

Implementació d'un sistema de llast a una maqueta acadèmica

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Bernat Rullan Aguiló

Dirigit per:
Rosa M. Fernández

Grau en Tecnologies Marines
Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 9 d'octubre de 2019

Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica
Industrial



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



Resum

Aquest treball descriu la posada en marxa d'una maqueta autònoma per a estudis d'estabilitat mitjançant tancs de llast. Per fer-ho es parteix d'una maqueta ja existent però poc operativa atès que la instrumentació està externalitzada i el control es porta a terme mitjançant un PLC. El treball es centra en el redisseny per convertir-la en una maqueta totalment autònoma, amb els sensors a bord i el control mitjançant Arduino.

Per aconseguir que la maqueta sigui autònoma es duen a terme tres accions principalment:

- La primera es la reducció al màxim de tot el sistema de llast.
- La segona es la substitució de l'anterior instrumentació (sensors, processador,...)
- I la tercera es la substitució de la bateria per unes piles de liti 18650 i la divisió amb tres grups diferents.

Abstract

The aim of this paper is to illustrate how a model that works autonomously can be built in order to assess stability in ships using ballast tanks. The point of departure is a previously built model that did not fully reach its potential because it had the vast majority of its components externalized, which would not be truly functional in a real setting. As a result, a redesign of this model will be shown in this essay, while clear instructions on how to build it will also be presented.

In order to solve the troubles that were present in previous attempts by other colleagues, and in order to reach the full autonomy of this new model, three main essential actions will be performed:

- First, to reduce and simplify as much as possible the whole ballast system.
- Second, to replace the previous controller system for an Arduino Mega controller board.
- Third, to supplant the preceding battery for 18650 lithium ones, divided in 3 groups.

What has been unmodified from previous works is the hull of the ship (even if slightly modified), some sensors, valves and pipes.

Taula de continguts

RESUM	III
ABSTRACT	IV
TAULA DE CONTINGUTS	V
LLISTAT DE FIGURES	VII
LLISTAT DE TAULES	IX
CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ	1
1.1 MOTIVACIÓ I ABAST DEL PROJECTE	1
1.2 OBJECTIUS GENÈRICS I ESPECÍFICS	1
1.3 ORGANITZACIÓ DE LA MEMÒRIA	2
CAPÍTOL 2. DESMUNTATGE, REPARACIONS I MODIFICACIONS DE L'ANTIGA MAQUETA	3
2.1 DESMUNTATGE DE L'ANTIGA MAQUETA	3
2.2 MODIFICACIONS I REPARACIONS DE L'ESTRUCTURA	4
CAPÍTOL 3. SELECCIÓ DE LA INSTRUMENTACIÓ	9
3.1 VÀLVULES	9
3.2 RELÉS	10
3.3 BOMBA D'AIGUA	10
3.4 SENSORS DE NIVELL	11
3.5 ACCELERÒMETRE	16
3.6 CANONADES I UNIONS	18
3.7 SENSOR D'ULTRASONS	19
3.8 FONT D'ALIMENTACIÓ	20
3.9 CONTROLADOR PROGRAMABLE	23
3.10 MÒDUL BLUETOOTH	24
CAPÍTOL 4. PROGRAMACIÓ	25
4.1 ACCELERÒMETRE	25
4.2 SENSOR DE CALAT	27
4.3 SENSORS DE NIVELL	28
4.4 RELÉS	29
4.5 PANELL DE CONTROL	30

CAPÍTOL 5. RESULTAT FINAL	31
5.1 COMPARACIÓ AMB LA MAQUETA INICIAL	31
5.2 PRESSUPOST	33
5.3 PROBLEMES SORGITS	34
CAPÍTOL 6. CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR	35
REFERÈNCIES I BIBLIOGRAFIA	37
DIPÒSIT ACADÈMIC UPC	37
IL·LUSTRACIONS I FITXES TÈCNIQUES	37
INFORMACIÓ	38
ANNEX	39
A.1 FIXA TÈCNICA DELS OPTOACOBLEDORS	39
A.2 PINOUT ARDUINO MEGA	41
A.3 PLÀNOL HIDRÀULIC	42
A.4 PLÀNOL DE FORMES	43
A.5 DISPOSICIÓ DELS TANCS	44
A.6 PLÀNOL ELÈCTRIC	46

Llistat de Figures

Figura 1: Estat inicial de la maqueta [1].....	3
Figura 2: Primera part del desmuntatge de la maqueta	4
Figura 3: Maqueta sense mampares.....	5
Figura 4: Mampares desmuntables	5
Figura 5: Forats transformació del tancs.....	6
Figura 6: Tancament tanc reparat	6
Figura 7: Maqueta preparada per pintar-la	7
Figura 8: Modificació dels contenidors	8
Figura 9: Vàlvula de solenoide [3]	9
Figura 10: Esquema vàlvula de solenoide [3].....	9
Figura 11: Mòdul relé [4].....	10
Figura 12: Bomba d'aigua [5]	11
Figura 13: Dimensions de la bomba d'aigua [5]	11
Figura 14: Model originari sensor de nivell [6].....	12
Figura 15: Esquema optocobrador [16].....	12
Figura 16: Esquema final sensor de nivell.....	14
Figura 17: Col·locació sensor de nivell.....	15
Figura 18: Sensor de nivell	15
Figura 19: Circuit sensor de nivell, part frontal	16
Figura 20: Circuit sensor de nivell, part posterior	16
Figura 21: MPU-6050 [7].....	17
Figura 22: Instal·lació sensor MPU-6050 [8]	17
Figura 23: localització de l'acceleròmetre.....	18
Figura 24: Connexions canonades [1]	18
Figura 25: Canonades de goma PVC [1]	18
Figura 26: Instal·lació del sensor HC-SR04 [10]	19
Figura 27: Sensor d'ultrasons	19
Figura 28: Piles 18650 [11]	20
Figura 29: Caixes de piles 18650 [12].....	20

Figura 30: Tipus alimentació Arduino	21
Figura 31: Hobbywing 3A UBEC 5V 6V [13].....	21
Figura 32: Connexions HC-05 [18]	24
Figura 33: Programa Acceleròmetre per obtenció de les primeres dades	25
Figura 34: Configuració filtre Sample Compression	26
Figura 35: Programació acceleròmetre final.....	27
Figura 36: Programació sensor de calat.....	27
Figura 37: Indicador visual de calat	28
Figura 38: Indicador de nivell dels tancs.....	28
Figura 39: Programació sensor de nivell.....	29
Figura 40: Programació relés.....	29
Figura 41: Botó control de nivell	30
Figura 42: Panell de control	30
Figura 43: Estat final de la maqueta	32
Figura 44: Maqueta sense la coberta interior	32
Figura 45: Estat de l'anterior maqueta	32
Figura 46: Plànol hidràulic.....	42
Figura 47: Plànol de formes [1]	43
Figura 48: Disposició dels tancs [1].....	44
Figura 49: Plànol elèctric.....	46

Llistat de Taules

Taula 1: Percentatges nivells tancs.....	14
Taula 2: Consums Bateria Arduino	22
Taula 3: Consum Bateria Generals	23
Taula 4: Bateria sensor de nivell	23
Taula 5: Comparació amb la maqueta inicial	31
Taula 6: Pressupost.....	33

Capítol 1. Introducció

1.1 Motivació i abast del projecte

El 2015 uns estudiants de la Facultat de Nàutica de Barcelona van construir una maqueta on mitjançant instrumentació i sistema de control externs aconseguien l'automatització dels tancs de llast (Calvo Bosque, Álvaro; Domínguez Torres, Marc. *“Control de la estabilidad de un modelo de buque portacontenedores en operaciones de estiba”*. Treball fi de grau, FNB, 2015. Aquesta maqueta és d'un buc portacontenedors d'un metre d'eslora, tenia 12 tancs de llast amb dues vàlvules per tanc i una sola bomba general de llast. Anava controlada mitjançant un PLC (*Programmable Logic Controller*) que permetia realitzar estudis d'estabilitat. Més tard un altre estudiant va fer millores (Albert Pascual Rodrigo. *“Disseny i implementació de controladors d'estabilitat en una maqueta de portacontenedors mitjançant càlcul numèric”*. Treball fi de grau, FNB, 2018.) canviant alguns sensors i la instrumentalització defectuosa, va introduir un sensor d'escora mitjançant un acceleròmetre controlat per un Arduino. Però en cap d'aquests dos casos la maqueta no ha estat operativa per a docència ja que no era una maqueta fàcilment manipulable i que s'ajustés a un buc portacontenedors real degut a la instrumentalització externa.

En el moment d'iniciar aquest projecte la maqueta presentava les següents mancances:

- La instrumentalització era externa.
- La maqueta tenia fuites d'aigua.
- Els sensors de nivell no mesuraven la totalitat dels tancs.
- Hi havia sensors i pintures deteriorades.

1.2 Objectius genèrics i específics

Per mirar de resoldre els problemes dels anteriors treballs es marcaren uns objectius principals:

- La automatització era mitjançant un PLC, cosa que feia impossible la implementació del sistema de control dins la maqueta degut a les seves dimensions i necessitat d'una font d'alimentació excessivament voluminosa. Per solucionar-ho cal buscar un controlador de dimensions molt més reduïdes com ara l'Arduino Mega. Per fer-ho funcionar tot amb l'Arduino cal fer un gran nombre de modificacions.
- Per aconseguir la descàrrega i càrrega de cada tanc es necessiten un mínim de dues vàlvules. Si manteníem els 12 tancs inicials això implicava haver de col·locar un mínim de 24 vàlvules a

l'interior de la maqueta. Degut que l'espai disponible és molt reduït s'estudia la possibilitat de reduir aquets tancs al màxim.

- Cal reparar totes les fuites d'aigües i els tancs amb mal estat, pintar de nou la maqueta i canviar els sensors espatllats.
- Els sensors de nivell dels tancs no donaven una mesura fiable, cosa que es necessita per poder aconseguir un bon funcionament de la maqueta.
- Per aconseguir una maqueta 100% autònoma, uns dels requisits és que la font d'alimentació també estigui integrada dintre de la maqueta i que sigui el més petita possible i amb un pes adequat.
- Un altre objectiu és l'estudi de la possibilitat de canviar sensors i/o instrumentalització per altres de més precisos, amb una mida més reduïda i un pes inferior.
- La comunicació amb la maqueta cal fer-la sense fils, ja que tindrem el sistema de control dins la maqueta. Per això cal implementar un sistema de comunicació per Bluetooth.
- Cal reescriure tot l'algorisme de control, però ara dins l'Arduino, el qual té un llenguatge de programació diferent del PLC i com a conseqüència tindrem un nombre diferent d'entrades i sortides cosa que canviarà tota la instal·lació.
- Finalment cal crear una pantalla SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) nova per mostrar les mesures i donar les nostres ordres al sistema.

1.3 Organització de la memòria

La present memòria està estructurada en els següents capítols:

Al Capítol 2 s'expliquen totes les reparacions, substitucions i millores dutes a terme. S'hi exposen els criteris seleccionats per a cada modificació.

Al Capítol 3 s'explica detalladament cada element del nostre sistema, els motius de la seva tria, la seva instal·lació i els seus requeriments.

Al Capítol 4 es descriu pas a pas la programació del nostre controlador. La programació s'explica per cada element per separat, cosa que permet entendre tots els passos de manera aïllada i senzilla.

Al Capítol 5 es descriu el resultat final de la maqueta.

Al Capítol 6 s'hi exposen totes les conclusions obtingudes al treball

Als annexos s'hi inclouran manuals, esquemes i plànols de la maqueta

Capítol 2. Desmuntatge, reparacions i modificacions de l'antiga maqueta

El punt de partida d'aquest TFG és una maqueta d'un portacontenidors construïda fa uns anys on es varen dur a terme dos TFGs [1][2]. Per dur a terme la instal·lació de tots els circuits necessaris a dintre de la maqueta, es requeria dur a terme un seguit de modificacions i de reparacions.

2.1 Desmuntatge de l'antiga maqueta

El primer pas de tots va ser el desmuntatge de l'antiga maqueta al màxim possible. Durant aquest pas, es varen anar classificant les peces que podien ser útils en el futur disseny, com va ser el cas dels tubs d'aigua, les unions dels tubs, les vàlvules electromagnètiques, part del cablejat, els blocs de colors de diferents pesos que simulen els contenidors, el sensor d'ultrasons i l'acceleròmetre.

A la Figura 1 es pot veure com estava la maqueta muntada al acabar el darrer TFG i, per altra banda, a la Figura 2 podem observar la maqueta un cop desmuntat tot el possible per poder començar a treballar.

