



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

MUNTATGE I MONITORITZACIÓ D'UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓ TANCAT PER A *Danio rerio*

Treball final de grau

Enginyeria de Sistemes Biològics

Autora: Maria de Cáceres

Tutor: Ernesto Serrano

Data: 29 / juny / 2019

Resum

En els últims anys, diversos camps de recerca han utilitzat els peixos per fer les seves investigacions. El present projecte s'inicia a l'Institut de Ciències del Mar (ICM) on s'utilitzaven els peixos zebra per fer dos estudis: un transgeneracional sobre l'afectació de l'increment de temperatura degut al canvi climàtic i a l'altra línia de recerca s'estudiava la toxicitat de LPS a diferents dosis.

És important que els experiments es duguin a terme en unes instal·lacions que compleixin certs requisits per fer una bona investigació. Donat que els preus d'aquests sistemes de recirculació tancada (SRT o racks d'aquaris) comercialitzats per les empreses són molt elevats, alguns centres d'investigació proposen dissenyar-los ells mateixos. L'objectiu d'aquest treball és l'obtenció d'un rack de recirculació tancada on situar els peixos i poder detectar de manera remota l'aparició de condicions desfavorables per la supervivència dels peixos zebra.

Per automatitzar l'aquari es va construir un prototip basat en un microcontrolador que rep dades de dues sondes (temperatura i nivell de l'aigua), i s'envien els resultats a una plataforma online que permet tenir un registre de la mesura d'aquests paràmetres. D'aquesta manera es poden saber les condicions en què es troba el sistema a distància, sense necessitat de personal que comprovi el correcte funcionament de les instal·lacions.

El funcionament de les sondes s'ha verificat amb mesures controlades. El prototip s'ha validat a les instal·lacions de l'ICM mitjançant una prova de mesura continua durant 24 h.

Resumen

En los últimos años, varios campos de investigación han utilizado los peces para hacer sus investigaciones. El presente proyecto se inicia en el Instituto de Ciencias del Mar (ICM) donde se utilizaban los peces cebra para hacer dos estudios: un transgeneracional sobre la afectación del incremento de temperatura debido al cambio climático y la otra línea de investigación se estudiaba la toxicidad de LPS a diferentes dosis.

Es importante que los experimentos se duin a cabo en unas instalaciones que cumplan ciertos requisitos para realizar una buena investigación. Dado que los precios de estos sistemas de recirculación cerrada (SRT o racks de acuarios) comercializados por las empresas son muy elevados, algunos centros de investigación proponen diseñar ellos mismos. El objetivo de este trabajo es la obtención de un rack de recirculación cerrada donde situar los peces y poder detectar de forma remota la aparición de condiciones desfavorables para la supervivencia de los peces cebra.

Para automatizar el acuario se construyó un prototipo basado en un microcontrolador que recibe datos de dos sondas (temperatura y nivel del agua), y se envían los resultados a una plataforma online que permite tener un registro de la medida de estos parámetros. De esta manera se pueden saber las condiciones en que se encuentra el sistema a distancia, sin necesidad de personal que compruebe el correcto funcionamiento de las instalaciones.

El funcionamiento de las sondas se ha verificado con medidas controladas. El prototipo se ha validado en las instalaciones del ICM mediante una prueba de medición continua durante 24 h.

Abstract

In recent years, several research fields have used fish to carry out their research. The present project begins at the Institute of Marine Sciences (ICM) where zebra fish were used to do two studies: a transgenerational on the effect of the increase in temperature due to climate change and the other line The study studied the toxicity of LPS at different doses.

It is important that the experiments are carried out in some installations that meet certain requirements to carry out a good research. Since the prices of these closed recirculation systems (SRTs or aquarium racks) marketed by companies are very high, some research centers propose to design themselves. The objective of this work is to obtain a closed recirculation rack where to locate the fish and to be able to remotely detect the appearance of unfavorable conditions for the survival of zebra fish.

To automate the aquarium, a prototype was built based on a microcontroller that receives data from two probes (temperature and water level), and the results are sent to an online platform that allows you to record the measure of the problem. these parameters. In this way you can know the conditions in which the remote system is located, without the need of personnel to check the correct operation of the installations.

The operation of the probes has been verified with controlled measures. The prototype has been validated at the ICM facilities through a continuous measure test for 24 hours.

Agraïments

En primer lloc voldria agrair als meus companys de pràctiques del ICM la oportunitat de fer aquest projecte. Començant per Javier Moraleda, actualment investigador amb qui vaig muntar l'aquari i m'ha donat el seu suport en la monitorització, en segon lloc a l'Alejandro Valdivieso per deixar-me col·laborar molt activament en el seu doctorat tenint així l'experiència de camp del que comporta un experiment transgeneracional, i finalment a Laia Ribas pel seu suport i col·laboració un cop acabades les pràctiques.

També agraeixo al meu tutor la seva atenta dedicació i suport que m'ha donat per tirar endavant el projecte.

Finalment, volia agrair als docents i companys de l'ESAB el seu ajut en orientar-me i col·laborar en algunes parts del projecte, i a la família i amics pel recolzament i motivació en tot el decurs del projecte.

ÍNDEX

ÍNDEX DE FIGURES	7
ACRÒNIMS	9
CAPÍTOL I: VISIÓ GENERAL DEL SISTEMA	10
1.1 Introducció	10
1.2 Estat de l'art	12
CAPÍTOL II: DISENY I MUNTATGE DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓ TANCAT	16
2.1 Introducció	16
2.2 Disseny de l'aquari	17
2.2.1 Requisits del Sistema de Recirculació Tancada	17
2.2.2 Protocol de muntatge de l'aquari	19
2.3 Càlculs i mesura de cabals hidràulics per a la instal·lació	22
2.4 Bio-filtres per al tractament de l'aigua	24
2.4.1 Filtrina	25
2.4.2 Esponges	25
2.4.3 Bio-boles	26
2.4.4 Carboni actiu	28
2.4.5 Filtre UV	29
2.5 Muntatge de l'aquari	30
2.6 Validació del tractament d'aigües	33
2.7 Resultats i discussió	33
2.8 Pressupost	34

CAPITOL III: MONITORITZACIÓ DE L'AQUARI	36
3.1 Introducció	36
3.2 Disseny de la sensorització	39
3.3 Components del l'AutoZAE	40
3.3.1 Microcontrolador: ESP8266.....	40
3.3.2 Pantalla: Liquid Crystal Display (LCD)	41
3.3.3 Sensor de temperatura: sonda DS18B20.....	43
3.3.4 Sensor de nivell d'aigua : mòdul d'ultrasons HC-SR04.....	44
3.3.5 Altres components.....	45
3.4 Programació del dispositiu.....	47
3.5 Descripció del sistema.....	50
3.6 Verificació del sistema de mesura	51
3.6.1 Verificació del sensor de temperatura	52
3.6.2 Verificació del sensor de nivell d'aigua	53
3.7 Validació a l'aquari.....	54
3.7.1 Validació del sensor de Temperatura	55
3.7.2 Validació del sensor de nivell d'aigua	56
3.8 Pressupost	57
CAPÍTOL IV: CONCLUSIONS	58
BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	60
ANNEX : CODI	64

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Cicle de vida del peix zebra. ^[1]	11
Figura 2. Sistema comercial AT- Control ^[9]	14
Figura 3. Sistema comercial ProfiLux ^[9]	14
Figura 4. Rack 1 d'Aquaneering	16
Figura 5. Tancs Aquaneering utilitzats al CSIC ^[16]	19
Figura 6. Esquema del Sistema de Recirculació Tancada	20
Figura 7. Sistema alternatiu dels tancs ^[17]	21
Figura 8. Fotografia d'un tanc d'aigua	22
Figura 9. Esquema del dipòsit d'aigua amb els components per el tractament d'aigües	24
Figura 10. Filtrines en diferents condicions	25
Figura 11. Esponges	26
Figura 12. Cicle del Nitrògen en un aquari ^[20]	27
Figura 13. Fotografia de Bio-boles	28
Figura 14. Bomba de carboni actiu ^[21]	29
Figura 15. Esterilitzador UV ^[22]	30
Figura 16. Rack muntat durant l'estància al centre.	32
Figura 17. Diagrama de flux d'un sistema d'arrancament i parada d'un motor ^[26]	38
Figura 18. Microcontrolador ESP8266 ^[28]	40
Figura 19. Pinout del microcontrolador ESP8266 ^[25]	41

Figura 20. Pantalla LCD ^[30]	41
Figura 21. Pins del LCD ^[29]	42
Figura 22. Sensor de temperatura DS18B20 ^[31]	43
Figura 24. Protoboard ^[34]	45
Figura 25. Cables ^[36]	46
Figura 26. Resistència ^[37]	46
Figura 27. Diagrama de flux per a la connexió a internet	49
Figura 28. Esquema de l'aparell de monitorització	50
Figura 29. AutoZAE	51
Figura 30. Verificació del sensor de temperatura	52
Figura 31. Verificació del sensor de temperatura	52
Figura 32. Verificació del sensor de nivell d'aigua	53
Figura 33. Verificació del sensor de nivell d'aigua	54
Figura 34. SRT amb l'AutoZAE (dispositiu encadrat en vermell)	55
Figura 35. Gràfic de ThingSpeak de l'evolució de la temperatura obtingut del dipòsit d'aigua de l'aquari.	56
Figura 36. Gràfic de ThingSpeak de l'evolució del nivell d'aigua obtingut del dipòsit d'aigua de l'aquari.	56

ACRÒNIMS

AutoZAE	Dispositiu de monitorització de la ZAE
BNC	Tipo de connector creat per Bayonet Neill-Concelman
CSIC	Consell Superior d'Investigacions Científiques
ESAB	Escola Superior d'Agricultura de Barcelona
ICM	Institut de Ciències del Mar
IDE	Entorn de Desenvolupament Integrat
IoT	Internet of Things
IP/TCP	Protocolo de Internet /Protocolo de Control de Transmisión
LCD	Liquid Crystal Display
LPS	Liposacàrid
PRBB	Parc de Recerca Biomèdica de Barcelona
PVC	Policlorur de vinil
SRT	Sistema de Recirculació Tancada
SSID	Service Set Identifier
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
ZAE	Zona d'Aquaris Experimentals

Capítol I: Visió general del sistema

1.1 Introducció

L'aqüicultura engloba totes les activitats que tenen com a objecte la producció, creixement (desenvolupament) i comercialització d'organismes aquàtics, animals o vegetals, d'aigües dolces, salubres o salades ^[1]. Les finalitats de l'aqüicultura poden ser d'alimentació, de repoblació o de caràcter científic. Específicament aquest projecte s'englobaria en el camp de piscicultura que és la branca de l'aqüicultura que s'especialitza en peixos com la carpa. Aquesta abarca diversos camps de producció per a diverses utilitats com ara ornamentals, com a matèria prima per al consum o com a investigació. Fa com a mínim 200 anys que s'utilitzen els peixos per a investigacions científiques, el peix de colors (*Carassius auratus*) pot ser considerat el model de peix documentat més antic en toxicologia aquàtica ^[2]. En els últims 35 anys els investigadors han experimentat amb altres espècies com ara el peix zebra (*Danio rerio*), en el qual ens centrarem.

Els peixos zebra són un model d'organisme utilitzat en moltes investigacions [1], des de la biomedicina fins a toxicologia. L'estudi d'aquest peix proporciona resultats aplicables a altres peixos comercials, ja que permet veure les respostes que es produeixen a nivell fisiològic, morfològic i epigenètic quan els peixos estan subjectes a diferents factors ambientals com ara l'estrès, les variacions de temperatura degudes al canvi climàtic ^[3], l'alta densitat poblacional o l'exposició (llarga o curta) a immunoestimulants.

Entre les avantatges de fer servir aquest tipus de peix es troba la facilitat de reproducció la qual els fa interessants per a estudis transgeneracionals. El seu és un dels genomes més caracteritzats i seqüenciats entre els vertebrats. Actualment, s'han obtingut 11 versions del genoma d'aquesta espècie, precisament per això s'estudia genètica en ell, així com els mecanismes de regulació genòmica (epigenètica). També proporciona un estalvi econòmic en el manteniment d'aquests animals, ja que el seu cicle de vida és més curt que els dels ratolins utilitzats tradicionalment. Aquests animals tenen un interval generacional molt curt, en 115 dies d'edat ja poden reproduir-se, a més a més ponen un gran nombre de ous (100-300 ous per posta). Un cop els ous han estat fertilitzats eclosionaran al tercer dia, sortint d'ells larves que en un mes seran alevins, en 3 mesos juvenils i als 4 mesos ja es podran reproduir. A la Figura 1 es mostra el cicle de vida dels peixos zebra. Quan parlem de cicle

de vida ens referim a les espècies, mentre que quan es parla de circuits ens referim a l'aigua del sistema . Per obtenir un sistema adequat és imprescindible conèixer el cicle de vida de la espècie.

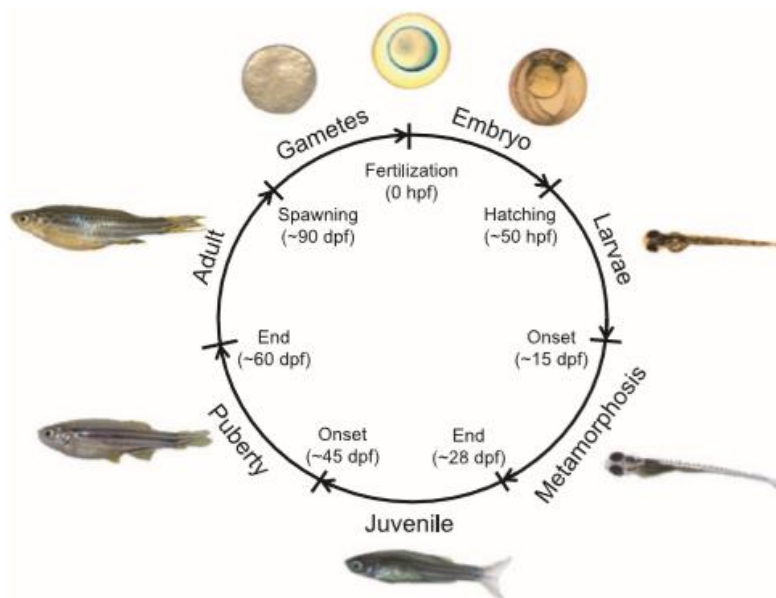


Figura 1. Cicle de vida del peix zebra. [1]

L'aqüicultura moderna de peixos, especialment l'aqüicultura industrial intensiva, involucra la producció d'espècies de peixos de reproductors en captivitat, tenint cura de tots els aspectes del seu cicle de vida, incloent nutrició, benestar, reproducció, etc. Per tal d'optimitzar l'aquari on es troben, cal conèixer les necessitats d'aquests animals.

