

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Alexandre Canals Ordeig

Dirigit per:
Santiago Ordás Jiménez

Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 08/07/2022

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutica

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Versió	Data	Modificacions
1	[Data]	Creació del document
		Revisió...

Escrit per: Alexandre Canals Ordeig	
Autor/a:	Alexandre Canals Ordeig
Data:	08/07/2022

Revisat i aprovat per:	
Tutor/a:	Santiago Ordás
Data:	
Revisat i aprovat per:	
Co-Tutor/a:	
Data:	

Agraïments

M'agradaria donar les gràcies a tot el professorat i personal en general de la Facultat Nàutica de Barcelona per la formació que m'han proporcionat i que m'ha ajudat a emprendre la meua carrera professional.

Vull fer menció als professors d'electricitat Josep Maria Torrents i en especial al Victor Fuses pels coneixements tècnics necessaris i l'ajut incondicional que m'han proporcionat per a dur a terme aquest treball final de grau.

També vull deixar constància d'un agraïment molt especial al Santiago Ordás per haver sigut el tutor del meu TFG i emprendre aquest repte amb mi, pel temps que m'ha dedicat tant per a la realització d'aquest TFG com per les assignatures que ha impartit.

Per últim, m'agradaria agrair als professionals de les entitats externes a la facultat que m'han ajudat facilitant-me mostres de materials o donant-me informació necessària per a poder avançar amb la investigació com són:

- Viviana Chérrez - Departament comercial d'IMA *magnets*.
- Rafael Nolla – Director del departament d'equips electromagnètics d'IMA *magnets*.
- Eduardo Guinovart – *Business Development Manager* d'AK Steel.

Resum

Aquest TFG té l'objectiu de dissenyar un sistema d'absorció d'energia cinètica procedent del moviment de capcineig d'una embarcació d'esbarjo durant la navegació, per mitjà d'un dispositiu de captura longitudinal, concretament d'un veler.

Aquest prototip per tal de treure profit del balanceig generat per l'onatge pretén instal·lar un generador lineal a la part inferior de l'embarcació amb una part mòbil la qual es desplaçarà amb la freqüència de les ones amb un cert desfasament.

Es vol dissenyar aquest sistema per tal de contribuir positivament al medi ambient, i d'augmentar considerablement l'estalvi de combustible. Cal prendre consciència i entendre que la situació ambiental és crítica, per això aquest prototip pot aportar el seu gra de sorra a la descarbonització.

A part de ser un prototip que pot generar un impacte positiu al medi ambient, també aporta aspectes positius referents a la navegació, com el trimat i estabilitat de l'embarcació. A més farà que els trajectes transoceànics siguin més senzills i permetrà que els tripulants es centrin en la navegació.

Abstract

The aim of this final degree project is to design a system that absorbs the kinetic energy from the pitching movement of a recreational sailboat during navigation, by means of a longitudinal capture device.

In order to take advantage of the balance generated by sailing, this prototype aims to install a linear generator in the lower part of the sailboat with a mobile part that moves with the frequency of the waves with a certain delay.

The aim is to design this system to contribute positively to the environment, and to considerably reduce the fuel consumption. We must be aware and understand that the environmental situation is critical, that's the reason why I am designing this prototype that can contribute its grain of sand to reduce the carbon footprint.

In addition to being a device that can generate a positive impact on the environment, it also contributes positive aspects in terms of navigation, as trimming and the boat stabilization. What's more it will make the transoceanic trips easier and more pleasant.

ÍNDEX

LLISTAT D'IL·LUSTRACIONS.....	10
LLISTAT DE TAULES.....	12
DICCIONARI DEL TREBALL FINAL DE GRAU.....	13
ACRÒNIMS UTILITZATS AL TREBALL FINAL DE GRAU.....	13
CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ.....	14
CAPÍTOL 2: ESTAT DE L'ART.....	16
2.1 Comparativa entre les altres tecnologies similars.....	17
CAPÍTOL 3: ANÀLISIS I DESCRIPCIO DE LA TECNOLOGIA DE RECUPERACIÓ D'ENERGIA CINÈTICA.....	20
3.1 Els sis graus de llibertat d'una embarcació.....	20
3.2 Electromagnetisme.....	21
3.3 Esquema elèctric	23
CAPÍTOL 4: GENERADOR LINEAL.....	28
4.1 Funcionament de l'aparell.....	28
4.2 Absorció de les forces inercials.....	30
4.3 Implementació a la nàutica d'esbarjo.....	31
CAPÍTOL 5: APLICACIONS DE LA TECNOLOGIA KERS EN L'ACTUALITAT.....	33
5.1 Volant d'inèrcia.....	33
5.2 KERS a la fórmula 1.....	35
CAPÍTOL 6: DISSENY CONCEPTUAL PER A UNA EMBARCACIÓ D'ESBRAJO.....	37
6.1 Embarcació model per a l'aplicació.....	37
6.2 Increment de l'estabilitat de l'embarcació.....	39
CAPÍTOL 7: DESENVOLUPAMENT DEL DISSENY CONCEPTUAL EN UN PROTOTIP.....	42
7.1 Selecció dels materials.....	42
7.2 Costos del projecte.....	47
7.3 Cobertura estanca.....	50

