	
421560	351	
617458	544	
834095	761	
985478	911	
757088	684	
528836	455	
371398	298	
216985	145	
71132	0	
71381		0
279126		206
476982		406
687943		614

Taula 5: Calibrat pH

	Ph	Mitjana	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6	Lectura 7
Àcid	1,56	91,19	91,3	91,33	91,17	91,03	90,97	91	91,5
Aigua	7,71	429,87	439,57	440,57	412,63	416,03	427,07	434,43	438,77
Base	11,07	631,18	631,13	631,37	631,3	631,17	631,03	631,1	631,13

Taula 6: Calibrat bomba A

Delay=8s, HIGH=0,4s i Delay=0.4s (average 30)			
Temps (s)	Grams	Temps (min)	Grams inicials/grams
0,00	694,40	0,00	0,00
15,00	694,02	0,25	0,38
29,00	693,07	0,48	1,33
43,00	693,29	0,72	1,11
56,00	693,35	0,93	1,05
70,00	692,47	1,17	1,93
84,00	692,37	1,40	2,03
98,00	691,92	1,63	2,48
112,00	692,17	1,87	2,23
126,00	692,07	2,10	2,33
140,00	691,19	2,33	3,21
154,00	690,59	2,57	3,81
168,00	690,38	2,80	4,02
182,00	689,81	3,03	4,59
196,00	689,75	3,27	4,65
210,00	689,62	3,50	4,78
224,00	689,25	3,73	5,15
237,00	688,93	3,95	5,47
251,00	688,10	4,18	6,30
265,00	688,37	4,42	6,03
279,00	687,97	4,65	6,43
293,00	687,36	4,88	7,04
307,00	687,06	5,12	7,34
321,00	686,54	5,35	7,86
335,00	686,38	5,58	8,02
349,00	685,96	5,82	8,44
363,00	685,88	6,05	8,52
377,00	685,14	6,28	9,26
391,00	684,76	6,52	9,64
405,00	684,54	6,75	9,86
418,00	684,26	6,97	10,14
432,00	684,11	7,20	10,29

Taula 7: Calibrat bomba B

Delay=8s, HIGH=0,4s i Delay=0.4s (average 30)			
Temps (s)	Grams	Temps (min)	Grams inicials/grams
0,00	741,70	0,00	0,00
15,00	741,03	0,25	0,67
29,00	740,69	0,48	1,01
42,00	740,55	0,70	1,15
56,00	740,17	0,93	1,53
70,00	739,71	1,17	1,99
84,00	739,87	1,40	1,83
98,00	739,34	1,63	2,36
112,00	738,63	1,87	3,07
126,00	738,60	2,10	3,10
140,00	738,04	2,33	3,66
154,00	738,05	2,57	3,65
167,00	737,67	2,78	4,03
181,00	737,32	3,02	4,38
195,00	737,02	3,25	4,68
209,00	736,36	3,48	5,34
223,00	736,15	3,72	5,55
237,00	735,98	3,95	5,72
251,00	735,94	4,18	5,76
265,00	734,92	4,42	6,78
279,00	734,90	4,65	6,80
292,00	734,31	4,87	7,39
306,00	734,09	5,10	7,61
320,00	734,10	5,33	7,60
334,00	733,62	5,57	8,08
348,00	733,07	5,80	8,63
362,00	733,05	6,03	8,65
376,00	732,69	6,27	9,01
390,00	732,08	6,50	9,62
403,00	732,00	6,72	9,70
417,00	731,69	6,95	10,01
431,00	731,45	7,18	10,25