El peix zebra és una espècie que pertany a la família (Cyprinidae) i és originari de l'Àsia central. És un peix d'aigua dolça que viu en un clima tropical, pot viure entre 16 °C i 38 °C, sent 28 °C la seva temperatura òptima. Pel que fa a l'acidesa de l'aigua, suporta un pH d'entre 5,5 i 9, però es troba més comfortable entre 7 i 8. A la Taula 1 es troben altres paràmetres de l'aigua adients per aquesta espècie.

Taula 1. Propietats físico-químiques de l'aigua per a peixos zebra criats en tanc ^[1]**Table 3** Zebrafish husbandry. Physico-chemical properties of the water for zebrafish reared in tanks. Values based on different documents (Detrich *et al.* 2004; Lawrence 2007; Lawrence *et al.* 2012a; Ribas & Piferrer, pers. observ.)

Variable	Tolerated	Ideal
Temperature (°C)	6.7–41.7	26–28
Hardness (Ca ²⁺ , mg L ⁻¹)	75–200	100
Acidity (pH)	5.5–9	7–8
Salinity (NaCl, ppt)	0.1–14	0.25–0.75
Ammonia (NH ₄ ⁺ , mg L ⁻¹)	0–0.05	0.02
Nitrite (NO ₂ ⁻ , mg L ⁻¹)	0–0.5	0.2
Nitrate (NO ₃ ⁻ , mg L ⁻¹)	15–200	50
Phosphate (PO ₄ ³⁻ , mg L ⁻¹)	150–300	250
Dissolved oxygen at 28 °C (mg L ⁻¹)	5.5–8	7.5
Conductivity (µS)	200–4000	750–1500
Alkalinity (carbonate and borate specimens, mg L ⁻¹)	60–120	80
Copper (Cu, µg mL ⁻¹)	0–100	0–100
Chloride (Cl ⁻ , mg L ⁻¹)	<0.1	<0.1

Controlar el millor possible les condicions ambientals permet aïllar de forma més fiable i eficient el factor ambiental que nosaltres volem introduir com a objecte d'estudi, d'aquí la importància que el sistema sigui molt controlat i estable, perquè les conseqüències del que li passi al peix no se li puguin atribuir a cap altre factor extern.

1.2 Estat de l'art

Existeixen empreses del sector que es dediquen a la construcció de sistemes d'aquaris com ara és el cas d'Aquaneering®, la prestigiosa alemana EHEIM, i la italiana Aquaplastic. A continuació se'n fa un breu resum de cada una.

EHEIM és una marca líder en el sector d'aqüicultura, fundada al 1949 tot i que té els seus inicis com a fabricants de joguines tècniques, al 1962 desenvoluparen una bomba centrífuga amb un recipient de depuració que els va convertir en empresa pionera per la invenció de filtres aspiradors per acuaris, obrint les portes al sector de peixos ornamentals al món. Al 1970 tenien 100.000 filtres per acuaris en funcionament arreu del món, arribats a aquest punt van decidir tancar el sector de producció de joguines per centrar-se en l'aqüicultura, sector del qual son pioners desde fa més de 50 anys ^[4].

Aquaneering® és una marca californiana que construeix acuaris per a aficionats particulars i per a centres d'investigació. Aquesta empresa fa 25 anys que està implicada i s'ha tornat pionera en el sector, tanmateix els preus del mercat són bastant elevats ^[5].

La última marca comercial que s'esmenta és TecniPlast group, aquesta empresa italiana elabora material per a la indústria de laboratori des de 1949. Produeix una àmplia gamma de productes com sistemes d'habitatge, gabinets de flux laminar, solucions aquàtiques, equips de rentat, d'automatismes, serveis de descontaminació, tots units per productes de logística. Realitzen plataformes de monitorització i anàlisi que milloren el llinar del benestar dels animals. Tecniplast Group té instal·lacions al Regne Unit, França, Alemanya, EUA, Canadà, Xina, Austràlia i Japó^[6].

Molts dels centres d'investigació catalans treballen amb peixos zebra com ara el PRBB, la UAB i el CSIC i, per tant, han de tenir uns sistemes d'allotjament d'animals (estabularis de peixos) en condicions òptimes i un personal especialitzat en el camp. L'estabulari permet portar a terme investigació bàsica i aplicada en diversos camps de la ciència com ara la neuropsicologia, l'estudi del càncer, la fisiologia, la toxicologia, la psicologia, reproducció o la clonació. Un exemple n'és l'estabulari la UAB situat a la facultat de Biotecnologia. Un cas de construcció pròpia de rack d'acuaris seria el que es va muntar a on tenen un acuari de vidre on també realitzen assajos de toxicitat amb peixos.

Un altre exemple de centre d'investigació amb instal·lacions d'aqüicultura és la Universitat de Gran Canària ^[7]. La instal·lació es compon de diverses prestatgeries d'aquaris. El sistema de suport de vida de cada prestatgeria és integrat (filtre biològic, mecànic i ultraviolada) i inclou un climatitzador per a regulació de temperatura ^[8].

Entre els dispositius de control comercial s'esmenten dos marques comercials: Aqua Medic i ProfiLux. Les avantatges que presenten respecte l'autoZAE és l'exactitud i la simplicitat a l'hora de la instal·lació. L'inconvenient que tenen és el seu elevat cost.

Aquamedic té el dispositiu "AT-Control" el qual permet controlar els paràmetres de l'aigua mitjançant un ordinador, dona la possibilitat de descarregar gràfics. El seu cost pot arribar a ser de 600 € ^[9].



Figura 2. Sistema comercial AT- Control ^[9]

ProfiLux té el dispositiu “ProfiLux controller 4” és més sofisticat que el primer ja que a part de la monitorització permet la possibilitat d’ interactuar amb el controlador desde un ordinador, tablet o dispositiu mòbil. El seu cost pot arribar a ser de 1000 € ^[9].



Figura 3. Sistema comercial ProfiLux ^[9]

Finalment, pel que respecta a la disponibilitat de sistemes d’avis automàtic i remot, al centre d’Aqüicultura de l’IRTA (Institut de Reserca i Tecnologia Agroalimentària) de Sant Carles de la Ràpita (Tarragona) es troben una instal·lacions similars, però a gran escala. Aquest centre disposa de 1200 m² dedicats a un vivàrium per al cultiu d’organismes aquàtics (reproductors, larvaris i cultius de plàncton) utilitzats per fer assajos de reproducció i vacunació, i 2500 m² dedicats a una zona exterior per al cultiu d’organismes aquàtics i assaigs de nutrició ^[10]. Les bombes, els cabals, els filtres, les sondes d’oxigen i de temperatura estan controlats mitjançant un programa. D’altra banda cada mòdul té un altre programa d’alarmes amb llums (verdes i vermelles) que estan limitats per uns rangs. Quan

algun d'aquests valors supera el màxim o baixa del mínim s'envia un missatge als guardes.
Tot això es controla amb un ordinador.

Capítol II: Diseny i muntatge del sistema de recirculació tancat

2.1 Introducció

La producció mitjançant SRT és molt intensiva i s'utilitza principalment per a peixos plans. Un SRT té moltes avantatges, s'aprofita molt l'espai, s'incrementa la producció etc però té que estar tot molt controlat (cobertura d'aigua, disponibilitat d'oxigen, pH...).

L'ICM té un departament on es duen a terme investigacions amb peixos zebra. Aquest disposa d'una cambra a la Zona d'Aquaris Experimentals (ZAE) on s'hi trobaven dos racks: un comprat anteriorment de la marca Aquaneering i l'altre construït per tècnics del mateix departament. A continuació es mostra a la Figura 4 el rack d' Aquaneering el qual es va fer servir d'exemple per fer el diseny del SRT proposat en el projecte.



Figura 4. Rack 1 d'Aquaneering

En iniciar el present treball s'estaven fent dos experiments simultàniament. El primer era un experiment transgeneracional que englobava 4 generacions de dos grups, el de control i els peixos que havien estat sotmesos a altes temperatures per estudiar l'efecte del canvi climàtic [11,12 i 13]. En aquest segon experiment es necessitaven moltes peixeres per no barrejar les famílies i els grups experimentals. D'altra banda també s'estava estudiant la toxicitat de LPS, on es feien exposicions curtes de 24h i proves de toxicitat a diferents dosis. LPS és el lipolisàcarit extret de bacteries i és considerat un immunostimulant, però això no treu que sigui tòxic, i la possibilitat de que a l'aigua quedin restes d'aquesta substància podria pertorbar els resultats d'altres experiments.

A part de la necessitat d'aïllar l'experiment en que s'exposaven els peixos al LPS dels peixos que se'n feia un estudi transgeneracional, es va proposar fer el disseny i muntatge del rack de peixos zebra per ampliar les instal·lacions on allotjar els peixos i estalviar costos. Es va pendre com a exemple els que ja s'havien comprat anteriorment de la marca Aquaneering per fer el disseny.

2.2 Disseny de l'aquari

El disseny proposat persegueix l'objectiu de realitzar un SRT que imiti als de les marques professionals especialitzades en l'àrea. Es van pendre d'exemple els dos sistemes que hi havien a la ZAE del ICM, amb la intenció d'assemblar-se el màxim possible al de la marca comercial Aquaneering i d'exemple de muntatge es comptava el que s'havia muntat anteriorment pels tècnics del departament. En el següent apartat es mostren els requeriments que es van imposar al moment de fer el sistema:

2.2.1 Requisits del Sistema de Recirculació Tancada

La qualitat de l'aigua és el factor més important per rellevant, això implica una serie de requisits que s'expliquen a continuació:

- Que l'aigua tingui disponibilitat d'oxigen. A major temperatura la quantitat d'oxigen a l'aigua disminueix perquè el peix en consumeix més. Sense oxigen a l'aigua l'animal s'estressa i encara respira més (augmenta el nombre d'inhalacions per minut), com més mengen també consumeixen més oxigen.

- Tenir en compte la síndrome del tanc nou: els peixos moren intoxicats per un excés d'amoniac, ja que l'aquari està tant net que no té bacteries nitrificadores (Nitrosomas i Nitrobacter) que permetin passar l'amoni a nitrats i nitrits, per així obtenir nitrogen que pugui ser assimilat i no tòxic per els peixos. L'ió amoni és menys tòxic que l'amoniac pels peixos.
- El peix allibera el amoniac (en les seves dues formes) per les brànquies i l'allibera per difusió, és a dir, el amoniac que el porta a la sang l'allibera per les brànquies a l'aigua ja que l'aigua té menys o nul·la la concentració d' amoniac , però si els nivells de amoniac són més alts en l'aigua que en la sang del peix llavors la difusió ja no es pot donar i el peix no pot alliberar l' amoniac i per tant es queda a la sang i els glòbuls vermells comencen a deteriorar-se i els peixos comencen a comportar-se de manera estranya, els hi baixen les defenses, emmalalteixen i moren ^[14].
- El diòxid de carboni expulsat en la respiració fa disminuir el pH i, si baixa de 7, pot provocar danys irreversibles als organismes. Es pot incrementar el pH mitjançant l'adició de substàncies alcalines fortes (en el present projecte s'utilitza bicarbonat) de manera que el CO₂ passa a carbonat i bicarbonats que són menys tòxics per als peixos.

D'altra banda també es consideren els següents aspectes en el diseny dels tancs:

- La forma geomètrica dels tancs, com entra i surt l'aigua dels tancs:
Els tancs rectangulars tenen la entrada d'aigua per un extrem i la sortida en un altre extrem. Tenen l'inconvenient que en la part de l'entrada de l'aigua hi haurà una alta concentració i d'oxigen, mentre que a la sortida de l'aigua hi haurà les mínimes concentració d'O₂. Es contempla que al alimentar una peixera rectangular dona lloc a diferents taxes de creixement (els peixos més forts es situaran a les zones on hi ha més circulació de l'aigua, mentre que els febles és situaran allà on l'aigua sigui menys turbulent.
- Les densitats de poblacionals són també un paràmetre important a considerar. Un rang acceptat sembla ser de 5 a 10 adults per litre, per a estadis larvaris els rangs acceptables són més alts ^[15].

El temps de retenció: el temps que tarda una làmina d'aigua en sortir del tanc i es calcula dividint el volum entre cabal que proporciona aigua a la peixera mitjançant un emissor (vàlvula) del qual es pot regular el cabal. Aquest cabal tindrà un valor aproximat (depenen

de l'edat del peix) de L/min, que és suficient per mantenir una bona qualitat de l'aigua i no estressar l'individu.

2.2.2 Protocol de muntatge de l'aquari

Basant-se en l'estructura del rack prefabricat de la marca Aquaneering, es va dissenyar el SRT en una prestatgeria de 5 prestatges d'alumini i de PVC, el qual suportaria els aquaris.

En aquest suport es van instal·lar les canonades per fer el sistema de subministrament i recirculació de l'aigua. A sota del prestatge inferior es situa un dipòsit que alimenta l'instal·lació subministrant aigua mitjançant una bomba aquàtica submergible, i d'altra banda recull l'aigua que surt per la part posterior de les peixeres. Els tipus de peixera es troben a la Figura 5.



Figura 5. Tancs Aquaneering utilitzats al CSIC ^[16]

Del dipòsit surt la canonada principal (PVC de diàmetre 20 mm) la qual arriba fins a la prestatgeria superior. Un cop l'aigua ha arribat a l'altura de la prestatgeria superior passa per un colze o continua el seu recorregut per un tub del mateix diàmetre al qual es varen instal·lar 8 emissors (vàlvules) que subministraran l'aigua a cada una de les peixeres.

Al final d'aquesta tuberia es troba un altre colze per on baixa l'aigua alimentant les altres ramificacions de les 4 prestatgeries restants. Per recollir l'aigua que surt de la part posterior del tanc es disposa d'una canonada que té un tall horitzontal (en forma de u) que recull l'aigua i la porta al dipòsit on es tractarà amb diferents filtres tal i com s'indica amb les fletxes taronjes a la Figura 6.