CAPÍTOL 8: IMPACTE SOCIAL, ECONÒMIC I MEDIAMBIENTAL.....	52
8.1 Impacte social.....	52
8.2 Impacte econòmic.....	53
8.3 Impacte mediambiental.....	55
CAPÍTOL 9: COMPARATIVA DEL PROJECTE SEAKERS AMB EL DISSENY PROPOSAT: ANÀLISIS I VALORACIÓ DEL PROJECTE SEAKERS.....	58
9.1 Anàlisi i valoració del projecte SEAKERS: Justificació de la reubicació dels components.....	58
9.2 Recerca i comparació entre la freqüència òptima de treball i de les ones.....	62
9.3 Símil entre l'ECU i el MPPT.....	64
9.4 Variable del sistema a regular: La càrrega.....	65
9.5 Tensions no aprofitables.....	66
9.6 Avaluació del comportament del primer prototip al laboratori i resultats esperats.....	66
CAPÍTOL 10: CONCLUSIONS.....	70
9.1 Conclusions tècniques.....	70
9.2 Comentaris de l'autor.....	71
BIBLIOGRAFIA.....	74
ANNEXOS.....	81

LLISTAT D'IL·LUSTRACIONS

- Il·lustració 1.** Trajecte transatlàntic (Font: Google Earth)
- Il·lustració 2.** Secció d'una columna d'aigua oscil·lant. (Font: *Oscillating water column wave energy converters andair*)
- Il·lustració 3.** Conjunt de turbines heterocinètiques (Font: *Simulation Based Optimisation of Marine Current Turbine Blades*)
- Il·lustració 4.** Sistema d'aprofitament d'energia de les mareas (Font: *sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz*)
- Il·lustració 5.** Eixos dels sis graus de llibertat (Font: *Six-Degrees of freedom*)
- Il·lustració 6.** Línies de força d'una barra magnètica (Font: *Practical Physics*)
- Il·lustració 7.** Esquema elèctric del sistema (Font: *SeaKERS*)
- Il·lustració 8.** Bateria a instal·lar (Font: *Nautic Battery*)
- Il·lustració 9.** Exemple d'una centraleta elèctrica (Font: *Development of the electronic control unit*)
- Il·lustració 10.** Estator on es veu la dent i la cavitat (Font: *SeaKERS project*)
- Il·lustració 11.** Explicació inèrcia (Font: *Fuse School Global Education*)
- Il·lustració 12.** Secció de l'estator i del cursor (Font: *SeaKERS project*)
- Il·lustració 13.** Posició del generador lineal (Font: *SeaKERS project*)
- Il·lustració 14.** Volant d'inèrcia (Font: *Sachs Performance*)
- Il·lustració 15.** Composició parts KERS d'un monoplaça F1 (Font: *Renault*)
- Il·lustració 16.** Unitat de potència monoplaça Renault (Font: *Renault*)
- Il·lustració 17.** Models preestablerts *Maxsurf* (Font: Pròpia)
- Il·lustració 18.** Dibuix embarcació d'esbarjo model (Font: Pròpia)
- Il·lustració 19.** Propietats de la càrrega (Font: Pròpia)
- Il·lustració 20.** Definició de la situació de la càrrega (Font: Pròpia)
- Il·lustració 21.** Dibuix generat per *Maxsurf* (Font: Pròpia)
- Il·lustració 22.** Rang de preu estreta de *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)
- Il·lustració 23.** Resistència a la fatiga (en cicles). *Granta Edu Pack*. (Font: Pròpia)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