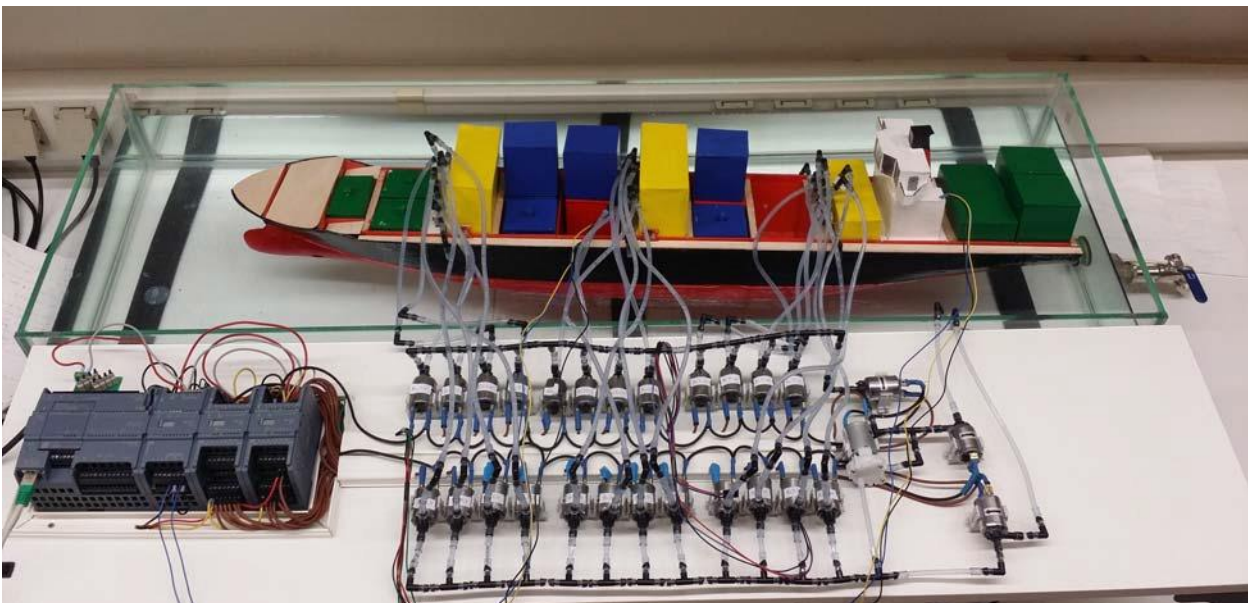


Figura 1: Estat inicial de la maqueta [1]

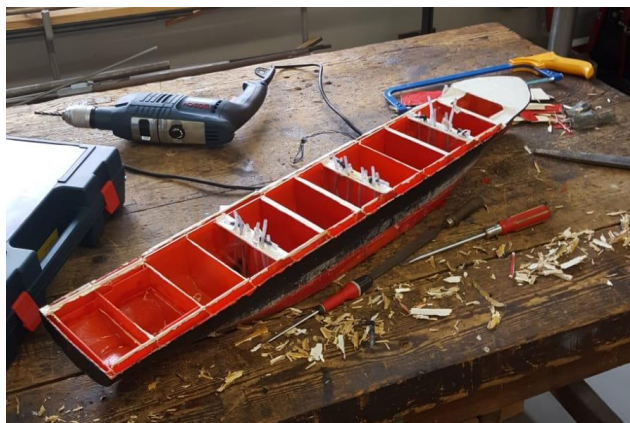


Figura 2: Primera part del desmuntatge de la maqueta

Durant el desmuntatge es varen observar alguns problemes que no es veien a primera vista, alguna esquerda a un tanc lateral, una part del casc molt malmesa per les humitats causades pels tancs de doble fons i la més important va ser l'observació que els sensors de nivell dels tancs sols arribaven a la meitat del tanc, cosa que feia impossible una mesura real. Aquests problemes es tingueren en compte en fases posteriors.

2.2 Modificacions i reparacions de l'estructura

Amb l'objectiu de simplificar al màxim i donar cabuda al nou disseny, es dugueren a terme diverses modificacions a l'estructura del buc.

Mampares

Uns dels principals obstacles a l'hora d'intentar introduir tots els instruments i cablejat necessari per a la instal·lació del sistema de llast van ser les mampares que dividien les diferents bodegues, per això es va optar per la seva eliminació i la instal·lació d'unes noves que tinguessin la possibilitat de ser posades i tretes en qualsevol moment.

L'extracció de les antigues mampares es va fer amb l'ajuda d'unes alicates de tall i una màquina rotativa de tall Dremel.

La fabricació del casc original es va a dur a terme mitjançant la impressió 3D i durant el tall de les mampares es va observar que el seu interior no es va imprimir de forma massissa, sinó amb un patró de farciment en diagonal. Per estalviar material es van anar fent capes de fils d'impressió separats

mínimament (aquests fils estan impresos en diagonal) i cada capa canvia la direcció de la diagonal per aconseguir una major rigidesa a l'estructura.

El problema que això planteja és que un cop tallada la capa uniforme i hermètica de la superfície de la impressió, l'aigua es podria filtrar per l'interior de l'estructura provocant una inundació a dintre de la maqueta. Per solucionar-ho, es va donar una capa de resina de polièster.



Figura 3: Maqueta sense mampares

Les noves mampares desmuntables s'han construït amb una làmina de PVC escumat. Després de la construcció d'un motlle de cartó per a cada una d'elles, es tallaren a mida i es comprovaren una a una que encaixessin a la perfecció al seu lloc. Per aconseguir que les mampares no es moguessin del seu lloc se construïren unes guies, a mida també, de PVC escumat que s'enganxaren al lateral de la maqueta mitjançant resina de polièster. A la Figura 4 es pot observar el resultat final.



Figura 4: Mampares desmuntables

Tancs de llast

Després de fer un estudi de les diverses possibilitats de col·locació de vàlvules i tots els instruments necessaris que han de tenir cada tanc, es va arribar a la conclusió que amb l'espai que disposàvem només es podien instal·lar aparells suficients per automatitzar 4 tancs. Vist que l'antiga maqueta tenia 12 tancs es pensà que això seria un impediment, però un cop consultats els TFGs "Control de la estabilidad de un modelo de buque portacontenedores en operaciones de estiba" [1] i "Disseny i implementació de controladors d'estabilitat en una maqueta de portacontenedors mitjançant càlcul numèric" [2] s'arribà a la conclusió que l'escora provocada pels tancs de doble fons és menyspreable, per això es va dur a terme la seva eliminació. Per altre banda es van convertir els tres tancs de cada lateral amb dos únics tancs.

Per segellar les entrades i sortides d'aigua dels tancs de doble fons, es va fer amb resina de polièster. Per passar de tenir tres tancs laterals a tenir-ne dos, es tallaren amb la Dremel tres forats a cada lateral, dos per comunicar els tancs de proa i popa amb el del mig i el tercer per poder construir la mampara que separi els dos tancs (Figura 5). Un cop fetes les modificacions pertinents, es tornaren a tancar els forats amb un tros de les mampares que es tragueren de l'interior de la maqueta i un cop més, es va utilitzar la resina de polièster per segellar-ho tot (Figura 6).



Figura 5: Forats transformació del tancs



Figura 6: Tancament tanc reparat

Resina i pintura

Com que la pintura estava molt malmesa i durant les modificacions anteriors es va treure part de la pintura del casc i es va decidir tornar a repintar tota la maqueta. El primer pas va ser intentar treure tota la pintura que encara quedava enganxada. Per dur-ho a terme no es va poder utilitzar un decapant de pintures ja que, al ser un fort dissolvent, hagués pogut fer malbé la maqueta ja que estava construïda de plàstic. Per això sols es va poder treure la pintura que va poder sortir amb mètodes físics com el poliment o el rascat.

Per altre banda s'observà que la maqueta fou construïda per peces i que les unions no tenien la rigidesa suficient. Les peces foren unides entre si mitjançant un adhesiu amb base d'epoxy i es creu que degut a la dificultat de calcular les proporcions de la mescla de resina i de catalitzador, no s'aconseguí una unió resistent.

Al treure la pintura varen aflorar esquerdes que a simple vista no es veien i parts malmeses del casc produïdes per filtracions d'aigües.

Degut a aquests problemes es va decidir donar diverses capes de resina de polièster, per reparar els cruïssos i per reforçar l'estructura.

Un cop comprovat que la maqueta tornava a tenir rigidesa estructural es va procedir a tornar-la a pintar (Figura 7). Es va decidir mantenir els colors originals, l'obra viva de color roig i l'obra morta negra.

Com que introduir tota la instrumentalització dintre de la maqueta creava un gran pes addicional, es va pintar amb esprai per agregar el mínim pes possible.



Figura 7: Maqueta preparada per pintar-la

A l'annex A.4 (Plànol de formes) es pot veure el plànol de formes final de la nostra maqueta.

Contenidors

Degut a la reducció de la bodega a causa de la introducció de la instrumentalització dintre de la maqueta, els contenidors construïts per l'antiga maqueta quedaren massa grans. Perquè es poguessin usar per la nova versió se n'hagueren de reduir les seves dimensions. Es va optar per mantenir el mateix pes, cosa que va comportar que sols es tingues que tallar la fusta dels contenidors i un cop tornats a enganxar, es tornaren a pintar dels mateixos colors (groc, verd, blau i vermell). Els grocs representen els contenidors buits, els blaus amb un pes baix, els verds un pes mitjà i els vermells un pes alt.



Figura 8: Modificació dels contenidors

A l'annex A.5 (Disposició dels tancs) es pot veure la disposició de cada tipus de tanc, tant a la bodega com a la coberta.

Capítol 3. Selecció de la instrumentació

Després d'estudiar detalladament cada element i amb l'objectiu d'aconseguir que els aparells fossin el més petits possible i amb el mínim pes, i sempre pensant que teníem un pressupost ajustat, s'arribà a la conclusió que els següents elements eren els més viables per dur a terme la construcció.

Un altre punt que es va tenir en compte és que si era possible, s'havien de reutilitzar el màxim d'elements possibles per criteris de sostenibilitat, ecològics i econòmics.

3.1 Vàlvules

Les vàlvules han estat un dels principals obstacles a l'hora d'intentar reduir i simplificar el circuit. Després d'un ampli estudi i d'una gran recerca per internet es va arribar a la conclusió que les millors vàlvules i que fossin de fàcil implementació, eren les ja usades als anteriors projectes. Els seus principals desavantatges són el seu gran volum i el seu pes, però com a avantatge, tenen un cost zero perquè ja disposem d'elles i es poden alimentar amb una font de 12V.

Són unes electrovàlvules de solenoide amb les següents característiques de treball (segons la pàgina del fabricant 0):

Pressió: 0 ~ 0,4 MPa

Temperatura: 0 ~ 80°

Resistència interna: 49 Ω

Corrent: 250 mA

Voltatge: DC 12V



Figura 9: Vàlvula de solenoide 0

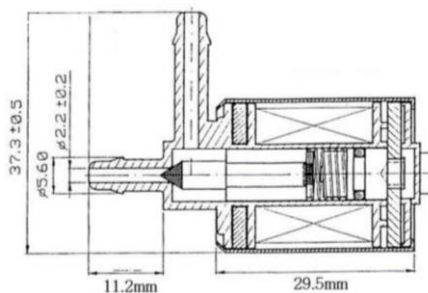


Figura 10: Esquema vàlvula de solenoide 0

A causa de la calç acumulada dintre de les vàlvules, la gran majoria no funcionaven, per tornar-les a fer operatives s'hagueren de sotmetre a diverses connexions/desconnexions de la font de 12V mentrestant s'intentava fer passar aigua i saccar-les a l'hora. Uns quants intents després, les vàlvules tornaren a estar en ple funcionament.

Per fer funcionar el nostre sistema es necessitaren 10 vàlvules tal com es pot observar a l'annex A.3 (Plànol hidràulic) quatre per la càrrega dels tancs, quatre per la descàrrega, una per la toma de mar i una altre per la descàrrega al mar.

3.2 Relés

L'Arduino Mega no pot proporcionar els 12V requerits per les vàlvules de solenoide escollides, per això necessitem l'ajuda d'un mòdul de relé que permeti connectar les vàlvules als 12V i utilitzar el relé com a interruptor controlat per l'Arduino.

El mòdul seleccionat és el més econòmic que ens permet fer la feina desitjada i té les següents característiques de treball (segons la pàgina del fabricant 0):

Càrrega màxima: ca 250 V/10 A, cc 30 V/10 A

Corrent: 5mA

Voltatge d'activació : 5V



Figura 11: Mòdul relé 0

La sortida d'un Pin digital de l'Arduino és de 5V cosa que fa que aquest mòdul de relé sigui l'ídoni.

A l'annex A.6 (Plànol elèctric) es pot veure tant la disposició com les connexions dutes a terme per la seva implementació.

3.3 Bomba d'aigua

El total dels 4 tancs de la maqueta tenen un volum de 1,07 l. Si volem que el vaixell respongui a una escora en menys d'1 min, necessitem una bomba que pugui treure un cabal de 1.07 l/min. La bomba d'aigua escollida té un cabal de 4l/min, tenint en compte que el nostre circuit té unes pèrdues de carga, la fa una bomba adient. Un altre dels avantatges és que necessita una alimentació de 12V, igual que les vàlvules, i és de dimensions reduïdes.



Figura 12: Bomba d'aigua 0

Té les següents característiques de treball (segons la pàgina del fabricant 0):

- Potència: 4,8 W
- Temperatura de funcionament: 0-75°C
- Voltatge 12 V cc
- Corrent nominal màxima: 400 mA
- Flux màxim: 240l/h
- Altura d'elevació: 3 M

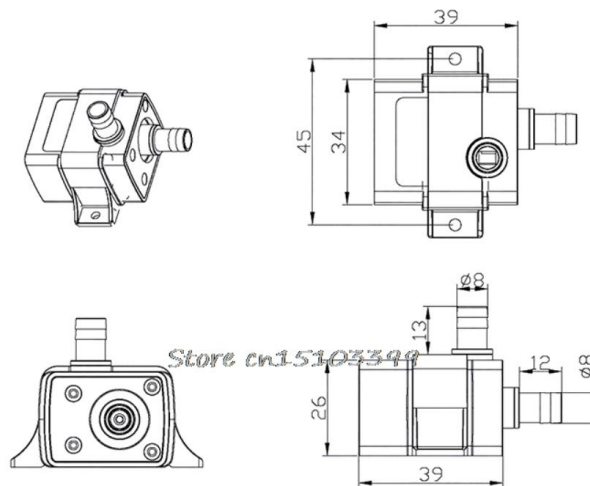


Figura 13: Dimensions de la bomba d'aigua 0

3.4 Sensors de nivell

Estudi previ

Quan es va fer el desmuntatge inicial, un dels problemes que es detectaren va ser la mida dels sensors de nivell d'aigua dels tancs. El sensors instal·lats mesuraven 5 centímetres. En tenir una profunditat de 9 centímetres cada tanc, la lectura era errònia i sols es mesuraven els 5 centímetres superiors.

Per aconseguir una mesura real, es varen estudiar tres possibilitats, l'adquisició d'un sensor diferent, la modificació dels actuals o el disseny i la construcció d'uns de nous, de manera manual.

La compra de sensors diferents es va descartar ràpidament, ja que els únics que es trobaren eren d'una grandària que impossibilitaven la seva instal·lació, no tenien la precisió adequada i el preu no s'adequava a un pressupost coherent.

Una altra opció va ser la unió de dos sensors per aconseguir la mesura total, però degut a la dificultat tècnica i al més que probable sorgiment de problemes a la instal·lació, es va obviar aquesta forma.