Taula 8: Procés coprecipitació

Temps (s)	Pes A (g)	Pes B (g)	pH
0,00	589,82	1011,11	11,59
22,00	589,05	1010,99	6,01
36,00	588,88	1010,43	10,35
51,00	588,08	1010,23	9,67
66,00	588,15	1009,90	9,42
81,00	587,21	1009,75	9,73
102,00	587,26	1009,30	9,46
117,00	587,13	1009,29	9,04
132,00	586,32	1008,37	9,45
153,00	585,84	1008,21	9,17
168,00	585,61	1007,52	9,44
190,00	585,26	1007,24	9,26
204,00	585,17	1007,48	9,04
219,00	584,55	1006,58	9,30
241,00	584,34	1006,25	9,15
255,00	583,73	1005,48	9,34
277,00	583,63	1005,43	9,16
292,00	582,78	1005,02	9,31
313,00	582,37	1004,83	9,17
328,00	582,44	1004,34	9,28
349,00	582,12	1003,95	9,15
364,00	581,32	1003,87	9,01
379,00	580,67	1003,22	9,16
400,00	580,43	1003,32	9,02
415,00	579,90	1002,53	9,17
437,00	579,74	1002,67	9,08
451,00	579,44	1001,45	9,19
473,00	579,29	1001,49	9,12
488,00	578,75	1001,09	9,04
503,00	578,51	1000,64	9,16
524,00	578,18	1000,41	9,08
539,00	578,04	999,96	9,17
560,00	577,51	999,39	9,08
575,00	576,95	999,04	9,03
590,00	576,87	998,10	9,11
611,00	576,63	998,01	9,04
626,00	575,94	997,27	9,13
648,00	575,49	996,95	9,08
663,00	575,32	996,55	9,03

677,00	575,03	995,62	9,08
699,00	574,43	995,67	9,04
714,00	574,65	995,21	9,11
735,00	573,85	994,78	9,07
750,00	573,64	994,84	9,01
765,00	572,94	994,71	9,08
786,00	572,99	994,58	9,04
801,00	572,37	994,26	9,09
822,00	572,17	994,14	9,03
837,00	571,24	993,21	9,10
859,00	570,79	992,91	9,07
874,00	571,17	993,22	9,02
888,00	570,08	992,48	9,07
910,00	569,96	991,61	9,02
925,00	569,53	990,89	9,08
946,00	569,62	990,26	9,03
961,00	568,66	990,27	9,00
976,00	568,17	989,23	9,04
997,00	567,80	988,84	9,08
1019,00	568,17	988,72	9,07
1033,00	567,25	988,31	9,02
1048,00	567,13	987,77	9,08
1070,00	566,65	987,28	9,04
1084,00	566,12	986,72	9,07
1106,00	566,21	986,29	9,06
1121,00	566,11	986,12	9,01
1135,00	565,71	985,86	9,04
1157,00	565,26	985,03	9,02
1172,00	564,88	984,29	9,05
1193,00	564,31	983,99	9,02
1208,00	564,35	983,17	9,05
1230,00	563,95	983,09	9,02
1244,00	563,72	982,64	9,05
1266,00	562,94	982,13	9,02
1281,00	563,04	981,52	9,04
1302,00	562,35	981,41	9,00
1317,00	561,96	980,56	9,03
1338,00	720,54	980,70	9,06
1360,00	561,57	980,55	9,03
1375,00	560,75	980,10	9,05
1396,00	560,82	980,27	9,03
1411,00	560,18	979,02	9,04