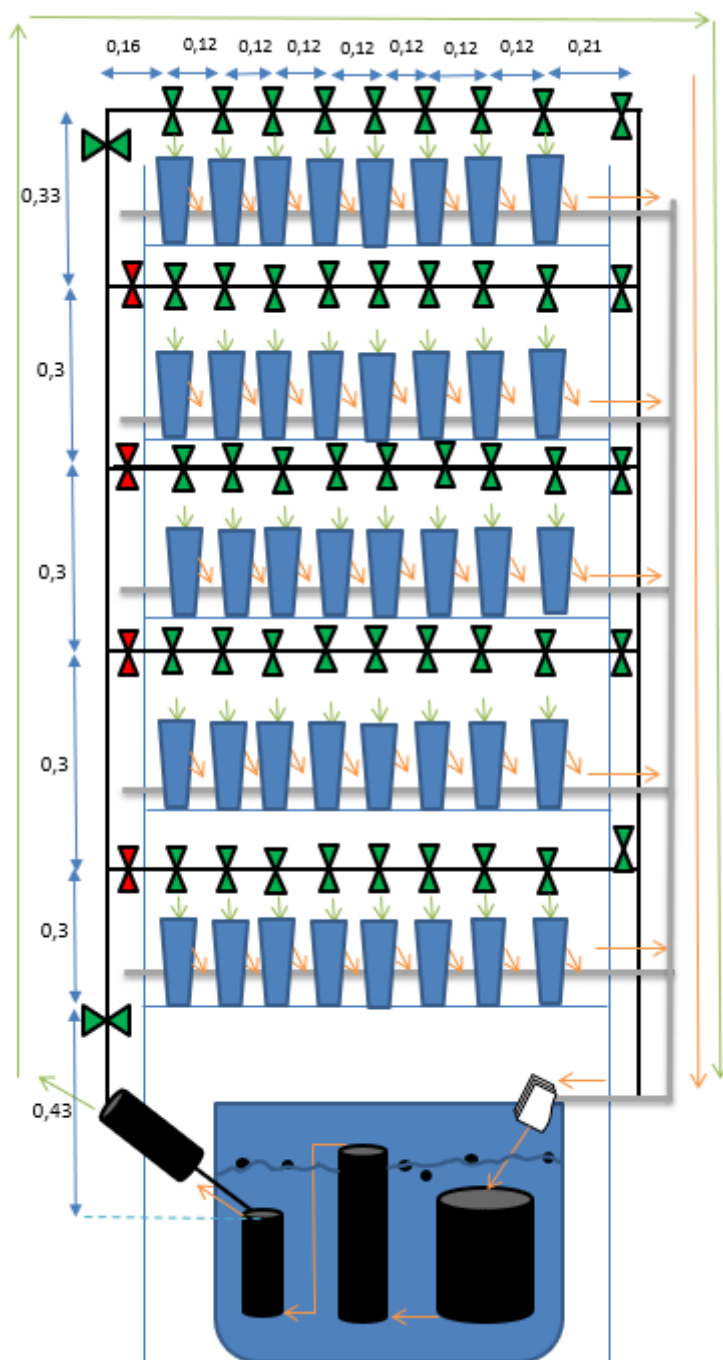


Figura 6. Esquema del Sistema de Recirculació Tancada

D'aquesta manera, cada prestatge té una canonada amb 8 vàlvules d'acer inoxidable que acabaran subministrant aigua a les peixeres mitjançant un tub de silicona d'ús alimentari de diàmetre interior de 4 mm i 2 mm de grossor.

Pel que fa a la recirculació de l'aigua, cal esmentar que els tancs de peixos emprats són prefabricats de la marca Aquaneering. Consten d'un tanc (com els de la Figura 8) que té una sortida posterior amb una reixeta que intenta protegir el sistema de fugues de peixos, tot i així existeixen sistemes alternatius com el que es mostra en la Figura 7. I una tapa amb un orifici per subministrar l'aigua al tanc. Tal i com es mostra en la següent fotografia.

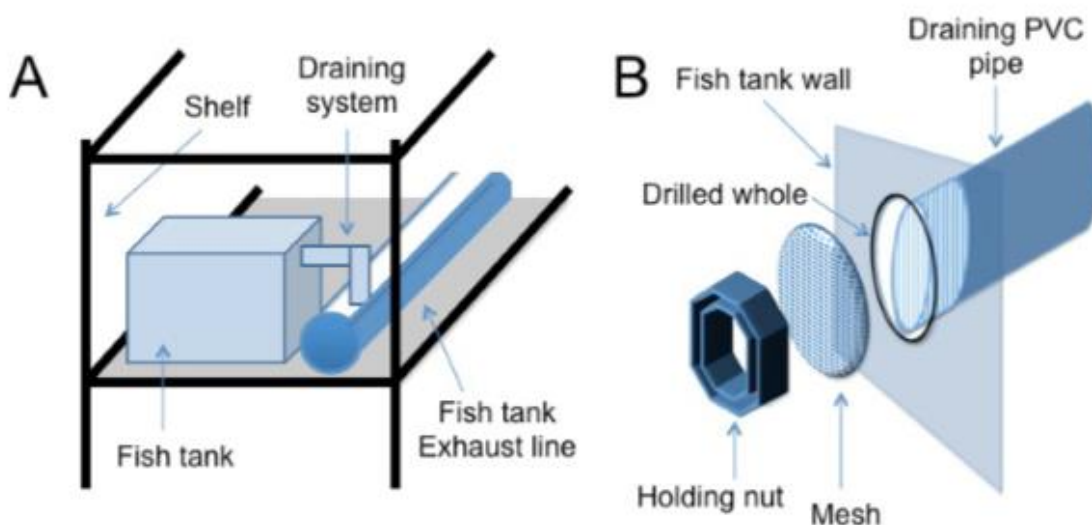


Figura 7. Sistema alternatiu dels tancs ^[17]



Figura 8. Fotografia d'un tanc d'aigua

Partint d'aquí, la sortida d'aigua posterior del tanc desembocarà en una canonada de PVC de 75 mm de diàmetre que, oberta per la meitat, serveix de col·lectora d'aigua de tots els tancs. L'aigua que ha desembocat de les peixeres baixarà per una canonada lateral que desemboca al dipòsit d'aigua on es fa el tractament d'aigua per tornar-la a recircular.

2.3 Càlculs i mesura de cabals hidràulics per a la instal·lació

Degut a que no es tenien dades de la pressió a cap punt, s'han fet els càlculs de manera aproximada. En aquest apartat es calcula la potència que necessita bomba per alimentar tot el sistema i, d'altra banda, el temps que tarda en renovar-se l'aigua en una peixera.

Es va prendre una mesura representativa del cabal òptim de la instal·lació que necessiten els peixos per no tenir estrès i es va obtenir un cabal mitjà de 12,42 L/h. Tot i que aquest valor variarà segons l'edat dels peixos, els càlculs s'han fet per a peixos adults. Finalment es calcula el temps que triguen els diferents tancs d'aigua en renovar l'aigua.

Tenint en compte els diàmetres i els materials del rack es van fer els càlculs pertinents per justificar la potència de bomba.

Per dur a terme els càlculs de les pèrdues de càrrega lineals es va fer servir la fórmula de Veronesse-Datei :

$$J = \frac{0,00092}{D^{4,8}} \cdot Q^{1,8} \quad (1)$$

Per calcular la pressió necessària de la bomba va ser necessari identificar l'emissor més desfavorable que va resultar ser el de l'últim emissor de la primera línia.

Es van calcular les pèrdues de càrrega fins aquest punt i es sumen a la pressió necessària de l'emissor. Per les pèrdues de càrrega singular (les quals engloben les vàlvules, els colzes i els tubs de silicona que subministren aigua a les peixeres) es va assumir un 20% de les lineals. Un cop obtinguda la pressió necessària a la sortida de la bomba es va procedir al càlcul de la seva potència mitjançant la fórmula (2), on s'ha assumint un rendiment de la bomba del 65% i del motor del 80%:

$$P(CV) = \gamma * m_{um} \cdot m_{ub} \cdot Q \quad (2)$$

Fent la conversió a CV surt una potència necessària de 0.078 CV. Considerant les característiques de la bomba del sistema la qual té una potència de 66 W que equivalen a 0.088 CV, per tant la bomba dóna abast per alimentar al SRT.

Un cop calculada la potència de la bomba es va procedir a estudiar el temps que tarda una peixera a renovar l'aigua. Es tracta d'un càlcul senzill i aproximat en que simplement es contempla el volum de l'aquari i el cabal que hi circula i es desprecia la geometria de l'aquari, tal i com es mostra en la fórmula (3). Trobem els temps de retenció de cada aquari a la Taula 2.

$$\text{Temps de retenció} = \frac{\text{Volum de l'aquari(L)}}{\text{Cabal òptim(L/min)}} = \frac{1,4 \text{ L}}{0,207 \text{ L/min}} = 6,76 \text{ min} \quad (3)$$

Taula 2 . Temps de retenció de l'aigua en els diferents tancs

Volum del tancs	Temps de retenció
1,4	6,76 min
2,8	13,53 min
9,5	45,89 min

2.4 Bio-filtres per al tractament de l'aigua

S'ha de tenir amb compte que els peixos allotjats en els acuaris disposen de molta menys aigua que en el seu hàbitat natural on els les substàncies de rebuig que excreten es dilueixen molt fàcilment. Per aquest motiu és necessari tractar l'aigua en els acuaris: ja que aquestes substàncies de rebuig excretades pels peixos poden augmentar a nivells tòxics [18].

El primer filtre que trobem en el dipòsit d'aigua és la filtrina, una espècie de tela sintètica. A continuació es troba un cilindre compost per un recorregut d'esponges filtrants, ordenades de major a menor llum de malla per evitar obturació, que retenen gran part de la matèria orgànica de l'aigua. Després trobem una bomba de carboni actiu, i finalment un esteritzador de raigs UV. La Figura 9 és un esquema dels filtres.

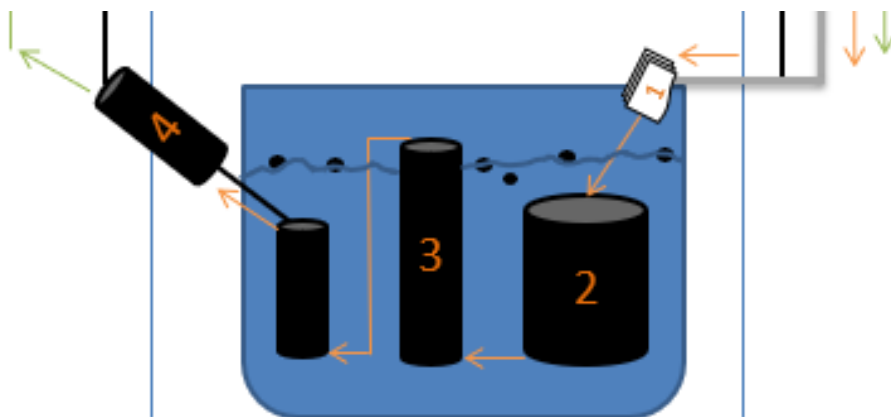


Figura 9. Esquema del dipòsit d'aigua amb els components per el tractament d'aigües

2.4.1 Filtrina

La filtrina és un tamís sintètic d'un sol ús que reté partícules de gran tamany. És un tela sintètica d'ús molt comú en filtres, com per exemple en els aires acondicionats. En aquest sistema, fa de primer filtre mecànic, retent la matèria orgànica i prevenint que les esponges s'obturin permetent que aquestes retinguin partícules més petites i permetent l'adhesió de les bacteries nitrificants.

Es canvia quan ha acumulat una fina capa de restes de menjar i excrecions (aproximadament dues vegades a la setmana, depenen de la càrrega del sistema, si s'ha donat un excés de menjar hi haurà més matèria orgànica). A la Figura 10 es mostren dos fotografies de la filtrina, a l'esquerra es visualitza la filtrina quan està neta mentre que a la dreta està molt bruta i s'ha de canviar.

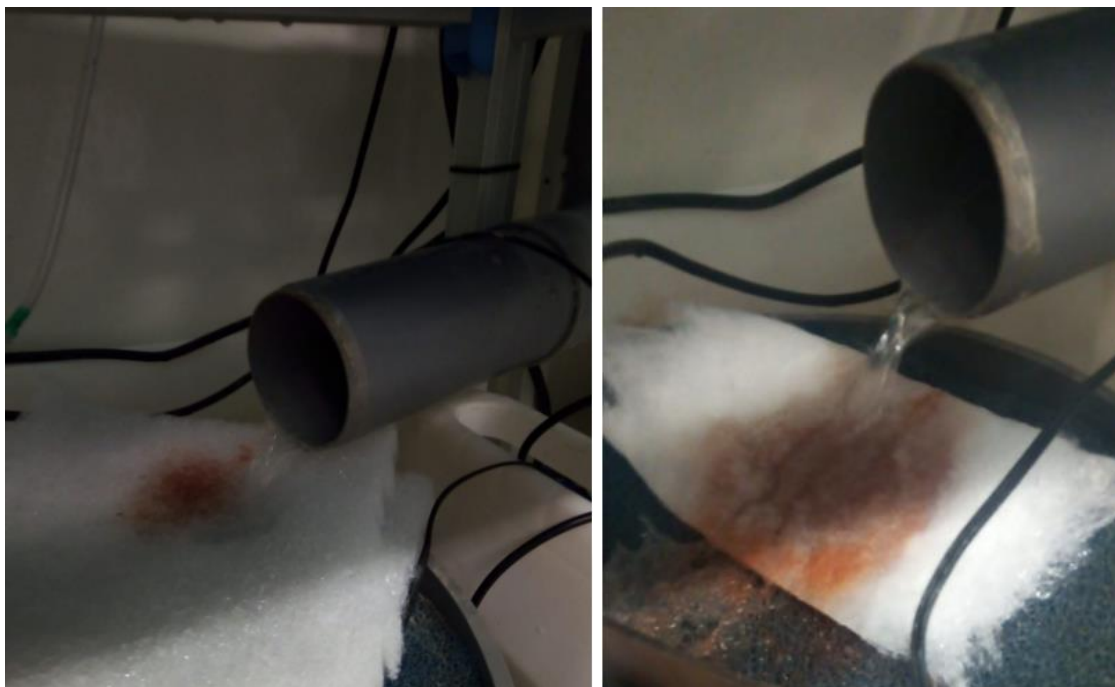


Figura 10. Filtrines en diferents condicions

2.4.2 Esponges

Les esponges formen la primera etapa del filtre que es trobarà l'aigua decantada dels aquaris. Cal tenir en compte el temps de maduració d'aquest filtre ja que han de passar dues setmanes perquè aquest neutralitzi la matèria orgànica. Aquest temps és

aproximadament el que tarden les colònies bacterianes a instaurar-se en el material. És un tipus de filtrat barat i eficient. A la Figura 11 es visualitzen amb diferents llums de malla (de més gran començant per dalt a més petita, a baix).



Figura 11. Esponges

Les esponges es netejaran periòdicament fent un rentat amb aigua de manera manual per treure-hi la matèria orgànica.

2.4.3 Bio-boles

Les bio-boles són unes peces de plàstic que actuen com a un dels filtres en el tractament d'aigua de l'aquari, per una part augmenten la superfície disponible on s'hi adheriran les bacteries nitrificants i, per l'altre part, oxigenen l'aigua.

En un aquari madur s'estableixen cicles beneficiosos on el que per a uns són deixalles, per a altres són nutrients ^[19]. Les bacteries nitrificants com diu el seu nom són organismes que es nodreixen de compostos inorgànics de nitrogen, concretament que transformaran l'amoníac (molècula que excreten els peixos i a altes concentracions és tòxica) en nitrats

en una primera reacció i posteriorment en nitrats, els quals són més nocius pels peixos. Dins de les bactèries nitrificants s'inclouen espècies dels gèneres Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrobacter i Nitrococcus, cadascun d'aquests assimila el nitrogen d'una manera diferent. Les Nitrosomonas i els Nitrococcus oxiden l'amoniac, mentre que les Nitrobacter i Nitrococcus oxiden el nitrit. A la Figura 12 es representa de manera esquemàtica el cicle del nitrogen.

