

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol: Monitorització de la temperatura i densitat durant el procés de fermentació

Document: 1. Memòria

Alumne: Albert Casaponsa Sacrest

Tutor: Carles Pous i Sabadí

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria de Sistemes i Automàtica

Convocatòria (mes/any): Setembre 2020

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	3
1.1. Antecedents.....	3
1.2. Objecte	4
1.3. Especificacions i abast	5
2. MONITORITZACIÓ DEL PROCÉS DE FERMENTACIÓ.....	6
2.1. Introducció.....	6
2.2. Procés de fermentació.....	6
2.3. Magnituds físiques.....	7
2.3.1. Densitat	8
2.3.2. Temperatura.....	11
2.3.3. Temps	12
2.4. Plantejament del projecte	13
3. SISTEMA ENCASTAT	15
3.1. Introducció.....	15
3.2. Arquitectura d'un sistema encastat	15
3.3. Disseny hardware.....	17
3.3.1. ESP-12.....	17
3.3.2. Port sèrie	24
3.3.3. Alimentació.....	25
3.3.4. Sensor Temperatura.....	32
3.3.5. Acceleròmetre	34
3.3.6. PCB.....	36
3.4. Disseny software	40
3.4.1. Arduino IDE.....	41
3.4.2. Estructura programa	41
3.4.3. Connexió a la xarxa WiFi	42
3.4.4. Connexió servidor MQTT	44
3.4.5. Acceleròmetre.....	45
3.4.6. Sensor temperatura	46
3.4.7. Bateria	47
3.4.8. Deep Sleep	47
3.5. Càlcul vida útil bateria.....	48
3.6. Experiment flotabilitat	50
4. RASPBERRY PI	54
4.1. Introducció.....	54

4.2.	Comunicació entre dispositius	54
4.3.	Base de dades.....	57
4.4.	Node-RED	58
5.	RESUM DEL PRESSUPOST	60
6.	CONCLUSIONS.....	61
7.	RELECIÓ DE DOCUMENTS	62
8.	BIBLIOGRAFIA.....	63
9.	GLOSARI.....	64
A.	ESTUDI DE MERCAT	65
B.	CODI SISTEMA ENCASTAT	67
C.	CODI NODE-RED.....	73

1. INTRODUCCIÓ

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar i programar un dispositiu electrònic capaç de monitoritzar la densitat i temperatura d'un líquid durant el procés de fermentació. El seguiment d'aquest procés es farà a partir d'un dispositiu que estarà en suspensió dins un fermentat i que prendrà les lectures físiques de temperatura i densitat. Aquestes seran enviades inalàmbricament a un altre dispositiu extern en el qual es guardaran i tractaran les dades, per ser consultades per l'usuari i així poder fer un seguiment precís del procés de fermentació. A més, a partir dels resultats extrets durant tot el procés de fermentació es calcularà el volum d'alcohol que tindrà el fermentat al final del procés de fermentació.

1.1. Antecedents

Des de l'antiguitat, el fet de saber el volum d'alcohol d'un fermentat s'ha hagut de fer a partir de la densitat inicial i final del procés de fermentació. La densitat no és més que la quantitat de sucres dissolta en un volum de líquid, per tant, aquesta diferència de densitats a una temperatura determinada, ens dona la quantitat de sucres consumits pels llevats podent saber així el grau alcohòlic del fermentat.

Hi ha diversos mètodes per tal d'obtenir aquestes dades, però tots necessiten l'extracció de mostres contínues del fermentat durant tot el procés de fermentació. El mètode més utilitzat ha sigut a partir del densímetre o aeròmetre. Aquest instrument va ser inventat per Hipatia d'Alexandria al voltant del segle IV i permet determinar la densitat relativa d'un líquid a partir del principi d'Arquímedes o de flotabilitat sense la necessitat de calcular la seva massa, conductivitat i temperatura. El seu mètode d'utilització és introduir-lo verticalment dins d'un líquid i deixar-lo flotant en repòs, a partir d'una escala graduada en el mànec del densímetre i depenent del nivell d'enfonsament, es podrà llegir la densitat relativa del líquid.

Actualment amb l'augment de la tecnologia han aparegut diferents possibilitats per determinar la densitat de líquids. Una d'aquestes està basada el principi del tub en U oscil·lant. Aquesta tècnica es basa a determinar la densitat relativa dels líquids i gasos sobre la base del mesurament electrònic de la freqüència d'oscil·lació, la qual ve determinada per la massa dels materials continguts en un volum conegut, de manera anàloga que la massa d'un diapasó és determinant pel to del so de la ressonància. D'aquesta manera en saber el volum del tub en U i amb el càlcul de la massa a partir de la freqüència d'oscil·lació, es pot trobar de forma acurada la densitat del fluid de l'interior.

Tanmateix, aquests mètodes necessiten la presa de mostres durant el procés de fermentació per tal de determinar la densitat relativa i saber l'evolució del fermentat en el temps. Aquest fet provoca una pèrdua de volum del total del fermentat per l'extracció de mostres i alhora es necessita personal qualificat per prendre aquestes mostres per tal que no s'introdueixin elements externs dins del fermentat que podrien provocar reaccions químiques no controlades i modificar el resultat final d'aquest.

1.2. Objecte

Aquest projecte es redacta amb l'objectiu de dissenyar un dispositiu inalàmbic que es pugui introduir dins del líquid del fermentador, per així obtenir lectures de valors de temperatura i de densitat a temps real. Aquestes dades seran enviades a un segon dispositiu que tindrà la funció de servidor on s'emmagatzemaran i es tractaran, per tal de ser llegides per l'usuari de forma fàcil des de qualsevol dispositiu connectat a la mateixa xarxa. A partir d'aquestes dades es podrà fer un seguiment complet del procés de fermentació per poder trobar els temps òptims de cada procés d'elaboració. A més, permetrà reduir a zero tant el temps necessari per fer les mesures manualment i la possibilitat d'infecció del líquid per pròpia manipulació d'aquest.

El projecte està plantejat en diferents parts. Primerament, es dissenyarà tant el hardware com el software d'un dispositiu integrat el qual s'introduirà al líquid fermentat i serà capaç de prendre les mesures físiques de densitat, temperatura i la data en què han estat preses les mesures, i seran enviades per comunicació WiFi a un segon dispositiu on es guardaran les dades per poder ser visualitzades per l'usuari i així poder fer el seguiment de l'evolució del procés de fermentació.

Seguidament, es programarà el software d'un ordinador de placa reduïda, en concret una Raspberry Pi, amb l'objectiu de fer la recollida de les dades enviades prèviament des del dispositiu de lectura dels valors físics. Aquestes dades seran guardades dins una base de dades per tal de poder ser consultades per l'usuari i fer un seguiment acurat de tot el procés de fermentació. A més, es realitzarà un estudi de mercat per tal de determinar la viabilitat del producte dissenyat per tal de conèixer el que succeeix en el mercat, les tendències i de la competència abans del llançament del producte.

1.3. Especificacions i abast

Les especificacions i l'abast del projecte, està enfocat en el disseny i programació dels dispositius electrònics necessaris per a dur a terme la monitorització del procés de fermentació. Primerament es dissenyarà hardware i software del sistema encastat que sigui capaç de fer mesures acceleracions, a partir d'un acceleròmetre que servirà per trobar l'angle d'inclinació respecte l'horitzontal per fer una conversió a densitat, i també sigui capaç de prendre mesures de temperatura amb una precisió. Un cop tractades les mesures dels sensor seguidament s'enviaran a través de WiFi a l'ordinador on s'allongarà el servidor i la base de dades.

Pel que fa als components del sistema encastat s'escollirà entre diferents mòduls SoC en el mercat per tal de fer més fàcil l'accés a l'integrat i a la comunicació WiFi, i els sensors més adequats per fer les lectures de temperatura i densitat amb una precisió necessària per prendre mesures reals. Tots aquests components hauran de tenir un baix consum per tal de tenir una autonomia entre càrregues de la bateria com a mínim de 20 dies, a més del disseny d'una carcassa estanca evolvant de tots els components del sistema encastat, ja que el dispositiu estarà flotant sobre un líquid.

Aquest projecte es tracta d'un prototipus en protoboard en el qual s'ha dissenyat la PCB que seria construïda en el futur. Per aquest fet totes les mesures preses de cada variable s'han fet a partir de diferents proves que es podran veure en el projecte.

Pel que fa el petit ordinador on s'allotjarà la base de dades i el servidor, es tindrà en compte el cost, que tingui connectivitat WiFi, la capacitat de generar un servidor i una base de dades per poder guardar i tractar les dades per poder ser consultades des de qualsevol dispositiu connectat al servidor.

2. MONITORITZACIÓ DEL PROCÉS DE FERMENTACIÓ

2.1. Introducció

L'objectiu principal d'aquest projecte és crear un sistema per fer una monitorització durant tot el procés de fermentació, en concret la fermentació alcohòlica. Per tal d'enfocar el projecte de forma adequada, el primer que s'ha fet ha sigut buscar informació del procés de fermentació, i quins són els paràmetres que en permetran el seguiment. A més, també es valoraran tots els possibles problemes i solucions que puguin sorgir durant el desenvolupament del projecte.

Un cop estudiat i avaluat el procés a monitoritzar i quines són les variables que seran necessàries per a fer el seguiment, s'han estudiat els possibles mètodes d'obtenció d'aquestes variables i s'ha escollit el que més s'adequa al projecte. També s'han estudiat les diferents característiques que ha de tenir el sistema per tal de complir amb les especificacions inicials marcades.

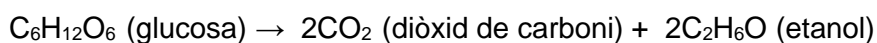
Un cop avaluades les diferents possibilitats pel desenvolupament s'ha fet un plantejament global de les funcionalitats que ha de tenir el sistema i quins seran els elements necessaris per dur-lo a terme.

2.2. Procés de fermentació

La fermentació és un procés de catabolisme, ja que consisteix en la transformació de molècules orgàniques senzilles i en l'emmagatzematge de l'energia química despresa en forma d'enllaços de fosfat de molècules ATP, mitjançant la destrucció de les molècules que contenen gran quantitat d'energia en els enllaços covalents, i anaeròbic, perquè la reacció es produeix en absència d'oxigen, en el qual un compost orgànic actua com a donador i acceptador d'electrons i l'ATP resultant per la fosforilació pel que fa a substrat. Aquest procés va ser descobert per Louis Pasteur i va descriure la fermentació com "*la vie sans l'air*", la vida sense aire.

Hi ha molts tipus de fermentacions segons el tipus de productes i substrats implicats. El present projecte està centrat en la monitorització de la fermentació alcohòlica o etílica. Aquesta és un procés biològic de fermentació originat per alguns microorganismes, com llevats o bacteris, que processen els glúcids o sucres com la glucosa, sacarosa, fructosa, etc... per obtenir com a producte final, un alcohol en forma d'etanol i diòxid de carboni com a

producte de rebuig, a més de molècules ATP que són utilitzades pels propis microorganismes pels seus metabolismes energètics.



Així doncs, per fer un seguiment de l'evolució del procés de fermentació és necessari seguir l'evolució de diverses magnituds físiques implicades en el procés, concretament la densitat, la temperatura i el temps. La densitat és la principal magnitud que s'ha de mesurar, ja que en produir-se una transformació de sucres del fermentat en etanol es produeix una reducció de densitat produïda per la diferència de densitat entre l'aigua i l'etanol. A més s'hauran de prendre mesures de temperatura i temps per tal de fer un seguiment precís. A partir d'aquestes tres variables és possible fer el seguiment del procés de fermentació durant el temps i avaluar quin és el moment precís de finalització de la fermentació.

2.3. Magnituds físiques

Una magnitud física és qualsevol propietat natural dels cossos o fenòmens de l'Univers que pot ser quantificada directe o indirectament a partir de la mesura empírica o càlcul matemàtic amb equacions, on els possibles valors resultants s'expressen en forma de nombre i generalment van acompanyats d'una unitat de mesura.

Aquestes unitats es poden considerar fonamentals o derivades. Les magnituds fonamentals són aquelles que no deriven de cap altre i que es poden mesurar de forma directa. D'altra banda, les magnituds derivades són aquelles que es deriven de les fonamentals i es poden determinar a partir d'expressions englobant diferents magnituds fonamentals.

Pel desenvolupament d'aquest projecte serà necessari prendre les magnituds físiques de densitat temperatura i temps, per tal de fer un seguiment de l'evolució del fermentat durant tot el procés de fermentació i poder avaluar quin és el moment òptim per seguir en el procés d'elaboració del producte final.

2.3.1. Densitat

La densitat és una magnitud física derivada que ens indica la massa per unitat de volum d'una substància, on la seva unitat de mesura en el SI es el kg/m^3 , encara que per motius pràctics en aquest projecte serà calculada en g/cm^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq.1})$$

Aquesta magnitud física és la més important per fer el seguiment de l'evolució del procés de fermentació, ja que, durant tot aquest procés els llevats que es troben dins el fermentat van consumint els sucres de la dissolució reduint així la seva densitat. Un cop els llevats han quedat inerts, deixen de consumir els sucres restants i la densitat passa d'estar disminuint a establitzar-se, marcant el temps final de la fermentació i de canvi de procés d'elaboració. A més, amb el resultat de densitat inicial i final del fermentat es pot trobar el volum alcohòlic que tindrà el producte final.

Actualment no hi ha instrumentació per calcular directament la densitat d'una substància líquida a partir de sensors de baix cost i sense presa de mostres. Per aquest fet s'ha buscat un mètode alternatiu per trobar el valor exacte de densitat a partir de la densitat relativa entre dues substàncies, la qual provoca una diferència en la flotabilitat entre dos elements. La densitat relativa s'obté amb la comparació de la densitat d'una substància amb la densitat d'una altra la qual es pren com a referència. Aquesta és adimensional, ja que queda definida com un coeficient de densitats. Pel que fa als líquids, la densitat de referència habitual, i la que s'utilitzarà en el projecte, és la densitat absoluta de l'aigua que és de 1 g/cm^3 amb unes condicions de pressió d'1 atmosfera i temperatura de 4°C .

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (\text{Eq.2})$$

A partir, de l'equació anterior on ρ_r és la densitat relativa, ρ_0 és la densitat de referència i ρ és densitat del cos, podem avaluar que per a cossos amb una densitat relativa menor a 1 flotaran en l'aigua i per una densitat relativa superior a 1 aquests s'enfonsarà. A partir, d'aquesta

premissa es buscarà la densitat de referència en funció de la flotabilitat d'un cos suspès en un líquid.

Pel que fa a la flotabilitat no és més que la capacitat d'un cos de mantenir-se suspès dins d'un fluid. Aquest sura quan la força resultant de la força exercida en la part inferior del cos és superior a la força exercida pel pes i la pressió exterior.

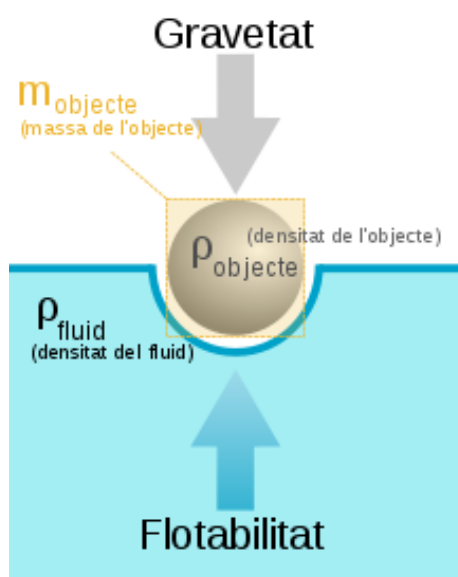


Figura 1: Forces resultats a la flotabilitat

La flotabilitat ve descrita en el principi d'Arquímedes com: un cos insoluble totalment o parcialment submergit en un fluid (líquid o gas) en repòs rep una força de baix cap a dalt igual al pes del volum del fluid que desallotja. Aquesta força rep el nom d'empenyiment i es mesura a partir de la següent equació:

$$E = m \cdot g = \rho_f \cdot g \cdot V \quad (\text{Eq.3})$$

On E és l'empenyiment en Newtons, m és la massa del fluid desallotjat en kg, g és la gravetat terrestre en m/s^2 , ρ_f és la densitat del fluid en kg/m^3 i V és el volum del fluid desplaçat en m^3 .

Així doncs, l'empenyiment depèn de la densitat del fluid, del volum del cos i de la gravetat. La força resultant actua verticalment sobre el centre de gravetat del volum del fluid desplaçat. Aquest punt s'anomena centre de carena.

Un cop explicat el principi d'Arquímedes i el centre de carena, és necessari saber com influeix sobre un cos l'estabilitat estàtica i l'estabilitat rotatòria les quals implicaran un moviment en el cos flotant. L'estabilitat estàtica es produeix quan un cos flotant torna a la seva posició d'equilibri després d'un desplaçament, aquest fet s'aconsegueix si el centre de gravetat del cos està situat per sota del centre de carena i sobre el mateix eix. D'altra banda, l'estabilitat rotatòria depèn de les direccions de les forces sobre el cos. En aquest cas si les forces del pes i de l'empenyiment es troben desplaçades de l'eix de cos es produirà un moment de rotació.

Un cop explicats els conceptes teòrics anteriors, s'han aplicat a la pràctica per tal de buscar la densitat exacta d'un fluid a partir de la força d'empenyiment i el principi d'estabilitat en flotació.

Utilitzant la força d'empenyiment s'ha dissenyat un cos en forma de proveta, on en el seu interior anirà situat el dispositiu integrat, el qual sigui capaç de desplaçar un volum de fluid, a partir d'una massa calculada, fent que el centre de gravetat del dispositiu se situï en la mateixa altura del centre de carena, fent així que el dispositiu mentre estigui en repòs en mantingui en forma vertical i estable, formant un angle de 0° respecte l'horitzontal. La massa del dispositiu serà calculada per una densitat del líquid igual a 1 g/cm^3 , tal com es mostra en la figura 2.

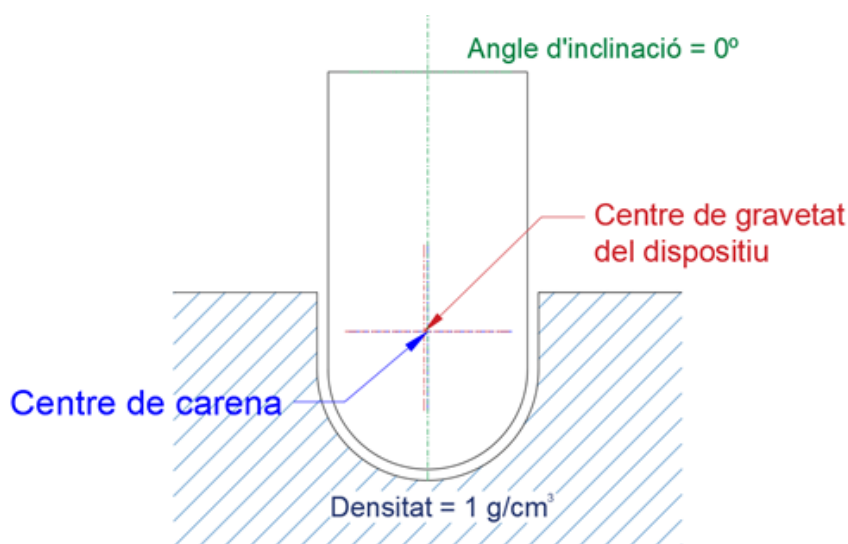


Figura 2: Dispositiu amb angle d'inclinació 0° per una densitat igual a 1 g/cm^3

En el procés de fermentació el fluid en l'estat inicial mostrarà una densitat superior a 1 g/cm^3 . Aquest fet provocarà que la densitat relativa del sistema es redueixi i al mateix temps, aplicant el principi d'Arquímedes, la força d'empenyiment augmentarà provocant una reducció el volum

de fluid desplaçat. Aquest fet suposarà un augment en la flotabilitat del dispositiu, com es mostra en la figura 3.