1433,00	560,03	978,92	9,02
1447,00	559,47	978,25	9,04
1469,00	559,35	977,96	9,02
1484,00	558,70	977,75	9,04
1505,00	558,53	976,84	9,02
1520,00	558,29	976,62	9,04
1541,00	557,86	976,37	9,03
1556,00	557,87	974,83	9,06
1578,00	557,15	974,38	9,03
1592,00	556,85	973,77	9,05
1614,00	556,09	973,35	9,04
1629,00	556,15	972,83	9,01
1643,00	556,19	972,20	9,04
1665,00	555,60	971,60	9,01
1680,00	555,23	971,76	9,04
1701,00	554,10	970,72	9,02
1716,00	554,40	971,24	9,05
1738,00	553,86	970,82	9,03
1752,00	553,05	970,93	9,04
1774,00	553,11	970,56	9,02
1789,00	552,53	969,51	9,05
1810,00	551,96	969,49	9,00
1818,00	551,76	968,95	9,00
1840,00	551,66	968,02	9,03
1861,00	550,72	967,24	9,00
1876,00	550,54	966,76	9,03
1898,00	550,55	966,88	9,01
1912,00	549,89	966,92	9,02
1934,00	549,58	966,66	9,04
1956,00	549,51	965,43	9,02
1970,00	548,91	965,67	9,00
1985,00	548,51	964,14	9,02
2007,00	547,93	963,16	9,04
2028,00	547,72	962,93	9,03
2043,00	547,38	962,91	9,04
2064,00	547,10	961,86	9,03
2079,00	547,37	961,86	9,00
2094,00	546,26	961,71	9,02
2116,00	546,53	960,39	9,05
2137,00	545,89	959,73	9,02
2152,00	545,52	960,54	9,01
2167,00	545,29	959,71	9,03

2188,00	544,58	959,21	9,02
2203,00	544,51	958,15	9,04
2224,00	543,73	958,26	9,02
2239,00	543,32	958,11	9,00
2254,00	543,49	957,68	9,02
2275,00	543,37	957,13	9,04
2297,00	542,62	956,72	9,02
2312,00	542,32	956,43	9,03
2333,00	541,90	956,18	9,01
2348,00	541,25	955,83	9,03
2370,00	541,34	956,02	9,01
2384,00	540,20	955,40	9,03
2406,00	540,31	955,02	9,00
2421,00	539,89	954,51	9,02
2442,00	539,70	954,31	9,03
2464,00	539,19	953,72	9,01
2478,00	538,86	952,61	9,02
2500,00	538,55	952,85	9,04
2521,00	538,50	952,64	9,02
2536,00	537,66	951,65	9,03
2558,00	537,50	951,49	9,01
2572,00	537,03	950,63	9,02
2594,00	536,51	950,91	9,00
2609,00	536,28	950,37	9,02
2630,00	536,22	949,81	9,02
2652,00	535,60	948,97	9,01
2667,00	535,64	948,30	9,02
2688,00	535,20	948,10	9,01
2703,00	534,53	947,75	9,01
2724,00	533,73	947,22	9,00
2739,00	533,75	946,48	9,01
2761,00	513,78	946,18	9,03
2782,00	533,11	946,24	9,00
2797,00	533,30	944,75	9,02
2819,00	532,12	944,42	9,03
2840,00	532,19	944,56	9,02
2855,00	531,14	944,32	9,00
2870,00	531,58	943,20	9,02
2891,00	530,86	942,49	9,03
2913,00	530,38	942,28	9,01
2927,00	530,54	941,72	9,02
2949,00	529,80	941,51	9,01

2964,00	530,24	940,89	9,02
2985,00	528,98	940,98	9,00
3000,00	529,11	940,22	9,02
3022,00	528,44	940,56	9,00
3036,00	528,28	940,36	9,02
3058,00	527,65	939,55	9,03
3079,00	527,64	938,88	9,02
3094,00	527,09	938,85	9,00
3109,00	526,69	938,46	9,02
3130,00	526,52	937,12	9,03
3152,00	525,59	937,59	9,02
3167,00	525,69	936,96	9,00
3182,00	525,33	936,48	9,02
3203,00	524,71	935,52	9,01
3218,00	524,68	935,58	9,02
3239,00	524,13	935,12	9,01
3254,00	523,14	934,68	9,02
3276,00	523,52	934,23	9,01
3290,00	522,57	933,36	9,03
3312,00	522,56	933,37	9,02
3327,00	521,95	933,05	9,03
3348,00	521,71	932,59	9,02
3363,00	521,03	932,09	9,01
3378,00	520,42	930,99	9,02
3399,00	520,53	931,47	9,01
3414,00	520,41	930,31	9,02
3436,00	519,67	930,07	9,01
3450,00	519,77	929,52	9,02
3472,00	519,29	929,05	9,01
3487,00	518,54	928,50	9,03
3508,00	518,36	928,13	9,01
3523,00	518,34	927,75	9,03
3545,00	517,75	927,49	9,01
3559,00	517,32	927,46	9,03
3581,00	516,88	927,05	9,02
3596,00	516,79	925,99	9,03
3617,00	516,19	926,28	9,02
3632,00	516,17	925,67	9,00
3646,00	515,59	925,03	9,01
3668,00	515,26	924,77	9,01
3683,00	514,90	924,50	9,00
3698,00	514,77	923,35	9,01