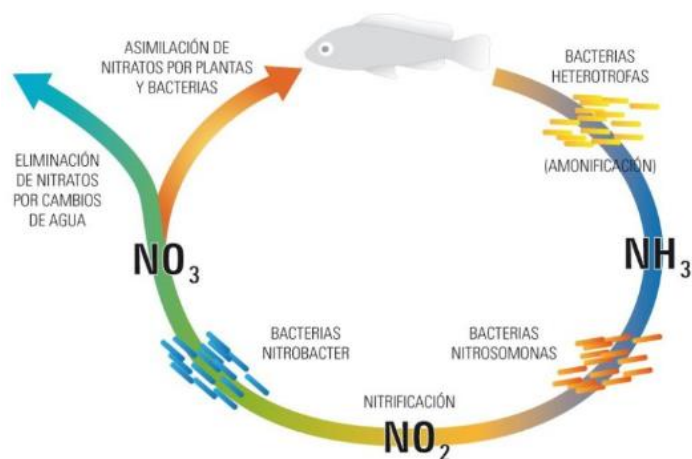


Figura 12. Cicle del Nitrogen en un aquari ^[20]

D'altra banda, les bio-boles mostrades a la Figura 13 es troben flotant a l'aigua, on hi ha perturbacions ja que l'aigua es recircula, al estar en contacte amb l'aire a part de ser un substrat per les bactèries també capturen l'oxigen i enriqueixen l'aigua amb aquest.



Figura 13. Fotografia de Bio-boles

El manteniment d'aquest filtre es molt simple, al ser la superfície on s'hi adhereixen bactèries és natural que s'hi acumuli matèria orgànica procedent de les restes de menjar o dels excrements dels peixos i hi ha perill de que es podreixi. Per evitar-ho, un parell de vegades a l'any es trauran de l'aquari i es "netejaran" (se'ls hi passa una aigua amb molta cura per no treure les bactèries).

2.4.4 Carboni actiu

El carboni actiu és un filtre químic un material d'origen orgànic el qual s'utilitza en aquaris amb pH alcalins degut a la facilitat d'atrapar àcids dissolts (proteïnes, urea i metalls pesants) degut a la seva altíssima porositat, compta amb una alta superfície d'acció on s'adheriran els compostos. El carboni actiu evita les males olors degudes a la putrefacció de matèria orgànica perquè eliminen les molècules que les produeixen.

En el present projecte es va adquirir un filtre de la marca EHEIM el qual estava compost per diferents cistelles tal i com es mostra a la Figura 14, i es van reemplaçar el contingut que tenien de gravilla per carboni actiu.



Figura 14. Bomba de carboni actiu ^[21]

Aquest filtre succiona l'aigua per sota i es bombejada per dalt, de manera que passa pels diferents mòduls extraient les substàncies tòxiques. S'ha d'anar renovant, ja que un cop saturat només servirà de suport per les bactèries nitrificants.

2.4.5 Filtre UV

Aquest és l'últim filtre abans de que l'aigua torni als aquaris. En un esterilitzador de raigs ultraviolats, l'aigua de l'aquari es dirigeix com una pel·lícula prima després d'un llum UV-C (cremador), a la Figura 15 es visualitza un esquema del filtre. La radiació UV-C penetra l'aigua i elimina els microorganismes, les espores d'algues i altres organismes petits.



Figura 15. Esterilitzador UV ^[22]

L'interior està compost d' alumini d'alta brillantor que reflecteix la llum UV-C i assegura una esterilització més eficient ja que mata els microorganismes de manera significativa. També és ideal per a la reproducció de dipòsits, ja que redueix el risc d'infecció. Redueix de manera ràpida i eficient tant els bacteris nocius com els paràsits dels peixos en les seves etapes infeccioses a l'aigua. Elimina la terbolesa causada pels bacteris.

Els esterilitzadors UV en general garanteixen un peix més saludable, ja que es redueix el risc d'infecció. Un esterilitzador UV és especialment recomanat per als tancs de reproducció, ja que els patògens perillosos poden infectar als peixos ^[22].

2.5 Muntatge de l'aquari

En aquest apartat s'explica el procediment que es va seguir per construir el RST. Per fer el muntatge de l'aquari es va necessita les eines i materials llistats a continuació:

Eines:

- Tefló
- Cola PVC
- Talla-tubs
- Serra
- Regle

Materials pel tractament de l'aigua:

- Dipòsit de (45 cm x 65 cm x 35 cm)

- Bomba de 66 W Eheim compact amb una altura de bombeig de 3 m i diàmetre de sortida 20 mm submergible
- Bio-filtres
- Bio-boles
- Esponges
- Carboni actiu
- Filtre ultra violeta
- Sonda de pH i temperatura
- Escalfador

A continuació s'explica el procediment que es va seguir durant la construcció del SRT.

El primer que es va fer va ser tallar les canyeries de PVC:

- Les canyeries del desaigües es van portar al "taller" del ICM i es va tallar una secció de dalt amb una serra radial de manera que caigues l'aigua pels orificis de sortida dels acuaris quan aquests haguessin arribat al seu limit.
- Les del circuit tancat d'aigua (desde la sortida de la bomba fins al dipòsit d'aigua) es van tallar amb l'ajut d'un talla-tubs i es van anar enganxant amb cola amb les vàlvules (8 vàlvules per fila) i amb les vàlvules de pas.
- Un cop es tenien tots els tubs tallats es van enganxar amb la cola per PVC menys tòxica que es va trobar i es van sellar les juntes de les vàlvules amb tefló.
- Un cop acabada la instal·lació de canyeries per on circularia l'aigua es va construir el biofiltre mecànic, es tractava d'un cilindre de PVC on s'hi van posar esponjes i bio-boles per tenir un primer filtre mecànic on s'hi adherien les bacteries nitrificants i eliminarien part de materia orgànica que els peixos dels acuaris generen.
- Finalment s'hi va posar la bomba perquè impulses l'aigua pel circuit. Adicionalment també s'hi va instal·lar una bomba de carboni actiu que purifiques l'aigua.

Per acabar, a la Figura 16 es visualitza en una fotografia el SRT construït en el present projecte.



Figura 16. Rack muntat durant l'estància al centre.

2.6 Validació del tractament d'aigües

Per validar que els peixos tenen una aigua amb bones condicions, periòdicament es van fent anàltiques d'aquesta al laboratori de l' ICM.

S'agafa aproximadament un litre d'aigua provinent del dipòsit i es porta a analitzar. Al següent apartat es troben els resultats de les anàltiques quantitatives d'amoniac, de nitrats, de nitrats, de silicats, i de fosfats.

El seu funcionament ha complert els requeriments fins l'actualitat, els peixos zebra han sobreviscut sense cap problema visible.

2.7 Resultats i discussió

El rack 1 és el primer sistema de disseny propi que es va muntar al CSIC el qual van construir manualment el personal investigador del centre, el rack 2 que van obtenir és prefabricat de la marca Aquaneering, i el rack 3 va ser la última adquisició del centre. El rack 3 és en el que es basa el present projecte, en el qual vaig col·laborar tant en el disseny com en el muntatge. A la Taula 3 es resumeixen els paràmetres de l'aigua, dels rangs suportats, el valor òptim ^[23] i els resultats de les anàltiques en els tres racks de la zona d'aquaris de l'ICM

Taula 3. Taula resum dels paràmetres de l'aigua, dels rangs suportats, el valor òptim ^[23] i els resultats de les anàltiques en els tres racks de la zona d'aquaris de l'ICM

	Temperatura		Amoni		Nitrats		Nitrats		Silicats	Fosfats
	°C		N-NH ₄ ⁺ (µmol/L)		N-NO ₂ ⁻ (µmol/L)		N-NO ₃ ⁻ (µmol/L)		Si-SiO ₄ (µmol/L)	P-PO ₄ (µmol/L)
Rangs suportats	6,7	41,7	0,000	2,778	0,000	27,778	833,333	11111,110	8333,333	16666,667
òptim	26 a 28		1,111		11,111		2777,778		13888,889	
RACK 1	26 a 28		0,112		0,456		2920,69		42,713	113,905
RACK 2	26 a 28		1,793		2,276		8160,81		169,906	269,588
RACK 3	26 a 28		0,069		0,182		4769,11		61,226	72,116

En aquesta taula resum es mostren varios paramatres indicadors de la qualitat de l'aigua dels tres racks que es trobaven a la ZAE .

Els paràmetres de qualitat de l'aigua es troben reflectits en els resultats de les mesures, els que més s'ajusten són els de la marca Aquaneering, la seva llarga experiència muntant aquestes instal·lacions fa que sigui el sistema que millors resultats ha donat. Tot i així, els dos racks muntats pel personal del CSIC es troben dins dels rangs que l'animal pot suportar, i s'ha comprovat que els peixos sobreviuen, així que proporciona un estalvi econòmic a l'ICM, de manera que poden dedicar més part del pressupost del projecte per a fer investigació enlloc de gastar-lo en instal·lacions.

2.8 Pressupost

A continuació es mostra el cost dels materials necessaris per al muntatge del Rack desglosant els diferents components amb el seu preu i origen de compra corresponents:

Producte	Preu	Comercial
Muntatge del rack		
Bomba EHEIM compact+ 2000	69,26 €	Mundo Acuario
Tubs per al rack 3	160,47 €	Servicio Estación
Tubs per al rack 3	90,00 €	Servicio Estación
Dipòsit d'aigua (45 cm x 65 cm x 35 cm)	≈20,00 €	Servicio Estación
TAR		
Esterilizador EHEIM ReeflexUV500	106,96 €	Mundo Acuario
Plancha foamex filtrant 50x50x5cm. gra fi	24,00 €	
Plancha foamex filtrante 50x50x5. gra mitjà	24,00 €	
Filtre intern EHEIM Biopower 240L	53,96 €	Mundo Acuario
Control		
Dock Station i Disc dur extern	293,04 €	Misco
Termostat EHEIM thermocontrol 300W	25,16 €	Mundo Acuario
200.25 Medidor amb display connectat a sonda de temperatura	98,00 €	
MW100 Medidor de pH digital amb sonda i cable d' 1 m	125,00 €	
Total	1.089,85 €	

El preu del dipòsit d'aigua és aproximat ja que és va reutilitzar de la ZAE, s'havia comprat

anteriorment al Servei Estació però no es va localitzar la factura.

Capitol III: Monitorització de l'aquari

3.1 Introducció

La finalitat de la monitorització és obtenir informació de la situació en que es troben les instal·lacions de peixos de la ZAE de manera remota sense necessitat d'una persona que ho comprovi in-situ. En el present projecte els paràmetres que es van monitoritzar van ser la temperatura i el nivell d'aigua de l'aquari per assegurar-nos que els peixos sobreviuen. També és interessant tenir un registre en cas d'haver-hi alguna anomàlia d'algun dels paràmetres que pugui pertorbar el resultat experimental. El dispositiu que prendrà mesures, enregistrarà i enviarà les mesures s'anomena AutoZAE.

És rellevant saber la importància de la mesura d'aquests dos paràmetres. Per una part la temperatura és un factor molt important per tots els organismes vius, ja que cada espècie té un rang de temperatures on s'assegura la seva supervivència i s'hi troba més confortable, i si s'hi allunya molt pot provocar la mort de l'individu. D'altra banda el nivell d'aigua és una mesura que informa de la disponibilitat d'aigua al SRT. Si hi hagués alguna fuga en la instal·lació (ha passat algun cop per no col·locar bé la tuberia que connecta la vàlvula amb el tanc de peixos) , provocaria que el nivell d'aigua del dipòsit disminuís, conseqüentment la bomba submergida en aigua quedaria a l'aire i a part de deixar de subministrar aigua possiblement s'espallaria i se'n hauria de comprar una altre. Sense recirculació, l'aigua de les peixeres no es tractaria, per tant als tancs s'acumularien les substàncies tòxiques excretades pels peixos i l'aigua no estaria oxigenada. Totes aquests fets provocarien estrès en els peixos i en un cas extrem podrien provocar la mort dels individus. El pH també és un dels paràmetres més importants en aquest tipus d' instal·lacions. En un principi també s'anava a incloure, però la sonda que es va comprar va resultar ser defectuosa i es va decidir descartar la mesura d'aquest paràmetre, tot i que el codi de programació està inclòs en el dispositiu però no es disposa de la sonda.

Arduino va ser inventat al 2005 amb el fi de cubrir la necessitat d'aprenentatge dels estudiants de computació i electrònica del mateix institut IVRAE, ja que fins aquell moment, adquirir una placa de microcontroladors era bastant car i no s' oferia el suport adequat. Anys més tard es va convertir en una eina líder mundial de tecnologies IoT (Internet of

Things) ^[23]. Amb unes nocions bàsiques d'electricitat, d'eletrònica, de programació i algo d'enginyeria és possible programar amb Arduino^[28] i automatitzar tot tipus d'instal·lacions.