Buscant informació a diverses pàgines web, es va aconseguir un model de sensor "casolà" que podia ser modificat i usat en el nostre cas 0. Aquest sensor constava d'un circuit integrat ULN2803 que tancava el circuit de cada LED cada cop que el nivell de l'aigua arribava al nivell indicat. Aquesta va ser la idea principal de la qual es va desenvolupar el sensor final, però encara calien resoldre dos problemes, la dificultat de monitoritzar aquest indicador de nivell amb l'Arduino i el no aïllament de la bateria del sensor amb l'Arduino, cosa que en cas d'error podria cremar i inutilitzar el nostre controlador.

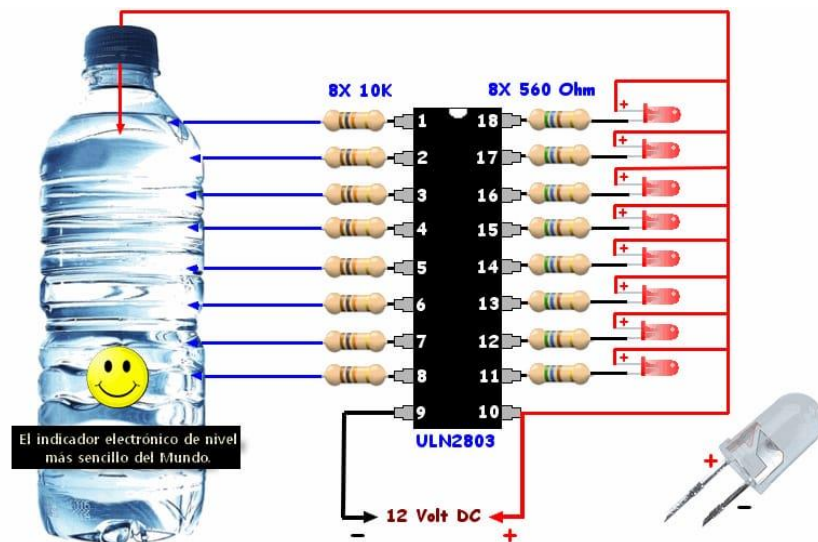


Figura 14: Model originari sensor de nivell 0

Per aïllar elèctricament els dos circuits i per aconseguir una fàcil monitorització dels valors obtinguts, es va decidir substituir el circuit integrat ULN2803 per un optoacoblador.

Un optoacoblador és un dispositiu que utilitza la llum per connectar dos circuits elèctrics, cosa que aconsegueix un aïllament galvànic entre ambdós circuits, ja que l'única comunicació entre ells és a través de la llum sense existir contacte elèctric.

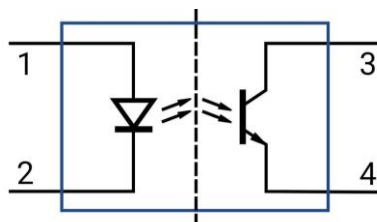


Figura 15: Esquema optoacoblador 0

Quan un impuls elèctric passa del punt 1 al punt 2 de la Figura 15, el RED (díode LED d'infrarojos) s'activa i emet una llum infraroja que activa el fotodíode o fototransistor, cosa que fa connectar elèctricament el punt 3 amb el 4. Això ens permet simplificar l'esquema de la Figura 14 i utilitzar l'optocobrador com una mena d'interruptor.

Disseny

El principi de funcionament del sensor és el següent: el positiu d'una bateria de 3,7V és connectat al fons del tanc, i a diferents altures es posen diferents pins amb l'objectiu que així com va pujant el nivell de l'aigua la seva conductivitat uneix elèctricament els pins amb el positiu de la bateria. Aquests pins es connecten a l'ànode de l'optocobrador amb una resistència, mentre que el negatiu està connectat al càtode. Quan l'aigua uneix el positiu amb el pin, activa l'optocobrador i connecta els punts 3 i 4 de la Figura 15 que es monitoritzen amb l'Arduino.

Per arribar al disseny final, es va construir un prototip per poder fer assajos i poder obtenir millores i solucionar problemes abans de la construcció final del sensor. Els assajos més importants foren per l'elecció de les resistències a posar. El prototip es va construir a una fusta, enganxant ànodes i càtodes amb silicona i les connexions es feren a una placa de proves *protoboard*.

Les resistències de la part del circuit del tanc havien de ser del valor més elevat possible per reduir al màxim l'electròlisi creada per l'electricitat. Com que la quantitat d'electròlisi produïda és directament proporcional a la intensitat que circula pels ànodes i els càtodes, quan més elevades fossin les resistències, menys intensitat circularia. El màxim de les resistències venia donat per el valor mínim d'intensitat d'excitació de l'optocobrador. Aquesta intensitat mínima va ser extreta del full de propietats dispensat pel productor de l'optocobrador escollit (A.1 Fixa tècnica dels optocobradors), que en el nostre cas fou el PC817 i el PC847.

Intensitat mínima d'excitació: 2,5 mA

Voltatge: 3,7 V

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3,7}{0,0025} = 1480\Omega \quad (1)$$

El valor obtingut va ser multiplicat per un coeficient de seguretat del 30% per evitar errors i possibles resistències addicionals no calculades com la dels ànodes i càtodes del circuit. Un cop obtingut el valor de la resistència es va buscar el valor més proper que es podria trobar al mercat i aquest va ser el de 1000 Ω .

$$1480 \times 0,7 = 1036\Omega \approx 1000\Omega \quad (2)$$

Per trobar el valor de les resistències que connecten l'optocobrador amb l'Arduino, es va fer de forma experimental. S'agafaren els principals valors comercials i es va provar quina era la del valor més gran que

era capaç de llegir l'Arduino amb una alimentació de 5 V, aquest valor va ser 5100 Ω . Es va agafar la més gran possible ja que això suposaria tenir un consum menor.

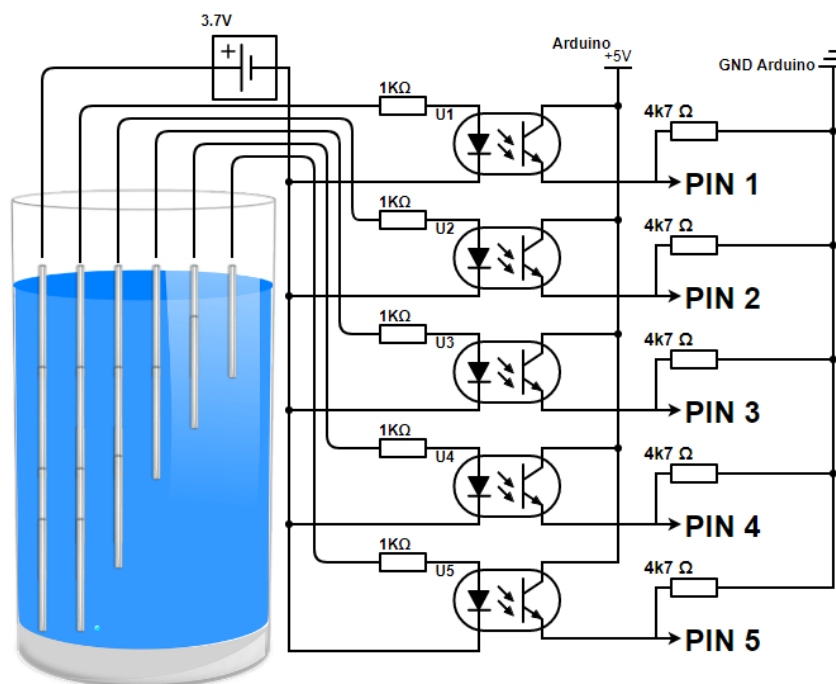


Figura 16: Esquema final sensor de nivell

Construcció

Per motius de disponibilitat d'entrades digitals a l'Arduino Mega sols es poden assignar 5 pins per sensor. Arribant a la conclusió que un havia d'estar destinat a l'avís del 100% del tanc, ja sols quedaven 4 pins, cosa que si es repartia de forma igualitària havien d'estar situats al 20%, 40%, 60% i 80% de capacitat del tanc. Per obtenir la posició d'aquests percentatges es va dividir el volum total dels tancs (32,5cl els de proa i 21cl els de popa) entre 4 i es buscà a quina altura donava a cada percentatge.

Percentatges	POPA	Proa
20%	0,7 cm	0,8 cm
40%	2 cm	2 cm
60%	3,75 cm	3,5 cm
80%	5,5 cm	5 cm
100%	7 cm	7 cm

Taula 1: Percentatges nivells tancs

La construcció de la part submergible del sensor es va fer sobre una làmina de PVC fina i els ànodes i càtodes amb filferro tallats a l'altura corresponent i soldats a uns pins de connexió ràpida de cables.

Una de les decisions va ser crear un sensor que fos de fàcil substitució en el cas que s'espallés, per això no es va enganxar al tanc amb l'objectiu de que es pogués canviar en necessitar-ho.

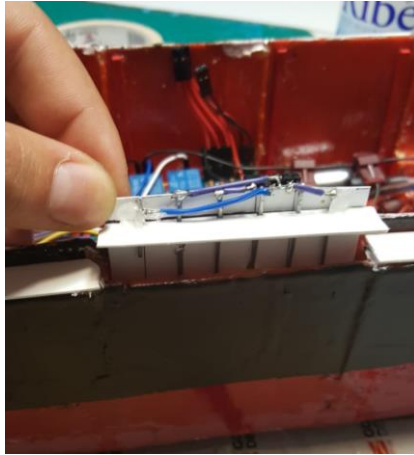


Figura 17: Col·locació sensor de nivell

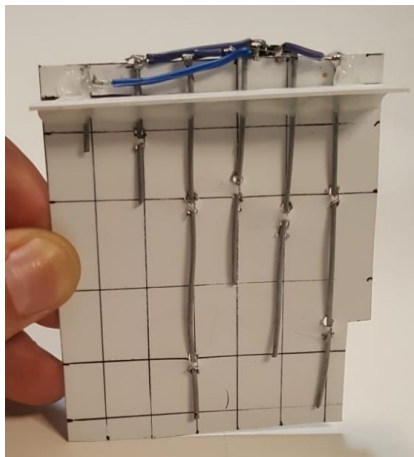


Figura 18: Sensor de nivell

Per altre banda la construcció dels optoacobladors amb el seu circuit es feren amb plaques de prototips PCB on s'hi soldaren tots els components de la Figura 16 i s'hi afegiren pins per a la connexió dels cables necessaris.

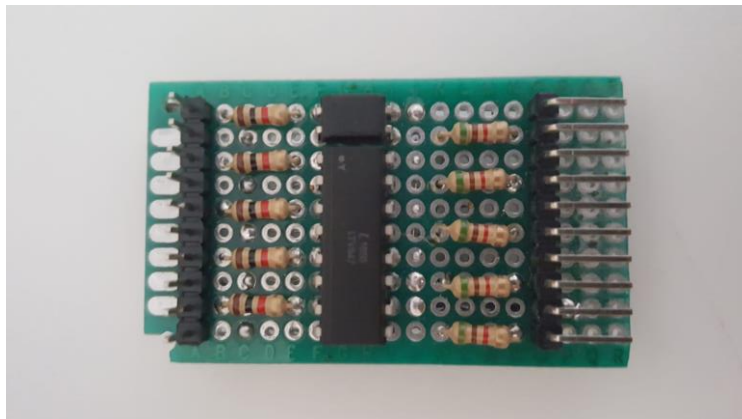


Figura 19: Circuit sensor de nivell, part frontal

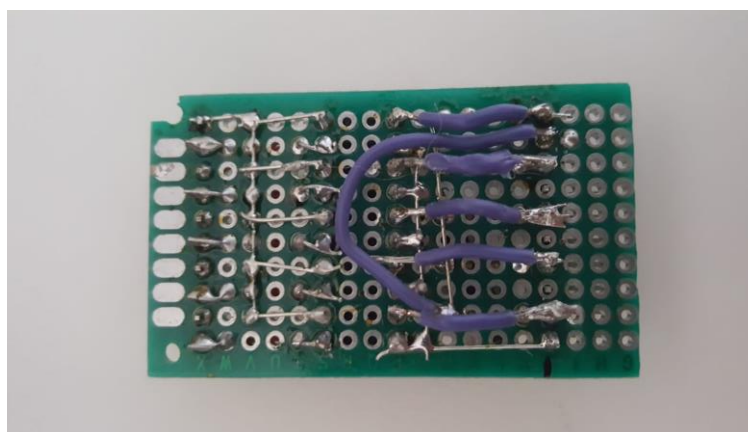


Figura 20: Circuit sensor de nivell, part posterior

3.5 Acceleròmetre

L'acceleròmetre seleccionat va ser el mateix que el del treball "*Disseny i implementació de controladors d'estabilitat en una maqueta de portacontenidors mitjançant càlcul numèric*" [2], el MPU-6050 que és un acceleròmetre amb un giroscopi incorporat.

Tal com es descriu a 0 el sensor MPU-6050 conté un acceleròmetre MEMS (Micro Electro Mechanical System) i un giroscopi MEMS en un sol xip. És molt precís, ja que conté 16 bits de hardware de conversió analògica a digital per a cada canal. Per tant, captura el canal x, y, i z alhora. El sensor utilitza el bus I2C per interconnectar-lo amb l'Arduino.



Figura 21: MPU-6050 0

La instal·lació de l'acceleròmetre es va dur a terme directament a l'Arduino Mega mitjançant cablejat com indica la Figura 22.