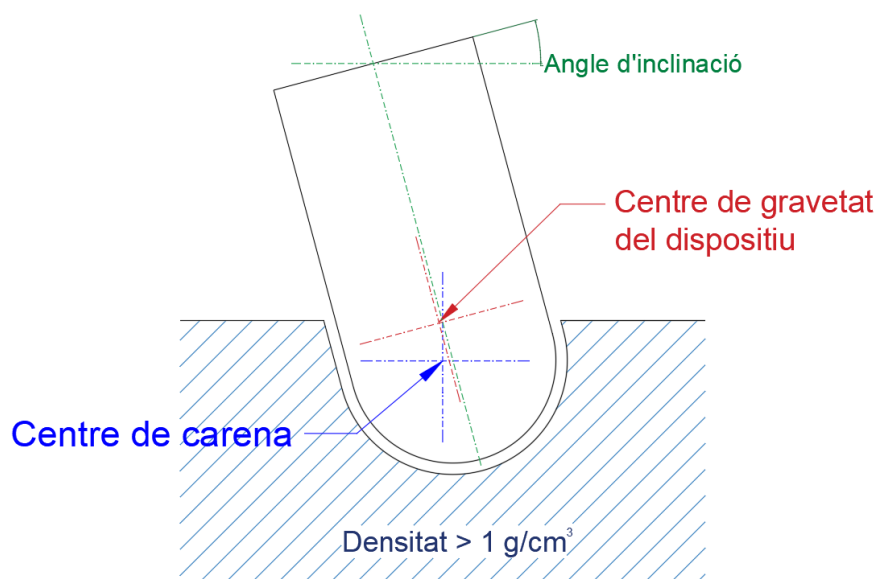


Figura 3: Dispositiu amb angle d'inclinació per una densitat superior a 1 g/cm³

Al produir-se aquest augment de la flotabilitat, el centre de gravetat del dispositiu passarà a situar-se en un punt superior al centre de carena, provocant que el cos ja no es mantingui de forma vertical en el seu estat de repòs. A més, s'ha dissenyat el dispositiu perquè tingui el centre de gravetat del dispositiu desplaçat horitzontalment del centre geomètric del dispositiu, fet que provoca que el component horitzontal de la força d'empenyiment provoqui una inclinació del dispositiu en funció de la densitat relativa del sistema. Aquesta inclinació anirà disminuint fins assolir la posició vertical quan la densitat del fluid sigui de 1 g/cm³ provocant que el centre de gravetat del dispositiu i del centre de carena estiguin a la mateixa alçada.

Per tant, el seguiment de la densitat del fluid, es farà a partir de l'angle d'inclinació que tingui el dispositiu i que marcarà la densitat relativa del sistema. A partir d'aquesta premissa i sabent la densitat del cos es podrà trobar la densitat del fermentat i així poder fer el seguiment del procés de fermentació.

2.3.2. Temperatura

Per fer un seguiment més acurat de la densitat s'ha de tenir en compte quin grau de dependència té, respecte d'altres magnituds físiques com la temperatura i la pressió. En el present projecte no es farà el seguiment de la pressió, ja que el dispositiu estarà pensat per

estar dins d'un tanc a pressió atmosfèrica que és aproximadament 1 atm, però sí que es farà un seguiment de la temperatura, perquè pot provocar canvis a les propietats de les interaccions moleculars. Concretament en l'augmentar la temperatura d'un líquid les molècules del mateix líquid estan més separades entre elles provocant un augment en el volum total del líquid, aquest fet sumat a què la massa del mateix no varia, significa que la densitat serà menor, i a viceversa

Per tant per obtenir un resultat de la densitat amb exactitud serà necessari prendre la mesura de temperatura per tal de fer una correcció en la densitat calculada segons l'angle d'inclinació. Per fer aquesta correcció es farà a partir de la fórmula de la densitat en funció de la temperatura.

$$\rho = \frac{\rho_f}{1 + \beta \cdot (T - T_0)} \quad (\text{Eq.4})$$

On ρ és la densitat del fluid a una temperatura determinada, ρ_f és la densitat nominal del fluid, β és el coeficient d'expansió volumètrica per grau de temperatura (per l'aigua es tracta de $0,0002 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), T és la temperatura del fluid i T_0 és la temperatura estàndard de l'aigua per una densitat de $1.000 \text{ kg}/\text{m}^3$, la qual és de $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Un cop aconseguida la densitat real del fluid d'estudi, l'única magnitud que manca a l'hora de fer el seguiment de l'evolució del procés de fermentació és el temps en què s'adquireixen les dades de densitat i temperatura.

2.3.3. Temps

Aquest projecte està basat en la monitorització del procés de fermentació, aquest fet implica que s'ha de saber l'estat en què es troba el procés en cada moment i poder avaluar els canvis que es puguin produir durant tot el procés. Per aquest fet es guardarà la data i l'hora de la presa de mostres per tal de poder tractar les dades a posteriori i poder-les visualitzar gràficament de manera coherent.

El procés de fermentació pot tenir diferents durades depenent del tipus de líquid fermentat i del tipus de llevat que actua sobre d'aquest. Aquest temps és molt oscil·lant, però sol tenir una durada d'entre 5 i 15 dies. Durant tot el procés la transformació la densitat del fermentat

anirà decreixent progressivament fet pel qual només es prendran mesures cada 4 hores durant 5 minuts.

2.4. Plantejament del projecte

A grans trets les principals funcionalitats del sistema de monitorització a dissenyar són:

Prendre lectures de les magnituds físiques implicades en el procés de fermentació.

Guardar les dades obtingudes en una base de dades.

Consulta de les dades des d'un dispositiu remot.

A partir de les funcionalitats anteriors s'ha decidit desglossar el sistema de monitorització en dos dispositius, el primer serà un sistema encastat capaç de fer les lectures de les magnituds físiques i el segon serà un petit ordinador, en concret una Raspberry Pi, el qual serà l'encarregat de guardar i tractar les dades del dispositiu per tal de ser consultades sempre que es vulgui per part de l'usuari.

Al ser un sistema de monitorització compost de més d'un dispositiu s'ha tingut en compte quin serà el mètode de comunicació entre els dispositius, ja que, aquests no estaran ubicats en el mateix lloc ni entorn. Així doncs, tenint en compte les premisses anteriors, l'esquema general del sistema de monitorització serà el següent.



Figura 4: Arquitectura sistema de monitorització

Un cop dissenyada l'arquitectura general del sistema de monitorització s'ha procedit a desglossar-la en les diferents parts que la conformen. Primerament l'element principal i més complex en termes de hardware i software del sistema de monitorització és l'ordinador en el qual s'allotjarà una base de dades i un servidor on es connectaran els dispositius per tal de consultar l'evolució del procés de fermentació. Per a aquest dispositiu s'ha optat per utilitzar

un producte ja al mercat per la simplificació del projecte, perquè aquest projecte només es centrarà en la programació d'aquest dispositiu que s'explicarà concretament en el capítol 4.

Pel que fa al sistema encastat s'ha dissenyat tant el hardware i el software perquè sigui capaç de prendre mesures de les dades necessàries i enviar-les al dispositiu principal del sistema de monitorització. A més, s'ha tingut en compte que aquest dispositiu romandrà flotant en el fermentat fet que provoca que la carcassa que allotja el sistema encastat ha de tenir el nivell IP adequat, també s'ha procurat que sigui de volum reduït i baix consum. Aquest dispositiu s'explicarà detalladament en l'apartat següent.

3. SISTEMA ENCASTAT

3.1. Introducció

Un sistema encastat és un sistema de computació, el que conté hardware i software basat en un microprocessador o un microcontrolador, dissenyat per realitzar una o diverses funcions dedicades normalment a un sistema de computació a temps real. Al contrari que amb els ordinadors personals que estan dissenyats per a cobrir un ampli rang de necessitats, els sistemes encastats estan dissenyats per suplir necessitats específiques.

En general els sistemes encastats es poden programar directament amb el llenguatge ensamblador incorporat en el mateix microprocessador o amb compiladors específics que poden utilitzar llenguatges com C o C++. Tanmateix, també existeixen diverses plataformes desenvolupades per diversos fabricants les quals proporcionen diverses eines pel desenvolupament del disseny d'aplicacions i prototips com són, Arduino, Raspberry Pi, etc.

En el present capítol es descriurà quines són les característiques i funcionalitats principals, a més de l'arquitectura que ha de tenir el sistema encastat a dissenyar, per tal de desenvolupar les tasques necessàries per fer el seguiment del procés de fermentació tenint en compte d'optimització amb les solucions de hardware i software, com poden ser el microprocessador, la memòria, el consum, la comunicació entre dispositius i els sensors.

També es descriuran tots els elements escollits pel disseny del hardware del dispositiu i quins han sigut els criteris alhora de l'elecció. A més, s'explicaran quins sensors s'utilitzaran i quin ha sigut el criteri per la seva elecció.

Pel que fa al software, es descriuran quin ha sigut el plantejament a l'hora de triar el llenguatge de programació, també es descriuran les eines de programació utilitzades i l'algorisme dissenyat pel correcte funcionament del sistema encastat.

3.2. Arquitectura d'un sistema encastat

El sistema encastat dissenyat a de tenir unes característiques constructives i funcionals per tal de complir amb el propòsit pel qual ha estat dissenyat. En el següent apartat es descriuran

quines són les característiques principals a partir de les quals s'han escollit els elements que acabaran formant part del sistema.

Primerament es descriuran les característiques constructives principals que ha de tenir un sistema encastat. La part principal és el microprocessador, microcontrolador, DSP, etc. És a dir, la CPU o unitat que aporta capacitat de computació al sistema, i pot incloure memòria interna o externa.

La comunicació adquireix gran importància en els sistemes encastats. El més normal és que el sistema pugui comunicar-se mitjançant interfícies estàndard de cable o inalàmbrica, ja que, normalment incorporarà ports de comunicacions de tipus RS-232, RS-485, SPI, I²C, CAN, USB, IP, Wi-Fi, etc. A més d'incorporar mòduls d'entrades i sortides analògiques i digitals utilitzats per digitalitzar senyals analògics procedents de sensors, activar díodes LED, reconèixer l'estat obert tancat d'un commutador o polsador i moltes més funcions.

El mòdul de rellotge que és l'encarregat de generar els diferents senyals de rellotge a partir d'un únic oscil·lador principal. El tipus d'oscil·lador és important per diversos aspectes: per la freqüència necessària, per l'estabilitat necessària i pel consum de corrent requerit. L'oscil·lador amb millors característiques quant a estabilitat i cost són els basats en ressonador de cristall de quars, mentre que els que requereixen menor consum són els RC. Mitjançant sistemes PLL s'obtenen altres freqüències amb la mateixa estabilitat que l'oscil·lador patró.

El mòdul d'energia s'encarrega de generar les diferents tensions i corrents necessaris per alimentar els diferents circuits del sistema encastat. Normalment es treballa amb un rang de tensions d'entrada que mitjançant convertidors AC/DC o DC/DC s'obtenen les diferents tensions necessàries per alimentar els diversos components actius del circuit.

El consum d'energia pot ser determinant en el desenvolupament d'alguns sistemes encastats que necessàriament s'alimenten amb bateries, de manera que el temps d'ús de sistema encastat sol ser la durada de la càrrega de les bateries.

Altrament, un sistema encastat també necessita elements externs per tal d'interactuar amb l'exterior ja sigui en forma de sensors, actuadors o elements de comunicació. Així doncs, a partir de tots els elements esmentats anteriorment i de l'esquema de la figura 5 on es mostra l'arquitectura general d'un sistema encastat, s'ha dissenyat el hardware del dispositiu.

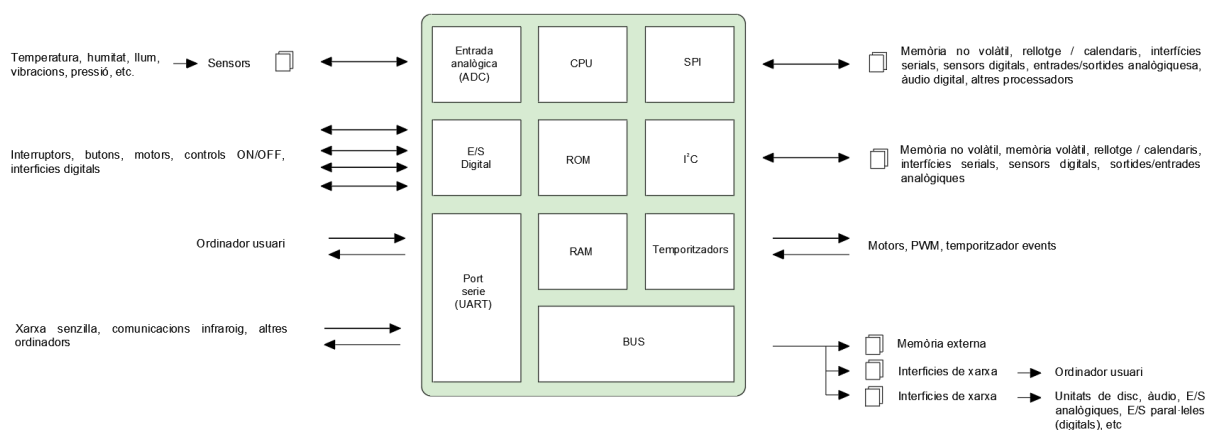


Figura 5: Arquitectura general sistema embeïtat

3.3. Disseny hardware

Abans de començar amb el disseny del hardware s'ha estudiat l'esquema de la figura 5 en el qual es pot observar quines seran les necessitats pel desenvolupament del dispositiu embeïtat. A partir de l'esquema s'han buscat els components necessaris pel disseny del dispositiu.

Primerament s'ha buscat el component elèctric que tindrà la funció de nucli del dispositiu i el qual englobarà part dels mòduls necessaris per el disseny del sistema embeïtat. Concretament s'ha escollit un mòdul basat en un sistema sobre chip (SoC).

3.3.1. ESP-12

L'ESP-12 és un mòdul basat en un sistema sobre chip, aquests són elements cada vegada més freqüents en sistemes de computació, ja que, incorporen una gran part dels mòduls o components que componen un ordinador o en el present projecte, d'un sistema embeïtat en un sol circuit integrat en forma de microxip de mida reduïda. Aquests quasi sempre estan composts de la unitat de processament (CPU), memòria, diversos tipus de comunicacions i entrades/sortides, ja siguin digitals i/o analògiques.

El principal motiu per l'elecció d'aquest sistema envers altres, és que tots els elements principals estan en un sol circuit integrat. Aquest fet provoca un major rendiment amb un consum menor, a més d'ocupar menys espai que els sistemes composts de diferents mòduls per separat. Abans de començar amb l'elecció del SoC adequat, a partir del qual es desenvoluparà el disseny del sistema embeïtat, s'han tingut en compte els mètodes de

comunicació dels sensors necessaris per fer les lectures de les magnituds físiques, el mètode de comunicació escollit per la comunicació entre dispositius, en aquest cas WiFi, l'alimentació, el consum, a més, del llenguatge de programació que permet utilitzar el hardware del SoC.

A partir de les premisses anteriors, les quals s'aniran desglossant a continuació, s'ha decidit escollir el mòdul WiFi ESP-12E dissenyat per l'empresa AI-Thinker Technology. Aquest conté com a processador principal el SoC ESP8266 el qual encapsula el microcontrolador Diamond Standard sèrie 106 de 32 bits fabricat per l'empresa Tensilica, el que destaca pel seu baix consum de potència,, connectivitat WiFi completa, disseny compacte, rendiment fiable i una arquitectura RISC de 16 bits. Pel que fa a la velocitat de rellotge de la CPU es de 80 MHz, però pot arribar fins a 160 MHz. A més, pot interactuar amb sensors externs i altres dispositius mitjançant les GPIO, també té diferents interfícies com SPI, I²C, UART, etc.

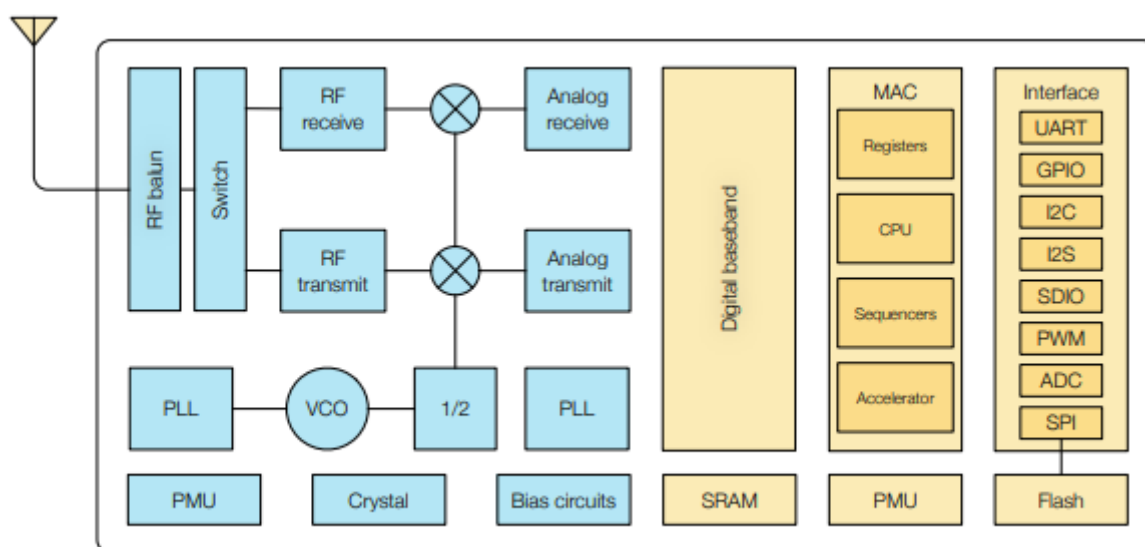


Figura 6: Diagrama de blocs ESP-12

Pel que fa a la organització de la memòria el Soc ESP8266 té integrat un controlador de memòria incloent la SRAM i ROM. Aquestes són visitades per MCU mitjançant les interfícies iBUS, dBUS i AHB. Totes les unitats de memòria es poden visitar a petició, mentre que un àrbitre de memòria decidirà la seqüència en funcionament segons el moment en què aquestes sol·licituds siguin rebudes pel processador. La mida de la memòria RAM és de 32 kB. A més, el SoC no té una ROM programable, per aquest fet el mòdul ESP-12 inclou una memòria Flash SPI externa de 4 MB la qual permet emmagatzemar el software de l'usuari.

Les característiques més rellevants de l'ESP-12 i les que són útils en el desenvolupament del projecte són les següents:

- Processador de 32 bits de baix consum
- Velocitat de 80 MHz (160 MHz com a màxim)
- 32 kB RAM instruccions , 32 kB de caché
- Memòria Flash SPI externa d'1~16 MB
- WiFi 802.11 b/g/n 2,4 GHz (seguretat WPA/WPA2)
- Certificat per CE, WiFi Alliance y SRRC, RoHS
- 17 pins GPIO
- Convertidor analògic digital 10 bits
- UART (2xTX i 1xRX)
- Interfícies SPI, I²C (a partir de software)
- Voltatge d'operació de 2,7 a 3,6 V
- Consum mig 80 mA
- Consum mode Deep-sleep (20uA)

En la figura 7 es pot observar l'esquemàtic proporcionat per fabricant del mòdul ESP-12 i a partir del qual està desenvolupat la resta de disseny del hardware del sistema encastat.

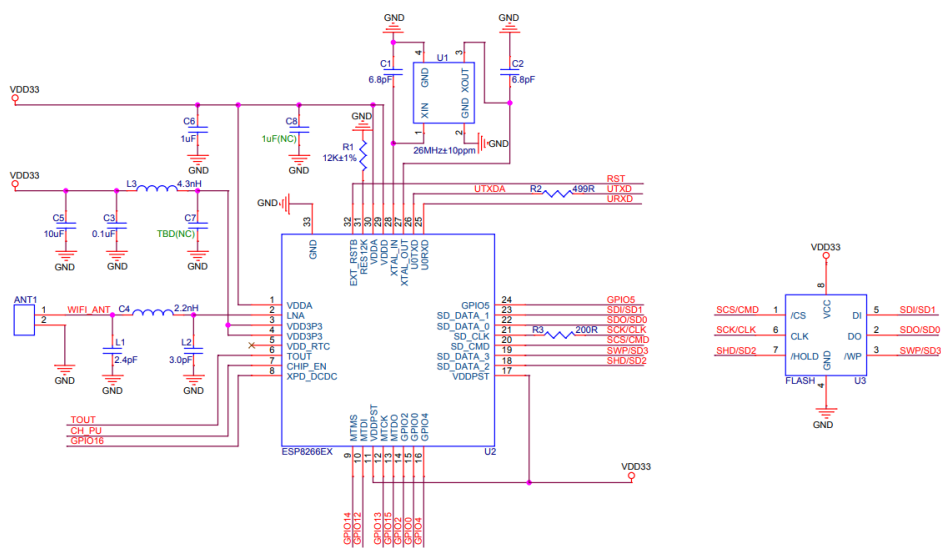


Figura 7: Circuit esquemàtic ESP-12

Un cop estudiat el funcionament i les característiques principals necessàries pel desenvolupament del projecte, s’ha mirat quines són les dimensions del mòdul: en concret té una mida de 16 mm x 24 mm x 3 mm amb una mida d’encapsulat SOP (210 mil). A més, com es veu en la figura 7, aquest ja porta incorporada una antena PCB 3DBi per la comunicació WiFi.