La programació d'Arduino és la programació d'un microcontrolador. Programar Arduino consisteix a traduir a línies de codi les tasques automatitzades que volem fer. Es pren la mesura dels paràmetres que obtenen els sensors, i en funció de les condicions de l'entorn es pot arribar a programar la interacció amb el món exterior mitjançant uns actuadors. En aquest projecte no s'ha inclòs la automatització, però s'ha monitoritzat de tal manera que es pot accedir remotament a les mesures que aquests sensors prenen. De totes maneres el CSIC està interessat en seguir ampliant aquest projecte per aconseguir l'automatització. A la Figura 17 es mostra un exemple del seu funcionament en un diagrama:

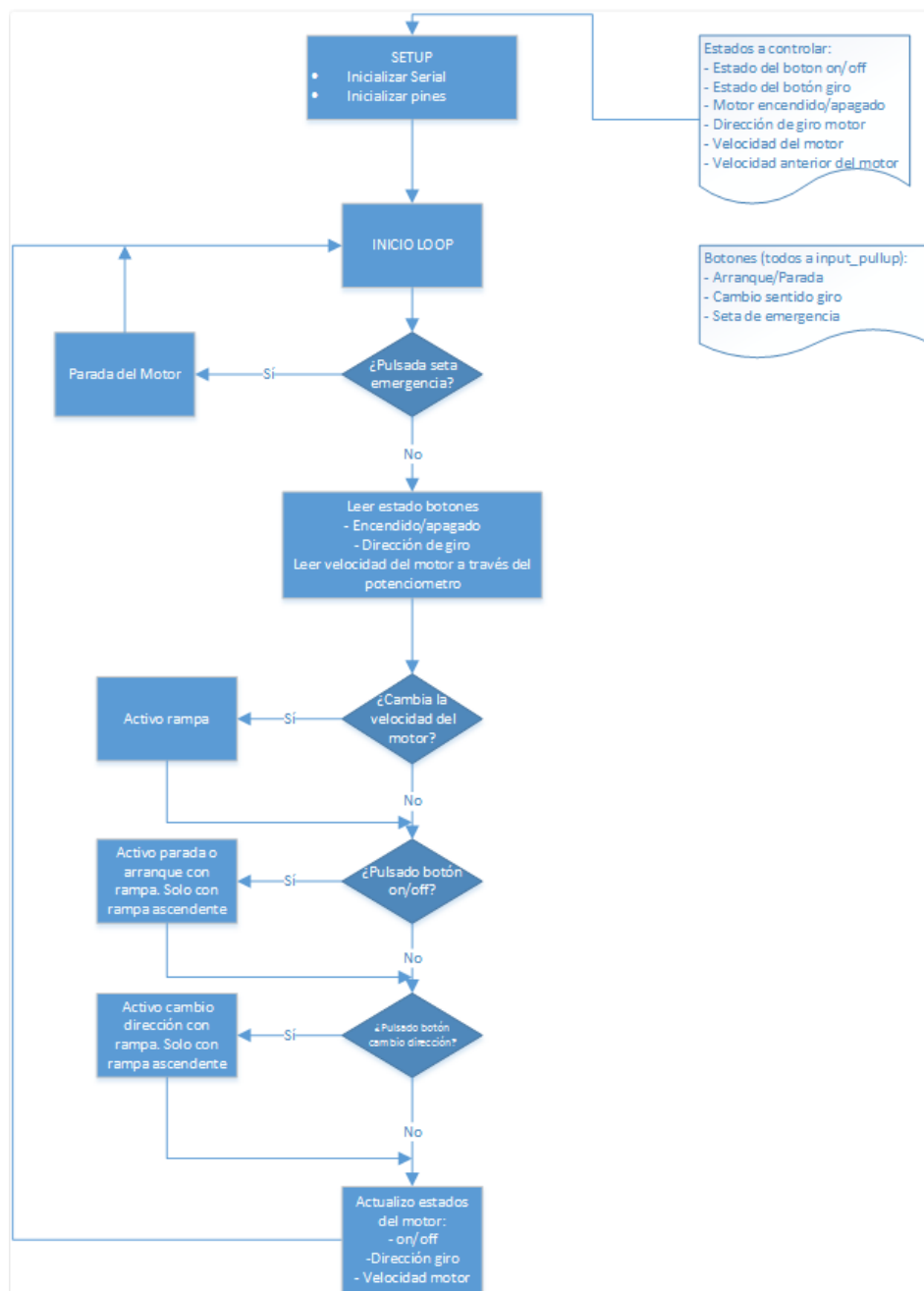


Figura 17. Diagrama de flux d'un sistema d'arrancament i parada d'un motor [26]

Arduino proporciona un entorn de programació senzill i potent per programar, però a més inclou les eines necessàries per compilar el programa i "cremar" el programa ja compilat en la memòria flash del microcontrolador. A més l'IDE (Entorn de Desenvolupament

Integrat) ens ofereix un sistema de gestió de llibreries i plaques molt pràctic. Com IDE és un programari senzill que no té funcions avançades típiques d'altres IDEs, però suficient per programar ^[26].

En un principi es volia fer servir un Arduino, ja que és el dispositiu més conegut per a automatitzar sistemes, però el fet de voler enviar les dades a una plataforma d'internet va complicar-ho. Per això es va elegir el microcontrolador ESP8266 el qual conté un mòdul per connectar-se a la xarxa Wi-Fi el qual facilita tant el muntatge com la programació.

Respecte als sensors, es van escollir per a la temperatura la sonda de temperatura DS18B20 i pel nivell d'aigua es va utilitzar un mòdul d'ultrasons L'HC-SR04. Per el pH es va comprar una sonda d'electròde Arduino BNC, la qual va resultar defectuosa i no es va acabar utilitzant com ja he esmentat anteriorment. Actualment es pot accedir als valors d'aquests dos paràmetres de forma remota des d'una aplicació del mòbil, i l'ICM s'està plantejant l'automatització de la ZAE.

3.2 Disseny de la sensorització

En l'apartat anterior s'han explicat les implicacions que té disposar d' un SRT monitoritzat i també s'han introduït els principals components de l'AutoZAE, en aquest es fa una breu descripció del disseny proposat.

Es van connectar tots els components que conformaven el dispositiu final (els quals es descriuen en més detall en l'apartat 3.3) mitjançant una protoboard. Els pins del microcontrolador es van connectar amb les sondes amb els cables pertinents i amb resistències quan era necessari.

Finalment, quan ja es van tenir les sondes i la pantalla connectades al microcontrolador es va posar tot l'aparell dins d'una caixa de plàstic amb espumes per tal de protegir-lo al màxim possible i evitar que algun cable es desconnectes. D'altra banda es van posar espumes de porexpam a les parts electròniques per aïllar-les de la humitat que hi ha a la cambra de la ZAE. A la caixa es van fer quatre forats, al primer i més gran s'hi va col·locar la pantalla, per poder veure els valors de les mesures sense necessitat d'obrir l'aplicació de ThingSpeak. Els tres forats restants eren per la sonda de temperatura, el mòdul d'ultrasons i el cable d'alimentació microUSB del microcontrolador.

3.3 Components del l'AutoZAE

3.3.1 Microcontrolador: ESP8266

El ESP8266 és un SoC (System on a Chip) fabricat per la companyia china Espressif. Inclou un pont de port serie a WiFi, inclou un microcontrolador per gestionar el protocol TCP/IP i el software necessari per a la connexió 802.11. La majoria de models disposen d'entrades/sortides digitals i alguns models inclouen una entrada analògica. La seva avantatge és que disposa d'accés WiFi i el seu baix cost. És molt conegut per aplicacions IoT^[27].



Figura 18. Microcontrolador ESP8266^[28]

El microcontrolador que es va utilitzar en el present projecte era de la marca Wemos. Aquest microcontrolador consta de 11 entrades/sortides digitals, una entrada analògica, un connector micro USB i una distribució de pins tipo Arduino UNO tal i com es mostra a la Figura 19.

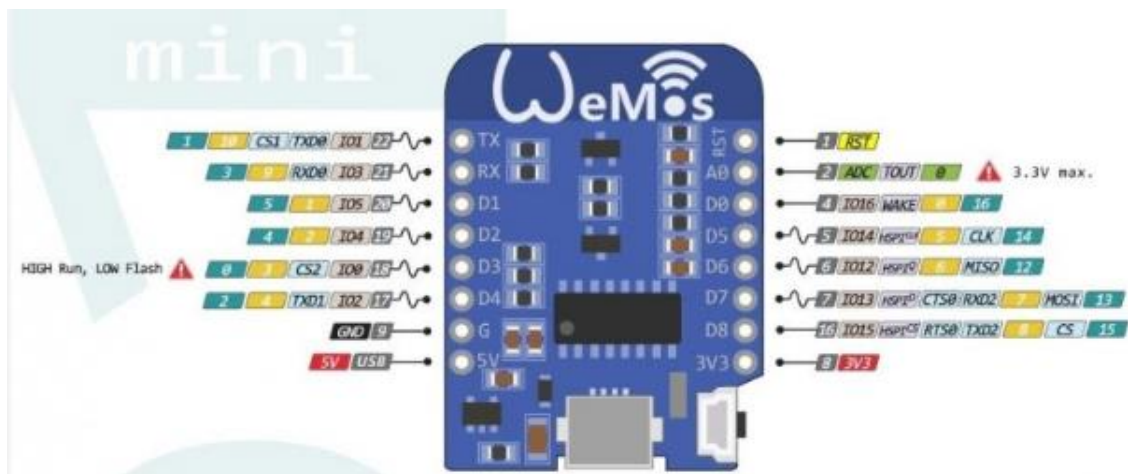


Figura 19. Pinout del microcontrolador ESP8266^[25]

3.3.2 Pantalla: Liquid Crystal Display (LCD)

LCD és l'acrònim de Pantalla de vidre líquid, aquesta tecnologia és força antiga, s'utilitzava en les primeres calculadores i rellotges de la marca Casio. Hi ha una ampla varietat de pantalles, en el present projecte es fa servir la més popular de 16 x 2. El que significa que es podran mostrar 16 caràcters en cada una de les dos files ^[29] tal i com s'observa en la Figura 20.



Figura 20. Pantalla LCD ^[30]

Aquest dispositiu té 16 pins tal i com es mostren a la següent figura:

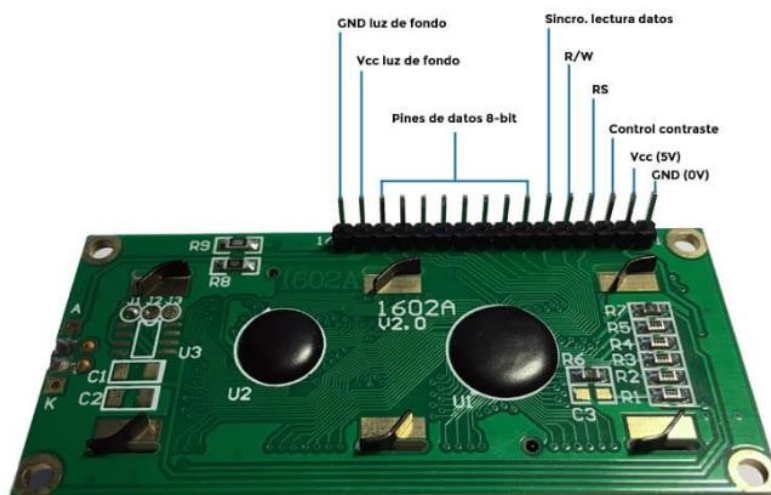


Figura 21. Pins del LCD^[29]

A continuació es descriuen els pins, tot i que a l'AutoZAE no s'utilitzen tots (més endavant es troba l'esquema on es visualitzen quins s'utilitzen):

- 1 GND (Terra)
- 2 5 V
- 3 Control de contrast de pantalla
- 4 RS – Selector entre comandes i dades
- 5 RW – Escripura i lectura de comandesi dades
- 6 Sincronizació de lectura de dades
- 7-14 Pins de dades de 8 bits
- 15 Alimentació de llum de fons (5V)
- 16 GND (Terra) llum de Fons (0V)

Per programar el codi d'Arduino s'utilitza una llibreria que fa més fàcil el desenvolupament. Aquesta llibreria és la "LiquidCrystal.h". No cal instal·lar-la en l'entorn de desenvolupament

oficial ja que ve per defecte. Només s'ha d'afegir com un include en el nostre programa o sketch ^[29].

3.3.3 Sensor de temperatura: sonda DS18B20

La sonda de temperatura DS18B20 és un sensor de temperatura fabricat per Maxim Integrated. Proporciona una sortida mitjançant un bus de comunicació que permet ser llegit amb una entrada digital d'Arduino. Originalment el sensor DS18B20 era fabricat per l'empresa Dallas Semiconductor, que va ser comprada per Maxim Integrated el 2001. Per aquest motiu aquest dispositiu encara es pot trobar referenciat com Dallas DS18B20, així com en Sketch i llibreries^[31].



Figura 22. Sensor de temperatura DS18B20 ^[31]

S'ha escollit la sonda de temperatura DS18B20 perquè és submergible en aigua, un aspecte indispensable per a la seva funcionalitat en aquest projecte i ens dóna una sortida digital compatible amb el microcontrolador. El rang de mesura de $-55,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $125,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ amb un rang d'incertesa de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ està dins del que es necessita i a més a més es pot adquirir a un baix cost.

Les seves connexions són bàsicament 3 cables tal i com es mostra a la Figura 22^[32]:

- VDD: és la tensió d'alimentació és a dir, el voltatge necessita perquè el sensor de temperatura DS18B20 funcioni correctament. Es pot alimentar des 3 V a 5,5 V. És molt interessant quan es treballa amb plaques com Arduino i NodeMCU que treballen a 3,3 V. En aquest cas se li posa una resistència

- GND: és la presa de terra. Aquest pin es connecta a la referència 0 V (o GRD) del circuit.
- DQ: és el pin de dades. Per aquest pin és per on es reben totes les dades en el protocol 1-Wire. Aquest protocol té l'avantatge de que només és necessari utilitzar un cable per connectar diversos sensors de temperatura DS18B20.

Des d'un punt de vista de la dinàmica de transferència de calor, es tracta d'un aparell de primer ordre degut al revestiment de acer inoxidable (6 mm x 30 mm) que el protegeix.

3.3.4 Sensor de nivell d'aigua : mòdul d'ultrasons HC-SR04

Un sensor d'ultra sons és un dispositiu per mesurar distàncies. El seu funcionament es basa en l'enviament d'un pols d'alta freqüència, no audible per l'ésser humà. Aquest pols rebota en els objectes propers i és reflectit cap al sensor, que disposa d'un micròfon adequat per a aquesta freqüència.

Mesurant el temps entre polsos, coneixent la velocitat del so, podem estimar la distància de l'objecte contra la superfície impacte l'impuls d'ultrasons L'HC-SR04 és un sensor de distància per ultrasons que calcula la distància en un rang de 2 cm a 450 cm amb una incertesa de ± 1 cm. S'alimenta amb una tensió de 5 V ^[33].

Consta de 4 pins de connexió: un d'alimentació i un de terra, un d'emissió de puls d'ultrasons (Trig) i un de recepció (Echo).

Distància = {(Temps entre Trig i Echo) * (340 m/s)}/2



Figura 23. Sensor d'ultrasò HC-SR04^[33].

3.3.5 Altres components

A continuació es fa una breu descripció dels altres components que resten de l'AutoZAE. Tot i que no aparentin tenir importància són indispensables per connectar tots els altres dispositius que s'han descrit en els apartats anteriors.

- Protoboard: És una placa base temporal molt utilitzada per fer proves i prototips temporals de circuits. S'utilitza insertant els terminals dels dispositius electrònics en els orificis de la protoboard de manera que tinguin continuïtat ^[34].

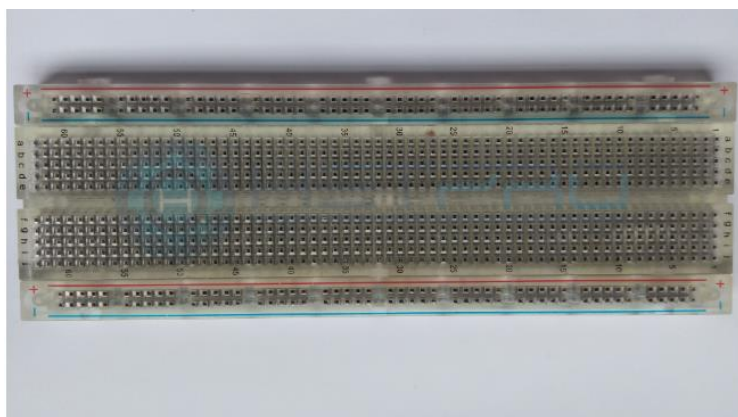


Figura 24. Protoboard ^[34]

- Cables: Els cables emprats per el dispositiu AutoZAE són amb terminals aïllats que s'utilitzen per a transferir senyals elèctriques dels components (en el present

projecte sensors), a qualsevol part de la protoboard als pins d'entrada/sortida del microcontrolador ^[35]. Per al prototip muntat en aquest projecte s'han utilitzat 3 tipus de cables (mascle-mascle, mascle- femella i femella-femella) tal i com es mostra en la Figura 25 .