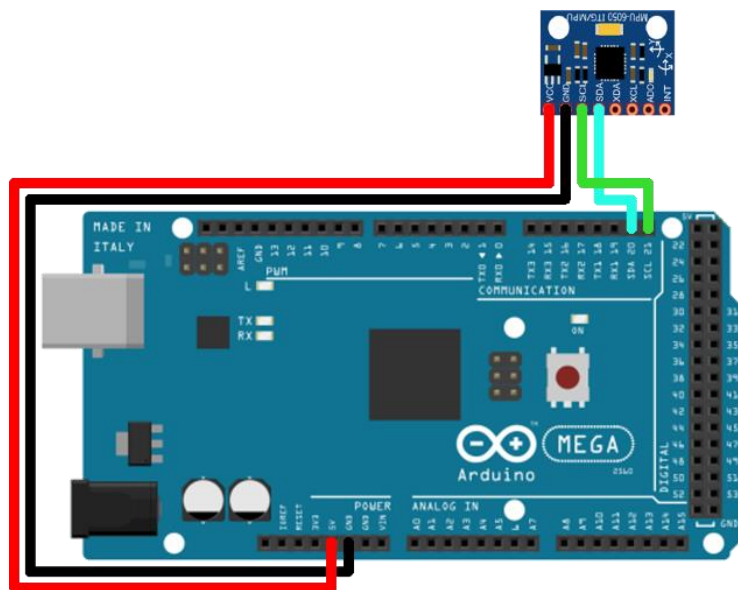


Figura 22: Instal·lació sensor MPU-6050 [8]

Per a la l'elecció de la col·locació del sensor a la maqueta s'havien d'acomplir uns certs requisits: el lloc havia de ser fixe, a la vora de l'Arduino, havia de ser possible la seva substitució i havia de ser un lloc vertical o horitzontal per no tenir problemes amb els eixos de coordenades.

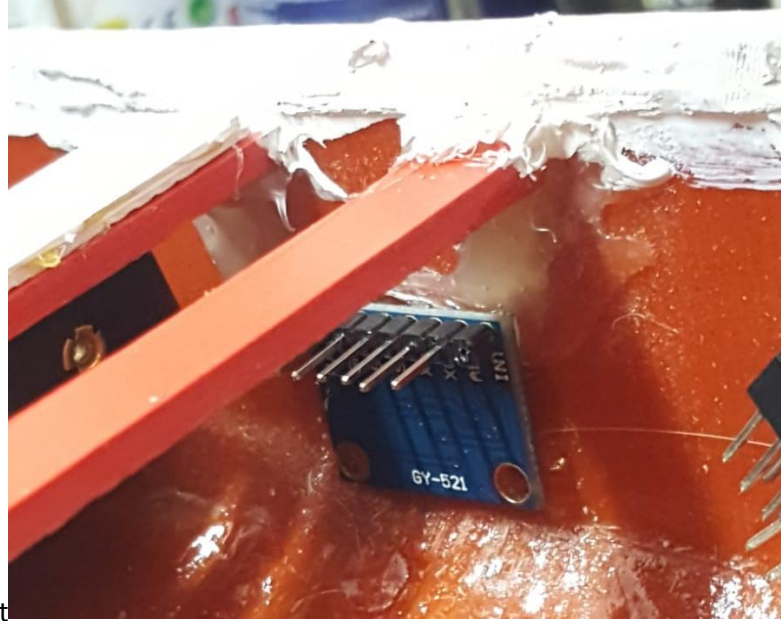


Figura 23: localització de l'acceleròmetre

Per això es va decidir col·locar-lo al lateral contra un tanc de llast com es pot veure a la Figura 23. Es va enganxar amb silicona, cosa que facilita la seva substitució.

3.6 Canonades i unions

Les canonades principals es construeixen de goma de PVC transparent de 2x4mm de diàmetre (interior/exterior respectivament) i les unions es duen a terme amb tubs de 4x6 també de PVC. Per les connexions i ramificacions s'utilitzen connectors de micra canonades de jardineria.



Figura 24: Connexions canonades [1]

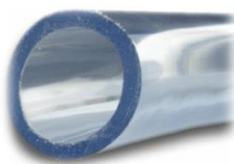


Figura 25: Canonades de goma PVC [1]

De forma representativa i ordenada es pot veure la instal·lació hidràulica de la maqueta a l'annex A.3 (Plànol hidràulic). Aquest esquema està ordenat degut a que si es dibuixes la disposició real, no seria desxifrabla degut a la superposició de diverses canonades.

3.7 Sensor d'ultrasons

El sensor d'ultrasons escollit es el HC-SR04, és el sensor més bàsic i abundant, cosa que fa que sigui de molt fàcil programació ja que a internet hi ha molts d'exemples i informació. Uns altres avantatges són que és econòmic, de dimensions escasses i requereix una fàcil instal·lació (Figura 26).

Segons 0, el sensor ultrasònic de rang HC-SR04 proporciona un marge de 2cm a 400cm de mesura sense contacte amb una precisió que pot arribar fins als 3mm.

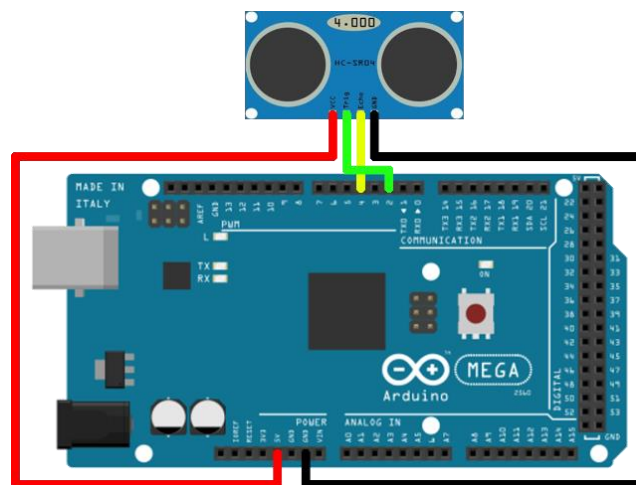


Figura 26: Instal·lació del sensor HC-SR04 0

La col·locació del sensor es va dur a terme a la popa del buc, a la part central, ja que es una situació d'on el calat es representatiu. Per protegir els xips, soldadures i aparells del sensor d'ultrasons, es va posar una tapa blanca a la part superior i es va pintar igual que la coberta de la maqueta.

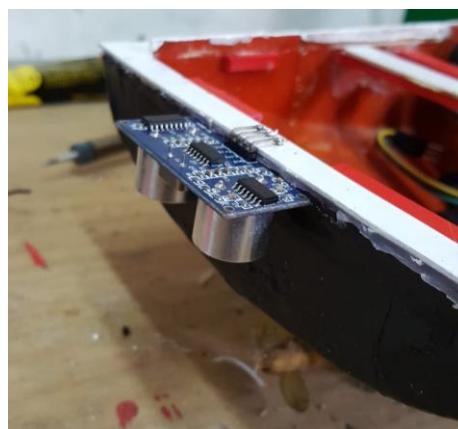


Figura 27: Sensor d'ultrasons

3.8 Font d'alimentació

Per a l'elecció de la font d'alimentació més adient, es va dur a terme un estudi amb els següents criteris:

- Les bateries havien de ser recarregables.
- La mida i el pes havia de ser el menor possible.
- Havien de ser el més econòmic possible.
- S'havien de poder crear diversos grups de bateries de diferents potencials.
- Les bateries havien de tenir una capacitat de càrrega suficient com per fer funcionar la maqueta un mínim de 3h seguides.



Figura 28: Piles 18650 0

Amb tots aquests requisits es va arribar a la conclusió que el millor era utilitzar piles 18650. Són una bateria recarregable Li-ió, que s'assembla molt a la pila tipus AA, però té a la sortida el voltatge de 3,7 V i una capacitat de entre 1600 i 3600 mAh. Per comparar, una pila AA o AAA convencional té el voltatge de 1,5V/1,2V.

Per aconseguir els diferents potencials requerits en el nostre disseny, es crearen 3 grups de bateries mitjançant caixes de suport per a les piles.



Figura 29: Caixes de piles 18650 0

Bateries Arduino

Un Arduino Mega es pot alimentar de diferents formes, i aquestes són les principals:

- Aplicar 6-12V a la clavilla jack de què disposa l'Arduino Mega.
- Aplicar 6-12V entre el pin GND i el pin Vin.
- Alimentar mitjançant la entrada USB.
- Aplicar 5V regulats i estables al pin 5V.

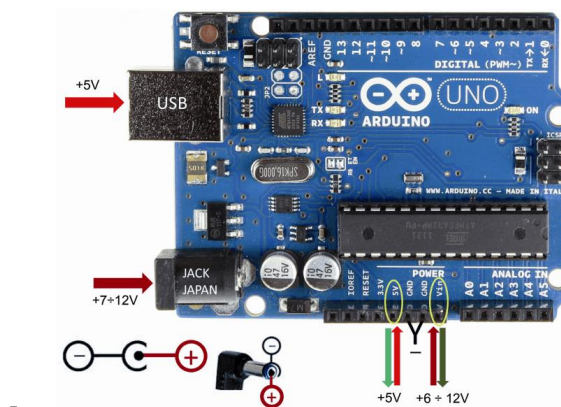


Figura 30: Tipus alimentació Arduino

L'opció escollida és la del pin Vin, ja que permet aplicar una font d'alimentació externa en el rang de 12 a 6 volts directament a l'entrada del regulador de la targeta Arduino. En aquest cas, no es compta amb protecció contra inversió de polaritat ni contra sobrecorrent.

Per evitar variacions de voltatge, que podrien produir un mal funcionament de l'Arduino, i que sempre es mantingui a 6V, s'instal·la un *Hobbywing 3A UBEC 5V 6V* (Figura 31) que és un regulador de tensió utilitzat a l'aeromodelisme. S'escull aquest regulador per el seu baix cost i la seva fàcil instal·lació. Un dels altres avantatges que dóna el regulador és que quan les bateries estiguin a punt de quedar-se sense càrrega, talla el subministrament, cosa que evita malmetre les piles.



Figura 31: Hobbywing 3A UBEC 5V 6V 0

El regulador requeria un mínim de 6V subministrat per les bateries cosa que s'aconsegueix amb dues piles 18650 en sèrie, per saber la càrrega requerida s'estudiaren tots els components connectats a l'Arduino un a un, mirant l'amperatge consumit amb un Amperímetre i multiplicant-ho per les 3h mínimes que necessitem de funcionament.

Com es pot veure a la Taula 2, el consum total màxim és de 550 mAh, les bateries 18650 comprades tenen una capacitat de 3300 mAh, cosa més que suficient per fer funcionar la maqueta les 3h programades. Finalment amb aquestes bateries es podria usar l'Arduino a ple rendiment més de 9h.

Bateries Arduino 7,4 V					
Nom	Quantitat màx.	Quantitat màx. raonable	mA (unitat)	mA (màx. Ra.)	mAh (3h funcionament)
Relé	11	6	0,05	0,3	0,9
Ubec	1	1	0,04	0,04	0,12
Arduino sol	1	1	93	93	279
Acceleròmetre	1	1	3,8	3,8	11,4
Sensor distància	1	1	15	15	45
HC-05	1	1	50	50	150
Sensor de nivell	4	4	5,3	21,2	63,6
			Total:	183,34	550,02

Taula 2: Consums Bateria Arduino

A la columna "Quantitat màx. Raonable" de la Taula 2, Taula 3 i Taula 4 s'indica la quantitat lògica de instruments que es poden activar al mateix instant segons el nostre disseny. En el cas del relés que activen les vàlvules, baixa de 11 a 6 ja que no seria lògic activar els relés que activen les vàlvules de drenatge i les de llast.

Bateries generals

Tant les vàlvules com la bomba d'aigua requereixen un voltatge de 12V. Com que les bateries 18650 són de 3,7V, el valor més proper que se pot aconseguir és de 11,1V (3,7x3) posant-ne 3 en sèrie. Com que el valor real del voltatge sempre és una mica superior al teòric, aconseguim els 12,2V comprovats amb el voltímetre.

Un cop calculats els consums màxims de les vàlvules i la bomba, s'arriba a la conclusió que 3 bateries 18650 en sèrie són suficients ja que 3h de funcionament sols necessiten 1089 mAh com es pot veure a la Taula 3, tres cops menys que els obtinguts.

Bateries Generals 12V					
Nom	Quantitat màx.	Quantitat màx. Raonable	mA (unitat)	mA (màx. Ra.)	mAh (3h funcionament)
Vàlvules	10	5	2,6	13	39
Bomba	1	1	350	350	1050
				Total:	1089

Taula 3: Consum Bateries Generals

A l'annex A.6 (Plànol elèctric) es pot veure tant la disposició com les connexions dutes a terme amb les bateries de 12V.

Bateries sensor de nivell

El sensor de nivell dissenyat va amb 3,7V, per calcular els mAh requerits, es fa un estudi dels components interns del sensor.

La resistència de l'optoacobrador és menyspreable (Annex 1) igual que les resistències dels elèctrodes i cablejat del sensor, per això les úniques resistències a tenir en compte són les 5 de 1KΩ:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3,7}{5 \cdot 1000} = 0,00074A = 0,74mA \quad (3)$$

Bateries sensor de nivell 3,7V					
Nom	Quantitat màx.	Quantitat màx. Raonable	mA (unitat)	mA (màx. Ra.)	mAh (3h funcionament)
Sensor de nivell	4	4	0,74	2,96	8,88
				Total:	8,88

Taula 4: Bateries sensor de nivell

Com es pot veure a la Taula 4, la càrrega elèctrica requerida és mínima (8,88 mAh) per al funcionament de 3h, amb una bateria 18650 ja n'hi hauria prou.

3.9 Controlador programable

Com ja s'ha explicat anteriorment, el controlador programable escollit és l'Arduino Mega. Arduino és una placa de circuit imprès simple, de codi obert i molt simple d'utilitzar. El model escollit és el Mega ja que és l'únic model que ens ofereix tots els pins d'entrada i sortida que requereix el nostre disseny.

Tal com diu 0 l'Arduino Mega 2560 és una placa de desenvolupament basada en el microcontrolador ATmega2560. Té 54 entrades / sortides digitals (de les quals 15 poden ser usades com a sortides PWM),

16 entrades analògiques, 4 UARTS, un cristall de 16MHz, connexió USB, jack per a alimentació DC, connector ICSP, i un botó de reset.

Com podem veure a l'annex 2, el màxim amperatge per pin és de 20 mA recomanant que no es sobrepassin els 10 mA. L'únic cas que pot sobrepassar els 10mA és el cas del sensor de distància, que ocasionalment pot arribar als 15mA, però com que sols aquest consum es dona en moments esporàdics, sempre ens mantindríem dins del rang recomanat i mai sobrepassaríem els 20mA màxims per pin. A l'annex 2 també es pot veure com no es poden passar els 200 mA totals donats per tots els pins i com indica la Taula 2, el nostre màxim és de 183,34 mA.