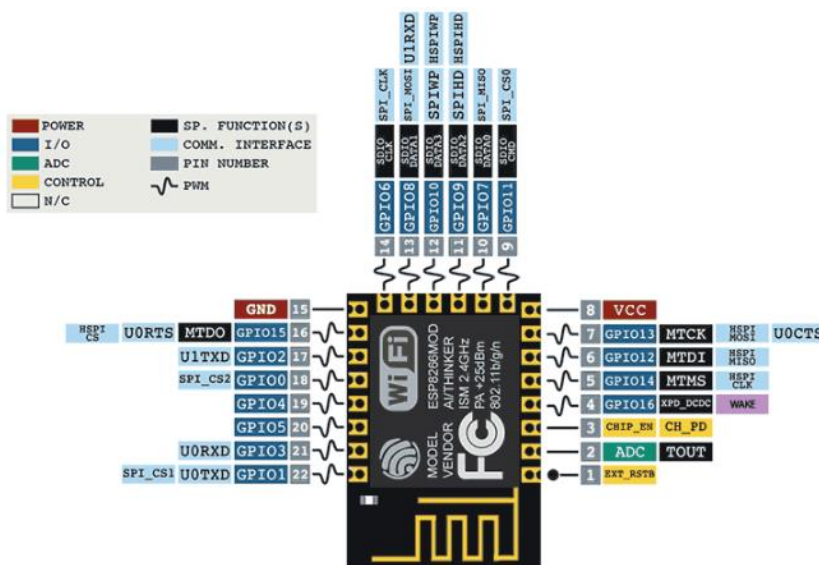


Figura 8: Esquema “PIN OUT” ESP_12

Com es pot observar a la figura 8 l’ESP-12 té 22 pins en total. Dissent d’aquests són pins GPIO, un pin ADC, dos pins per l’alimentació (VCC i GND) i els pins de control CHIP_EN (per engegar i apagar el mòdul) i EXT_RSTB (reiniciar).

Abans de començar amb el disseny del hardware s’ha de tenir en compte que el mòdul ESP-12 té tres modes d’arrencada. A la següent taula s’especifica com s’han de configurar els pins depenent del mode en què es vol arrencar el mòdul.

Mode arrencada	GPIO15	GPIO0	GPIO2
UART Bootloader	0 V	0 V	3,3 V
Boot Sketch	0 V	3,3 V	3,3 V
SDIO	3,3 V	x	x

Taula 1: Modes arrencada ESP-12

En el present projecte s’utilitzaran dos modes d’arrencada, el mode “Boot Sketch” i el mode “UART Bootloader”.

El mode "Boot Sketch" executa l'últim programa carregat a la memòria flash. Per tant, segons el fabricant, el pin 16 corresponent al GPIO15 estarà sempre a 0 V (LOW), mentre que els pins 17 i 18 corresponents als GPIO0 i GPIO2 estaran a 3,3 V (HIGH) durant l'arrencada i funcionament del dispositiu.

D'altra banda, el fabricant també indica que per tenir el mòdul operatiu els pins 1 i 3 corresponents al CHIP_EN i nRST hauran d'estar sempre a 3,3 V (HIGH) per tal que el mòdul romangui activat. Tanmateix si el pin nRST rep un voltatge de 0 V (LOW) es reiniciarà el microcontrolador.

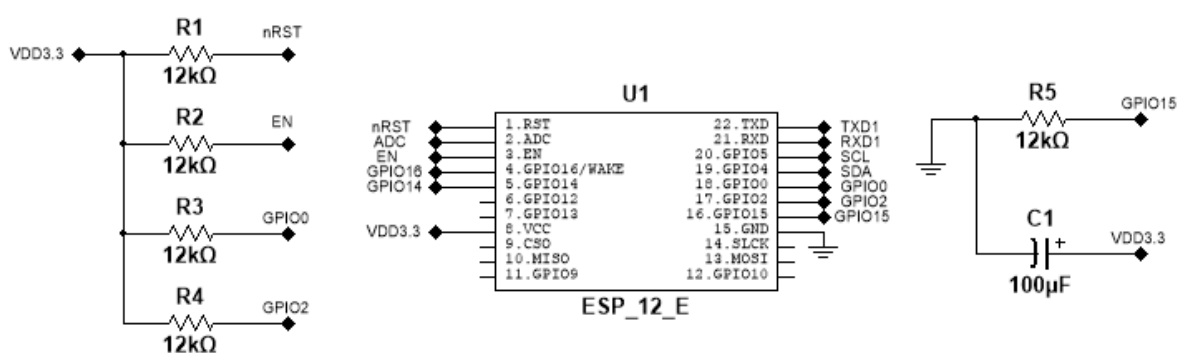


Figura 9: Circuit esquemàtic mode arrencada "Boot normal"

Per carregar el programa des de la UART en la memòria flash, a partir d'una connexió USB s'utilitzarà el mode "UART Bootloader". Aquest mode, el contrari que en el mode d'arrencada "Boot Sketch", el pin GPIO0 ha d'estar en un HIGH. Aquest fet s'aconsegueix per mitjà del circuit auto-programat TTL ("Transistor-Transistor-Logic") que vindrà controlat pel xip CP2102, que s'explicarà en l'apartat 3.3.2, i que es l'encarregat de comunicar el port sèrie USB amb la UART del mòdul ESP-12.

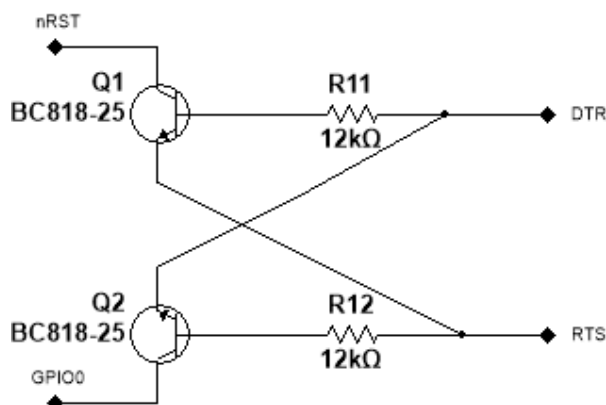


Figura 10: Circuit auto-programat mode arrencada "UART Bootloader"

El circuit de la figura 10 ha estat dissenyat originalment pel fabricant de les plaques de desenvolupament com el NodeMCU i segueix la lògica de la taula 2.

DTR	RTS	nRST	GPIO0
1	1	1	1
0	0	1	1
1	0	0	1
0	1	1	0

Taula 2: Lògica circuit auto-programat

Com ja s'ha explicat anteriorment, perquè el dispositiu entri en el mode "UART Bootloader" ha d'arribar una senyal LOW al pin GPIO0. Aquest fet succeirà, com es pot observar a la taula anterior, a partir de les senyals provinents del xip CP2102, quan arribi senyal de LOW del pin DTR i HIGH del pin RTS.

A més dels modes d'arrencada del dispositiu, es vol configurar el mòdul perquè pugui funcionar en el mode "deep-sleep" amb un temporitzador intern. Aquest és el mode que permet més estalvi d'energia tenint un consum de 20 μ A i deixa el mòdul ESP-12 en suspensió desactivant el WiFi, el rellotge del sistema, la CPU, a més de finalitzar tots els processos actius. Únicament roman en funcionament el rellotge a temps real (RTC), que serà l'encarregat d'enviar una senyal per reiniciar el microprocessador quan finalitzi el temps de suspensió especificat per software.

El senyal de reinici serà causada pel pin GPIO16, a causa d'aquesta premissa, serà necessari una connexió entre els pins 1 i 4 corresponents al GPIO16 i nRST encarregat de reiniciar el mòdul. Aquest fet provoca quan el temporitzador intern finalitzi, s'enviarà un senyal LOW des del GPIO16 al nRST i farà que es reinici de nou el mòdul després del temps especificat en el software. Tanmateix, si es connecta directament els dos pins esmentats, entra en confrontació amb el mode "UART Bootloader" i no permet la càrrega del programa a la memòria flash. Per aquest fet s'ha col·locat un interruptor per desactivar la connexió entre els pins en el moment de càrrega del programa.

Seguidament, s'ha dissenyat el circuit de la figura 11 per reiniciar manualment tant el mòdul com la memòria flash en cas de fallada de dispositiu, s'han instal·lat dos pulsadors els quals curtcircuiten a terra LOW el pin de nRST que provocarà que el microcontrolador es reinici i en el pin GPIO0 que provocarà el reinici de la memòria flash.

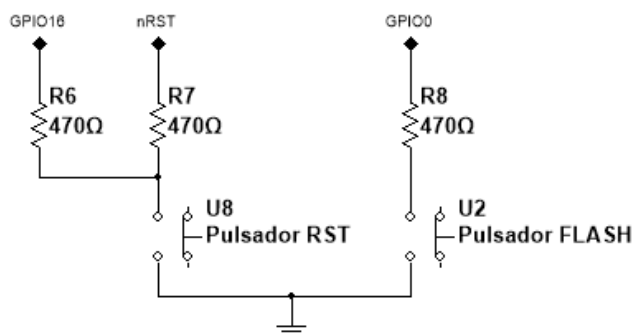


Figura 11: Circuit reinici manual del sistema

El mòdul ESP-12 té un convertidor analògic digital de 10 bits, la qual cosa significa que obtindrà valors de 0 a 1023. El rang de voltatge de l'entrada del pin ADC és de 0 a 1 V. En el present projecte s'utilitzarà aquest pin per fer un seguiment de l'estat de la bateria, com s'explicarà detalladament en l'apartat 3.3.3.

La bateria té un voltatge màxim de 4,2 V en el seu estat de màxima càrrega, per tant, és necessari un divisor de tensió per reduir el voltatge per obtenir un rang de 0 a 1 V per no fer mal bé el mòdul. Aquest està dissenyat amb unes resistències SMD que divideixen el voltatge de rang 0 a 4,2 V fins a un rang de 0 a 0,97 V per utilitzar el màxim al rang del convertidor, a més, el valor de les resistències ha de ser elevat per reduir el corrent d'entrada del convertidor.

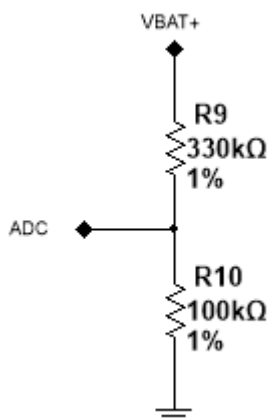


Figura 12: Divisor de tensió ADC

Pel que fa als elements passius dels circuits anomenats anteriorment., les resistències “pull-up” dels pins connectats a l'alimentació s'han escollit de 12 kΩ. D'altra banda, les resistència “pull-down” del pins connectats a massa s'han escollit de 470 Ω. Pel càlcul del divisor de tensió s'ha utilitzat l'equació següent per aconseguir un rang d 0 a 1V.

$$V_{OUT} = \frac{R_{10}}{R_{10} + R_9} \cdot V_{IN} \quad (\text{Eq.5})$$

3.3.2. Port sèrie

Com ja s'ha esmentat anteriorment per carregar el software al mòdul ESP-12 es farà per mitjà del mode d'arrencada "UART Bootloader". Aquest mode carrega el software creat per l'usuari a la memòria flash per mitjà del protocol UART. Aquest és un protocol de comunicació en sèrie asíncron i generalment es troba incorporat al microcontrolador. Per tal d'aconseguir una comunicació des de l'ordinador es farà a partir del Bus Sèrie Universal (USB). Aquest és un bus d'estàndard industrial que defineix els cables, connectors i protocols utilitzats per connectar, comunicar i a vegades, dotar d'alimentació elèctrica els computadors, perifèrics i dispositiu electrònics.

Per aconseguir aquesta comunicació s'utilitzarà un convertidor o pont USB a UART, aquests s'utilitzen per realitzar una connexió en sèrie i enviar dades a través de dos cables entre el computador i el sistema encastat. En concret s'utilitzarà el pont CP2102 fabricat per Silicon Labs, que és un pont USB a UART altament integrat per tal d'ocupar el menor espai en la PCB. El CP2102 inclou un controlador USB 2.0 d'alta velocitat, un transceptor USB, un oscil·lador, una memòria ROM i un bus de dades en sèrie asíncron.

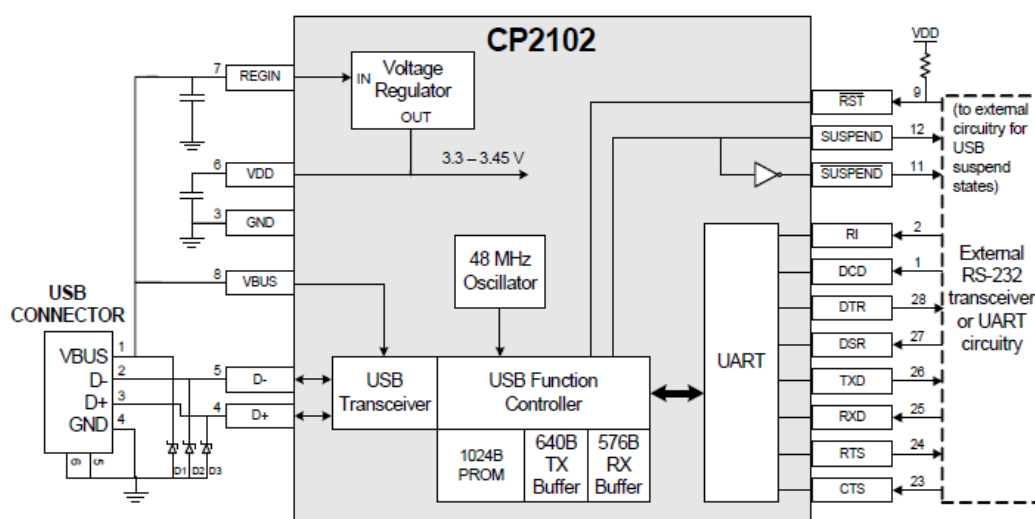


Figura 13: Diagrama blocs CP2102

En el diagrama de blocs de la figura 13 es pot observar un dels components interns del xip a més d'un exemple de connexió del connector del cable USB. En el dispositiu dissenyat s'ha

decidit instal·lar un connector MicroUSB 5B pel seu volum reduït i perquè el mètode de muntatge del component sobre la PCB és SMT amb un empaquetat de 28 pins QFN (5x5 mm).

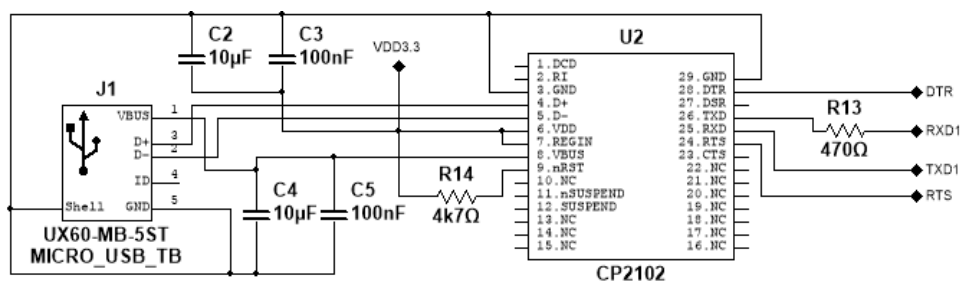


Figura 14: Circuit esquemàtic USB a UART

En la figura 14 es pot observar la connexió del connector MicroUSB al xip CP2102, a més de les sortides DTR, RTS, TXD1 i RXD1 que s'explicaran a continuació. La interfície UART del xip CP2102 consisteix en senyals de dades de transmissió TX i de recepció RX. Aquestes sortides aniran connectades als pins RXD1 i TXD1 respectivament del mòdul ESP-12. Tanmateix, s'utilitzaran els pins de sortida DTR "Data Terminal Ready" i RTS "Ready to Send" per controlar que el nRST en mantingui HIGH i el GPIO0 en LOW habilitant la memòria flash en mode "UART Bootloader". La sortida DTR pot habilitar i deshabilitar la funció de transmissió i recepció, d'altra banda, la sortida RTS pot habilitar i deshabilitar la transferència de blocs de dades individuals.

Com es pot observar hi ha diferències entre la connexió del regulador de voltatge intern del xip entre la figura 13 i 14. Aquest fet és a causa del fet que el sistema encastat dissenyat ha de ser autònom. Per a dispositius amb sistemes autònoms el fabricant indica que VDD i REGIN hauran d'estar connectat a l'alimentació externa de 3,3 V provocant una deshabilitació del regulador de tensió, a més, s'indica que el pin nRST ha d'estar en alt per tal que el xip estigui actiu. Pel que fa a la resistència R1 es una resistència a "pull-up" serveix mantenir el pin en HIGH, la resistència R2 serveix per limitar el corrent que circula entre el TXD del CP2102 i el pin RXD de l'ESP-12. Els condensadors C2, C3, C4, C5 serveixen per filtrar el senyal d'entrada.

3.3.3. Alimentació

El sistema escatat estarà situat dins una carcassa hermètica per evitar la filtració de líquid o humitat que el podria fer malbé, ja que aquest estarà en suspensió sobre el líquid fermentat i

dins d'un fermentador tancat per evitar la possible contaminació des de l'exterior. A causa d'aquest fet, el sistema encastat ha de ser autònom, per tant ha d'estar alimentat per mitjà d'una bateria. Actualment hi ha molts tipus de bateries amb diferents voltatges i mides i característiques. Per aquest projecte serà necessari bateria de mides reduïdes amb un voltatge nominal superior a 3,3 V. Ja que, aquest voltatge és el necessari per alimentar tots els components electrònics del sistema encastat. D'altra banda, la bateria ha de ser capaç d'alimentar el dispositiu durant tot el temps que duri el procés de fermentació. Per aquest fet, a partir del consum total del dispositiu es buscarà el temps de funcionament entre càrregues de la bateria com es pot veure en l'apartat 3.5.

La bateria escollida és una bateria de ió de liti o també anomenada bateria Li-ion, aquesta és un dispositiu electrònic dissenyat per emmagatzemar energia elèctrica, les bateries Li-ion utilitzen com a electròlit una sal de liti que aconseguix els ions necessaris per a la reacció química reversible que té lloc entre ànode i càtode generant energia.

Aquest tipus de bateria destaca per la seva alta densitat elèctrica la qual cosa implica major càrrega amb un volum més reduït, una alta tensió d'una cel·la d'aproximadament de 3,7 V, té un voltatge de descàrrega lineal, una capacitat dintre 500 a 1000 cicles de càrrega i la tensió d'auto descàrrega baixa d'aproximadament un 6% mensual. La bateria escollida concretament és una pila recarregable NCR18650GA de 3,7 V i 3450 mAh amb terminal pla fabricada per Panasonic.

Com ja s'ha explicat en l'apartat 3.3.1 es farà el seguiment de la càrrega de la bateria a partir del convertidor analògic digital incorporat en el mòdul ESP-12, per això és molt important que el voltatge de la càrrega sigui lineal. En la fitxa tècnica de la bateria s'indica que aquesta assolirà un voltatge màxim de 4,2 V en el seu punt de màxima càrrega i fins al punt de descàrrega de 2,75 V en el qual es tallarà el circuit. A més, per tal de millorar la vida útil de la bateria, es controlarà per mitjà software que aquesta no assoleixi mai un nivell de càrrega inferior al 20%, ja que podria malmetre la bateria.

Com tot dispositiu electrònic autònom amb bateria, es necessari un mètode per carregar la bateria des d'una font externa al dispositiu. Per aquest fet s'ha dissenyat un circuit electrònic capaç de carregar la bateria amb seguretat. Aquest circuit s'ha dissenyat a partir del xip integrat TP4056, que és un controlador de càrrega de bateria de Li-ion de baix cost, a més de tenir un mecanisme de càrrega lineal continua i voltatge constant per una bateria d'una sola

cel·la. Aquest xip està disponible amb un empaquetat SOP de 8 pins i requereix un nombre mínim de components externs per construir el circuit complet de càrrega de la bateria.

A la figura 15 es pot observar un esquema elèctric de càrrega de la bateria simplificat proporcionat en la fitxa tècnica del fabricant del xip en el qual està basat el disseny del circuit electrònic final de càrrega de bateria del sistema encastat.

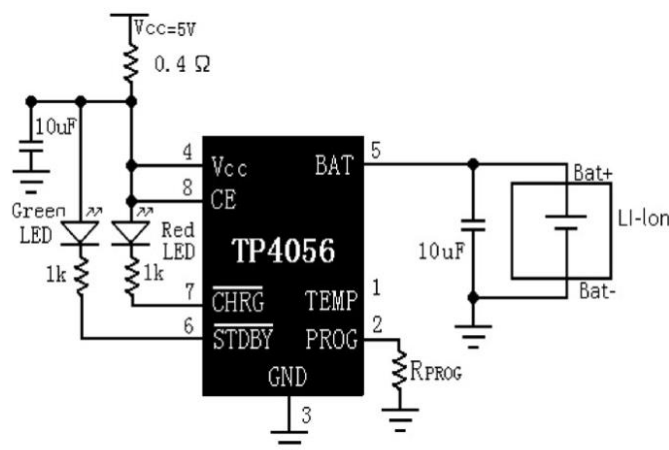


Figura 15: Circuit general carregador bateries Li-ion

El TP4056 no necessita cap díode de bloqueig a causa de l'arquitectura PMOSFET interna, impedit que el circuit de càrrega de corrent sigui negatiu. El voltatge de càrrega es fixa a 4,2 V i el corrent de càrrega es pot programar externament amb una sola resistència. El TP4056 acaba automàticament el cicle de càrrega quan el corrent de càrrega cau a 1/10 del valor programat després d'arribar al voltatge de flotació final de 4,2 V.