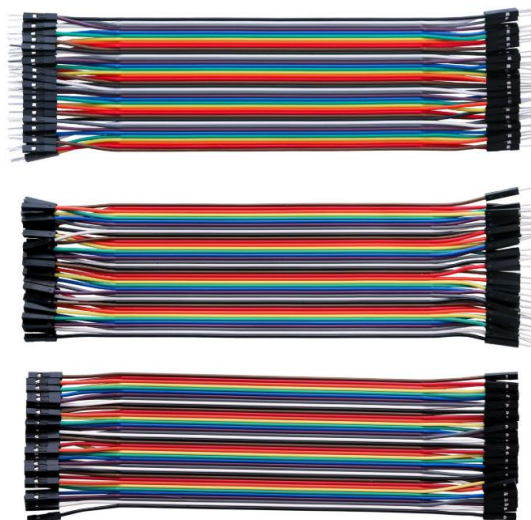


Figura 25.Cables ^[36]

- Resistències: És un element passiu el qual impedeix el pas dels electrons quan arriba per una unió elèctrica. S'utilitza per a baixar el corrent (amperatge), ja que a més resistència (Ohm, Ω) menys corrent, tal i com es decriu en la llei d'Ohm ^[37].



Figura 26.Resistència ^[37]

Finalment també es important esmentar que pel modul s'ultrasons es va agafar un pal de fusta i es va lligar a aquest amb una brida amb el fi de poder-lo posar a l'aquari.

3.4 Programació del dispositiu

El programari Arduino (IDE), de codi obert, facilita l'escriptura de codi i el penja al tauler. Funciona amb Windows, Mac OS X i Linux. L'entorn està escrit en Java i es basa en el processament i en un altre programari de codi obert ^[36] que s'assembla molt al C++.

Tot i que la placa de desenvolupament no fos manufacturada per Arduino es va programar amb la IDE de Arduino. El programa d'Arduino té un compilador, un depurador i un editor de codi font. Per utilitzar el mòdul ESP8266 cal instal·lar un driver (a l'ordinador des del que s'han programat els sensors) que permet reconèixer el xip FTDI, que s'encarregarà de les comunicacions entre PC i microcontrolador. D'aquesta manera ja es pot programar aquesta nova tarjeta desde el programa d'Arduino.

L'avantatge que presenta Arduino es que abans per utilitzar un microcontrolador es necessitaven cables especials, i habitualment el llenguatge de programació era molt complexe havent de programar-ho amb codi hexadecimal o inclús binari. Per connectar-lo amb l'ordinador era molt complex i es necessitava un transistor.

Actualment amb Arduino es facilita molt el treball amb microcontroladors de manera que amb unes poques nocions d'electrònica i programació es poden programar dispositius. Com és el cas d'aquest projecte. A continuació s'intenta explicar l'estructura del codi del dispositiu anomenat AUTOZAE.

El microcontrolador ESP8266 ja ve amb unes llibreries que el seu fabricant (expressive) va preparar per controlar el hardware amb la plataforma d'Arduino. Aquestes llibreries són:

- ESP8266WiFi.h
- WiFiClient.h

D'altra banda els altres dispositius utilitzats en el projecte també venien amb llibreries previament programades pels seus fabricants.

La pantalla en la qual apareixen els valors de les mesures que prenen les sondes es programa incluint la llibreria "LiquidCrystal.h".

En el cas de la sonda de temperatura DS18B20 tenia les següents llibreries:

- OneWire.h → llibreria que permet que s'enviïn les dades mitjançant un cable, en aquest cas s'utilitza com a protocol per comunicar-se amb la sonda temperatura.
- Dallas Temperature.h → Aquesta llibreria inclou les funcions descrites en el codi.

L'avantatge de treballar amb llibreries és que es poden cridar les funcions sense necessitat d'haver-les de programar. En el cas del mòdul d'ultrasons que mesura el nivel d'aigua no té llibreria, tot i així es va agafar el codi de la pàgina web de luisllamas ^[27].

El pròxim pas va ser la declaració de la xarxa inalàmbrica on es connecta el microcontrolador amb la ssid (nom d'usuari) i la seva corresponent contrasenya.

Un cop codificada la programació dels sensors i la connexió a internet es va procedir a vincular-lo amb la plataforma de ThingSpeak on tenen una solució de IoT i servidors que un cop et registres a la plataforma es poden utilitzar. Es va procedir a baixar-se la llibreria i l'exemple de ThingSpeak. L'exemple és un codi d'Arduino que facilita posar en practica les funcions que conte la llibreria. Fa falta estar registrar a la plataforma de ThingSpeak per obtenir els parametres de connexió anomenats apikey. L'api és com la contrasenya amb la que es connectarà amb el sevidor de ThingSpeak. D'aquesta manera l'Arduino està connectat a internet i es comunicarà amb la plataforma. A la Figura 27 es mostra el diagrama de flux corresponent al codi per a la connexió a internet.

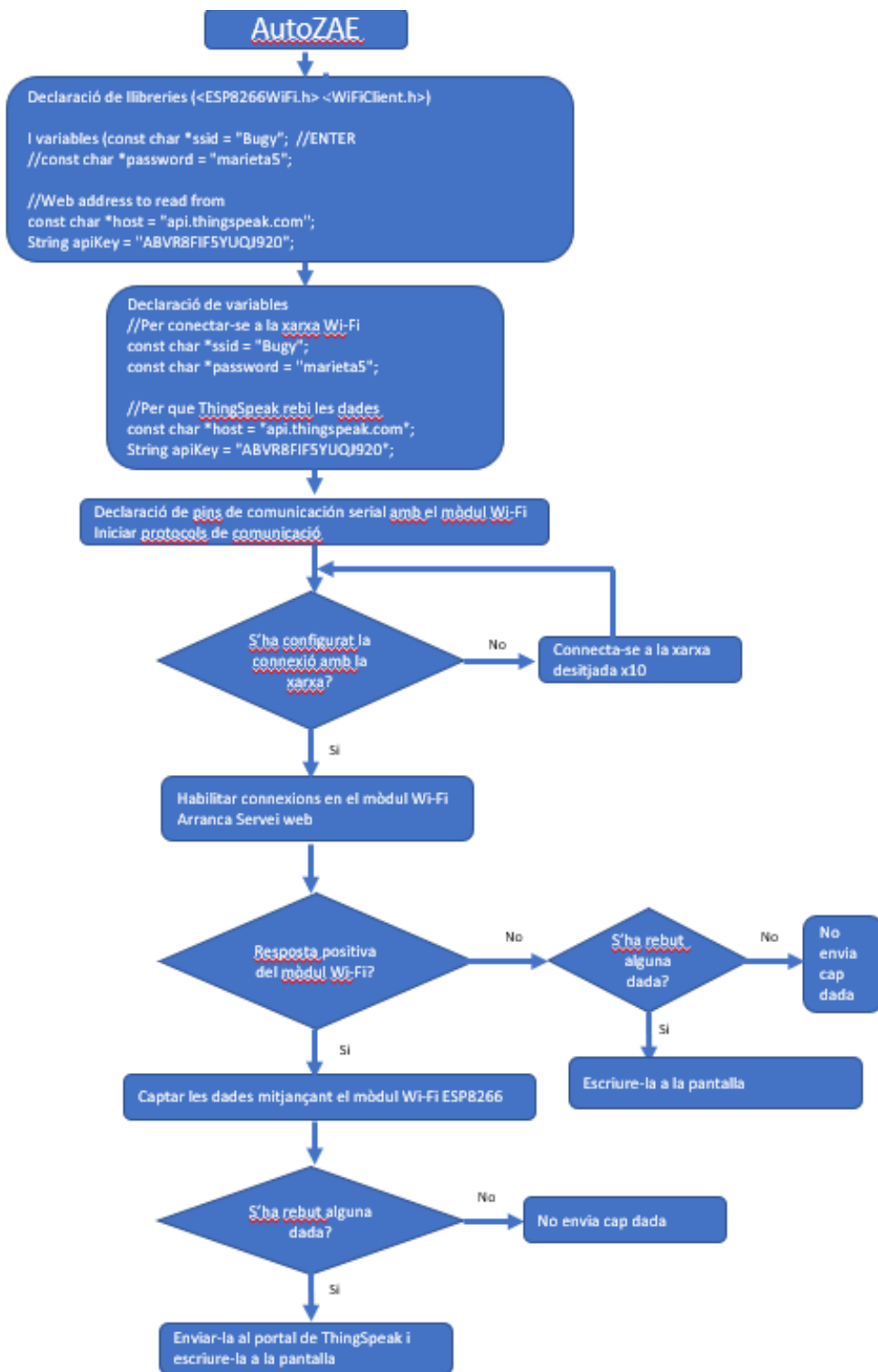


Figura 27. Diagrama de flux per a la connexió a internet

A través de una línia es pot escriure o llegir de ThingSpeak, en aquest cas només s'escriu a ThingSpeak els valors de les mesures de temperatura i nivell d'aigua. D'altra banda també s'escriuen a la pantalla. Per més informació a l'annex es troba el codi.

Finalment trobem un esquema de les connexions entre el microcontrolador i els dispositius que aquest controla en la Figura 28.

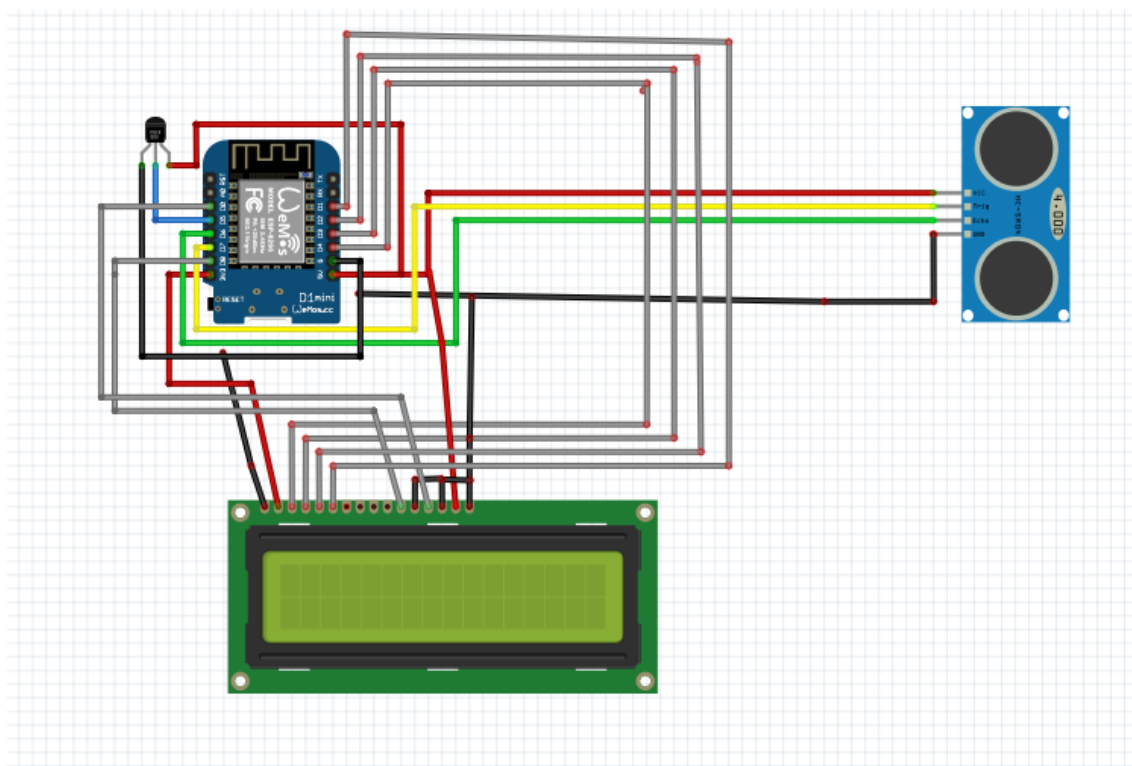


Figura 28. Esquema de l'aparell de monitorització

3.5 Descripció del sistema

Degut a l'alta humitat a la qual es sotmet el microcontrolador, s'ha intentat protegir-lo al màxim posant-lo dins d'una caixa amb forats per treure-hi les sondes i el cable d'alimentació. La sonda de temperatura és resistent a l'aigua, per tant no se li va fer cap modificació. Però, en el cas del sensor de nivell d'aigua se li ha afegit un porexpan a la part posterior (on es troba el xip) s'ha enganxat amb brides a un pal procurant que quedi el més horitzontal possible, assegurant així la perpendicularitat a la superfície de l'aigua. En cas

contrari, les mesures es desviaran del seu valor. Finalment es fixa el pal al dipòsit. A la Figura 29 s'observa l'AutoZAE.

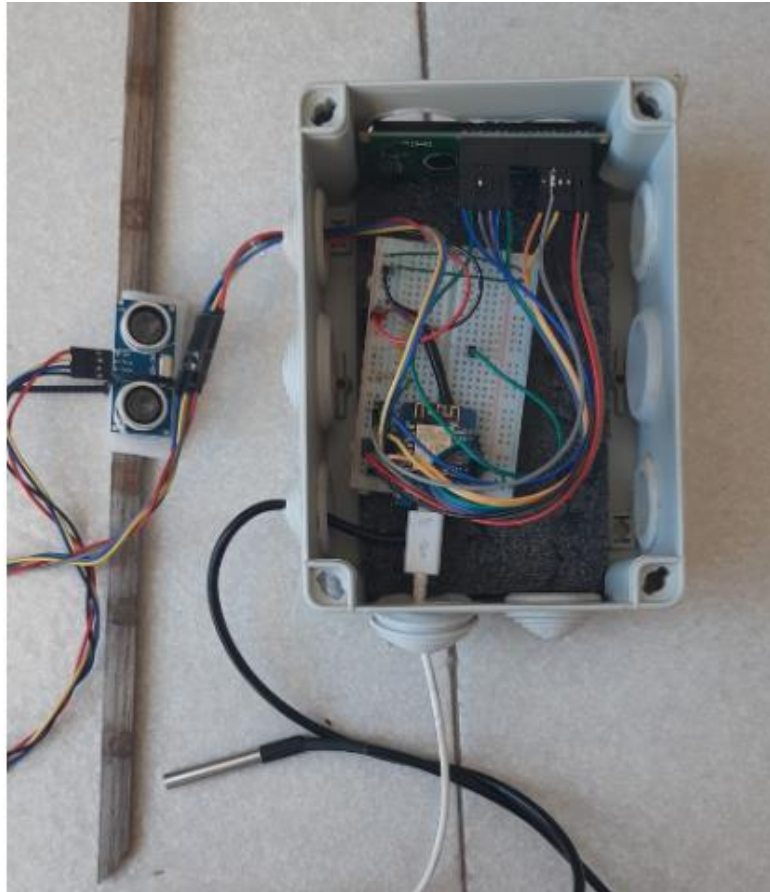


Figura 29. AutoZAE

3.6 Verificació del sistema de mesura

Per a la verificació de les mesures es va provar a casa de manera rudimentària que els sensors donessin les mesures correctes. En els següents apartats s'explica el procediment que es va seguir en cadascun dels sensors.