3.10 Mòdul Bluetooth

Per aconseguir l'objectiu d'obtenir la comunicació amb l'Arduino sense fils, es va optar per instal·lar-li un mòdul Bluetooth. L'escollit va ser el HC-05 ja que és un dels més utilitzats i el més fàcil de trobar al mercat. Aquest mòdul té les següents característiques 0:

- Bluetooth v2.0 + EDR (Enhanced Data Rate)
- Pot configurar-se com maestro i esclavo
- Freqüència: 2.4 GHz, banda ISM
- Abast 5 m a 10 m
- Velocitat: Asincrònica: 2.1 Mbps (màx.)/160 kbps, sincrònica: 1 Mbps/1 Mbps
- Consum de corrent: 50 mA
- Voltatge d'alimentació: 3.6 V a 6 V
- Dimensions totals: 1.7 cm x 4 cm aprox.
- Temperatura d'operació: -20 °C a +75 °C
-

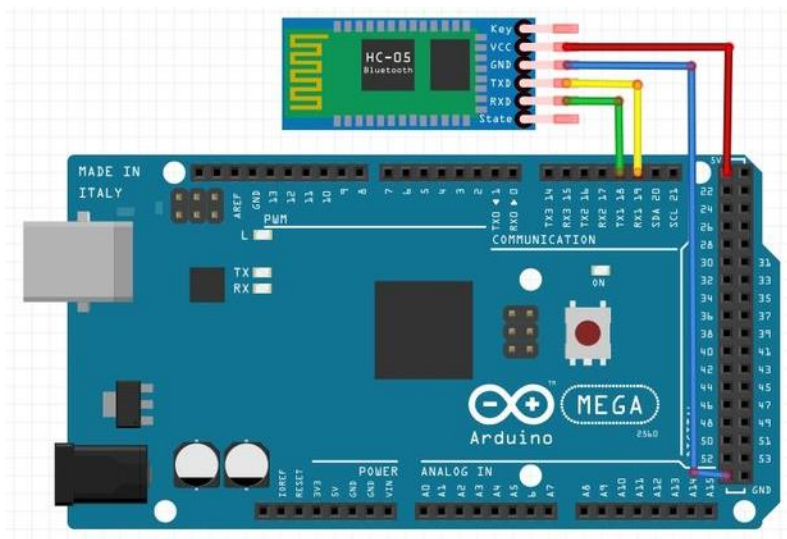


Figura 32: Connexions HC-05 0

Com es pot veure a la Figura 32 el Vcc es connecta al pin de 5V, la terra a GND, el TXD a RXD i RXD a TXD.

Capítol 4. Programació

La programació d'un Arduino es fa amb el llenguatge C, però existeixen diversos programes que et permeten programar amb blocs de manera gràfica i intuïtiva deixant de banda la programació amb línies de codi. El programa escollit és el LabVIEW que conta amb dues parts:

- Un panell frontal on es du a terme la interacció amb l'usuari, un cop el programa està en execució. Aquest panell consta d'indicadors que són unes sortides on treuen els valors mesurats pels sensors del programa, estats del sistema.. i per altra banda disposa de controladors, que són les entrades per on podem introduir les nostres ordres.
- Un panell de blocs on es dibuixen o programen les funcions desitjades.

Dintre del LabVIEW s'hi instal·la el subprograma LINX que ens facilita la programació de diferents sensors com l'acceleròmetre o el sensor de distància.

Dintre de la programació del LabVIEW, per crear un programa més simple i ordenat, ens ajudarem amb l'eina de crear SubVI que és un subprograma. Aquest subprograma es comprimeix amb un únic bloc i s'enllaça amb el programa sencer com un bloc més.

4.1 Acceleròmetre

Un cop connectat a l'Arduino es du a terme una primera programació. El primer programa serveix per observar quins valors ens marca amb la descodificació feta per el bloc proporcionat pel LINX.

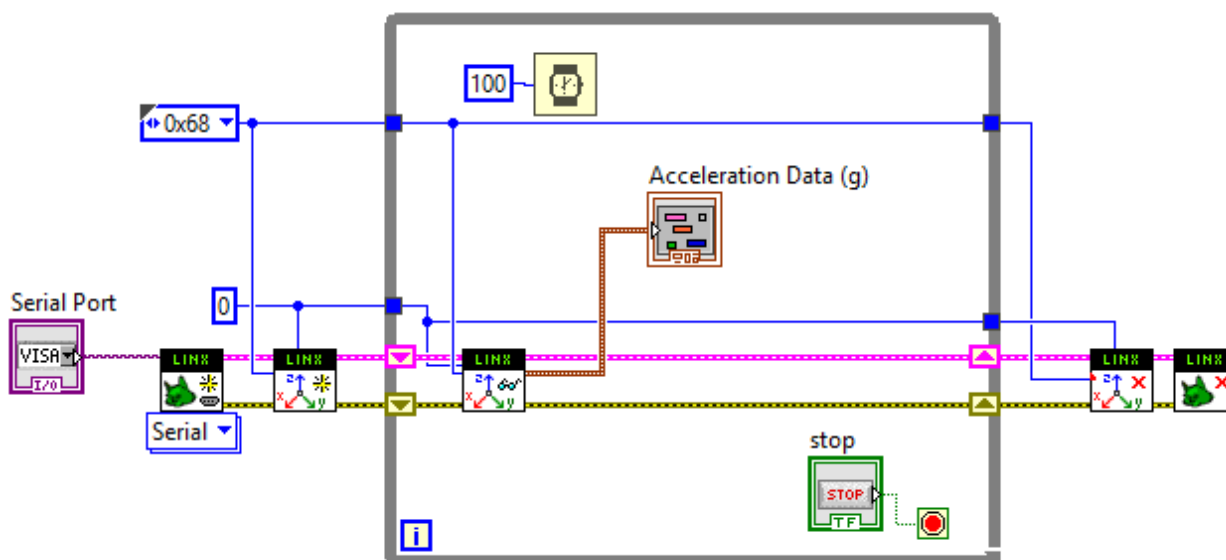


Figura 33: Programa Acceleròmetre per obtenció de les primeres dades

L'acceleròmetre mesura l'acceleració i en conseqüència quan està en repòs sols li influeix la gravetat ($9,81\text{m/s}^2$). Aleshores, quan està completament horitzontal o vertical el número màxim que marca és el de la gravetat, que en el nostre primer programa era el valor de 16185. Per passar aquest valor a m/s^2 dividim els 16170 entre els 9,81 i ens dona el nombre de 1650. És a dir, si dividim la lectura de l'acceleròmetre de cada eix per els nombre 1650, obtindrem l'acceleració proporcional a cada un d'ells.

Un cop ja tenim l'acceleració ens cal passar-la a graus, per tenir l'angle d'escora i el de trimat. Per fer això ens ajudem de la trigonometria amb les fórmules:

$$\text{Angle}X = \text{atan}\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}}\right) \quad (4)$$

$$\text{Angle}Y = \text{atan}\left(\frac{x}{\sqrt{y^2 + z^2}}\right) \quad (5)$$

Un cop programada la fórmula es fa el canvi de radians a graus i finalment s'hi aplica un filtre anomenat "sample compression". Com podem veure a la Figura 34, el filtre té diverses opcions i l'escollida fou la "Mean" que redueix l'entrada de senyals mitjançant el valor mitjà dels punts de cada segment amb un. El "Reduction factor" en el nostre cas és de 10, cosa que significa que fa la mitjana en grups de 10 valors.

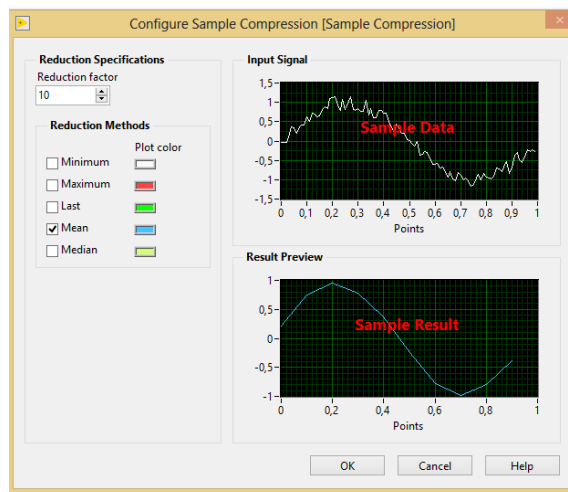


Figura 34: Configuració filtre Sample Compression

Un cop programat tot, s'agrupa, s'ordena i queda com a la Figura 35. Amb tot el programat es crea un SubVI que ens ajudarà a simplificar el programa total final.

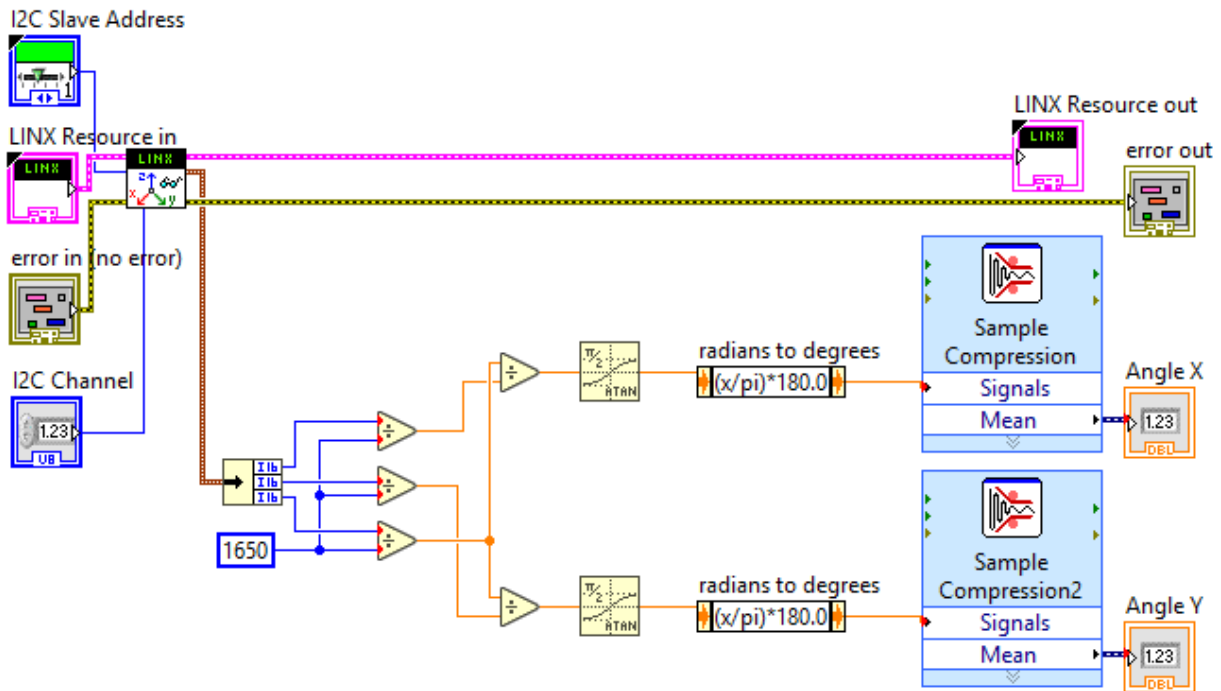


Figura 35: Programació acceleròmetre final

4.2 Sensor de calat

El calat es mesura amb el sensor d'ultrasons. LINX ens facilita la programació del nostre sensor, el HC-SR04, i sols s'han d'introduir uns petits ajustaments. Per obtenir el calat exacte, el primer que es va fer és mesurar la distància des del sensor a la línia de calat 0, que en el nostre cas és de 8cm, es creà una constant de 8 i s'hi restà el valor obtingut pel sensor d'ultrasons en centímetres i amb un indicador podem veure el nostre resultat.

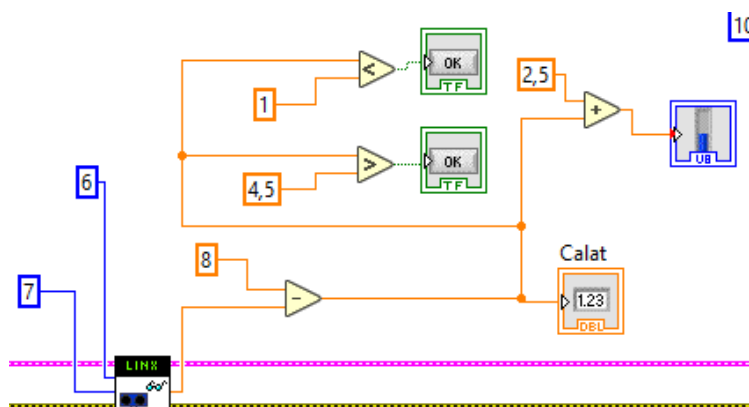


Figura 36: Programació sensor de calat

Per a que el resultat sigui més gràfic, es va crear un indicador de calat personalitzat, el requadre blau de la Figura 37 on es veu un vaixell portacontenidors de perfil, així com va augmentant el calat, el nivell de l'aigua va pujant proporcionalment.

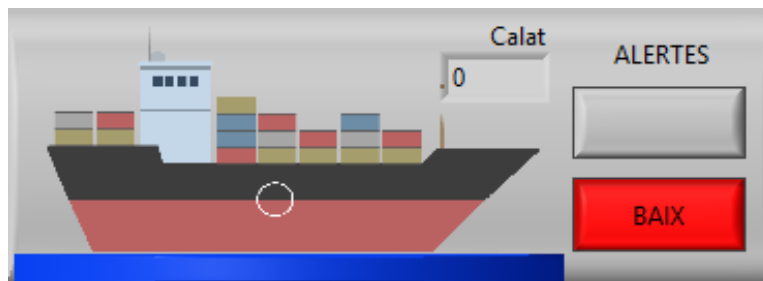


Figura 37: Indicador visual de calat

Finalment es programaren dues alertes, una que s'activa quan el nivell supera els 4.5 cm i una altra que s'activa quan baixa d'1 cm. Es varen personalitzar perquè quan s'activessin marquessin ALT o BAIX en vermell. A la Figura 37 degut a que el calat es 0, està activada l'alarma de baix nivell.