L'entrada PROG del xip connectada a la resistència de programació R_{PROG} que es pot observar en l'esquema de la figura 15 serveix per controlar el corrent de carrega de la bateria. Segons la fitxa tècnica de la bateria escollida en el disseny del projecte aquesta pot suportar un corrent de càrrega de 1470 mA per una càrrega estàndard, i fins a 2600 mA per una càrrega ràpida. En aquest projecte no s'ha tingut en compte el temps de càrrega de la bateria, ja que no és imprescindible una càrrega ràpida de la bateria. Per aquest fet, s'ha escollit un mètode de càrrega estàndard i amb l'equació 6 proporcionada pel fabricant s'ha buscat quin ha de ser al valor de la resistència R_{PROG} .

$$I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} \cdot 1200 \quad (\text{Eq.6})$$

On I_{BAT} és la intensitat de càrrega en aquest cas 1450 mA, la tensió de V_{PROG} és 1 V, donant com a resultat una resistència de 0,92 k Ω . S'ha escollit un R_{PROG} de 1 K Ω , fet que ens marca una intensitat de càrrega de la bateria de 1200 mA. Per aquesta intensitat de càrrega la bateria estarà carregada aproximadament en 3 hores.

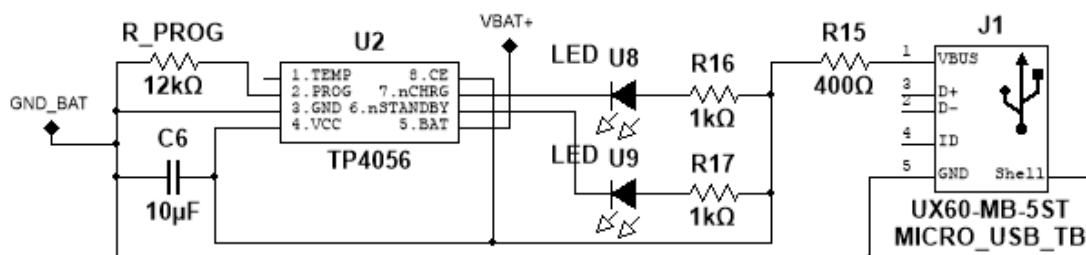


Figura 16: Circuit esquemàtic TP4056

El pin CE és un pin d'entrada que habilita el xip en funcionament o el deshabilita. Quan li arriba tensió el xip entra en mode normal. D'altra banda, si no té tensió, aquest es desactiva. Pel que fa als pin nSTDBY i nCHRG hi van connectats dos LEDs que indicaran l'estat de la bateria durant el procés de càrrega. Concretament el LED connectat a nCHRG estarà encès mentre la bateria no estigui carregada completament i s'apagarà quan la bateria estigui carregada, tanmateix el LED connectat al pin nSTDBY només estarà actiu un cop la bateria estigui carregada completament.

A més, del xip TP4056 s'ha col·locat un xip de protecció per la bateria, concretament el xip DW01A, aquest és un dispositiu de protecció per una bateria de ions de liti d'una sola cel·la i protegeix la cel·la d'una càrrega excessiva o insuficient, una connexió inversa de la bateria i de curtcircuit.

En el diagrama de blocs de la següent figura extret de la fitxa tècnica es pot treure una idea bàsica de les funcionalitats del xip DW01A, a més també indica que el xip necessita un FET doble extern per controlar la línia de terra de la bateria.

Amb aquest FET el que s'aconsegueix és desconnectar la línia de terra de la bateria en condicions de fallada com poden ser un curtcircuit, una sobre-càrrega o una sobre-descàrrega. A més té un corrent d'espera baix de 3 uA quan està inactiu, la qual cosa el fa atractiu pensant en el consum mentre no està en càrrega.

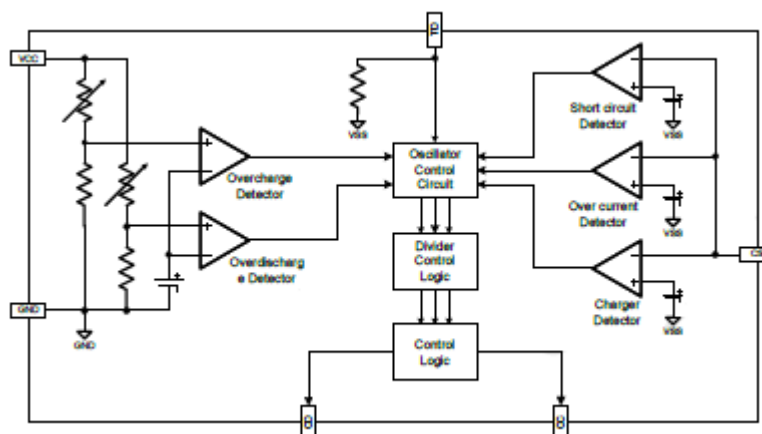


Figura 17: Diagrama esquemàtic DW01A

Com es pot veure en el diagrama de blocs de la figura 17 el pin CS serveix com a detector de diferents falles a partir del detector de curtcircuits, el detector de sobrecorrent i el detector de carregador. Aquest pin ha d'estar connectat al terminal negatiu del carregador a través de la resistència R19 de 1kΩ.

Els pins VCC i GND estan connectats a la bateria i es podrà detectar una sobre càrrega, si el voltatge de la bateria es massa alt, i una sobre descàrrega, si el voltatge de la bateria és massa baix. Pel que fa a la protecció ve proporcionada mitjançant els dos pins de control OD “overdischarge” i OC “overcharge”. Aquests dos pins de control han d'estar connectats a les portes de dos MOSFET que seran els encarregats d'aturar el flux de la bateria en cas de succeir algun problema.

La fitxa tècnica del DW01A estableix que el límit de corrent per a la detecció de sobrecorrent vindrà determinat per la resistència d'encesa $R_{DS(on)}$ dels MOSFET de control de càrrega i descarrega. El valor exacte del corrent de curtcircuit vindrà determinat per la resistència d'encesa. Per aquest fet s'ha buscat un MOSFET dual de canal N amb una resistència per tal que el corrent de 2,6 A que és el corrent que pot suportar la bateria durant la càrrega.

El límit de tensió que limita el corrent ve detectat pel comparador que quan el voltatge en el pin CS arriba a 150 mV, aquest voltatge s'assolirà quan la caiguda de tensió provocada pels dos MOSFET encesos arribi a 150 mV. A partir, d'aquesta premissa s'ha buscat quina ha de ser la resistència $R_{DS(on)}$ a partir de l'equació següent.

$$I_{OC} = \frac{V_{PROG}}{2 \cdot R_{DS(on)}} \quad (\text{Eq.7})$$

A partir de l'equació 7, s'ha determinat que la resistència dels MOSFET canal N ha de ser d'aproximadament 28 m Ω . Concretament, s'ha escollit un xip SSF8205A amb dos MOSFET canal N amb una $R_{DS(ON)}$ de 27,5 m Ω per una tensió 4,5 V i de 37,5 m Ω per una tensió de 2,5 V. El corrent de sobre-càrrega de 2,7 A i de sobre-descàrrega de 2 A.

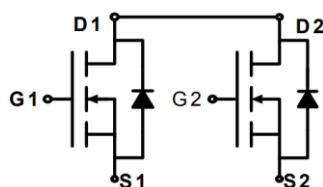


Figura 18: Diagrama esquemàtic SSF8205A

Així doncs, el circuit esquemàtic de protecció de la bateria queda de la forma que es pot veure en la figura 19.

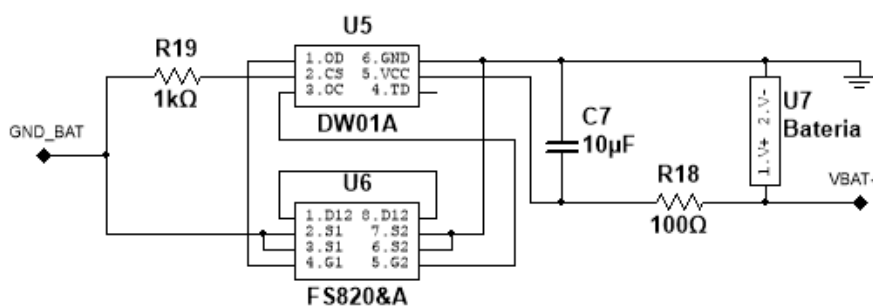


Figura 19: Circuit esquemàtic de protecció de la bateria

A continuació, s'ha tingut en compte que la tensió d'alimentació de tots els xips que formen part del sistema encastat serà de 3,3 V. Com que la bateria proporciona una tensió entre 4,2 V i 2,7 V, s'ha instal·lat un regulador lineal de voltatge o altrament anomenat regulador de baixa caiguda LDO. Concretament s'ha escollit el regulador MCP1700. Aquest és de la família dels reguladors de voltatge de baixa caiguda LDO i pot entregar fins a 250 mA de corrent i, a més, té un corrent de repòs de 1,6 μ A. Aquest pot proporcionar una tensió de sortida 3,3 V i un corrent de 250 mA, òptim per alimentar tot el circuit del sistema encastat.

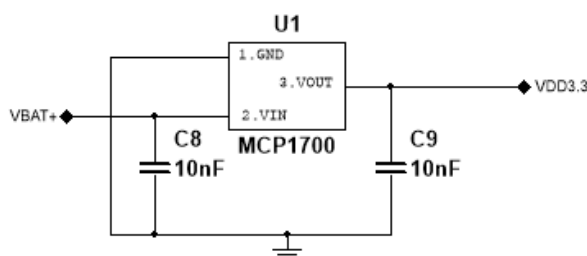


Figura 20: Circuit esquemàtic regulador de voltatge

Per acabar i abans d'entrar en l'explicació dels sensors, per raons constructives del dispositiu s'ha decidit separar en dos PCB el circuit total del dispositiu. A la primera s'hi allotjaran tots els components necessaris per el funcionament del sistema encastat explicats anteriorment i a la segona s'hi allotjaran els sensors.

S'ha volgut que la PCB dels sensors només estiguin alimentats quan el mòdul ESP-12 estigui actiu per qüestions de consum. Per aquest fet l'alimentació de la PCB dels sensor vindrà donada per un transistor BJT de tipus PNP, concretament el MS8050, funcionant com a commutador utilitzant la zona de tall i zona de saturació del transistor.

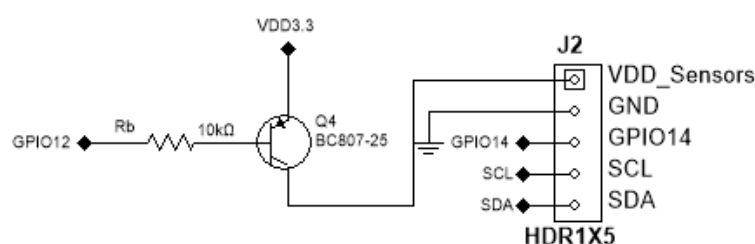


Figura 21: Circuit esquemàtic alimentació PCB sensors

La resistència R_b serveix per regular el corrent que circularà pel transistor, ja que el corrent que travessa el col·lector I_c és proporcional a la intensitat de base I_b , i aquesta proporcionalitat ve marcada pel factor h_{FE} . Segons els consums marcats en les fitxes tècniques del sensor de temperatura i el de l'acceleròmetre, que és de 5 mA i sabent que s'alimenten a 3,3 V, aplicant la llei d'ohm s'ha trobat una resistència de càrrega $R_{càrrega}$ de 660 Ω . Per calcular el corrent de col·lector s'ha utilitzat l'equació següent:

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{R_{càrrega}} = \frac{3,3 - 0,5}{660} = 0,0042 \text{ A} \quad (\text{Eq.8})$$

La intensitat necessària a la base és la intensitat del col·lector reduïda per el factor h_{FE} , que s'ha extret de la taula $h_{FE}-I_c$.

$$I_B = \frac{I_c}{h_{FE}} = \frac{0,0042}{170} = 25 \text{ uA} \quad (\text{Eq.9})$$

Seguidament, partir de l'equació següent es troba la el valor llindar de la resistència R_b per tal que el transistor entri en saturació, per tant aquesta haurà de tenir un valor inferior al trobat.

$$R_b = \frac{V_{in} - V_{be}}{I_b} = \frac{3,3 - 1,2}{25\mu} = 84 \text{ k}\Omega \quad (\text{Eq.10})$$

Com que el mòdul ESP-12 pot proporcionar fins a 6mA s'ha calculat la resistència Rb i aquesta no pot ser inferior a 350 Ω. La resistència Rb tindrà un valor de 10 kΩ, així s'assegura la saturació del transistor en l'activació del pin GPIO12 en HIGH. Això es farà per mitjà de software i s'explicarà més endavant.

3.3.4. Sensor Temperatura

Com ja s'ha esmentat anteriorment serà necessària la monitorització de la temperatura durant el procés de fermentació per fer les correccions oportunes a la densitat calculada a partir de l'acceleròmetre. En concret, s'ha escollit el sensor DS18B20. Aquest és un sensor de temperatura fabricat per l'empresa Maxim Integred i proporciona una sortida mitjançant un bus de comunicació digital que pot ser llegida per una entrada digital del mòdul ESP-12.

El sensor DS18B20 és un sensor que té la capacitat de mesurar temperatures dins d'un rang de compres entre -55 ° a 125°C i una precisió de ±0,5 °C per un rang de -10 °C a 85 °C, la qual cosa el fa ideal per el rang de temperatures que s'han de mesurar durant el procés de fermentació.

El principal avantatge d'aquest sensor és que només necessita un únic conductor per la comunicació. Aquest mètode de comunicació s'anomena "1-Wire" i permet realitzar transmissió de dades utilitzant només un cable de dades. Està basat en un complex sistema de temps en la senyal entre els dispositiu emissor i el dispositiu receptor. Tanmateix, el principal inconvenient és que el sistema "1-Wire" necessita un complex codi que suposa una alta càrrega per el processador alhora de consultar l'estat del sensor.

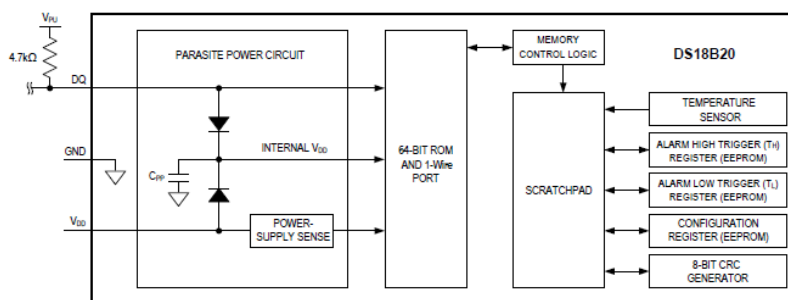


Figura 22: Diagrama esquemàtic DS18B20

A la figura 22 es pot observar la complexitat interna que té el sensor. Primerament, la fitxa tècnica ens indica que aquest pot estar alimentat per dos modes diferents, a través del mode paràsit, que és mode utilitzat en el present projecte i en el qual s'alimenta el sensor a través del bus de dades, per això s'observa el condensador que emmagatzema l'energia mentre el bus de dades està en HIGH. D'altra banda, el mode normal en què s'alimenta mitjançant una línia addicional de tensió d'entre 3,0 a 5 V.

Aquest sensor també té una memòria ROM que és guardada de fàbrica amb un número de 64 bits per diferenciar els sensor, ja que el bus "1-Wire" permet connectar múltiples sensors en un sol bus de dades.

A més, el sensor disposa d'una resolució configurable per software de 9,10,11, o 12 bits, essent 12 bits per defecte. Això equival a una resolució en la temperatura de 0,5 °C, 0,25 °C, 0,125 °C o 0,0625 °C respectivament. Aquest fet no significa que aquesta sigui la precisió. No obstant això, el DS18B20 es considerablement precís pel rang de temperatures a mesurar, com es pot observar a la gràfica de la figura 1 de la fitxa tècnica del sensor.

Pel que fa a l'empaquetament del sensor aquest disposa de diverses opcions, en concret s'utilitzarà un TO-92, ja que serà necessari que la carcassa del sensor estigui en contacte amb la carcassa del dispositiu. Aquest sensor té un consum de 1 mA mentre està actiu i de 750 nA mentre està en stand-by.

En la fitxa tècnica del sensor s'indica que per qualsevol mètode d'alimentació, ja sigui mode paràsit o mode normal, si s'utilitza el mètode de comunicació "1-Wire" serà necessari una resistència pull-up de 4k7 Ω entre VDD3.3 i DQ del sensor. Els dos pins restants dels sensors GND i VDD aniran connectats a terra. El circuit del sensor quedarà de la forma mostrada en la figura 23.

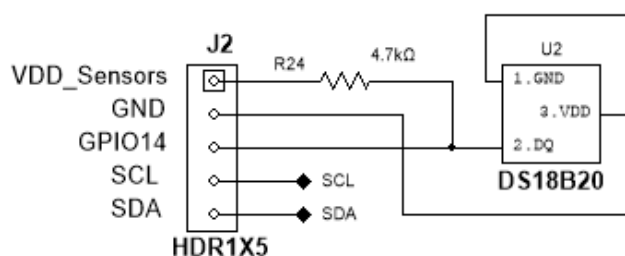


Figura 23: Circuit esquemàtic DS18B20

3.3.5. Acceleròmetre

En el capítol 2 s'ha explicat que per fer el seguiment de la densitat s'ha utilitzat el principi de la flotabilitat i de l'angle que formarà el dispositiu respecte l'horitzontal. Per tal de trobar aquest angle s'utilitzarà una unitat de medicio inercial IMU, que és el nom genèric per determinar a un dispositiu capaç de mesurar la velocitat, orientació i acceleració d'un sistema.

Per trobar la inclinació del dispositiu es farà a partir de l'acceleròmetre intern en una IMU. L'acceleròmetre com indica el nom és un dispositiu per mesurar l'acceleració a la que està sotmès. Els acceleròmetres disponibles, normalment són de 3 eixos i són capaços de mesurar l'acceleració a la que esta sotmès el sensor en X, Y, i Z independentment, la qual cosa permet saber simultàniament la magnitud i la direcció de l'acceleració mesurada.

A més, el sensor estarà sotmès constantment a la gravetat terrestre que és d'aproximadament $9,81 \text{ m/s}^2$ a les superfícies de la terra i serà enregistrada constantment pel sensor. A partir d'aquesta mesura de la gravetat es determinarà la inclinació del sensor. Fet que es pot registrar l'acceleració en tres eixos, en absència d'altres acceleracions, es pot determinar la inclinació de cada eix a partir de trigonometria.

Si el sensor està posat en horitzontal en el seu pla 2D X-Y, amb l'eix Z apuntant amunt, i únicament es gira l'eix Y, com es veu a la figura 24 es pot extreure l'angle d'inclinació a partir de l'equació 10.

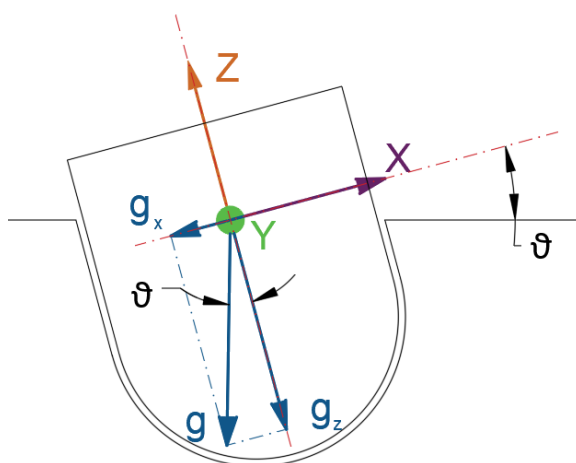


Figura 24: Esquema forces implicades en l'acceleròmetre

A partir d'aquest esquema s'ha desenvolupat l'equació següent per trobar l'angle ϑ .

$$\vartheta = \arctan \cdot \frac{A_X}{A_Y} \tag{Eq.11}$$

De la mateixa manera que en el pla 2D, en el cas de buscar els angles de cada eix en 3D, s'utilitzaran les formules següents. En concret només interessen els angles amb l'horitzontal de l'eix X i Y.

$$\vartheta_X = \arctan \cdot \frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}} \tag{Eq.12}$$

$$\vartheta_Y = \arctan \cdot \frac{A_Y}{\sqrt{A_X^2 + A_Z^2}} \tag{Eq.13}$$

Així doncs, a l'utilitzar un acceleròmetre de tres eixos es faran servir les equacions següents per trobar l'angle d'inclinació. Amb aquest angle d'inclinació es farà la conversió a densitat a partir dels resultats de l'estudi de flotabilitat del dispositiu en funció de diferents densitats relatives que es pot veure en l'apartat 3.6.

Concretament, s'utilitzarà el sensor MPU-6050. Aquest és un xip fabricat per la companyia Invensense que combina un acceleròmetre de tres eixos i un giroscopi de tres eixos amb un processador de moviment digital integrat. També inclou un sensor de temperatura i un oscil·lador en el mateix xip. Aquest xip es pot comunicar amb el mòdul ESP-12 per mitjà el protocols SPI o I2C.