3719,00	514,14	923,43	9,00
3734,00	514,10	922,24	9,00
3755,00	513,68	922,29	9,03
3777,00	513,17	921,86	9,02
3792,00	512,48	921,72	9,00
3806,00	512,25	921,43	9,02
3828,00	512,26	921,05	9,01
3843,00	511,88	919,79	9,02
3864,00	511,48	919,87	9,00
3872,00	510,72	919,34	9,02
3900,00	511,04	918,35	9,00
3908,00	510,16	918,35	9,00
3930,00	510,69	917,52	9,00
3945,00	509,99	916,86	9,02
3966,00	509,34	916,57	9,03
3988,00	508,80	915,97	9,01
4002,00	508,85	916,49	9,00
4017,00	508,96	916,17	9,02
4039,00	508,10	915,05	9,01
4053,00	507,95	914,52	9,01
4075,00	507,99	914,45	9,01
4090,00	507,12	913,80	9,01
4104,00	506,76	913,37	9,02
4126,00	506,89	912,48	9,01
4141,00	505,95	912,05	9,01
4162,00	505,89	912,87	9,01
4177,00	505,62	911,71	9,02
4199,00	505,38	911,68	9,01
4213,00	504,91	910,75	9,03
4235,00	504,10	909,96	9,02
4250,00	503,91	910,02	9,01
4264,00	503,46	909,26	9,01
4286,00	503,15	908,49	9,02
4307,00	502,83	908,32	9,01
4322,00	502,63	908,27	9,01
4337,00	502,32	907,98	9,00
4352,00	502,01	907,51	9,01
4373,00	501,50	906,05	9,02
4395,00	501,06	906,44	9,01
4402,00	500,55	905,47	9,02
4431,00	500,20	905,37	9,00
4439,00	500,10	904,87	9,00

4460,00	499,82	903,84	9,00
4482,00	499,40	903,43	9,00
4497,00	499,35	902,44	9,02
4518,00	498,75	902,19	9,00
4533,00	498,48	901,58	9,02
4554,00	497,94	900,78	9,02
4576,00	498,32	901,07	9,00
4584,00	497,42	899,91	9,01
4612,00	497,02	899,98	9,00
4620,00	496,55	899,22	9,01
4649,00	496,26	898,77	9,01
4663,00	496,28	897,94	9,01
4685,00	495,70	898,14	9,00
4700,00	495,19	897,63	9,01
4721,00	494,77	897,11	9,02
4743,00	493,90	896,67	9,00
4757,00	494,08	896,49	9,01
4779,00	493,59	896,35	9,01
4794,00	493,40	896,01	9,01
4815,00	492,84	896,08	9,01
4830,00	492,15	895,28	9,01
4852,00	492,21	895,20	9,01
4866,00	491,73	895,31	9,01
4888,00	491,61	895,10	9,00
4896,00	491,74	893,70	9,02
4924,00	491,00	893,86	9,00
4932,00	489,98	893,49	9,02
4960,00	490,10	892,99	9,00
4968,00	489,74	892,55	9,00
4994,00	489,56	892,08	9,00