4.3 Sensors de nivell

El sensor de nivell dissenyat ens dona 5 lectures diferents. Cada un dels elèctrodes, al seu pin corresponent, emet o no emet un impuls elèctric que és detectat per l'Arduino i és transformat a una funció booleana (0 o 1). Aquesta conversió es fa amb l'ajuda del lector digital de LINX i per passar del llenguatge booleà al decimal es fa amb un conversor que converteix el 0 booleà en un 0 decimal i l'1 booleà a l'1 decimal. Aquest 0 o 1 decimal és multiplicat pel percentatge que correspon a cada ànode del sensor de nivell i els cinc resultats finals de cada sensor són introduïts a una funció de màxims o s'elegeix el valor màxim. El resultat final es representa amb un indicador que representa un tanc de llast (Figura 38).

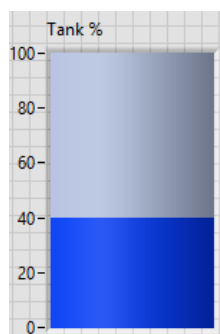


Figura 38: Indicador de nivell dels tancs

Igual que a l'acceleròmetre, es connecta tot, s'indica cada elèctrode a quin pin està connectat, s'ordena i es crea un SubVI per poder-ho connectar fàcilment al programa final.

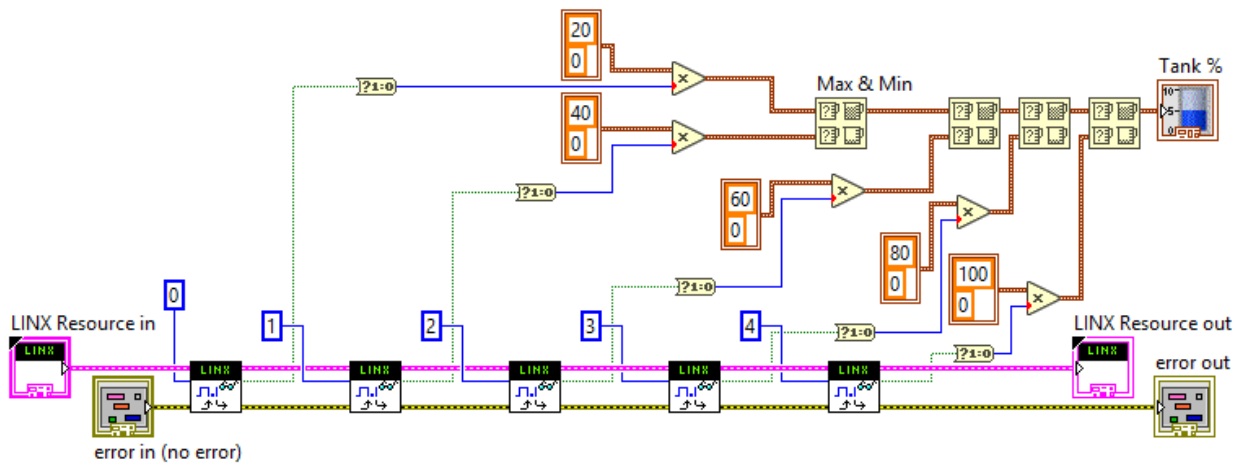


Figura 39: Programació sensor de nivell

4.4 Relés

A la maqueta els relés són els encarregats d'engegar la bomba d'aigua i d'obrir totes les vàlvules. Mitjançant l'escriptura digital de LINX, es crea un impuls elèctric que fa activar el relé i aleshores canviar la posició de l'interruptor. Quan aquest canvia de posició tanca el circuit elèctric connectat i permet que passi l'electricitat cap a les vàlvules o cap a la bomba cosa que produeix la seva activació.

Amb l'ajuda de les portes lògiques OR, es programa que quan qualsevol vàlvula està activada, també s'activi automàticament el relé de la bomba, quan alguna de les vàlvules de càrrega dels tancs estigui activada, també s'activi el relé que obre la presa de mar i, finalment, quan una vàlvula de les descàrregues dels tancs estigui oberta, automàticament s'obri la vàlvula de la descàrrega de mar.

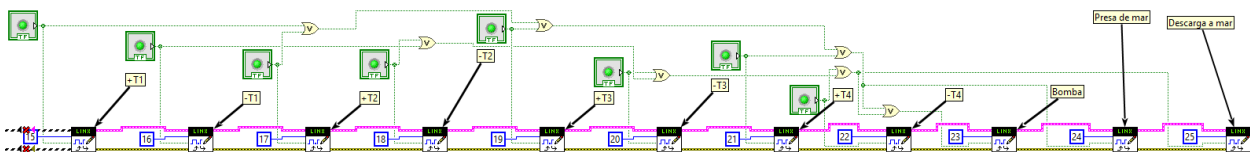


Figura 40: Programació relés

A cada bloc d'escriptura se li ha d'indicar a quin pin li correspon la seva acció amb el seu número corresponent. Finalment s'hi programen uns botons personalitzats que ens ajudaran a engegar i parar manualment les vàlvules i la bomba d'aigua. Tal i com està dissenyat, si s'activa el botó verd, es comença a omplir el tanc, mentre que el vermell és el de buidar. Per indicar si la bomba està activada o no, s'engega un llum a l'interior de l'interruptor.



Figura 41: Botó control de nivell

4.5 Panell de control

Per poder dur el control de tota la maqueta es creà un panell de control d'on es podrien donar les ordres i visualitzar els resultats de forma ràpida i intuïtiva. Aquest panell es programà amb el mateix LabVIEW i queda de la següent forma:

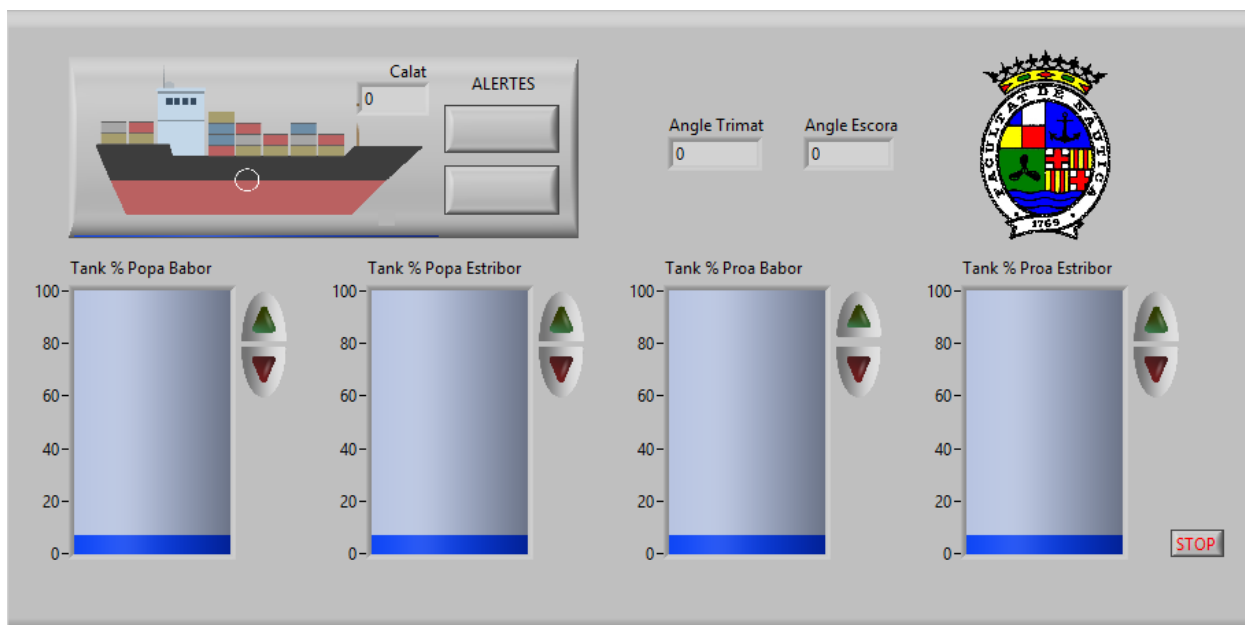


Figura 42: Panell de control

Per introduir aigua a cada tanc es fa pitjant els botons verds de cada un, mentre que per buidar-los es fa amb els vermells. El calat s'indica de forma visual i de forma numèrica amb cm mentre que els angles es donen amb graus. A la Figura 42 les alertes d'alt i baix nivell estan desactivades i un cop activades es posarien de color vermell i amb la paraula Alt o Baix respectivament. Finalment per parar el programa es fa mitjançant el polsador STOP.

Capítol 5. Resultat final

5.1 Comparació amb la maqueta inicial

Per aconseguir l'objectiu del projecte, es varen dur a terme diverses modificacions a la maqueta que es va partir de base, a la Taula 5 es poden veure les principals diferències finals com també els aspectes que no es varen modificar.

ELEMENTS	MAQUETA INICIAL	MAQUETA FINAL
Comunicació	Amb fils	Sense fils
Tancs	12	4
Mesura sensors de nivell	Mig tanc	Tanc sencer
Sensor de nivell substituïble	No	Sí
Relés	0	11
Vàlvules	27	10
Acceleròmetre	MPU-6050	MPU-6050
Alimentació	Externa	Interna
Controlador programable	PLC + Arduino	Arduino Mega
Sensor d'ultrasons	HC-SR04	HC-SR04
Mampares	Fixes	Mòbils
Bomba	Externa	Interna
Maqueta transportable	No	Sí

Taula 5: Comparació amb la maqueta inicial

Un cop finalitzada la maqueta (Figura 43), es pot observar a simple vista que tota la complicació de l'externalització de l'anterior model s'ha aconseguit millorar. Com es pot veure a la Figura 45 els PLCs, les vàlvules, els tubs de PVC, la bomba i la font d'alimentació de l'anterior maqueta ocupaven un espai considerable, a la nova s'ha solucionat i ha cabut tot a l'interior del casc. La Figura 44 és una imatge del prototip fora les cobertes interiors per poder observar la disposició final de tota la instal·lació.



Figura 43: Estat final de la maqueta

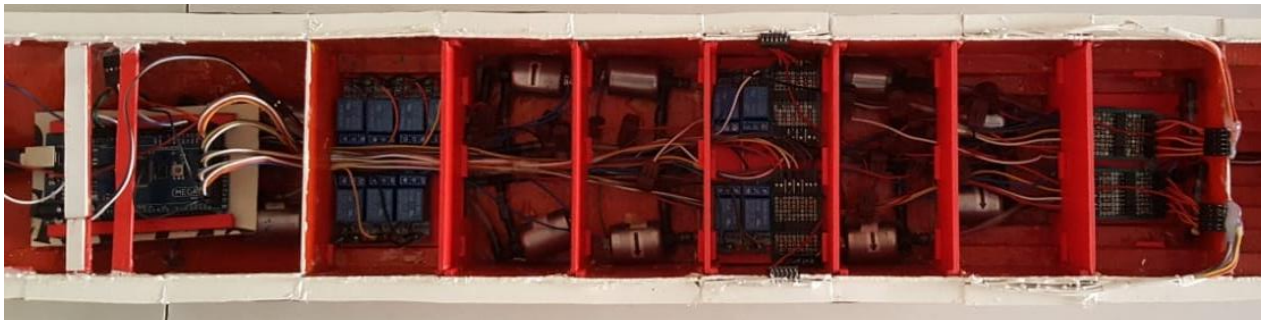


Figura 44: Maqueta sense la coberta interior

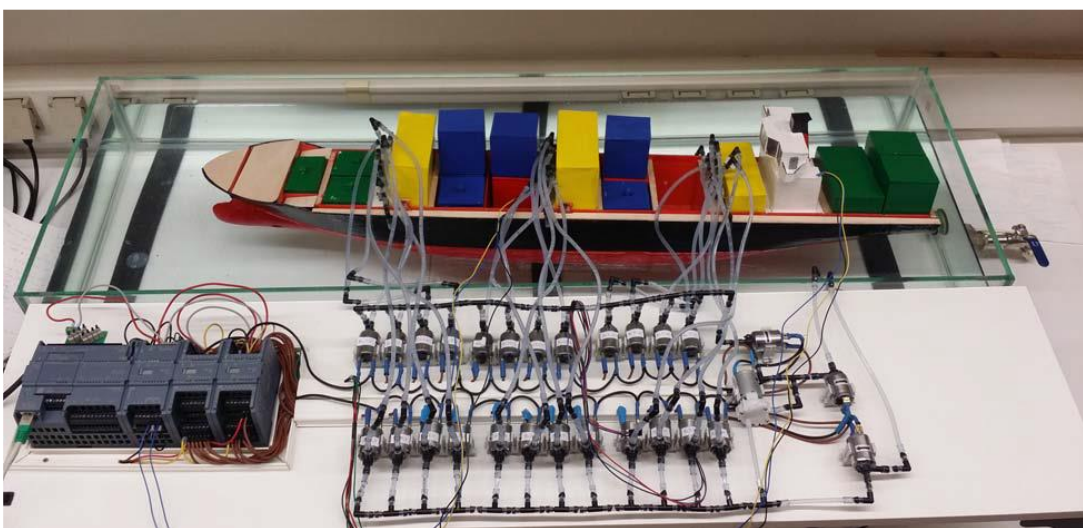


Figura 45: Estat de l'anterior maqueta

5.2 Pressupost

A l'iniciar el projecte es va fer una primera estimació aproximada de la inversió prevista, i es va decidir marcar un pressupost d'uns 100€. La qual cosa va obligar a estar mirant durant tota la realització de la maqueta tots els aspectes possibles per la reducció de costos.

Això va fer que molts dels materials usats fossin comprats per internet directament a la Xina, sempre que fos possible, i a causa dels llargs períodes d'enviament s'allargà la construcció final. Una altre mesura adoptada va ser la utilització tant de materials propis (pintures, bateries, dissolvents...) com de materials prestats per el departament d'automàtica de la FNB (xips, Arduino Mega, cablejat...). Finalment la reutilització del màxim d'elements possibles de l'anterior model va produir una gran disminució del cost final de tot el projecte.