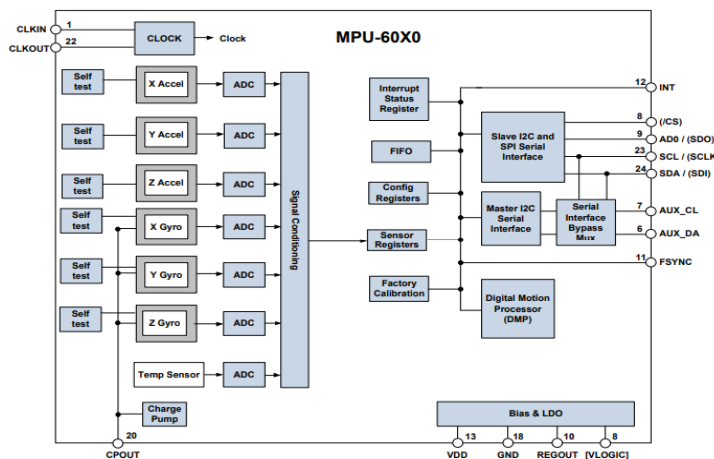


Figura 25: Diagrama blocs MPU-60X0

En el diagrama de la figura anterior es poden observar les diferents funcionalitats del sensor MPU-6050. En concret, en aquest projecte s'utilitzaran l'acceleròmetre i el protocol de connexió I²C per la comunicació entre el aquest xip i el mòdul ESP-12. El protocol de comunicació I²C necessita dos cables de comunicació SDA i SCL. El cable SDA és la línia de dades en sèrie que s'utilitza per l'intercanvi de dades entre els dispositius i SCL és una senyal de rellotge síncron que marca el temps de lectura de les dades.

La tensió d'alimentació del xip és de baixa tensió d'entre 2,4 i 3,6 V, amb un consum de 3,5 mA quan tots els sensors i el DMP estan activats.

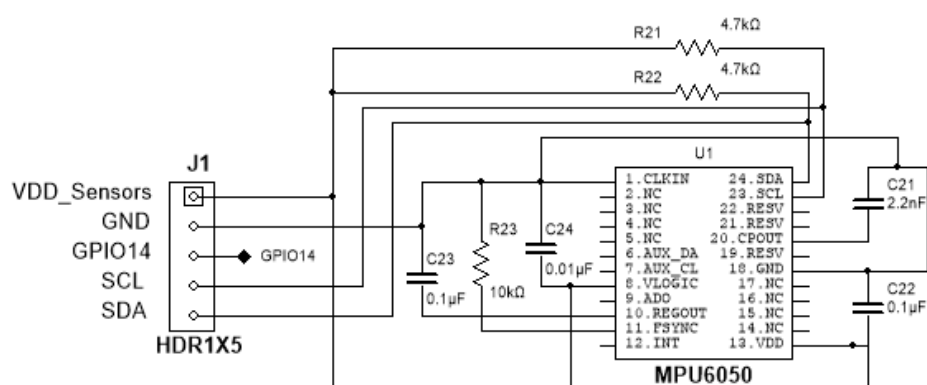


Figura 26: Circuit esquemàtic acceleròmetre

Com es pot observar a la figura anterior, els pins SCL i SDA estan connectades a dues resistències “pull-up” de 4k7 Ω que mantenen els pins en HIGH. A més, augmenta la immunitat al soroll. Aquets pins també estan directament contactats als pins GPIO4 i GPIO5 del mòdul ESP-12. Pel que fa als condensadors venen marcats pel fabricant del xip essent, el C21 un condensador de bomba de càrrega i els condensadors C22, C23, C24 condensadors bypass que serveixen per filtrar la senyal d'entrada. La resistència R23 és una resistència “pull-down” i manté en DOWN el pin FSYNC.

3.3.6. PCB

Després de finalitzar el disseny dels circuits esquemàtics per separat, cal seleccionar tots els components i realitzar les connexions entre ells, aquest s'ha fet per mitjà del programa informàtic Multisim. Un cop dissenyat el circuit esquemàtic conjunt com es pot observar en el plànol n^o6 del document de plànols, es pot iniciar el procés de disseny de la placa de circuit imprès on es decidirà la forma que tindrà la placa, la quantitat de capes de coure disponibles i la disposició dels components, per aquest disseny s'ha utilitzat el programa Ultiboard.

D'aquesta manera, es pretén optimitzar el disseny de la placa per simplificar la connexió d'acord amb l'esquemàtic plantejat prèviament.

En primer lloc, se separaran els circuits dissenyats en dos PCB diferents, a la PCB principal s'hi allotjarà el circuit del mòdul ESP-12, el circuit del port sèrie i l'alimentació de tot el dispositiu. D'altra banda, a la PCB secundària s'hi allotjarà els circuits sensor de temperatura i de l'acceleròmetre i vindrà alimentada des de la PCB principal. S'ha decidit desglossar el circuit complet del sistema encastat per motius constructius del dispositiu els qual s'explicaran en el següent apartat.

Seguidament, s'ha assignat a cada símbol una petja o "footprint", la distribució de les superfícies de coure o "pads" que permeten soldar els components electrònics al circuit imprès. A la llibreria de "footprints" de Multisim s'inclou una gran quantitat d'empremtes estàndard a més d'altres més específiques. Per a aquells símbols o components dels quals no s'ha trobat la petja corresponent, s'ha de crear des de l'editor de petjades del programa o s'han importat des de bases de dades d'internet, de manera similar als símbols.

A continuació, s'ha determinat la disposició dels components sobre les PCB a fi d'aconseguir una distribució eficient. D'aquesta manera es reduirà la longitud de les pistes, a més, s'ubicarà la quantitat més gran de components possible a la capa superior.

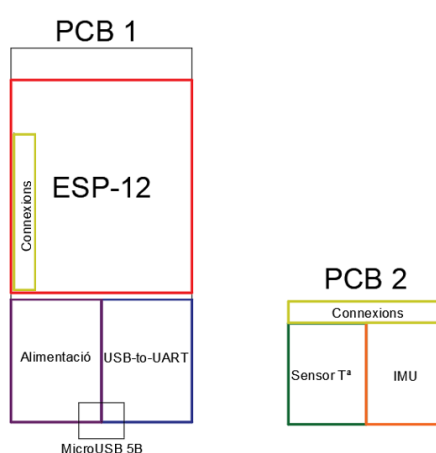


Figura 27: Croquis previ disseny PCB

A la figura anterior es mostra un croquis sobre l'estratègia portada a terme en la distribució dels components de la placa. D'aquesta manera s'aconsegueix un còmode accés als pins de connexió entre les dues PCB. També es redueix el recorregut des del sistema de càrrega de la bateria i es manté la major distància amb el pont USB a UART del mòdul ESP-12 per les

possibles interferències electromagnètiques. El porta-piles serà situat a la part posterior de la PCB principal i és el component que marca la mida que tindrà aquesta, ja que és el component més gran del dispositiu.

Abans de començar amb el disseny final de les PCB, s'ha calculat l'amplada de les pistes de la part d'alimentació i la part de la part control per separat a partir de l'equació següent.

$$\text{Ampla de pista [mils]} = \frac{\left(\frac{I}{K_1 \cdot \Delta T^{K_2}}\right)^{1/K_3}}{\text{Gruix} \cdot 1,378} \quad (\text{Eq.14})$$

On, K_1 , K_2 i K_3 són constants que depenen de la posició de les pistes de coure. En aquest cas, al tractar-se de pistes de coure internes el valor serà $K_1 = 0,0150$, $K_2 = 0,5453$, $K_3 = 0,7349$. Com s'ha comentat anteriorment, en l'alimentació tindrà una carrega de 1,2 A, per tant aquest serà el corrent que s'utilitzarà per al càlcul, a més, es tindrà en compte un diferencial de temperatures de 15°C i un gruix de la pista de 1 Oz/ft² que equival a 35 micres.

A partir de les dades anteriors s'ha obtingut un resultat de 37,81 mils que equival a 0,84 mm, per tant per la part d'alimentació es faran servir pistes d'1 mm i per la part de control i transmissió de dades el resultat es de 11,48 mils equivalent a 0,29 mm, per tant s'ha escollit una amplada de pistes de 0,5 mm.

Els forats necessaris per fer la connexió d'alguns components seran necessaris varis forats en les dos plaques, aquets "pads" estan identificats en els plànols de les PCB i variaran el seu diàmetre depenent de la mida de les patilles del component. Aquets tindran una mida de 0,8 mm amb l'excepció dels pins de connexió entre plaques que necessitaran uns furats de 1 mm.

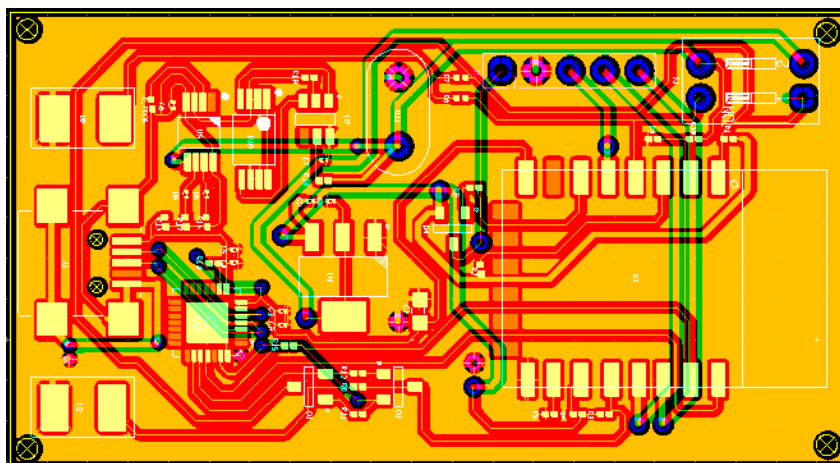


Figura 28: Plànol pistes PCB principal

A la figura anterior es pot observar com ha estat distribuït el disseny de la PCB principal, en aquesta s'ha distribuït les pistes en dos cares amb la mida de pistes comentades anteriorment. Els forats que es poden veure en les cantonades de la PCB són els forats necessaris per fixar la placa al porta piles. Aquesta anirà col·locada de forma vertical collada per mitja de cargols de plàstic amb l'antena del mòdul apuntant amunt. A la següent imatge es pot observar una imatge 3D de quina seria l'aparença de la PCB principal.

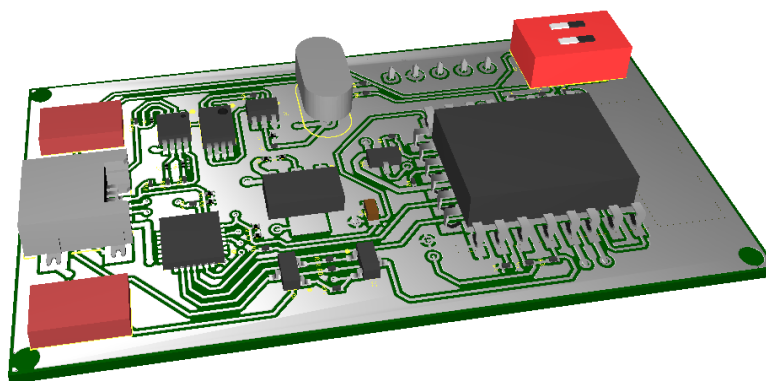


Figura 29: Imatge 3D PCB principal

Pel que fa la PCB dels sensors s'ha dissenyat només amb una cara de coure, aquesta anirà connectada a la PCB principal per mitja d'uns connectors HDR els quals aniran connectats als mateixos pins de la PCB principal per mitja de cables amb una secció de $0,5 \text{ mm}^2$. Les pistes de la placa dels sensors seran de $0,5 \text{ mm}$, ja que en aquesta no hi circularà poc corrent, concretament 5 mA . Pel que fa els forats de connexió dels components tindran el diàmetre de 1 mm .

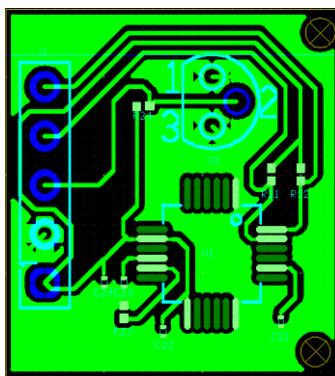


Figura 30: Plànol pistes PCB sensors

Aquesta placa anirà situada sota el porta piles i anirà collada per mitja de dos cargols de plàstic situats en el forats mercats en el plànol. Aquesta haurà d'estar col·locada de forma horitzontal per obtenir les mesures correctes d'acceleracions, a més pel que fa el sensor de temperatura estarà col·locat tocant la carcassa del dispositiu per tal de tenir lectures més exactes de la temperatura del fluid. Per acabar la figura següent es pot observar quina l'aparença de la placa a partir d'una imatge 3D generada pel mateix programa de disseny de PCBs.

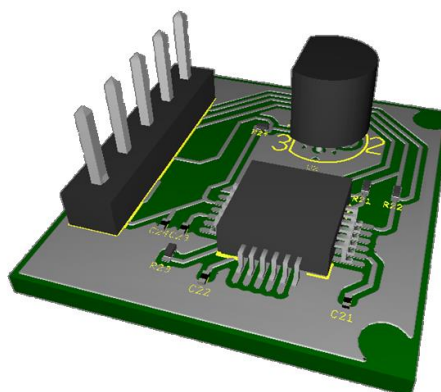


Figura 31: Imatge 3D PCB sensors

3.4. Disseny software

Com ja s'ha comentat anteriorment el mòdul ESP-12 té varis mètodes de programació, en aquest projecte s'ha decidit escollir utilitzar l'entorn d'Arduino i totes les eines que van enllaçades com l'IDE, llibreries i documentació per programar el software del sistema encastat.

3.4.1. Arduino IDE

Arduino IDE és un entorn de desenvolupament integrat el qual utilitza una multiplataforma per diversos sistemes operatius com Windows, OS, i Linux i que està escrita amb llenguatge Java. Aquest entorn s'utilitza per escriure i carregar programes en plaques compatibles amb Arduino, però també, es pot utilitzar amb SoC desenvolupades per tercers com l'ESP8266. El codi font de l'IDE es publica sota llicència pública general GNU i admet llenguatges C i C++ utilitzant unes regles especials d'estructuració de codi.

Per dur a terme la programació del sistema encastat s'ha instal·lat l'última versió de l'IDE s'ha de configurar per tal de poder programar l'ESP8266, per tant s'ha descarregat el paquet de gestor de targetes del propi IDE. Concretament s'ha utilitzat el següent URL proporcionat per Arduino, http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266.com_index.json.

Un cop instal·lat el paquet des de l'URL ja es pot començar amb la programació del dispositiu, ja que aquest ja reconeixerà el microcontrolador ESP8266 i ens permetrà la comunicació.

3.4.2. Estructura programa

Abans de començar amb el disseny del codi s'ha creat una estructura la qual es farà servir de referència.

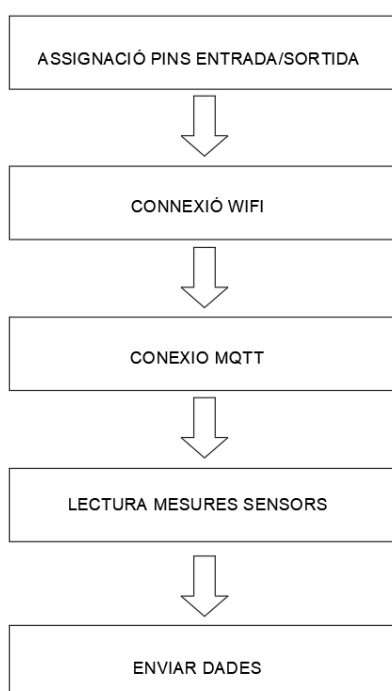


Figura 32: Estructura del codi

Primer de tot s'assignen les entrades segons el mode, seguidament es connecta la comunicació WiFi, un cop connectada la WiFi, és connectarà amb el broker MQTT, si la connexió es satisfactòria, es faran les lectures de les mesures dels sensors, i després de fer els càlculs oportuns, s'enviaran els resultats. Un cop passat el temps estipulat el dispositiu es posarà a dormir per estalviar energia.

Pins mòdul ESP-12	Variable Arduino	Analògica/Digital	Entrada/sortida	Component
GPIO5	SCL	Digital	Entrada	Acceleròmetre
GPIO4	SDA	Digital	Entrada	Acceleròmetre
GPIO12	ActivaSen	Digital	Sortida	Transistor alimentació sensors
GPIO14	Temp	Digital	Entrada	Termòmetre digital
ADC	EstatBat	Analògica	Entrada	Bateria

Figura 33: Entrades i sortides utilitzades en el codi

Les entrades i sortides que s'utilitzaran el codi del present projecte són les especificades en la taula anterior.

3.4.3. Connexió a la xarxa WiFi

La connexió WiFi és la base de la comunicació entre els dispositius, però abans de començar amb el disseny del codi, s'han buscat quines són els diferents mètodes de connexió. En concret l'ESP8266 pot treballar en dos modes diferents, el mode estació STA i el punt d'accés AP. En resum, el mode AP permet crear la seva pròpia xarxa i fer que altres dispositius es connectin a ella i el mode STA permet que el ESP8266 es connecti a una xarxa WiFi ja existent.

Un cop explicat el principi general dels modes de connexió WiFi, en el present projecte s'ha optat per utilitzar els dos. Primerament el dispositiu s'intentarà connectar en mode estació a una xarxa prèviament guardada, si el sistema encastat no pot connectar a cap xarxa, llavors és crea una punt d'accés per tal de connectar-se a través d'un dispositiu extern i assignar un SSID i contrasenya.

Per tal d'aconseguir s'ha utilitzat la llibreria `ESP_WifiManager`, aquesta es una llibreria de codi lliure que permet connectar l'ESP8266 a diferents punts d'accés AP sense haver de codificar ni carregar un nou codi al mòdul. Aquesta llibreria necessita altres llibreries per a funcionar correctament, aquestes són `ESP8266WiFi.h`, `DNSServer.h` i `ESP8266WebServer.h` i són llibreries ja descarregades durant la instal·lació del paquet d'instal·lació del xip.

El mòdul ESP es connectarà automàticament a una xarxa coneguda o configurarà un punt d'accés en el qual es podran configurar les credencials de la xarxa. Concretament quan el mòdul s'activa, es configura en mode d'estació i intenta connectar-se a un punt d'accés prèviament guardat, a partir d'una combinació coneguda de SSID i contrasenya, si aquest procés falla, configura l'ESP en mode de punt d'accés i activa un DNS i un servidor web amb una IP estàtica predeterminada de 192.168.100.1. Amb mode AP qualsevol dispositiu habilitat per connectar-se a una xarxa WiFi i un navegador ordinador, telèfon, tauleta, es pot connectar al punt d'accés acabat de crear amb el nom de DesnimetreE.

Per connectar-se amb l'ESP primer de tot s'haurà d'introduir una contrasenya de protecció del punt d'accés. El nom del punt d'accés creat és Densímetre més la ID del xip, pel que fa a la contrasenya d'accés es la paraula Clau més la ID del xip. Un cop connectat el dispositiu, s'obrirà un portal captiu com mostra a la figura següent.

Name	Value
ID xip	715319
ID xip Flash	1640ef
Mida IDE Flash	4194304 bytes
Mida real Flash	4194304 bytes
IP Punt d'Accés	192.168.100.1
MAC Punt d'Accés	CE:50:E3:71:53:19
SSID	
IP Estació	(IP unset)
MAC Estació	CC:50:E3:71:53:19

Figura 34: Portal captiu

Dins la pàgina principal del portal es pot escollir entre tres opcions, si es pressiona el botó de xarxes WiFi, s'escanejaran les xarxes WiFi existents i permetrà escollir-ne una, s'haurà d'introduir la clau i seguidament es pressionarà el botó de guardar. Un cop triats SSID i la clau, l'ESP es reiniciarà i intentarà connectar-se de nou. En cas que el procés no es finalitza amb èxit, el mòdul es tornaria a configurar com a punt d'accés. Per acabar a la tercera pantalla es pot observar la informació del dispositiu.

```
Començant connexió amb ESP8266_GENERIC
[WM] RFC925 Hostname = DensimetreE
[WM] La configuracio anterior no es valida
[WM] setAPStaticIPConfig
[WM] setSTAStaticIPConfig for USE_CONFIGURABLE_DNS
S'ha guardat: SSID = , Clau =
No hi ha credencials guardades.
[WM]
DensimetreE esta utilitzant SSID/Clau guardats previament
[WM] No hi ha credencials guardades
[WM] Connectat despres d'esperar (s) : 0.00
[WM] IP local = (IP unset)
[WM] Resultats connexio: WL_DISCONNECTED
[WM] El WiFi espera que el resultat de connexio estigui fet
[WM] SET AP
[WM]
Configurant AP SSID = DensimetreE_715319_AP
[WM] AP CLAU = Clau_715319
[WM] Canal AP = 1
[WM] AP IP/GW/Subnet personalitzada =
[WM] 192.168.100.1 192.168.100.1 255.255.255.0
[WM] AP adreca IP = 192.168.100.1
[WM] S'ha iniciat el servidor HTTP
[WM] ESP_WiFiManager::startConfigPortal : Enterant al loop
[WM] Connectant a un nou AP
[WM] La configuracio anterior no es valida
[WM] IP/GW/Subnet STA personalitzada
[WM] configuracio DNS1 i DNS2
[WM] setWifiStaticIP IP = 192.168.2.186
[WM] Connectant al WiFi nova mitjansant parametres IP nous
[WM] Connectat despres d'esperar (s) : 3.19
[WM] IP local = 192.168.2.186
[WM] Resultats connexio: WL_CONNECTED
WiFi connectat
[WM] Alliberant els parametres assignats!
```

Figura 35: Resposta dispositiu per monitor sèrie durant connexió WiFi

En la figura 35 es mostra la resposta del dispositiu pel monitor sèrie mentre dura el procés de connexió a la xarxa. A primera instància el dispositiu intenta connectar-se a una xarxa en mode estació (STA), però com no en té cap de guardada, es configura un punt d'accés (AP) amb SSID i contrasenya. Un cop s'ha introduït la clau, es va la IP estàtica estipulada 192.168.100.1 on es troba localitzat el portal captiu de la figura 34. Un cop introduïda la xarxa i la contrasenya de la WiFi, el dispositiu es reinicia i intenta connectar-se de nou a mode STA amb el SSID i contrasenya prèviament guardada. S'ha configurat un temps d'espera de 60 segons per connectar-se a la xarxa, passat aquest temps es tornarà a connectar en mode AP per tal de tornar a introduir les credencials. Si l'ESP s'ha connectat correctament se li assigna una DNS i IP estàtica, 192.168.2.186.