3.6.1 Verificació del sensor de temperatura

Per a la verificació de les mesures de temperatura es fa una calibració a dos punts agafant com a referència el gel el qual es suposava que estava a 0 °C i la temperatura d'ebullició que es va assolir bullint aigua en una tetera i es suposava que assolia el punt d'ebullició a 100 °C. A la Figura 30 es mostra una fotografia de com es van pendre les mesures.



Figura 30. Verificació del sensor de temperatura

A la Figura 31 es mostren els resultats de les mesures obtingudes a la plataforma de ThingSpeak:

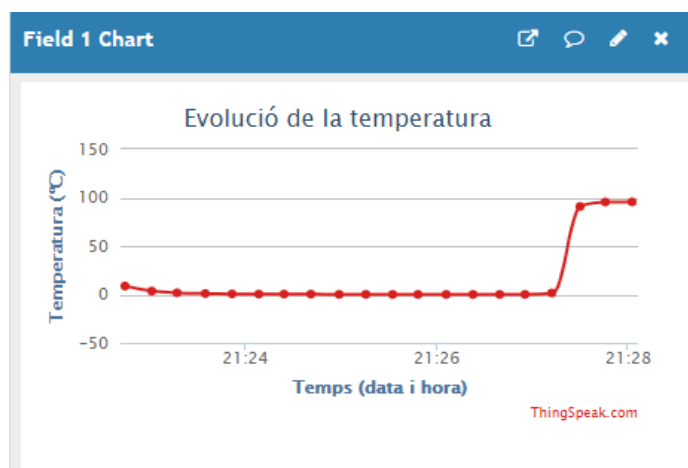


Figura 31. Verificació del sensor de temperatura

3.6.2 Verificació del sensor de nivell d'aigua

Per a la verificació de les mesures del nivell d'aigua que ens proporciona el sensor d'ultrasons, en col·locarem una cinta mètrica dins de l'aquari que es va buidant amb un tub fins que es quedi sense aigua, tal i com s'observa a la Figura 32.



Figura 32. Verificació del sensor de nivell d'aigua

El sensor d'ultrasons dóna la distància entre el sensor i l'aigua. El que interessa saber és la disponibilitat de l'aigua, per aquest motiu es va modificar el codi per obtenir un percentage de l'aigua disponible. Suposem que el màxim d'aigua es troba a 2,5 cm d'on es troba el sensor i el mínim quan ja no hi ha aigua, a 16 cm. Per tant la modificació que es va fer en el codi ve donada per la següent fórmula:

$$\% \text{ d' aigua} = 16 - \frac{\text{distància mesurada}}{0,135} \quad (4)$$

A continuació es mostra a la Figura 33 la gràfica obtinguda a la plataforma de ThingSpeak:

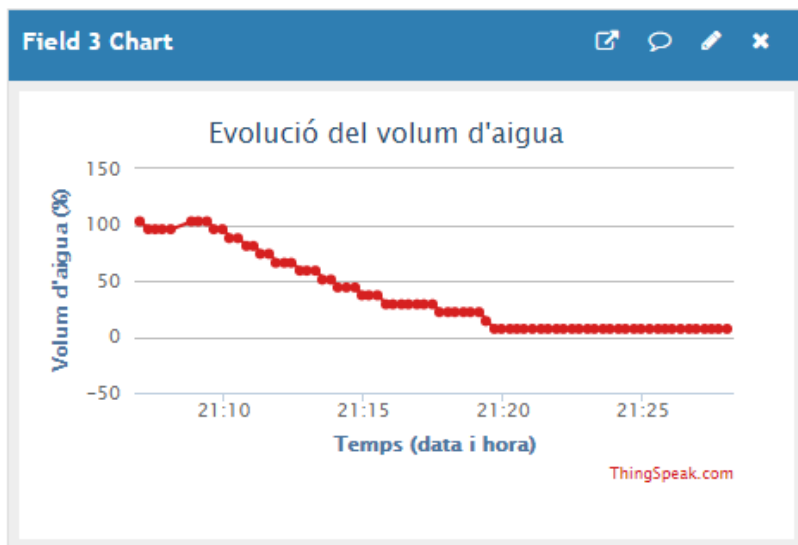


Figura 33. Verificació del sensor de nivell d'aigua

3.7 Validació a l'aquari

La última part experimental va ser dur el dispositiu a l'Institut de Ciències del Mar per verificar la seva funcionalitat. Es va deixar 24 hores en funcionament prenent dades i enviant-les a la plataforma ThingSpeak. Es va connectar a la xarxa mòbil que emetia un mòbil, ja que la zona d'aquaris té una connexió Wi-Fi bastant dolenta, i addicionalment se li sumava la dificultat de codificar per posar l'usuari.

Finalment es va portar l'aparell al CSIC i va estar en funcionament 24h.



Figura 34. SRT amb l'AutoZAE (dispositiu encadrat en vermell)

Els sensors es van col·locar al dipòsit d'aigua tal i com es veu en la imatge anterior.

3.7.1 Validació del sensor de Temperatura

En aquesta figura s'aprecia un gràfic on es pot veure l'efecte del control de la temperatura. Els resultats són molt coherents ja que l'escalfador es va programar de tal forma que s'engegués quan l'aigua arribés a 27,5 °C. A la Figura 35 es mostra la gràfica de les mesures de temperatura obtingudes de la plataforma ThingSpeak.

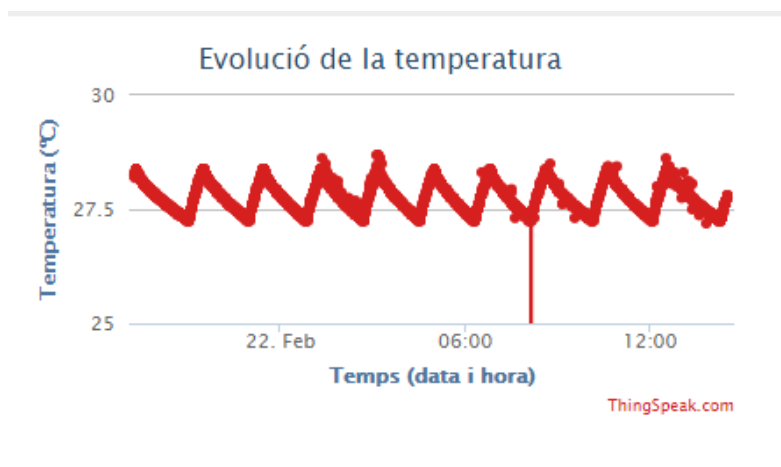


Figura 35. Gràfic de ThingSpeak de l'evolució de la temperatura obtingut del dipòsit d'aigua de l'aquari.

3.7.2 Validació del sensor de nivell d'aigua

Per a la validació del nivell d'aigua es va plantejar de la mateixa manera que a la verificació, però amb les distàncies corresponents al dipòsit d'aigua del SRT. A continuació es mostra a la Figura 36 la gràfica obtinguda de ThingSpeak sobre la mesura del nivell d'aigua.

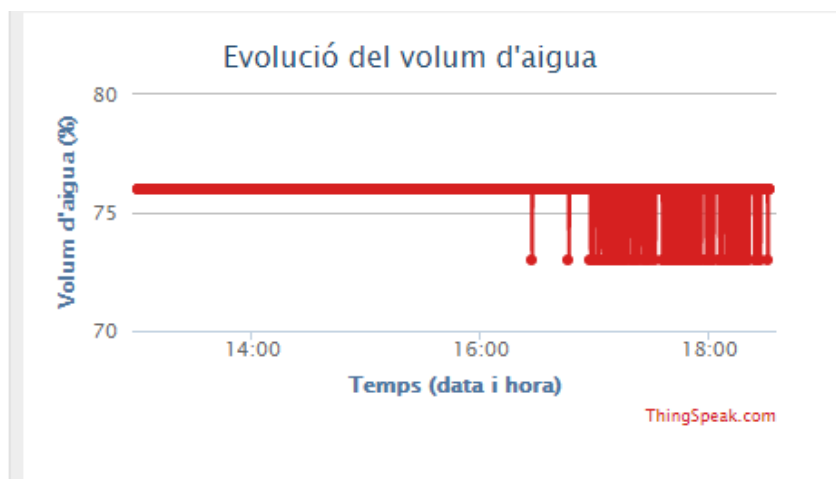


Figura 36. Gràfic de ThingSpeak de l'evolució del nivell d'aigua obtingut del dipòsit d'aigua de l'aquari.

3.8 Pressupost

A continuació es presenta l'import que van costar els components del dispositiu per a fer la mesura de la temperatura i quantitat d'aigua. També es troba el Phmetre que tal com s'ha explicat el el projecte s'ha programat però no s'ha afegit.

Producte	Preu	Comercial
LCD Display Module	2,91 €	Aliexpress
ESP8266 (Wemos)	1,91 €	Aliexpress
Mòdul ultrasònic HC-SR04	1,12 €	Amazon
DS18B20 sensor de temperatura	7,09 €	Amazon
pHmeter	13,86 €	Aliexpress
Protoboard 400	2,36 €	Amazon
Resistències	1,65 €	Aliexpress
Cables	4,10 €	Aliexpress
TOTAL	35,00 €	

Capítol IV: Conclusions

S'ha aconseguit fabricar un Sistema de Recirculació Tancat destinat a estabular peixos zebra amb fins experimentals. Els materials usats i el disseny de subministrament, filtrat i clarificat d'aigua han demostrat ser tan eficients com els usats per marques comercials. A més, l'addició d'un sistema de monitorització remota de nivell i paràmetres de l'aigua afegit al SRT ha funcionat correctament.

L'aplicació de sistemes electrònics senzills i la programació dels mateixos, ens permet un major control de qualsevol activitat tècnica o industrial. En la indústria de l'aqüicultura, s'estan començant a robotitzar granges per incrementar el benestar animal i per controlar el seu comportament de forma remota, així com per a processos sanitaris massius dels animals. A l'àrea de l'experimentació animal ha un gran potencial d'aplicació com a eina de suport al personal tècnic, oferint un major control i seguretat extra durant les absències. El desenvolupament i expansió d'aquests sistemes i els sensors associats ha permès que el seu ús sigui cada vegada més econòmic i senzill. A més, la divulgació d'aquestes tecnologies permet que, cada vegada més usuaris sense coneixements avançats d'electrònica i programació, puguin crear petits dispositius ad hoc per facilitar i optimitzar certes tasques quotidianes, de forma més precisa i segura. L'objectiu d'aquest projecte és obtenir unes instal·lacions pels peixos zebra més econòmiques que les que ens proporcionen les marques comercialitzadores. Aquestes instal·lacions inclouen el sistema de recirculació i tractament d'aigua per als aquaris, i la monitorització dels paràmetres més significatius. El pressupost que Aquaneering (marca comercialitzadora) ofereix per a aquestes instal·lacions és de 16.310 €. En el present projecte es van aconseguir construir unes instal·lacions similars pel preu de 1.090 €. Aquesta possibilitat de construir racks propis comporta un estalvi del pressupost, concretament en aquest projecte l'ICM es va estalviar 15.670 €. Es van invertir unes setmanes a dissenyar i construir el rack, aproximadament unes 80 hores.

D'altra banda es comprova que la monitorització dels racks es pot fer de forma econòmica. A més a més el fet de poder tenir accés a certes mesures de manera remota facilita molt el treball dels tècnics ja que no és necessari desplaçar-se fins a la ZAE per saber l'estat en el que es troben les instal·lacions.

Finalment crec que aquest projecte té força futur, ja que les instal·lacions del CSIC no comptaven amb cap tipus de monitorització. Com una futura ampliació d'aquest projecte es podria ampliar la funcionalitat del dispositiu (posant altres sondes, per exemple de pH). I per acabar es podrien automatitzar les instal·lacions (per exemple controlant un dispensador de bicarbonat per ajustar el pH) tal i com fan a l'IRTA.

Bibliografia i referències bibliogràfiques

- 1- Barnabé, Gilbert *ACUICULTURA*, Barcelona, EDICIONES OMEGA, S.A. (1991) ISBN: 9788428208222
- 2- Ribas, L., & Piferrer, F. The zebrafish (*Danio rerio*) as a model organism, with emphasis on applications for finfish aquaculture research. *Reviews in Aquaculture* (31 de juliol de 2013) Volume 6, Issue 4 p.209–240. Disponible a : <<https://doi.org/10.1111/raq.12041>>
- 3- Kalarani, V. Influence Of High Water Temperature On Sex Differentiation In An Ornamental Fish, *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS)* Volume 4 Issue 4 (April 2017) ISSN: 2394-4404 [Consulta: 28 de juny de 2019]. Disponible a : <http://www.ijiras.com/2017/Vol_4-Issue_4/paper_43.pdf>
- 4- *Historie*. A: EHEIM [en línia]. EHEIM GmbH & Co. KG [DE] [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://www.eheim.com/es_ES/empresa/historie>
- 5- *Overview*. A: Aquaneering [en línia]. Aquaneering, Inc. All Rights Reserved, 2019 [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <http://www.aquaneering.com/company_overview.php>
- 6- *Company profile*. A: Tecniplast [en línia]. Copyright Tecniplast Group 2017 [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <<https://www.tecniplast.it/en/company-profile.html>>
- 7- Benítez-Dorta, V., Caballero, M.J., Betancor, M.B., Machado, M., Tort, L., Torrecillas, S., Zamorano, M.J., Izquierdo, M., Montero, D., Effects of thermal stress on the expression of glucocorticoid receptor complex linked genes in Senegalese sole (*Solea senegalensis*): Acute and adaptive stress responses, *General and Comparative Endocrinology* (2017). Disponible a : <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ygcen.2017.06.022>>
- 8- *Estacion de acuarios*. A: Giaqua [en línia]. [Consulta: 2 juny 2019]. <<http://www.giaqua.org/index.php/es/instalaciones/80-lineas-de-investigacion/143-estacion-de-acuarios>>
- 9- Autor: Antonio Pérez Laguarda Tutor: Juan de la Cruz García Ortega. Effects of thermal stress on the expression of glucocorticoid receptor complex linked genes in Senegalese sole (*Solea senegalensis*): Acute and adaptive stress responses