Material	Quantitat	Preu Unitat	Preu Total
1Kg Resina de Polièster + 20gr catalitzador	1	7,47	7,47
Polietilè Expandit 5mm Dina4	1	0,85	0,85
Optoacoblador PC817	5	0,41	2,05
Optoacoblador PC847	5	0,845	4,225
Resistència 1K	25	0,0242	0,605
Resistència 5K1	25	0,0242	0,605
Estany 1mm 100gr	1	9,47	9,47
Filferro 10m	1	1	1
Bomba d'aigua	1	4,51	4,51
Acceleròmetre GY-45	2	1,66	3,32
Mòdul de Relé	20	0,585	11,7
Cable alimentació Arduino	1	1,41	1,41
Suport 3 Bateries 18650	3	0,98	2,94
8 Bateries 18650	1	18,42	18,42
10 ULN2003	1	1,95	1,95
5 Prototips PCB	1	2,64	2,64
Suport 1 Bateries 18650	1	0,4	0,4
Guants de Làtex	1	0,65	0,65
Làmina PVC Dina4	1	0,6	0,6
Pinzells	1	0,8	0,8
PVC escumat 3mm Dina3	1	4	4
UBEC 5V/6V	1	2,69	2,69
20 connectors T-y	2	2,17	4,34
Pintura Blanca	1	3,25	3,25
Pintura Vermella	1	4,8	4,8
Pack Ponts Connectors Arduino	1	5,39	5,39
TOTAL:			100,085

Taula 6: Pressupost

A la Taula 6 es pot veure desglossat el pressupost final, cal explicar que alguns dels elements mencionats a la taula, no s'utilitzaren finalment per un canvi del disseny final, per altre banda, d'alguns materials s'hagueren de comprar més unitats de les necessàries ja que era l'única opció o la més barata.

5.3 Problemes sorgits

La maqueta final presenta dos inconvenients:

Connexió Bluetooth

Durant les proves finals es va observar que el mòdul HC-05 fallava amb molta regularitat fins al punt que per causes no esbrinades no va ser possible connectar-lo més. Després de provar amb 3 mòduls nous diferents es va optar per seguir amb una connexió física mitjançant un cable USB.

Es deixa per un estudi futur la investigació del possible error. Unes de les possibles solucions podrien ser:

- Programació amb ordres AT el mòdul Bluetooth.
- Substitució del mòdul Bluetooth per un Wifi (canviant tota la programació adient).
- Investigar altres possibles vies.

Bomba d'aigua

A causa de que la bomba d'aigua és centrífuga, la posta en marxa del sistema és complicat degut a la dificultat d'encebar el circuit hidràulic i un cop aconseguit és complicat mantenir-lo.

Es deixa per un estudi futur la investigació de possibles solucions. Algunes de les possibles podrien ser:

- Substitució de la bomba centrífuga per una distinta o més potent.
- Implementació d'un sistema d'encebat.
- Estudi de la possible implementació d'una vàlvula antiretorn i una ventosa (cosa que eliminaria les bombolles d'aire del circuit)
- Investigar altres possibles vies.

Capítol 6. Conclusions i treball futur

En aquest projecte s'ha implementat el sistema de llast d'una maqueta acadèmica. S'ha partit d'una maqueta ja existent en què la instrumentació estava externalitzada i el control es portava a terme per mitjà d'un PLC. Aquest muntatge limitava molt les prestacions de la maqueta a banda de que part de la instrumentació estava deteriorada. Calia doncs fer modificacions per tal d'aconseguir una maqueta autònoma.

Per aconseguir-ho s'ha desmuntat la maqueta, reduït el nombre de tancs i s'ha implementat la automatització mitjançant un Arduino Mega. Addicionalment, s'han canviat i millorat diferents sensors i elements del circuit. És important notar que el sensor de nivell, en concret, ha estat implementat des de zero amb l'ajuda de diferents dispositius electrònics. També s'ha afegit una bateria. El que es conserva dels antics treballs és el casc (amb unes quantes modificacions), alguns sensors, vàlvules i tubs.

L'algoritme que controla els tancs de llast s'ha implementat per mitjà de LabVIEW, dotant així a la maqueta d'interès acadèmic. Els estudiants podran provar diferents algorismes de manera més senzilla i directa. També s'ha dissenyat i programat una pantalla de visualització.

D'aquesta manera el projecte ha arribat al seu objectiu aconseguint una maqueta autònoma que ens permet estudiar de forma visual un sistema de llast d'un buc portacontenidors.

Com a treball futur es pot millorar la comunicació Arduino/Ordinador, ja que com s'ha vist, és molt complicat fer-la mitjançant Bluetooth. D'altra banda també es poden portar a terme modificacions a la bomba centrífuga que permetin fer més fàcil l'encebat del sistema hidràulic.

Referències i bibliografia

Dipòsit acadèmic UPC

- [1] Calvo Bosque, Álvaro; Domínguez Torres, Marc. *“Control de la estabilidad de un modelo de buque portacontenedores en operaciones de estiba”*. Treball fi de grau, FNB, 2015.

Disponible a: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/81498>

- [2] Albert Pascual Rodrigo. *“Disseny i implementació de controladors d'estabilitat en una maqueta de portacontenedors mitjançant càlcul numèric”*. Treball fi de grau, FNB, 2018.

Disponible a: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/115194>

Il·lustracions i fitxes tècniques

- [3] Vàlvula de solenoide [5/03/2019]

<https://s.click.aliexpress.com/e/Bx04k5w>

- [4] Mòdul relé [5/03/2019]

<https://s.click.aliexpress.com/e/Fiq0Hdq>

- [5] Bomba d'aigua [5/03/2019]

<https://s.click.aliexpress.com/e/cbBoCpEo>

- [6] Model sensor de nivell [9/04/2019]

<https://tallerelectronica.com/2015/03/10/indicador-electronico-de-nivel-de-agua/amp/>

- [7] Acceleròmetre [10/03/2019]

<https://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>

- [8] Connexions acceleròmetre [10/03/2019]

<https://www.ozeki.hu/attachments/3007/Gyroscope MPU6050 Mega.png>

- [9] Sensor d'ultrasons [5/03/2019]

<https://www.sparkfun.com/products/13959>

- [10] Connexions sensor d'ultrasons [10/03/2019]

<https://www.ozeki.hu/attachments/3069/Ultrasonic Mega.png>

- [11] Bateries 18650 [5/03/2019]
<https://s.click.aliexpress.com/e/v8Bd9iD>

- [12] Caixa suport bateries 18650 [5/03/2019]
<https://s.click.aliexpress.com/e/4CbSq2TQ>

- [13] UBEC [25/03/2019]
<https://s.click.aliexpress.com/e/lBtMGTMv>

- [14] Optoacoblador [15/04/2019]
<https://ca.wikipedia.org/wiki/Optoacoblador>

- [15] Mòdul Bluetooth [30/05/2019]
<https://www.electronicoscaldas.com/es/modulos-rf/452-modulo-bluetooth-hc-05.html>

- [16] Connexions mòdul Bluetooth [30/05/2019]
<https://foto.askix.com/upload/7/84/7847898e0bd9a9a62a95c22f0869af7d.jpg>

Informació

- [17] Arduino Mega [30/04/2019]
<http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

- [18] Acceleròmetre 6050 [30/03/2019]
<https://robologs.net/2014/10/15/tutorial-de-arduino-y-mpu-6050/>

- [19] Optoacoblador [14/04/2019]
https://www.picbasic.nl/downloads/PC827_PC847.pdf

- [20] Pinout Arduino [10/04/2019]
https://www.geekfactory.mx/wp-content/uploads/2016/04/diagrama_de_pines_arduino_mega_2560.jpg

Annex

A.1 Fixa tècnica dels optocobladors

[19]

SHARP

PC827/PC847

PC827/PC847

High Density Mounting Type Photocoupler

- Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available.
- TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

■ Features

1. Current transfer ratio (CTR:MIN. 50% at $I_F=5\text{mA}$, $V_{CE}=5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output ($V_{\text{iso (rms)}}:5\text{kV}$)
3. Compact dual-in-line package
PC827:2-channel type
PC847:4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

■ Applications

1. OA equipment
2. Copiers
3. Home appliances

■ Absolute Maximum Ratings ($T_a=25^\circ\text{C}$)

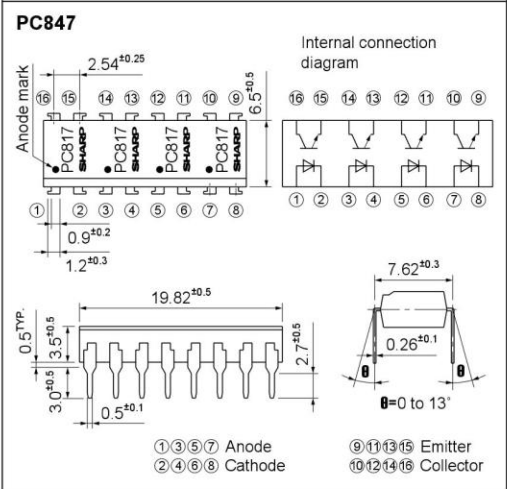
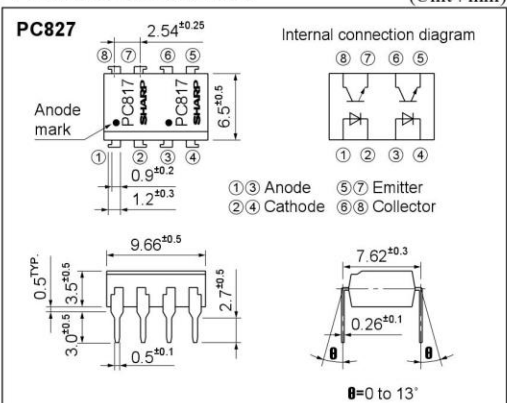
	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_F	50	mA
	*1 Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	35	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
Total power dissipation		P_{tot}	200	mW
*2 Isolation voltage		$V_{\text{iso (rms)}}$	5	kV
Operating temperature		T_{opr}	-30 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage temperature		T_{stg}	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
*3 Soldering temperature		T_{sol}	260	$^\circ\text{C}$

*1 Pulse width $\leq 100\mu\text{s}$, Duty ratio: 0.001

*2 40 to 60%RH, AC for 1 minute

*3 For 10s

■ Outline Dimensions (Unit : mm)



SHARP

PC827/PC847

■ **Electro-optical Characteristics**

($T_a=25^\circ\text{C}$)

Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V_F	$I_F=20\text{mA}$	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM}=0.5\text{V}$	-	-	3.0	V
	Reverse current	I_R	$V_R=4\text{V}$	-	-	10	μA
	Terminal capacitance	C_t	$V=0, f=1\text{kHz}$	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	I_{CEO}	$V_{CE}=20\text{V}, I_F=0$	-	-	100	nA
Transfer characteristics	Collector current	I_C	$I_F=5\text{mA}, V_{CE}=5\text{V}$	2.5	-	30.0	mA
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F=20\text{mA}, I_C=1\text{mA}$	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	R_{ISO}	DC500V, 40 to 60%RH	5×10^{10}	10^{11}	-	Ω
	Floating capacitance	C_f	$V=0, f=1\text{MHz}$	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	f_c	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}, R_L=100\Omega, -3\text{dB}$	-	80	-	kHz
	Response time	Rise time	t_r	$V_{CE}=2\text{V}, I_C=2\text{mA}, R_L=100\Omega$	-	4	18
Fall time		t_f	-		3	18	μs

■ **Rank Table**

($I_F=5\text{mA}, V_{CE}=5\text{V}, T_a=25^\circ\text{C}$)

Model No.	Rank mark	I_C (mA)
PC8□7AB	A or B	4.0 to 13.0
PC8□7BC	B or C	6.5 to 20.0
PC8□7CD	C or D	10.0 to 30.0
PC8□7AC	A, B or C	4.0 to 20.0
PC8□7BD	B, C or D	6.5 to 30.0
PC8□7AD	A, B, C or D	4.0 to 30.0
PC8□7	A, B, C, D or no mark	2.5 to 30.0

2 of 4

Fig.1 Forward Current vs. Ambient Temperature

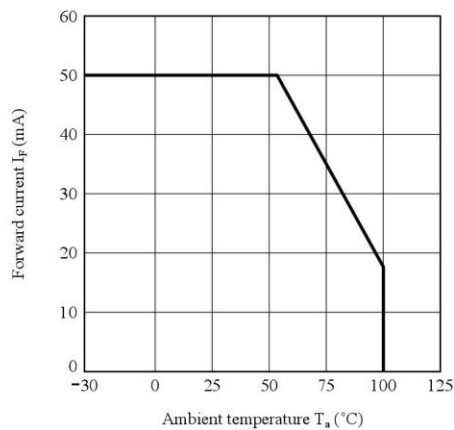
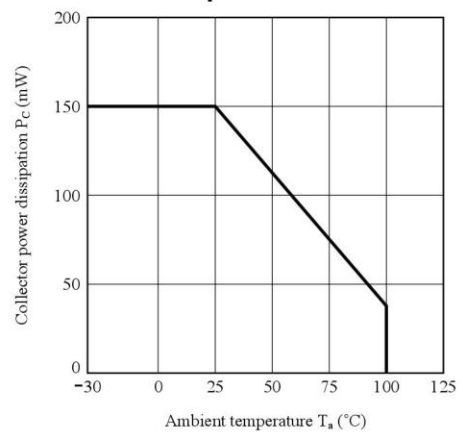