3.4.4. Connexió servidor MQTT

Un dels avantatges a l'hora de programar amb l'IDE d'Arduino es que hi ha moltes llibreries que fan la programació més fàcil. Per fer la comunicació amb el servidor MQTT allotjat a la Raspberry Pi s'ha utilitzat la llibreria PubSubClient.h, amb aquesta llibreria el que fa és bàsicament és que el mòdul ESP es comporti com a client MQTT, és a dir, es poden publicar missatges i subscriure's a un tòpic o rebre diversos missatges.

Per connectar-se al servidor o Broker MQTT instal·lat a la Raspberry Pi el primer que ha de succeir és que la connexió WiFi del sistema encastat i la Raspberry Pi sigui la mateixa. Un cop connectada la WiFi el mòdul ESP s'intentarà connectar al servidor a partir de l'adreça IP de la Raspberry Pi i la WiFi connectada.

Un cop enllaçat els dos dispositius ja es pot realitzar la comunicació a partir dels tòpics explicats en l'apartat 4.2. Els tòpics utilitzats en el present projecte són de dos tipus, pel que fa a el tòpic densímetre/calibratge s'encarregarà de controlar el programa de calibratge per tant el dispositiu haurà d'estar subscrit i escoltar els missatges que arribin amb aquest tòpic. Si aquest arriba amb un valor d'1 s'executarà el codi que calibratge del dispositiu.

D'altra banda, el sistema encastat haurà d'enviar les mesures de densitat, temperatura i nivell de bateria, per tant, el dispositiu haurà de publicar el valor de la temperatura, densitat i bateria. Tanmateix, la Raspberry Pi publicarà els missatges de calibratge i se subscriurà al tòpic publicats pel sistema encastat.

Els tòpic que s'han utilitzat són:

densímetre/temperatura (publica)

densímetre/densitat (publica)

densímetre/bateria (publica)

densímetre/calibratge (subscrit)

3.4.5. Acceleròmetre

En el present projecte l'acceleròmetre servirà per mesurar les acceleracions en l'eix X per tal de poder trobar l'angle d'inclinació, però abans de començar amb la presa de mostres s'ha de fer un calibratge del sensor.

El calibratge del sensor MPU6050 és necessari, ja que el sensor MPU6050 probablement no es troba 100% en una posició horitzontal, provocant que el sensor a ser soldat en la PCB pot estar desnivellat provocant un error en la mesura presa. De la mateixa manera quan instal·lem

la placa al dispositiu, aquest quedi desnivellat tot que a primera vista estigui anivellat. Per solucionar aquest problema, s'han configurat els offsets mòdul MPU6050, per poder compensar els errors que puguin haver-hi..

El software de calibratge estarà dins programa calibratge i s'activarà a partir d'un tòpic, aquest software bàsicament està modificant constantment els offset intentant eliminar l'error amb la mesura real que desitgem, en aquesta cas de $A_x = 0$, $A_y = 0$ i $A_z = 1$ g. Abans de començar amb el calibratge, el dispositiu s'haurà de posar dins un recipient amb aigua destil·lada, ja que equival a 1000 kg/m^3 quedant el dispositiu a zero graus, essent aquesta la posició que marcarà en properes mesures.

Un cop enviat el tòpic, el programa realitza les lectures de l'acceleròmetre i utilitzant un filtre s'estabilitzen les lectures, després cada 100 lectures es comprova si els valors són propers als valors que volem llegir, depenent d'això s'augmenta o disminueix els offsets. Això farà que les lectures filtrades desemboquin en, $p_{Ax}=0$, $p_{Ay}=0$, $p_{Az}= +16384$. Un cop el programa hi hagi s'hagi executat 500 cops la qual cosa suposa un temps de 25 s. Seguidament es comprovarà quin es l'angle de mesura, en el cas que aquest sigui diferent a 0° amb un marge de $\pm 1^\circ$ es tornarà a calibrar.

Un cop el sensor està calibrat ja pot funcionar normalment. Quan aquest rebi una crida del tòpic es farà una crida les acceleracions al sensor i seguidament s'aplicarà l'equació 11 per trobar l'angle d'inclinació de l'eix X del dispositiu respecte l'horitzontal, s'ha de tenir en compte que els angles són en radiants i és necessari fer una conversió a graus.

Per obtenir li informació del DMP el fabricant no ha donat massa informació, per tant s'ha utilitzat la llibreria Wire.h que necessita la llibreria I2Cdev.h, les quals permetran llegir en cru a través de I₂C. s'utilitza el DMP perquè implementa filtres que d'altra manera hauran de ser implementats per programari carregant donant més feina al processador. A més, serà necessària la llibreria MPU6050.h que és software gratuït.

3.4.6. Sensor temperatura

Com ja s'ha comentat en l'apartat 3.3.4, el sensor DS18B20 utilitza la comunicació en un sol bus de dades anomenat 1-Wire, per aquest fet s'ha d'utilitzar la llibreria OneWire.h i DallasTemperature.h, amb aquestes dos llibreries es simplifica molt la comunicació entre sensor i mòdul.

El següent pas ha sigut estipular una resolució de 12 bits, la qual cosa ens donarà una resolució de 0,0625°C. Per fer la mesura de temperatura s'ha utilitzat la comanda "getTempCByIndex", aquesta mostra el resultat de la temperatura en graus Celsius.

3.4.7. Bateria

Per tal de fer el seguiment de la càrrega de la bateria es farà a través del convertidor analògic/digital del mòdul ESP. Com ja s'ha comentat aquest tindrà un rang d'entrada de 0 a 1 V. El convertidor analògic és de 10 bits, per tant els valors mesurats es mostraran seran entre 0 a 1023 amb un rang de tensió d'entrada de 0 a 4,2 V. El primer que s'ha fet es fer la lectura del convertidor per seguidament es fa la conversió al valor de tensió real de la bateria.

De la fitxa tècnica de la bateria s'ha extret el rang de càrrega i descàrrega de la bateria, com s'ha comentat per tal de protegir aquesta, es limitarà la capacitat de descàrrega al 20%, per tant, a partir del rang s'obté un voltatge de 3 V com a valor mínim, a més també s'ha escollit aquest valor perquè la tensió d'alimentació del mòdul ESP és de 3 a 3,6

En resum el que fa el software de la bateria, és llegir la tensió de la bateria una vegada s'activa el mòdul ESP, si el valor llegit en el convertidor està per sota el llindar de 3 V marcat, el mòdul s'adormirà profundament durant el temps més gran possible. Després s'anirà despertant i adormint-se profundament fins que es recarregui la bateria.

3.4.8. Deep Sleep

Quan s'utilitza el mode deep sleep, en teoria el consum de l'energia del mòdul es redueix a 20 uA fet que suposa un augment substancial de la vida útil d'una càrrega de la bateria. S'ha tingut en compte que el mòdul no pot entrar en suspensió profunda automàticament, sinó que s'ha de programar a partir de la interfície "system_deep_sleep" per habilitar el somni profund del mòdul.

En el mode deep sleep, es desactivarà la connectivitat WiFi i la connexió de dades, només s'utilitzarà el mòdul RTC que es el que activarà periòdicament el mòdul ESP després del temps definit en el software fent que s'activi a causa d'un pols de reinici des de el pin GPIO16 al pin RST.

Pel que fa al software, per habilitar el mode deep sleep s'ha utilitzat el codi "ESP.deepSleep (unit32)" el qual defineix el temps en que el mòdul estarà adormit. El temps que s'estipula en codi és en us i tenint en compte que el processador del xip ESP8266 és de 32 bits fa que es limiti el temps màxim de somni profund a 4.294.967.295 us que equivalen aproximadament a 71 min. Aquest temps serà el que marcarà el temps entre que el mòdul s'adormi i es desperta.

3.5. Càlcul vida útil bateria

Com ja s'ha esmentat anteriorment el sistema encastat serà un dispositiu autònom, fet pel qual aquest ha de portar una bateria per subministrar l'energia necessària a tots els dispositius perquè funcionin correctament durant tot el temps que dura el procés de fermentació. Per aquest fet s'ha calculat quina serà la vida útil d'una càrrega de la bateria del dispositiu.

Abans de començar amb el càlcul s'ha de comentar que hi haurà dos modes de consum, el mode normal, en el que es calcularan tots els consums màxim dels dispositius mentre funcionen i el consum en mode adormit, en aquest es contarà el consum del dispositiu quan el mòdul entra en mode "deep sleep".

Primer de tot sabem que la bateria escollida és una pila recarregable NCR18650GA de 3,7 V i 3450 mAh. D'aquesta sabem que si es descarrega més del 20% es redueix la vida útil de la bateria per aquest fet només s'utilitzarà 2760 mAh del total de l'energia de la bateria, el nivell de càrrega de la bateria està controlat per software.

Un cop sabem l'energia disponible pel sistema encastat es tindrà en compte quin temps romandrà encès el dispositiu i quan de temps romandrà en mode adormit. Com ja s'ha comentat, el dispositiu haurà de romandre encès durant el procés de fermentació enviant les dades de temperatura i angle d'inclinació cada 71 minuts, durant un període de 2 min que es aproximadament el temps de connectar-se a la xarxa WiFi, connectar-se el servidor i enviar els resultats de les mesures.

Un cop tenim el temps que el dispositiu estarà encès i adormit, s'han desglossat els consums de cada circuit integrat consumidor d'energia del dispositiu en funció dels modes de funcionament com es pot observar a la següent taula. El consum del mòdul ESP-12 en mode normal s'ha escollit el màxim quan funciona la comunicació WiFi i en el mode adormit s'ha escollit el consum del dispositiu en mode "deep sleep". Pel que fa als dos sensors s'alimenten

a través d'un transistor funcionant com a commutador que només s'activarà quan el mòdul ESP-12 estigui en actiu per tant, no consumeixen mentre aquest està adormit.

	Mode normal	Mode adormit
Mòdul ESP-12	170 mA	20 uA
Pont USB a UART CP2102	20 mA	80 uA
Regulador voltatge MCP1700	1,6 uA	1,6 uA
Sensor acceleròmetre MPU6050	3,6 mA	-
Sensor temperatura DS18B20	1,5 mA	-

Taula 3: Consums components actius

A partir de la taula 10 s'extreu que pel funcionament en mode normal es necessita un corrent de 0,195 A. Amb aquest corrent i sabent l'energia que pot proporcionar la bateria amb seguretat dona que la vida útil d'una càrrega seria de 14 h en cas que el dispositiu estés sempre actiu. Per aquest motiu s'utilitza el mode adormit el qual per un corrent de 101,6 uA ens dona un total d'aproximadament 27500 h que equival a més de 3 anys.

Per aquest fet s'ha calculat l'energia consumida durant l'hora, que el dispositiu es connectarà durant 2 minuts.

$$\text{Consum}_{\text{horari}} (\text{Ah}) = \text{Consum}_{\text{mode normal}} \cdot 0,033 + \text{Consum}_{\text{mode adormit}} \cdot 0,967 \quad (\text{Eq.15})$$

A partir de l'equació 14, l'energia consumida durant una l'hora que s'activarà el dispositiu es de 6,57 mAh i durant les hores que estarà adormit el dispositiu consumirà 101,6 uAh. A partir d'aquests consums i sabent que el dispositiu només romandrà dormint 4 de les 24 hores del dia s'ha calculat el consum que tindrà el dispositiu durant un dia.

$$\text{Consum}_{\text{diari}} (\text{Ah/dia}) = \text{Consum}_{\text{hN}} \cdot 20 + \text{Consum}_{\text{hD}} \cdot 4 \quad (\text{Eq.16})$$

S'obté com a resultat que el dispositiu consumirà 131,07 mAh/dia, i a partir de l'energia que pot proporcionar la bateria dona una durada de la bateria de 21 dies. Amb aquest temps es pot concloure que amb la bateria escollida a partir dels consums teòrics del dispositiu es podrà fer la monitorització de tot el procés de fermentació, ja que aquest com a màxim serà de 15 dies.

3.6. Experiment flotabilitat

En el present apartat s'ha efectuat un experiment per tal de buscar la relació entre l'angle d'inclinació del dispositiu en funció de la densitat. Com ja s'ha comentat en l'apartat 2.3.1, la flotabilitat no és més que la força d'empenyiment oposada a la força de la gravetat i que afecta a tots els cossos submergit en un fluid tal com queda representat en l'equació 3.

Per tant, la força d'empenyiment que actua sobre un cos és directament proporcional al volum de la part del fluid que es desplaçat per cos submergit. Aquesta serà la premissa en què està basat el desenvolupament de l'experiment.

Primerament sabent les mides de les plaques PCB i les mides de la pila, s'ha trobat una carcassa que pugui allotjar. Aquesta en concret és una botella de plàstic abans de passar pel procés de bufat, i presenta una forma semblant a un tub d'assaig amb tap roscat com es pot veure a la figura 32.

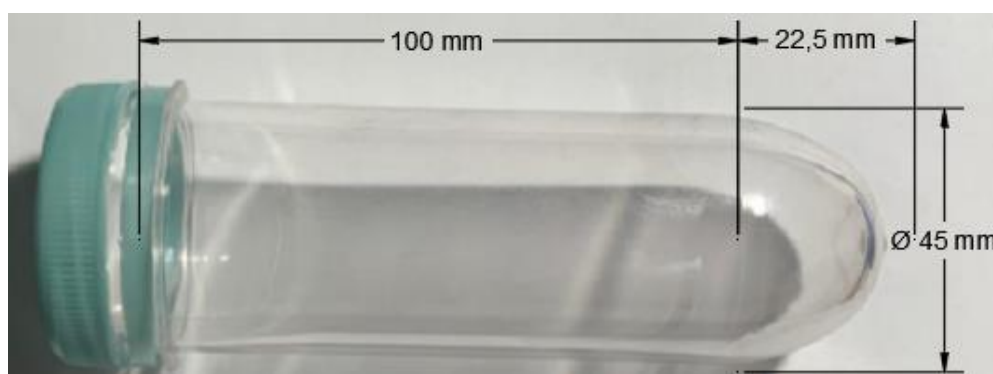


Figura 36: Carcassa sistema encastat

A partir d'aquestes mesures s'ha buscat el volum total de la carcassa per trobar la massa necessària perquè es submergeixi en la seva pràctica totalitat i així poder trobar la massa aproximada que haurà de tenir el cos.

$$V_{\text{total}} = V_{\text{esfera}} + V_{\text{cilindre}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 + \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (\text{Eq.17})$$

Un cop trobat el volum que ha de desplaçar el dispositiu, que és de $2,067 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$, s'ha utilitzat l'equació 3 amb una densitat del fluid de 1000 kg/m^3 , trobant la força d'empenyiment que

actuarà sobre el cos, resultant una força d'empenyiment de 2 N. Perquè el cos es pugui enfonsar el volum descrit s'ha buscat la massa que haurà de tenir el cos a partir de la mateixa equació 3. Quedant una massa de 203 g.

El següent pas és comprovar quina és la massa total de tots els components que formaran part del dispositiu essent 82 g la carcassa, 47 g la bateria i el pes aproximat de les PCB més components 10 g resultant una massa total de 139, aquest fet implica que s'haurà d'afegir una massa de 64g dins la carcassa del dispositiu perquè aquest s'enfonsi totalment.

Així doncs després dels càlculs previs s'han introduït boletes de plom dins de la carcassa per simular el pes calculat pel dispositiu i s'ha introduït dins un recipient amb aigua destil·lada per observar el resultat. S'ha observat que el cos s'enfonsa totalment en forma vertical i seguidament s'ha anat extraient pes de l'interior fins a trobar el valor de la massa en que la carcassa comença a inclinar-se. Per tant, aquest punt serà el punt en que els dos centres de gravetat es creuen canviant de posició provocant la inestabilitat en la flotabilitat del dispositiu.

Per tant la massa total que haurà de tenir el dispositiu serà de 152 g i tenint en compte la massa de tots els components, s'hauran d'introduir un pes extra de 13 g. Un cop calculada la massa necessària perquè el dispositiu entri en flotabilitat inestable s'ha introduït el dispositiu amb una massa total de 152 g dins un recipient amb aigua destil·lada i s'ha anat augmentant la densitat introduint-hi sucre.

Per tal d'extreure els resultats necessaris per poder fer la conversió d'angle d'inclinació a densitat s'han buscat 10 punts a partir del qual es farà una regressió lineal que s'utilitzarà per fer la conversió. Primerament abans de començar a augmentar la densitat s'ha buscat quin és el rang normal en els fermentats alcohòlics. Aquets depenent del tipus de fermentat i de la concentració de glúcids, però en general el rang van de 1000 kg/m^3 a 1100 kg/m^3 , per tant es pondran 10 mostres dels angles d'inclinació per diferents densitats del fluid compres entre $1000\text{-}1100 \text{ kg/m}^3$.

Per mesurar les diferents densitats del fluid s'ha utilitzat un densímetre introduint-lo dins una proveta de 250 ml. A la figura 33 es poden observar tres de les 10 mostres de densitats diferents del fluid, concretament 1010 kg/m^3 , 1020 kg/m^3 , 1100 kg/m^3 .

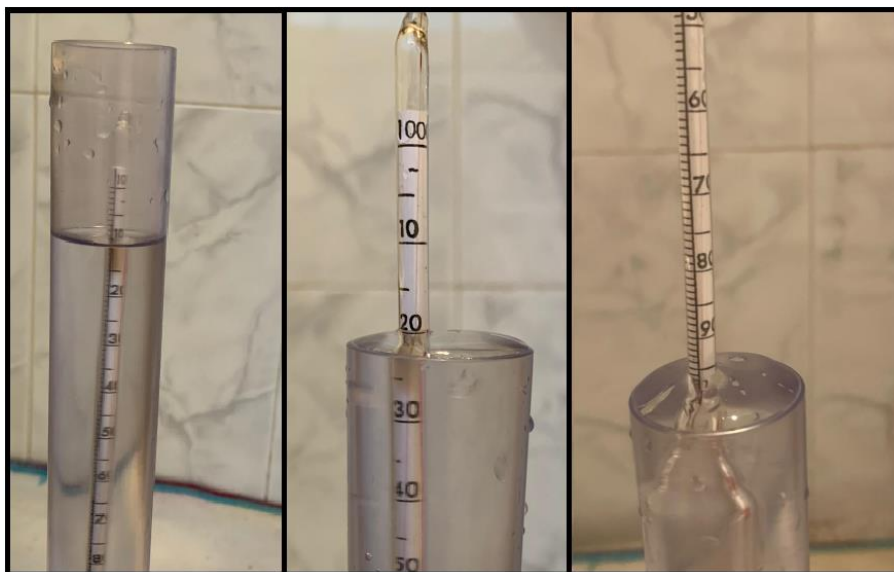


Figura 37: Mesura de densitat

Per prendre les mesures dels angles s'ha introduït el dispositiu dins d'un recipient amb aigua amb les diferents densitats mesurades anteriorment tal com es mostra a la figura 34. A continuació, s'ha deixat en repòs durant 5 minuts. Un cop passat aquest temps s'ha fet una foto intentant estar a la mateixa alçada que la superfície superior del dispositiu, per apreciar l'angle correctament. S'ha repetit el procés 3 vegades per a cada densitat així s'ha comprovat que no hi hages cap possible error en les mesures.