- (2017). [Consulta: 26 juny 2019]. Departamento de Ingeniería Electrónica Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla
- 10- *Irta sant carles de la rapita*. A: IRTA [en línia]. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: < <http://www.irta.cat/es/centre/irta-sant-carles-de-la-rapita/>>
- 11- Piferrer, F. Endocrine Control of Sex Differentiation in Fish. Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment (Vol. 2). Elsevier Inc. (2011). [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a : <<https://doi.org/10.1016/B978-0-1237-4553-8.00162-3>>
- 12- Penman, D. J., & Piferrer, F. Fish Gonadogenesis Part I Genetic and Environmental Mechanisms of Sex Determination Reviews in Fisheries Science 16(sup1):16-34 (2008). [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a :<<https://doi.org/10.1080/10641260802324610>>
- 13- Francesc Piferrer & Yann Guiguen Fish Gonadogenesis. Part II: Molecular Biology and Genomics of Sex Differentiation, (2008) Reviews in Fisheries Science, 16:sup1, 35-55, [Consulta: 26 juny 2019]. DOI: 10.1080/10641260802324644
- 14- Andrés, D., & Obregón, A.. Calidad del agua y mantenimiento de acuarios, Revista Electrónica de Veterinaria REDVET ISSN 1695-7504 VI, 1–11. (Agost 2005).
- 15- Lawrence, Christian & Mason, Timothy. (2012). Zebrafish Housing Systems: A Review of Basic Operating Principles and Considerations for Design and Functionality. ILAR journal / National Research Council, Institute of Laboratory Animal Resources. 53. 179-91. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a : <<https://doi.org/10.1093/ilar.53.2.179>>.
- 16- *Tanks, Lids, Baffles, and Screens*. A: Aquaneering [en línia] 2014 Aquaneering, Inc. All Rights Reserved [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <http://www.aquaneer.com/tanks_lids_baffles_screens.php>
- 17- Paige, Candler & Hill, Bailey & Canterbury, Joseph & Sweitzer, Sarah & Alfonso Romero-Sandoval, E. (2014). Construction of an Affordable and Easy-to-Build Zebrafish Facility. Journal of visualized experiments [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a : <<https://doi.org/10.3791/51989>>
- 18- Tutor, L., Domingo Cantero Moreno. Autor: Jaime Lloret Pineda. DISEÑO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN ACUARIO DE EXPOSICIÓN DE AGUA DULCE. (2006) Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a : <<http://hdl.handle.net/10498/6465>>

- 19- Tutor, L., Juan Manuel Cruz (2016). Autor: Patricio Bos. Control de Acuario con la CIAA. UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES FACULTAD DE INGENIERÍA [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <<http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/tesis/LSE-FIUBA-Trabajo-Final-CESE-Patricio-Bos-2016.pdf>>
- 20- *Ciclo biológico del acuario: El ciclo del Nitrógeno A*: Blog acuarios Leuka (Febrer de 2017) [Consulta: 26 juny 2019] Disponible a : <<https://acuariosleuka.es/blog/?p=45>>
- 21- *Biopower*. A: EHEIM [en línia]. EHEIM GmbH & Co KG, 2019. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://www.eheim.com/es_ES/productos/tecnica/filtros-interiores/biopower240#>
- 22- *Reeflexuv*. A: EHEIM [en línia]. EHEIM GmbH & Co KG, 2019. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://www.eheim.com/en_GB/products/technology/uv-sterilizer/reeflexuv-800/>
- 23- Varga, Zoltan. Aquaculture, husbandry, and shipping at the Zebrafish International Resource Center. *Methods in Cell Biology*, Volumen 104 p.453-478 (2011). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374814-0.00024-0>. Disponible a: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123748140000240>>
- 24- Ingenier, G., Sanclemente, O., Tutor, C., & Lladr, R. C. Casa domotica con arduino. (2016). Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a : <<https://riunet.upv.es/handle/10251/75797>>
- 25- *Modulo 1*. A: Prometec [en línia] Copyright Prometec [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <<https://www.prometec.net/modulo-1/>>
- 26- *Programación Arduino*. A: [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/23/programacion-arduino-5/>>
- 27- *ESP8266 Información, modelos y diferencias A*: visystems 2019 [en línia] visystems 2019 [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <<http://visystem.ddns.net:7442/ESP8266-modulos/>>
- 28- *WEMOS D1 ESP8266 WIFI A*: Prometec [en línia] Copyright 2019 © Prometec.net [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <<https://www.prometec.net/wemos-d1-esp8266-wifi/>>
- 29- Luis del Valle Hernández “Texto en movimiento en un LCD con Arduino” a: programar facil [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a:

- <https://programafacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>
- 30- "Hello World!" A: Arduino [en línia] © 2019 Arduino [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HelloWorld>
- 31- Luis Llamas "Medir Temperatura de Líquidos y gases con arduino y DS18B20" A: Luis Llamas [en línia] [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://www.luisllamas.es/temperatura-liquidos-arduino-ds18b20/>
- 32- Luis del Valle Hernández "DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino" [apunt de blog]. A: programar facil [en línia]. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://programafacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>
- 33- Luis Llamas "Medir distancia con arduino y sensor de ultrasonidos HC-SR04" A: Luis Llamas [en línia] [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://www.luisllamas.es/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>
- 34- *Protoboard-Breadboard, qué es y cómo se usa* A: Hetpro [en línia] HETPRO/TUTORIALES Copyright © 2019. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/protoboard-breadboard/>
- 35- Cable puente a Wikipedia [en línia] Wikimedia Foundation, 2018. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Cable_puente
- 36- Elegoo 120 Piezas de Cable DuPont, 40 Pines Macho-Hembra, 40 Pines Macho-Macho, 40 Pines Hembra-Hembra, Cables Puente para Placas Prototipo (Protoboard) A: Amazon [en línia]. [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://www.amazon.es/Macho-Hembra-Macho-Macho-Hembra-Hembra-Prototipo-Protoboard/dp/B01NGTXASZ>
- 37- Luis Antonio De La Cruz Reyes "Definición de Resistencia Eléctrica, tipos y como calcular su valor" A: Ingeniería electronica [en línia] [Consulta: 26 juny 2019]. Disponible a: <https://ingenieriaelectronica.org/definicion-de-resistencia-electrica-tipos-y-como-calcular-su-valor/>
- 38- Gilarranz, A. C., Altares, S., & Loizu, M. (n.d.). Intelligent Irrigation System Based on Arduino (Febrer 2018) Universidad Politécnica de Madrid i Universitat Politècnica de Catalunya.

ANNEX : CODI

```
//Auto ZAE

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <WiFiClient.h>

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#include <LiquidCrystal.h>

// DECLARACION DE VARIABLES PARA PINES

#define DS18B20 D5 // cada vez que escribo DS18B20 se refiere al
pin 5

#define analogInPin A0

#define HC_SR04_PIN_TRIGGER D7

#define HC_SR04_PIN_ECHO D6

// DECLARACION DE VARIABLES PARA PINES DEL LCD

#define PIN_RS D0

#define PIN_EN D8
```

```
#define PIN_D4 D1
```

```
#define PIN_D5 D2
```

```
#define PIN_D6 D3
```

```
#define PIN_D7 D4
```

```
OneWire ourWire(DS18B20); //Se establece el pin 2 como bus OneWire
```

```
DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u  
objeto para nuestro sensor
```

```
LiquidCrystal lcd(PIN_RS,PIN_EN,PIN_D4,PIN_D5,PIN_D6,PIN_D7);
```

```
// VARIABLES PARA CALCULOS
```

```
float temp_DS18B20;
```

```
float temp_ph;
```

```
float ph_4502C;
```

```
int waterlevel_hcsr04;
```

```
//*****
```

```
/* Set these to your desired credentials. */
```



```
const int httpPort = 80; //Port 80 is commonly used for www

void setup() {

  delay(1000);

  Serial.begin(115200);

  lcd.begin(16, 2);

  // Print a message to the LCD.

  lcd.print("AutoZAE");

  delay (3000);

  pinMode(HC_SR04_PIN_ECHO, INPUT);

  pinMode(HC_SR04_PIN_TRIGGER, OUTPUT);

  WiFi.mode(WIFI_STA);          //This line hides the viewing of ESP
as wifi hotspot

  WiFi.begin(ssid, password);    //Connect to your WiFi router

  Serial.println("");
```

```
Serial.print("Connecting");

int intentos=0;

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && intentos<=10) {      //
Wait for connection

    intentos++;

    delay(1000);

    Serial.print(".");

    lcd.print('.');

    // Serial.println(""); Serial.print ("intentos ");Serial.print
(intentos);

}

if (intentos>=10)

{

    lcd.print('Connection error ');

    Serial.print ("No se pudo conectar");

    delay (2000);

}

else

{
```

```
    lcd.print('Connected ');

    Serial.println("");          Serial.print("Connected to ");
Serial.println(ssid);

    Serial.print("IP address: "); Serial.println(WiFi.localIP());
//IP address assigned to your ESP

    delay (2000);

}

//If connection successful show IP address in serial monitor

lcd.setCursor(0,0); //esapcio zero en la segunda linea

//*****

// CONFIGURAR PINES DE ENTRADA Y SALIDA

sensors.begin(); //Se inicia el sensor de temperatura

//initWaterLevelSensor();

}

//=====

//                               Main Program Loop

//=====

void loop() {

    temp_DS18B20 = getTemperature();

    ph_4502C = getph();

waterlever_hcsr04 = givemethedistance();
```

```
lcd.setCursor(0,0); //primera linea

Serial.print("Temperatura: "); Serial.print(temp_DS18B20);

//Serial.print("\tPH: "); Serial.print(ph_4502C);

Serial.print("\tdistance: "); Serial.println(waterlever_hcsr04);

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("T "); lcd.print(temp_DS18B20);

    lcd.print(" WL"); lcd.print(waterlever_hcsr04);

    lcd.print("  ");

    WiFiClient client;

    currentMillis = millis();//cuanto tiempo lleva el
microcontrolador abierto? este timer me va a dar los datos cada
15000 milisegundos(=timer_thingspeak) (los va amandar a
thingspeak!!))

    if (currentMillis > last_time_thingspeak + timer_thingspeak)
//TIMER

    {

        last_time_thingspeak = currentMillis;

        Serial.println("han pasado 15 seg");
```

```
//const int httpPort = 80; //Port 80 is commonly used for www

//-----
-----

//Connect to host, host(web site) is define at top

if (!client.connect(host, httpPort)) {

    Serial.println("Connection Failed");

    delay(300);

    return; //Keep retrying until we get connected

}

else

{

    Serial.println ("Hay conexión con el servidor de
ThingSpeak");

}

String Link = "GET /update?api_key=" + apiKey + "&field1=" +
temp_DS18B20 + "&field2=" + ph_4502C + "&field3=" +
waterlever_hcsr04; //+"&field4="+waterlevel2; //Requeste webpage

Link = Link + " HTTP/1.1\r\n" + "Host: " + host + "\r\n" +
"Connection: close\r\n\r\n";

Serial.println ("Link to ThinkSpeak: "); Serial.println (Link);
```



```
client.print(Link); //envia el linkk al servidor

Serial.println ("Link enviado.");

//-----
-----

//Wait for server to respond with timeout of 5 Seconds

int timeout = 0;

Serial.println("Esperando respuesta de ThingSpeak");

while ((!client.available()) && (timeout < 1000)) //Wait 5
seconds for data

{

    delay(10); //Use this with time out

    Serial.print("#");

    timeout++;

}

//-----

//If data is available before time out read it.

if (timeout < 999)

{

    while (client.available())

    {
```

```
        Serial.println(client.readString()); //Response from
ThingSpeak

        lcd.setCursor (0,1);

        lcd.print("Send OK");

    }

}

else

{

    Serial.println("Request timeout..");

    //lcd.print("Request timeout");

}

}

delay(1000); //Read Web Page every 5 seconds

}

//*****

//***** TEMPERATURE SENSOR *****

//*****

float getTemperature() {

    sensors.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer
la temperatura
```

```
float enviainput = sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la
temperatura en °C
```

```
return enviainput;
}
```

```
//*****
//*****PHMETER *****
//*****
```

```
int sensorValue = 0;
```

```
unsigned long int avgValue;
```

```
float b;
```

```
int buf[10];
```

```
float getph() {
```

```
    Serial.print("Getting PH");
```

```
    for (int i = 0; i < 10; i++)// i arranca en 0 i es mas pequeño
que 10 e i le suma 1 (bucle)
```

```
{
```

```
    buf[i] = analogRead(analogInPin); //buf es un array (matriz)
```

```
Serial.print (" fu");
```

```
Serial.print (buf[i]);
```

```
delay(100);
```

```
}
```

```
Serial.println ("");
```

```
// Serial.println(".");
```

```
for (int i = 0; i < 9; i++)
```

```
{
```

```
  for (int j = i + 1; j < 10; j++)
```

```
  {
```

```
    if (buf[i] > buf[j])
```

```
    {
```

```
      temp_ph = buf[i];
```

```
      buf[i] = buf[j];
```

```
      buf[j] = temp_ph;
```

```
    }
```

```
  }
```

```
    }

    avgValue = 0;

    for (int i = 2; i < 8; i++)

        avgValue += buf[i];

    float pHVol = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6;

    float  pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;

    return pHValue;

}

//*****
//*****WATER LEVEL SENSOR *****
//*****

int givemethedistance() {

    unsigned int tiempo, distancia;

    // ENVIAR PULSO DE DISPARO EN EL PIN "TRIGGER"

    digitalWrite(HC_SR04_PIN_TRIGGER, LOW);

    delayMicroseconds(2);
```

```
digitalWrite(HC_SR04_PIN_TRIGGER, HIGH);

// EL PULSO DURA AL MENOS 10 uS EN ESTADO ALTO

delayMicroseconds(10);

digitalWrite(HC_SR04_PIN_TRIGGER, LOW);

// MEDIR EL TIEMPO EN ESTADO ALTO DEL PIN "ECHO" EL PULSO ES
PROPORCIONAL A LA DISTANCIA MEDIDA

tiempo = pulseIn(HC_SR04_PIN_ECHO, HIGH);

// LA VELOCIDAD DEL SONIDO ES DE 340 M/S O 29 MICROSEGUNDOS POR
CENTIMETRO

// DIVIDIMOS EL TIEMPO DEL PULSO ENTRE 58, TIEMPO QUE TARDA
RECORRER IDA Y VUELTA UN CENTIMETRO LA ONDA SONORA

//PARA SABER EL VOLUMEN DE AGUA EN EL TANQUE HACEMOS LOS CALCULOS
PERTINENTES SEGUN LAS MEDIDAS DE ESTE--> VOLUMEN=VOLUMEN MAX-
(ALTURA SIN AGUA)*AREA EFECTIVA

distancia = 7.020-((1.8-(tiempo / 58))*3.90);

return distancia;

}
```