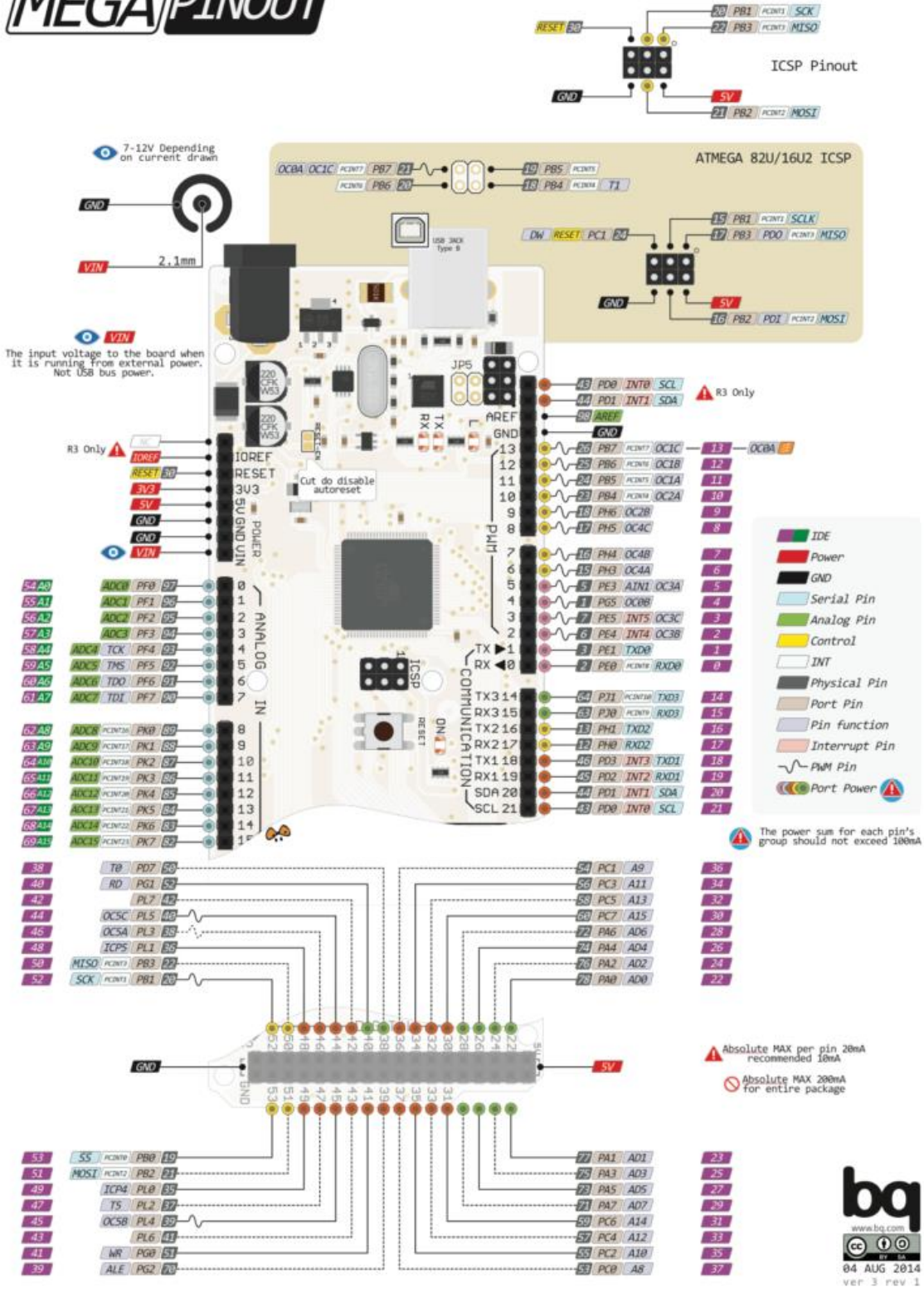
Fig.2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature



A.2 Pinout Arduino Mega

[20]

MEGA PINOUT



A.3 Plànol hidràulic

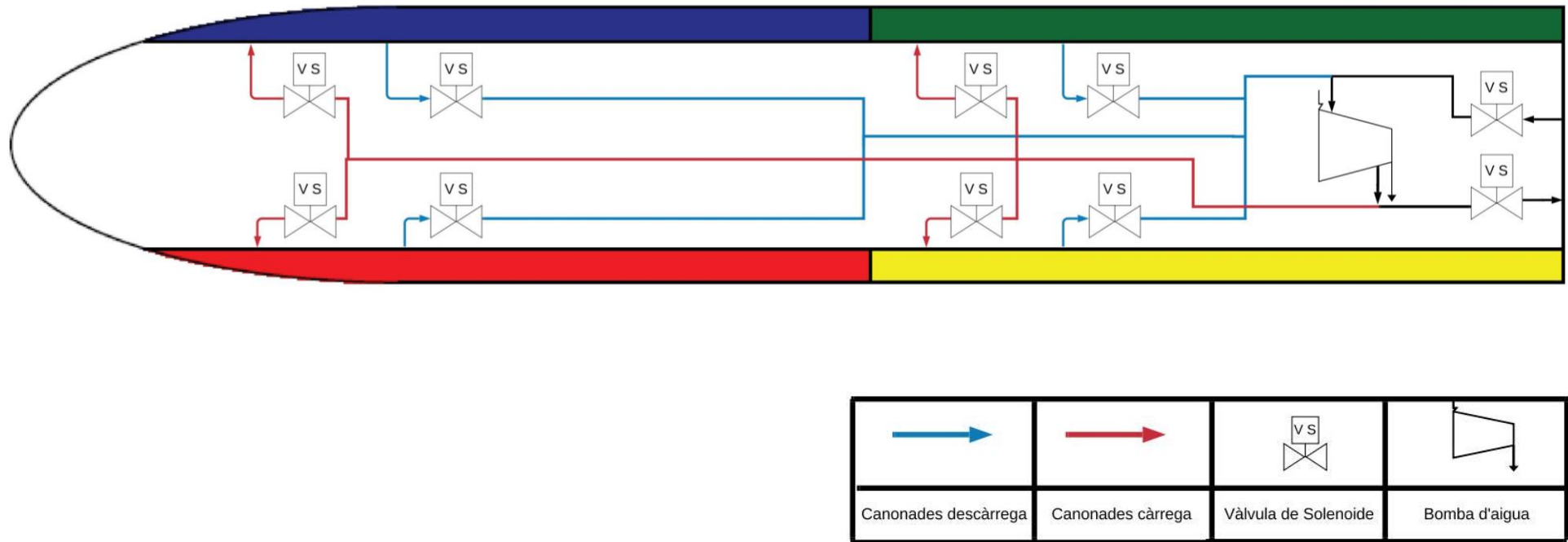


Figura 46: Plànol hidràulic

A.4 Plànol de formes

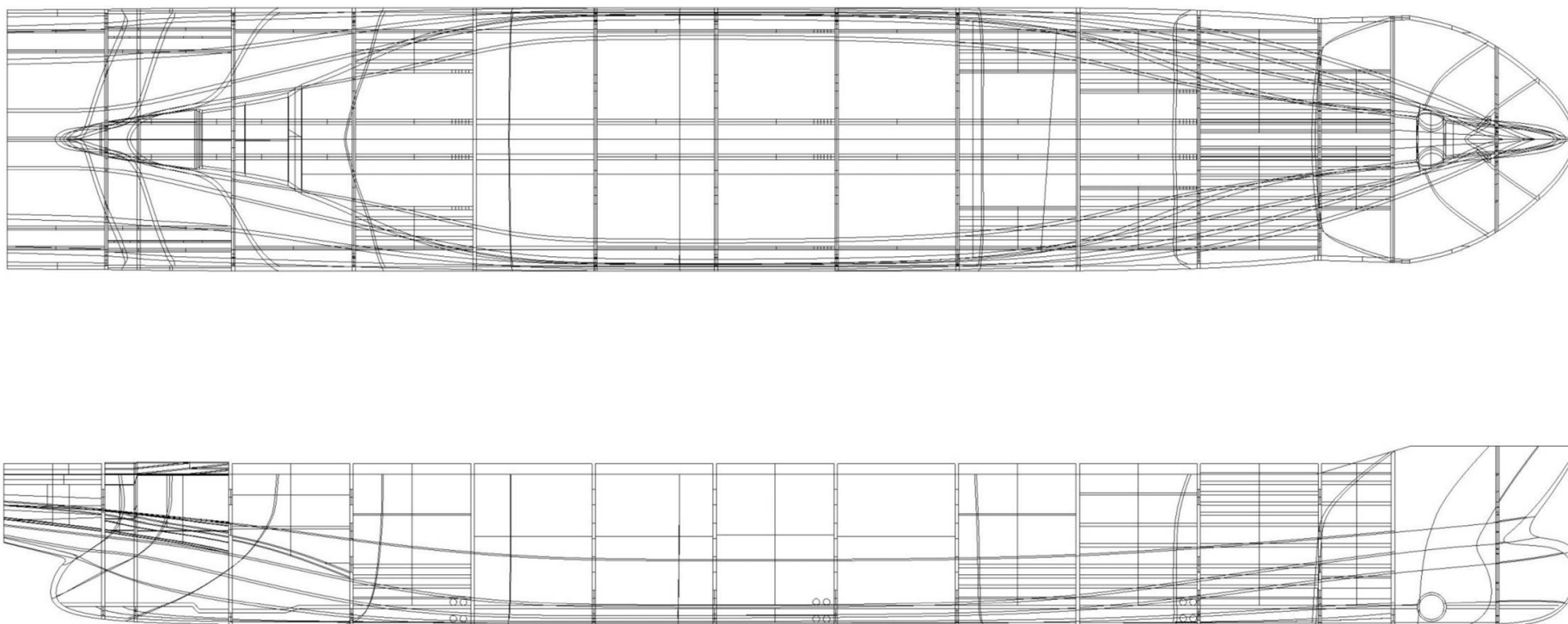


Figura 47: Plànol de formes [1]

A.5 Disposició dels tancs

PLANTA

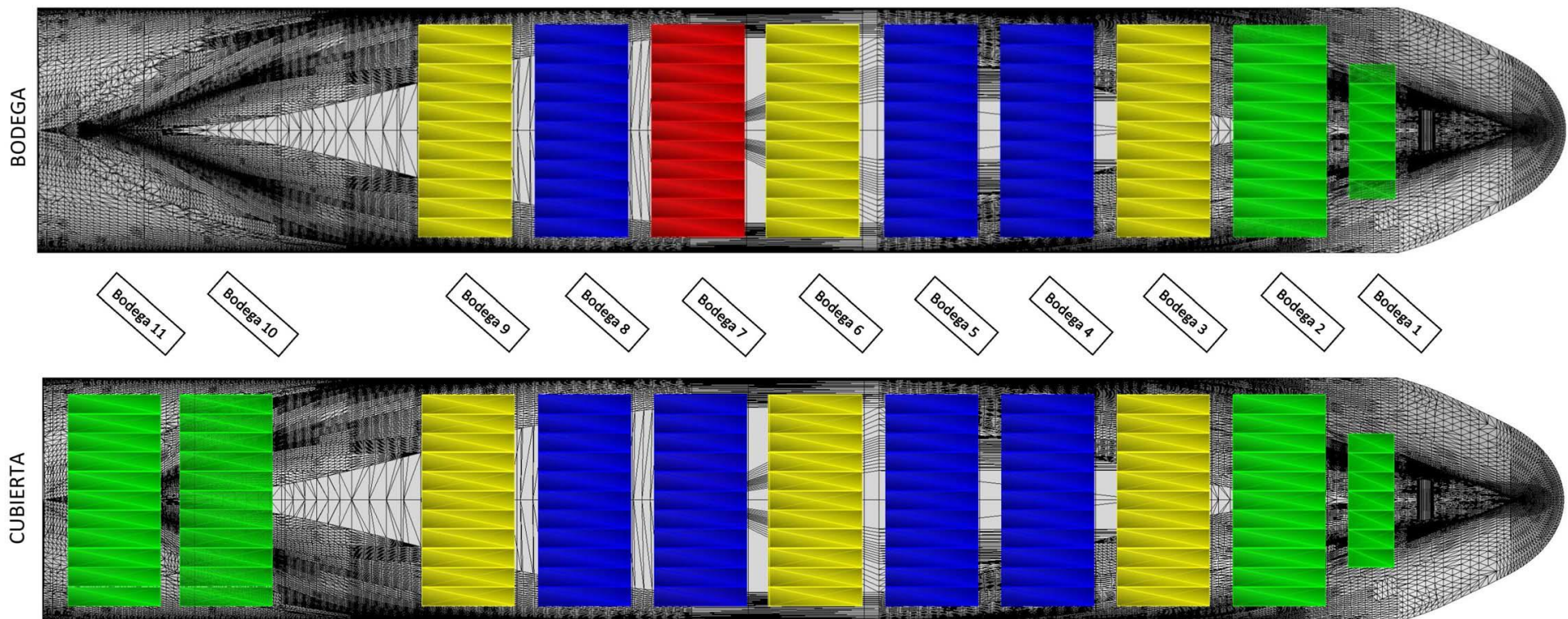
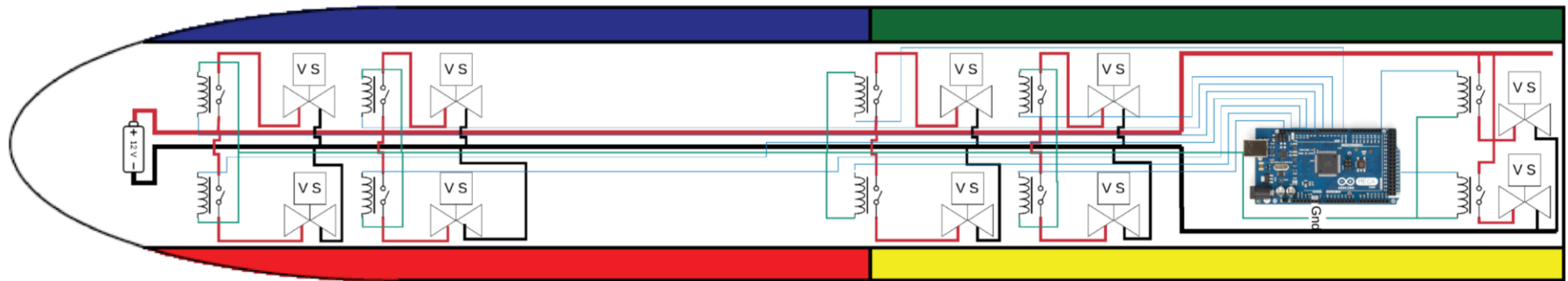


Figura 48: Disposició dels tancs [1]

A.6 Plànol elèctric



Vàlvula de solenoide	Relé	Terra Arduino	Pin Arduino	- Bateria	+ Bateria

Figura 49: Plànol elèctric