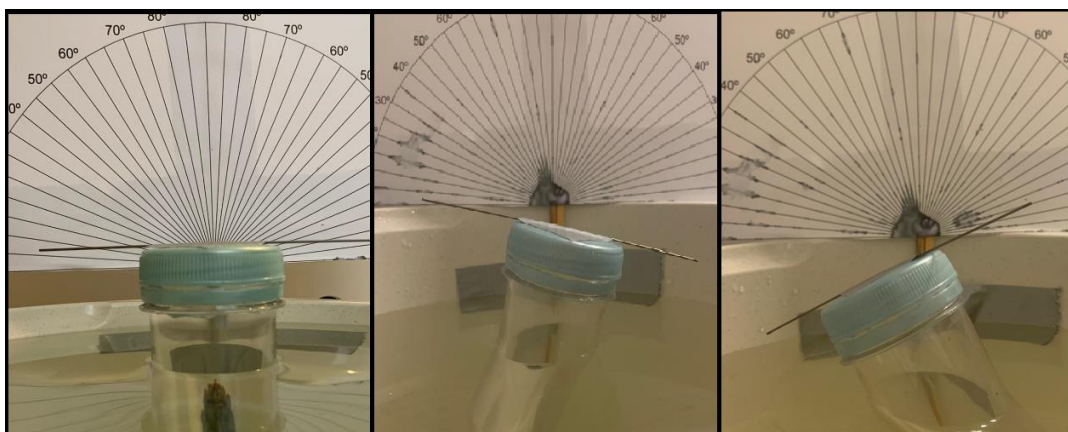


Figura 38: Mesura angle d'inclinació per diferents densitats

A continuació, s'han introduït les fotos en un programa informàtic de disseny i s'han buscat els angles d'inclinació en funció de les diferents densitats les quals queden reflectides en la següent figura.

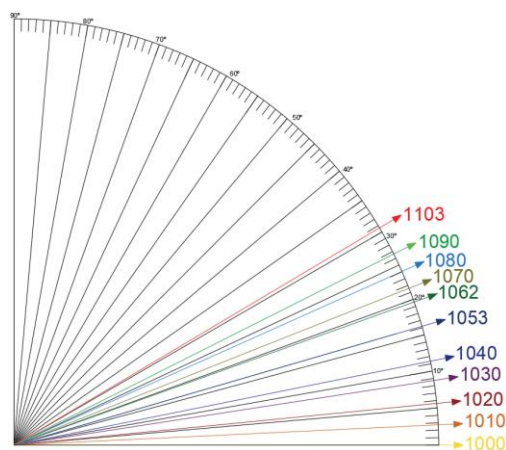
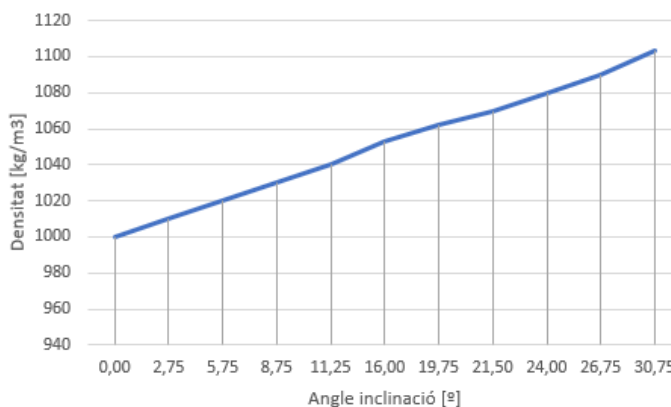


Figura 39: Resultats experiment flotabilitat

A partir dels resultats extrets s’ha generat la següent gràfica on es pot observar que l’evolució de l’angle d’inclinació segueix un comportament lineal en augmentar la densitat.



Gràfica 1: Evolució angle d’inclinació en funció de la densitat

Així doncs, amb les mesures trobades durant l’experiment s’ha fet una regressió lineal següent la qual permetrà fer la conversió d’angle d’inclinació (ϑ) a densitat (ρ) amb un coeficient de correlació de 0,998.

$$\rho = 1000,806 + 3,235 \cdot \vartheta \tag{Eq.18}$$

Per tant, la conversió d’angle d’inclinació i densitat es realitzarà aplicat l’equació anterior per mitjà de software.

4. RASPBERRY PI

4.1. Introducció

Raspberry Pi és una computadora de placa única desenvolupada al Regne Unit, la qual va ser introduïda al 2002, en els seus inicis es va desenvolupar per promoure i ensenyar informàtica bàsica, però avui en dia, pràcticament totes les indústries han desenvolupat diferents usos per la Raspberry Pi, tant en el sector públic com privat, ja que es tracte d'un dispositiu econòmic amb moltes funcionalitats com per exemple aplicacions mèdiques, de recerca, executar aplicacions i recopilar dades.

Si ens centrem en el hardware, la propietat d'aquestes targetes es troba registrada, en canvi el seu ús és completament lliure. Això vol dir que qualsevol pot convertir-se en revenedor o distribuïdor de les plaques Raspberry Pi. En general, el hardware compta amb un microprocessador, ports USB, Ethernet, WiFi 802.11 b/g/n, memòria RAM, entrades i sortides de vídeo, sortides d'àudio, emmagatzematge integrat (mitjançant targetes SD), etc. A més té un conjunt de pins d'entrada i sortida de propòsit general (GPIO) per permetre la programació, principalment en llenguatge Python.

D'altra banda, el software oficial és de codi obert, ja que utilitza una versió adaptada de Debian, l'anomenada RaspBian que s'utilitzarà en aquest projecte. També es permet usar altres sistemes operatius, alguns d'ells amb suport oficial per a les descàrregues per part de la fundació com les distribucions Pidora i Arch Linux ARM o la mateixa Raspbian entre d'altres.

En el present projecte s'utilitzarà la Raspberry Pi com a servidor que recopila les dades del dispositiu encastat, emmagatzemant-les en una base de dades i processar-les per poder visualitzar el resultat. Per tant, en aquest capítol s'explicarà el tipus de comunicació entre els dos dispositius, el mètode d'emmagatzematge de dades i el resultat obtingut el qual podrà veure l'usuari.

4.2. Comunicació entre dispositius

Com ja s'ha explicat en el capítol 3, la comunicació entre dispositius es farà per mitjà de connectivitat WiFi, però a més, serà necessari de l'elecció d'un protocol de comunicació d'entre els molts existents per diferents amb diferents característiques, ja que, és necessari

un protocol que marqui una sèrie de normes perquè dos o més dispositius puguin comunicar-se i entendre's.

Pel que fa els requisits del protocol són, que aquest sigui escalable, és a dir, que es puguin afegir i retirar dinàmicament dispositius sense que el comportament global del sistema es modifiqui. També s'ha de tenir en compte l'acoblament entre dispositius, reduint-ne la dependència el mínim.

D'altre banda en el present projecte la Raspberry Pi es comunicarà amb un sistema encastat i aquest no té una capacitat de processament massa alta, per tant s'ha buscat un protocol que no requereixi una gran capacitat de processament. A més, si es el cas de que hi hagin comunicacions simultànies el missatges transmesos han de ser curts i com ja s'ha comentat que no necessitin de un gran processat.

El protocol escollit és l'anomenat MQTT, aquest és un protocol de comunicació M2M, "Machine-to-machine", aquest és lleuger, ja que requereix pocs recursos per a la seva execució i amb una implementació basada, com tants altres protocols, en un mecanisme de publicació-subscripció i funciona sobre TCP/IP. A més, resulta un protocol apropiat per a dispositius de baixa potència i és freqüentment utilitzat en l'àmbit de l'IoT.

Aquesta estratègia fa necessària l'existència d'un tercer element que actuï com a canal de comunicació entre els actors que publiquen la informació i els actors que reben la notificació d'aquesta informació. Aquest intermediari o "broker" té la missió d'ordenar i racionalitzar la comunicació entre els editors i els consumidors de les dades.

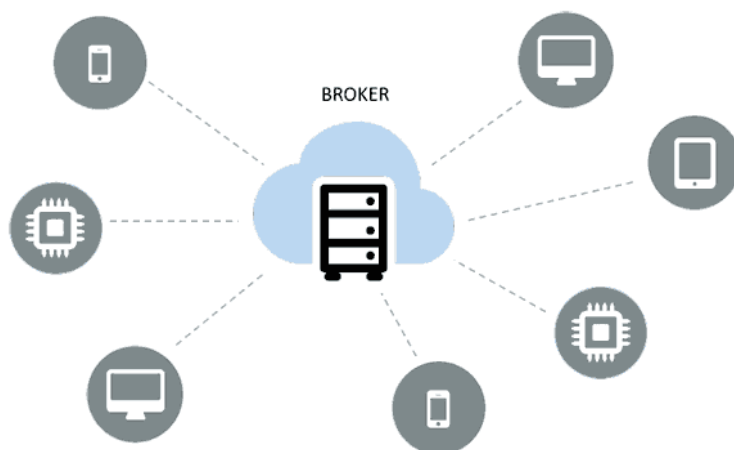


Figura 40: Topologia en estrella MQTT

L'arquitectura de la publicació-subscripció de MQTT està basada en esdeveniments, amb una topologia d'estrella com es pot observar a la figura 36. Cada missatge s'envia als receptors que estan subscrits a una publicació concreta, i el broker és el que s'encarrega de distribuir aquests missatges als receptors. En el present projecte el "broker" o servidor estarà allotjat a la Raspberry Pi i els receptors seran la mateixa Raspberry Pi i els dispositius encastat connectats.

Per comunicar-se es farà per mitjà del tòpic, aquest és el tema on es subscriuen el receptor per a rebre el missatge, és a dir, el broker fa un filtratge dels missatges rebuts des dels publicadors, i avaluar a quins clients subscrits al tòpic és estregat. El tòpic consisteix en una cadena de codi de text UTF-8 format per un o més nivells separats entre si per una barra inclinada com es mostra a la figura següent.

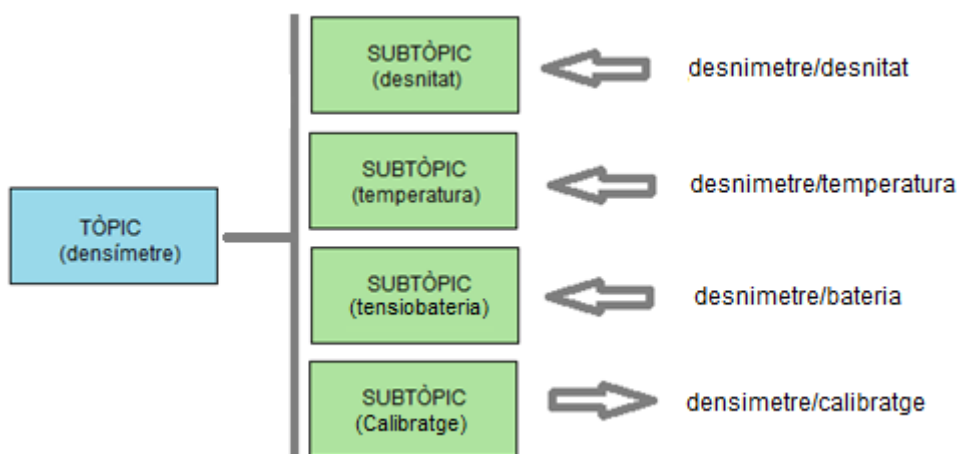


Figura 41: Tòpics utilitzats en el projecte

En el present projecte els tòpics són necessaris per rebre dades de temperatura, densitat, nivell de bateria i calibraren cas que sigui necessari, a continuació emmagatzema la informació en una base de dades i les mostra en un panell de control a treves d'una pàgina web.

Per tal que funcioni de la manera anteriorment descrita primer de tot s'ha d'instal·lar el broker MQTT, en concret s'ha optat per l'Eclipse Mosquitto. Aquest és un mediador de missatges que inclou el protocol MQTT. Aquest programari es de codi obert, la qual cosa permet utilitzar sense cap mena de problema. Perquè aquest protocol estigui en constant disponibilitat, es recomana instal·lar el broker en un servidor que estigui sempre encès.

El primer pas per la instal·lació ha sigut utilitzant la comanda *wget* per descarregar la clau de firma i la llista de repositoris de la versió Jessie de Mosquitto. A continuació s'ha fet una actualització del sistema i s'ha instal·lat el broker Mosquitto a través de la comanda *apt-get* la qual permet gestionar paquets instal·lables. Un cop instal·lat el broker Mosquitto i els clients en la Raspberry Pi s'ha configurat aquesta per tal que tingui una IP fixe, la qual cosa significa que encara que es desconnecti de la xarxa sempre tindrà la mateixa IP facilitant la connexió dels dispositius.

Un cop instal·lat el broker a la Raspberry Pi, aquesta ja és capaç de comunicar-se de forma bidireccional amb el sistema encastat sempre que aquest estigui funcionant com a client, el mètode utilitzat està explicat en l'apartat 3.5 on s'explica el software del sistema encastat.

4.3. Base de dades

La principal funció d'una base de dades és tenir informació guardada per poder ser consultada en qualsevol moment. Primerament abans de poder guardar les dades, s'ha creat una base de dades *Monitorització_fermentats.db* i una taula anomenada *ProducteX_data*. Un cop creada la taula, s'hi han d'escrit el número de columnes, en concret 2, una per la data (DD:hh:mm) i l'altre per la mesura de densitat trobada.

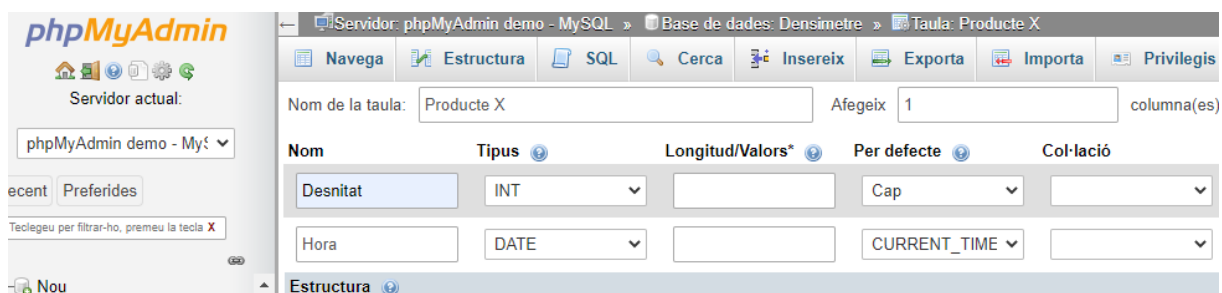


Figura 42: Creació base de dades

Concretament s'ha utilitzat el software phpMyAdmin, aquest software és una eina escrita en PHP, destinada a gestionar l'administració de MySQL a través del web. phpMyAdmin, a més admet una àmplia gamma d'operacions a MySQL i MariaDB.

Les operacions d'ús freqüent d'aquest software són, administració de bases de dades, taules, columnes, relacions, índexs, usuaris, permisos, etc. Aquestes es poden realitzar a través de la interfície d'usuari, i també té la capacitat d'executar directament qualsevol declaració SQL.

El projecte phpMyAdmin és membre de Software Freedom Conservancy. SFC és una organització sense ànim de lucre que ajuda a promoure, millorar, desenvolupar i defensar projectes de programari lliure, lliure i de codi obert (FLOSS).

4.4. Node-RED

Un cop s'ha establert la connexió MQTT i es té la base de dades creada s'ha utilitzat software Node-RED. Aquesta és una eina molt potent que serveix per comunicar hardware i serveis d'una forma molt ràpida i senzilla. Simplifica enormement la tasca de programar de la banda de servidor gràcies a la programació visual.

L'estructura bàsica del software són els nodes, que s'arrosseguen a través de la interfície gràfica permetent fer una tasca concreta com rebre un missatge MQTT, activació d'un polsador, guardar les dades en una base de dades, etc.. Els nodes s'organitzen per mitjà de fluxos o flows que agrupen nodes que es connecten entre ells. En resum la programació és de forma visual i no requereix de molt coneixement de programació.

El principi bàsic de funcionament del Node-RED són el NodeJS i la llibreria JavaScript D3.js. El NodeJS proporciona la potència suficient perquè Node-RED sigui fiable i escalable. A més, permet la programació en JavaScript de la banda de servidor.

D'altra banda, D3.js és l'encarregat de la interfície web. El Node-RED és accessible a través d'un navegador, és a dir, només necessitem accedir a una pàgina web amb el localhost i port 1880 per poder crear el software. No cal instal·lar cap entorn de desenvolupament o IDE.

En resum aquesta aplicació web permet arrossegar i connectar nodes amb diferents funcionalitats per crear fluxos de dades que facin una determinada cosa. Per exemple, en aquest projecte, es subscriurà a tres tòpics de MQTT, rebre una dada de temperatura, densitat i bateria, es faran les operacions pertinents de correcció de densitat en funció de temperatura i es guardarà la densitat real base de dades, a més, es mostrarà en un panell de control a través d'una pàgina web.

Ara cal configurar-lo. En el cas de MQTT l'única cosa que hem de fer és configurar el broker i el tòpic. A l'hora de configurar un node d'entrada, el que fa és rebre els missatges publicats en un tòpic és a dir, es subscriu al tòpic, a més també s'hi introdueix el servidor i el nom d'usuari.

Per publicar un tòpic s'ha fet a partir d'un polsador que enviarà un payload de 1 que activarà el programa de calibratge de sistema encastrat. D'altra banda, s'han creat 3 entrades de MQTT amb els tres tòpics subscrits descrits anteriorment. Dels tres tòpics, el tòpic del nivell de la bateria no es guarda, només es mostra en un indicador circular amb un rang de 0 a 100. Els altres dos tòpics de temperatura i densitat entraran en un node de funció on es farà la correcció de la densitat per temperatura i seguidament es guardarà la dada a la base de dades a partir del node mySql.

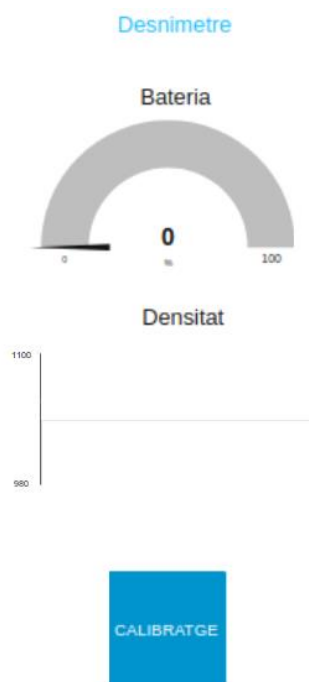


Figura 43: Panell de lectura

En la imatge anterior es pot observar com ha quedat el panell de control del sistema de monitorització, a la part superior es pot observar un indicador giratori del nivell de la bateria, a sota es mostra la gràfica dels resultats de la densitat guardats a la base de dades i el polsador de calibratge al pulsar-lo s'envia una 1 al sistema encastrat que activarà el programa de calibratge.

5. RESUM DEL PRESSUPOST

En el document cinc del present projecte, que és el Pressupost, apareixen els preus de cada material i les hores de feina, necessàries per a dur a terme el projecte. Durant la realització d'aquest projecte s'ha tingut en compte que els components fossin de baix cost i baix consum.

Els costos totals per l'adquisició dels elements que componen el sistema de monitorització així com les hores de treball destinades al mateix, ascendeixen a un import de quatre mil vuit-cents vint-i-nou euros amb vuitanta-un cèntims, IVA no inclòs.

6. CONCLUSIONS

El present projecte té la funció de projecte tècnic, en el qual es presenta la informació referent a les característiques tècniques de disseny del hardware i software del sistema de monitorització del procés de fermentat, a més dels procediments seguits en l'hora del disseny de cada una de les parts que el conformen per separat.

Un cop finalitzat el projecte es pot dir que el resultat és plenament satisfactori, ja que s'han complert tots els objectius de manera correcta, s'ha aconseguit prendre mesures de densitat a partir de l'angle que forma respecte a l'horitzontal un cos en flotació un líquid com s'ha demostrat en l'apartat 3.6, un cop preses les mesures de densitat real del fluid s'ha aconseguit fer la correcció per temperatura i s'han guardat les dades a una base de dades allotjada a la Raspberry Pi per mitjà de comunicació WiFi aplicant el protocol MQTT. Per fer les proves de software del sistema encastat s'ha fet amb un kit que conte el mateix xip ESP8266, en concret el NodeMCU.

Pel que fa al preu del projecte, tot i escollir els components més econòmics i reutilitzar-ne, aquest es veu encarat per les hores d'enginyer i d'oficial primera invertides pel desenvolupament de dit projecte.

Tot el projecte es pot millorar, en el present cas es proposa eliminar l'ordinador on s'allotja el servidor i la base de dades per un servidor allotjat a la xarxa la qual cosa podria abaratir costos del dispositiu. D'altra banda es podria buscar un mètode per reduir més el consum del dispositiu i així aconseguir una millor autonomia, encara que es compleixi el temps estipulat de 20 dies. Així doncs, es conclou que amb el plantejament teòric del disseny de hardware i software del sistema encastat i del disseny del software de la Raspberry Pi desenvolupat en aquest projecte, es pot dur a terme la monitorització del procés de fermentació amb una alta fiabilitat.

Albert Casaponsa Sacrest

Graduat en Enginyeria Electrònica Industrial Automàtica



Girona, 1 de Setembre de 2020

7. RELECIÓ DE DOCUMENTS

El present projecte està compost per cinc documents: memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

8. BIBLIOGRAFIA

AI-THINKER. Fabricant mòduls ESP (http://wiki.ai-thinker.com/_media/esp8266/, 15 d'agost de 2020)

APRENDIENDO ARDUINO WORDPRESS, MQTT. (<https://www.aprendiendoarduino.com/tag/mqtt/>, 20 de juliol de 2020).

APRENDIENDO ARDUINO WORDPRESS, Node-RED. (<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/20/node-red/>, 20 de juliol de 2020).

ESPRESSIF SYSTEMS. Fabricant xips amb solucions WiFi (<https://www.espressif.com/en/products/socs>, 10 d'Agost 2020)

GITHUB DE JEFF ROWBERG. Software programació acceleròmetre (<https://github.com/jrowberg>, 20 de Juliol 2020)

GITHUB DE KAT HOANG. Software programació Wifi. (https://github.com/khoih-prog/ESP_WiFiManager, 25 d'Agost de 2020)

KOLBAN, NEIL. Kolban's Book on ESP8266, 2016

MELENDEZ SANCHEZ, JUAN. De Tales a Newton, Juny de 2014

RASPBERRY PI COMMUNITY. Fabricant de Raspberry Pi . (<https://www.raspberrypi.org/community/> , 3 d'Agost 2020)

SCHWARTZ, MARCO. Internet of Things with ESP8266, 2016

9. GLOSARI

AC	Corrent altern
AP	Acces Point
CPU	Control Proces Unit
DC	Corrent continu
DMP	Data Managment Plataform
DSP	Signature Signing Proces
IoT	Internet of Thinks
IP	Internet Protocol
LDO	Low-Dropout (Reguladors)
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
OS	Sistema operatiu
RTC	Real Time Clock
SI	Sistema Internacional
SoC	System-on-Chip
SSID	Service Set Identifier
STA	Station
TCP	Transmission Control Protocol
UART	Universal Adjustment and Realigning
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus
WiFi	Wireless Fidelity

A. ESTUDI DE MERCAT

Un estudi de mercat és una investigació per anticipar la resposta dels clients potencials i la competència davant d'un producte o servei concret. L'objectiu d'un estudi de mercat és conèixer el perfil i comportament del client objectiu, que sovint es divideix en diferents segments o nínxols de mercat, així com determinar la mida actual i futur del mercat, anticipar les reaccions de la competència i proveïdors i identificar possibles elements que puguin arribar a transformar radicalment el sector, com ara la irrupció d'una nova tecnologia o legislació.

Cal ressaltar que en la societat actual, més competitiva i canviant que mai, l'estudi de mercat té molta importància, ja que ens ajuda a saber en tot moment com estan evolucionant els nostres clients i competidors.

Molts autònoms i pimes creuen que fer un estudi de mercat és una cosa que no està al seu abast i fins i tot de vegades alguns pensen que ni val la pena. Però això no ha de ser així, a canvi, gràcies a internet avui és possible fer investigacions de mercat a la mesura d'autònoms i pimes

El primer que s'ha fet ha sigut recopilar i aprofitar la informació publicada sobre el sector dels productors de productes a partir de la fermentació alcohòlica. A Espanya principalment s'elaboren tres tipus de fermentats completament diferents i que podrien ser possibles clients del producte a dissenyar. Aquest són els productors de cervesa que en total hi ha 1229, productors de sidra que en total són 574 i productors de vi que és el sector més ampli que arriba fins a les 4120 empreses.

A més, també s'ha de tenir en compte el "homebrewer", ja que actualment està molt de mode l'elaboració dels productes fermentats a casa. A partir, d'aquesta informació es pot concloure que hi ha una gran quantitat de clients potencials.

Un cop trobats els potencials clients s'han fet entrevistes a diferents empreses i "homebrewers" per veure quin seria el seu interès en el producte. Pel que fa a les grans empreses ja tenen sistemes de monitorització de tot el procés de fermentació que utilitzen tecnologia punta i són de gran precisió, provocant que no estiguin interessats en el producte. Tanmateix petits productors de cervesa, vi o fins i tot els "homebrewers" estan molt interessats en un producte que sigui capaç de prendre mesures de densitat sense manipulació del mateix

i poder així fer un seguiment del procés de fermentació. Això si, el cost del producte no pot ser molt elevat.

A les petites empreses i “homebrewers” se’ls hi ha preguntat quins són els mètodes que fan servir actualment i després se’ls hi ha plantejat les característiques del producte dissenyat i com funciona i a continuació se’ls ha preguntat quin seria el preu que estarien disposats a pagar per aquest dispositiu i s’ha conclòs que les petites empreses estarien disposades a pagar d’entre 100 a 150 € i els “homebrewer” d’entre 60 i 80 €.

Pel que fa a la competència en aquest producte només s’ha trobat una empresa anomenada TILT a Estats Units que ha desenvolupat un densímetre digital amb el mateix principi de funcionament. Aquest s’anomena TILT hidròmetre termòmetre digital i té un cost de 140,00 €.

Segon el pressupost el cost de la construcció els dos dispositius és de 66,60 €, centrant-se en les dades recollides s’ha establert que el producte es vendrà a un import de 125,00 €. Aquest preu marcarà el número de clients necessaris perquè surti a compte el desenvolupament del projecte. En concret s’haurien de vendre 83 sistemes de monitorització per tal d’obtenir beneficis amb la venda del producte.

El dispositiu que fa pujar més el cost es la Raspberry pi, per aquest fet futura millora que es dura a terme, és fer que el dispositiu es comuniqui directament amb un servidor allotjat a la web així s’elimina tot el cost del petit ordinador reduint el cost del dispositiu a 22,40 € el que incrementaria molt els beneficis.

A partir de la informació anterior s’ha conclòs que el dispositiu no surt molt rendible a curt termini, però si es continua millorant el disseny del dispositiu i aplicant-hi millores es podria aconseguir un benefici econòmic substancial a la llarga.

B. CODI SISTEMA ENCASTAT

```
//Llibreies utilitzades

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <DNSServer.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP_WiFiManager.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <I2Cdev.h>
#include <MPU6050.h>
#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

//Variables

const int PIN_SENSOR_TEMP = 14;
const int PIN_ACTIVAR_SENSORS = 12;
const int PIN_BATERIA = A0;

String Router_SSID;
String Router_Clau;
String XipID;
String AP_SSID;
String AP_CLAU;

unsigned long previousMillis = 0; // Guarda l'últim temps que s'ha publicat
const long interval = 3000; //Interval de publicació de topics (3s)

int contador1;
int contador2;
int contador3;
int TensioBat;
/*Valors sense processar de l'acceleròmetre*/
int16_t ax,ay,az;
/*Variables utilitzades en el filtre*/
int16_t f_ax,f_ay,f_az;
int16_t p_ax,p_ay,p_az;
/*valors dels offsets*/
int16_t ax_o,ay_o,az_o;
/*Valors sensor temperatura DS18B20*/
float Temperatura = 0;
/*Valors resultats*/
float Angle_acc_x;
```

```
float Densitat;
float ValorBat;

WiFiClient densClient;
PubSubClient client(densClient);

MPU6050 sensorMPU6050;

OneWire oneWire(PIN_SENSOR_TEMP);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWire);

#define ESP_getChipId()    (ESP.getChipId())

/* S'utilitza "false" per desactivar la configuració NTP, es recomana per
utilitzar el mòbil o tauleta per accedir al portal captiu de configuració.*/
#define USE_ESP_WIFIMANAGER_NTP    false

/* USE_DHCP_IP quan es "true", la IP DHCP dinàmica, d'altre banda, si és fals
serveix per utilitzar una IP estàtica que s'ha de canviar segons la xarxa.*/
#define USE_DHCP_IP    false

/* USE_STATIC_IP_CONFIG_IN_CP quan es "true", es configura la IP com estàtica,
d'altre banda, si és fals serveix per utilitzar una IP DHCP dinàmica.*/
#define USE_STATIC_IP_CONFIG_IN_CP    true

/* adreça IP del Broker MQTT de la Raspberry pi.*/
#define MQTT_HOST    IPAddress(192,168,1,39)

/* Es defineix el port de la Raspberry pi.*/
#define MQTT_PORT    1883

/* Es defineix nom d'usuari entrada servidor de la Raspberry pi.*/
#define MQTT_USER    "username"

/* Es defineix la clau d'entrada servidor de la Raspberry pi.*/
#define MQTT_CLAU    "1234"

/*Es defineixen els tòpics MQTT*/
#define MQTT_PUB_TEMP    "densímetre/temperatura"
#define MQTT_PUB_DENS    "densímetre/densitat"
#define MQTT_PUB_BATE    "densímetre/bateria"
#define MQTT_SUB_CALI    "densímetre/calibratge"

IPAddress stationIP = IPAddress(192, 168, 1, 39);
IPAddress gatewayIP = IPAddress(192, 168, 2, 1);
IPAddress netMask = IPAddress(255, 255, 255, 0);
```

```
/* USE_CONFIGURABLE_DNS quan es "true", es configura la DNS, d'altre banda,
si és fals la DNS es automàtica*/
#define USE_CONFIGURABLE_DNS true

IPAddress dns1IP = gatewayIP;
IPAddress dns2IP = IPAddress(8, 8, 8, 8);

void setup() {

    Serial.begin(115200);
    Wire.begin();
    Wire.write(0x6B);
    sensorMPU6050.initialize();
    sensorDS18B20.begin();
    pinMode(PIN_ACTIVAR_SENSORS, OUTPUT);
    pinMode(PIN_BATERIA, INPUT);
    digitalWrite(PIN_ACTIVAR_SENSORS, HIGH);

    while (!Serial);

    Serial.println("\nComençant connexió amb " + String(ARDUINO_BOARD));

    ESP_WiFiManager ESP_wifiManager("DensimetreE");

    /*ESP_wifiManager.resetSettings();//esborrar tota la informació emmagatzemada*/

    /*Es configura una adreça IP estatica i els dns marcat anteriorment
per el portal captiu*/
    ESP_wifiManager.setAPStaticIPConfig(IPAddress(192, 168, 100, 1), IPAddress(192,
168, 100, 1), IPAddress(255, 255, 255, 0));
    ESP_wifiManager.setSTAStaticIPConfig(stationIP, gatewayIP, netMask, dns1IP,
dns2IP);

    /*Guarda el nom i la clau de la xarxa en la variables següents i les mostre per
el monitor serie*/
    Router_SSID = ESP_wifiManager.WiFi_SSID();
    Router_Clau = ESP_wifiManager.WiFi_Pass();
    Serial.println("S'ha guardat: SSID = " + Router_SSID + ", Clau = " +
Router_Clau);

    if (Router_SSID != "")
    {
        ESP_wifiManager.setConfigPortalTimeout(60); //If no access point name has
been previously entered disable timeout.
    }
}
```

```
        Serial.println("S'han guardat les credencials. Temps d'espera connexio STA
60s ");
    }
    else
    {
        Serial.println("No hi ha credencials guardades.");
    }

    XipID = String(ESP_getChipId(), HEX);
    XipID.toUpperCase();

    /* SSID i Clau per entrar al portal captiu*/
    AP_SSID = "DensimetreE_" + XipID + "_AP";
    AP_CLAU = "Clau_" + XipID;

    // Get Router SSID and PASS from EEPROM, then open Config portal AP named
"ESP_XXXXXX_AutoConnectAP" and PW "MyESP_XXXXXX"
    // 1) If got stored Credentials, Config portal timeout is 60s
    // 2) If no stored Credentials, stay in Config portal until get WiFi
Credentials
    ESP_wifiManager.autoConnect(AP_SSID.c_str(), AP_CLAU.c_str());

    Serial.println("WiFi connectat");

    client.setServer(MQTT_HOST, MQTT_PORT);
    client.setCallback(MQTTcallback);
    client.subscribe(MQTT_SUB_CALI);
}

void reconnectar()
{
    while (!client.connected())
    {
        Serial.print("Intentant establir conexxio MQTT...");
        if (client.connect("DensClient"))
        {
            Serial.println("Connectat");
        }
        else
        {
            Serial.print("Error, rc=");
            Serial.print(client.state());
            Serial.println(" Torna a intentar-ho en 5 segons");
            delay(5000);
        }
    }
}
```

```
    }
}

void MQTTcallback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        Serial.print((char)payload[i]);
    }
    if ((char)payload[0] == '1') {
        calibratge();
    }
}

void calibratge() {
    while (contador2 < 500) {
        sensorMPU6050.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
        /*Filtra les lectures*/
        f_ax = f_ax - (f_ax >> 5) + ax;
        p_ax = f_ax >> 5;
        f_ay = f_ay - (f_ay >> 5) + ay;
        p_ay = f_ay >> 5;
        f_az = f_az - (f_az >> 5) + az;
        p_az = f_az >> 5;
        /*Cada 100 lectures corregeix l'offset*/
        if (contador1 == 100) {
            /*Mostra les lectures pel monitor serie
            Serial.print("promig:"); Serial.print("\t");
            Serial.print(p_ax); Serial.print("\t");
            Serial.print(p_ay); Serial.print("\t");
            Serial.print(p_az); Serial.print("\t");
            Serial.print(p_gx); Serial.print("\t");
            Serial.print(p_gy); Serial.print("\t");
            Serial.println(p_gz);*/
            /*Calibra l'accelarometre a 1 g en l'eix Z*, ajustant l'offset*/
            if (p_ax > 0) ax_o--;
            else { ax_o++; }
            if (p_ay > 0) ay_o--;
            else { ay_o++; }
            if (p_az - 16384 > 0) az_o--;
            else { az_o++; }
            /*Guarda els valors dels offset*/
            sensorMPU6050.setXAccelOffset(ax_o);
            sensorMPU6050.setYAccelOffset(ay_o);
            sensorMPU6050.setZAccelOffset(az_o);

            contador1 = 0;
            contador2++;
        }
    }
}
```



```
    }
    contador1++;
  }
}

void loop() {

  if (!client.connected()) {
    reconnectar();
  }
  if (contador3 < 5) {

    unsigned long currentMillis = millis();
    /*Cada 10 segons publica els missatges MQTT*/
    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
      /*Guarda l'ultim temps que s'ha publicat*/
      previousMillis = currentMillis;
      sensorDS18B20.setResolution(12);      /*S'estableix resolucio 12 bits*/
      sensorDS18B20.requestTemperatures();
      Temperatura = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
      sensorMPU6050.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
      Angle_acc_x=(atan(ax/sqrt(pow(ay,2)+pow(az, 2)))*(180.0/3.14));
      Densitat = 1000 + (3, 25 * Angle_acc_x);
      ValorBat = analogRead(PIN_BATERIA);
      TensioBat = map(ValorBat, 0, 1023, 0, 420);
      client.publish(MQTT_PUB_TEMP, String(Temperatura).c_str(), true);
      client.publish(MQTT_PUB_DENS, String(Densitat).c_str(), true);
      client.publish(MQTT_PUB_BATE, String(TensioBat).c_str(), true);
      if (TensioBat < 300 or contador3 == 5)
      {
        contador3=0;
        ESP.deepSleep(ESP.deepSleepMax());
      }
    }
  }
}
```

C. CODI NODE-RED

Per extreure el codi generat s'ha tingut que exportar en format d'un arxiu json.

```
[
  {
    "id": "16c505d9.311c3a",
    "type": "mqtt in",
    "z": "bedea75d.7a1468",
    "name": "",
    "topic": "densimetre/densitat",
    "qos": "2",
    "datatype": "auto",
    "broker": "4b9bffd8.7b312",
    "x": 190,
    "y": 60,
    "wires": [
      [
        "7fc7fd8f.cac934"
      ]
    ]
  },
  {
    "id": "81ac7c53.ed693",
    "type": "debug",
    "z": "bedea75d.7a1468",
    "name": "",
    "active": true,
    "tosidebar": true,
    "console": false,
    "tostatus": false,
    "complete": "payload",
    "targetType": "msg",
    "x": 870,
    "y": 60,
    "wires": []
  },
  {
    "id": "e39fabaf.f07198",
    "type": "mysql",
    "z": "bedea75d.7a1468",
    "mydb": "",
```

```
"name": "",
"x": 730,
"y": 140,
"wires": [
  []
]
},
{
  "id": "b2c9f99a.eb98f8",
  "type": "mqtt out",
  "z": "bedea75d.7a1468",
  "name": "",
  "topic": "",
  "qos": "",
  "retain": "",
  "broker": "4b9bffd8.7b312",
  "x": 520,
  "y": 380,
  "wires": []
},
{
  "id": "22178f44.c9753",
  "type": "ui_button",
  "z": "bedea75d.7a1468",
  "name": "",
  "group": "898b4f65.29dd6",
  "order": 3,
  "width": "2",
  "height": "2",
  "passthru": false,
  "label": "Calibratge",
  "tooltip": "",
  "color": "",
  "bgcolor": "",
  "icon": "",
  "payload": "1",
  "payloadType": "num",
  "topic": "densimetre/calibratge",
  "x": 210,
  "y": 380,
  "wires": [
    [
      "b2c9f99a.eb98f8"
    ]
  ]
},
```

```
{
  "id": "93413e09.67ef6",
  "type": "ui_gauge",
  "z": "bedea75d.7a1468",
  "name": "",
  "group": "898b4f65.29dd6",
  "order": 1,
  "width": 0,
  "height": 0,
  "gtype": "gage",
  "title": "Bateria",
  "label": "%",
  "format": "{{value}}",
  "min": 0,
  "max": "100",
  "colors": [
    "#00b500",
    "#e6e600",
    "#ca3838"
  ],
  "seg1": "",
  "seg2": "",
  "x": 920,
  "y": 280,
  "wires": []
},
{
  "id": "61d35af7.744344",
  "type": "mqtt in",
  "z": "bedea75d.7a1468",
  "name": "",
  "topic": "densimetre/temperatura",
  "qos": "2",
  "datatype": "auto",
  "broker": "4b9bffd8.7b312",
  "x": 200,
  "y": 180,
  "wires": [
    [
      "7fc7fd8f.cac934"
    ]
  ]
},
{
  "id": "e1afce26.99f74",
  "type": "mqtt in",
```

```
"z": "bedea75d.7a1468",
"name": "",
"topic": "densimetre/bateria",
"qos": "2",
"datatype": "auto",
"broker": "4b9bffd8.7b312",
"x": 180,
"y": 280,
"wires": [
  [
    "93413e09.67ef6"
  ]
]
},
{
  "id": "7fc7fd8f.cac934",
  "type": "function",
  "z": "bedea75d.7a1468",
  "name": "",
  "func": "\nreturn msg;",
  "outputs": 1,
  "noerr": 0,
  "x": 530,
  "y": 140,
  "wires": [
    [
      "81ac7c53.ed693",
      "e39fabaf.f07198",
      "f811a6a6.e7aa18"
    ]
  ]
},
{
  "id": "f811a6a6.e7aa18",
  "type": "ui_chart",
  "z": "bedea75d.7a1468",
  "name": "Densitat",
  "group": "898b4f65.29dd6",
  "order": 1,
  "width": 0,
  "height": 0,
  "label": "Densitat",
  "chartType": "line",
  "legend": "true",
  "xformat": "HH:mm:ss",
  "interpolate": "linear",
```

```
"nodata": "",
"dot": false,
"ymin": "950",
"ymax": "1100",
"removeOlder": 1,
"removeOlderPoints": "",
"removeOlderUnit": "3600",
"cutout": 0,
"useOneColor": false,
"useUTC": false,
"colors": [
  "#1f77b4",
  "#aec7e8",
  "#ff7f0e",
  "#2ca02c",
  "#98df8a",
  "#d62728",
  "#ff9896",
  "#9467bd",
  "#c5b0d5"
],
"useOldStyle": false,
"outputs": 1,
"x": 920,
"y": 200,
"wires": [
  []
]
},
{
  "id": "4b9bffd8.7b312",
  "type": "mqtt-broker",
  "z": "",
  "name": "",
  "broker": "192.168.1.39",
  "port": "1883",
  "clientId": "densClient",
  "usetls": false,
  "compatmode": false,
  "keepalive": "60",
  "cleansession": true,
  "birthTopic": "",
  "birthQos": "0",
  "birthPayload": "",
  "closeTopic": "",
  "closeQos": "0",
```

```
    "closePayload": "",
    "willTopic": "",
    "willQos": "0",
    "willPayload": ""
  },
  {
    "id": "898b4f65.29dd6",
    "type": "ui_group",
    "z": "",
    "name": "Desnimitre",
    "tab": "9b071147.4adb9",
    "order": 2,
    "disp": true,
    "width": "6",
    "collapse": false
  },
  {
    "id": "9b071147.4adb9",
    "type": "ui_tab",
    "z": "",
    "name": "Home",
    "icon": "dashboard",
    "disabled": false,
    "hidden": false
  }
]
```