- Il·lustració 24.** Tolerància a l'aigua del mar *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)
- Il·lustració 25.** Tolerància als olis i combustibles *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)
- Il·lustració 26.** Resistència a l'abració *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)
- Il·lustració 27.** Ventall de materials a considerar *Granta Edu Pack*. (Font: Pròpia)
- Il·lustració 28.** Conducció elèctrica del material *Granta Edu Pack*. (Font: Pròpia)
- Il·lustració 29.** Gràfica resultant amb els filtres establerts. (Font: Pròpia)
- Il·lustració 30.** Gràfica reduint els possibles materials a triar (Font: Pròpia)
- Il·lustració 30.** Fàbrica i oficines IMA *magnets*, Ripollet (Font: IMA *magnets*)
- Il·lustració 32.** Targeta de visitant de l'empresa (Font: Pròpia)
- Il·lustració 33.** Imants de Neodimi proporcionats per IMA (Font: Pròpia)
- Il·lustració 34.** Secció del generador lineal dissenyat per SeaKERS (Font: *SeaKERS project*)
- Il·lustració 35.** Jou electromagnètic (Font: *Magnaflux*)
- Il·lustració 36.** Generador dièsel (Font: *Fischer Panda*)
- Il·lustració 37.** Recorregut de la competició *Ocean Race* (Font: *Ocean Race*)
- Il·lustració 38.** Llanterna amb funcionament d'agitació (Font: Internet)
- Il·lustració 39.** Estructura de simulació del comportament del vaixell, *test bed* (Font: SeaKERS)
- Il·lustració 40.** Motor *brushless* (Font: JAES *company*)
- Il·lustració 41.** Mapa indicatiu de l'estat de les onades (Font: *Meteoblue*)
- Il·lustració 42.** Període d'ona. (Font: Un recorregut pel món de les ones electromagnètiques i la seva velocitat)
- Il·lustració 43.** Mapa indicatiu de l'estat de les ones al mediterrani (Font: *Meteoblue*)
- Il·lustració 44.** Exemple d'instal·lació d'un dispositiu MPPT (Font: *Genera tu luz*)
- Il·lustració 45.** Dispositiu SEAKEEPER 1 (Font: SEAKEEPER)

LLISTAT DE TAULES

Taula 1: Llistat d'aparells del sistema elèctric (Font: Pròpia)

Taula 2: Diferències entre un volant d'inèrcia i el prototip. (Font: Pròpia)

Taula 3: Taules hidroestàtiques *Maxsurf* (Font: Pròpia)

Taula 4: Taules hidroestàtiques resultants (Font: Pròpia)

Taula 5: Composició química *pure iron* amb baix contingut de carboni (Font: Pròpia)

Taula 6: Avantatges i inconvenients dels imants de neodimi (Font: Pròpia)

Taula 7: Embarcacions d'esbarjo fabricades per país (Font: *A market analysis on the global*)

Taula 8: Massa de diòxid de Carboni generada en els diferents escenaris (Font: Pròpia)

DICCIONARI DEL TREBALL FINAL DE GRAU:

Unitat de potència: Conjunt d'equips que subministren a un monoplaça de Fórmula 1 l'empenta necessària per a avançar. Sol estar compost d'un motor de combustió interna i d'un motor elèctric.

Rectificador de CA a CC: El convertidor estàtic d'energia, o més freqüent, rectificador, és un aparell capaç de realitzar la conversió de corrent altern a corrent continu.

Unitat de control elèctrica: La unitat de control elèctrica o UCE, dissenyar un sistema d'absorció d'energia cinètica procedent del moviment de capcineig d'una embarcació d'esbarjo durant la navegació, per mitjà d'un dispositiu de captura longitudinal

Bateries recarregables: Acumulador d'energia en base a reaccions químiques reversibles, de manera que s'intercanvia energia elèctrica o química segons el sentit de la intensitat que la travessa, entregant energia elèctrica o acumulant-la, amb algunes pèrdues en el procés.

Unitat de força: Dispositiu que permetrà actuar sobre el sistema tant de generador com de motor.

ACRÒNIMS UTILITZATS AL TREBALL FINAL DE GRAU

ECU: Electric control unit – unitat de control elèctrica

MPPT: *Maximum Power Point Tracking*

Motor KERS: *Kinetic Energy Recovery System*

OMI: Organització Marítima Internacional

GEI: Gasos d'efecte hivernacle

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

L'objectiu d'aquest treball és dissenyar i fer un estudi de viabilitat d'un prototip que podria resoldre necessitats insatisfetes dels navegants de l'actualitat a la indústria de la nàutica d'esbarjo. L'energia a bord és un recurs escàs i limitat, però d'una necessitat primordial, especialment en una embarcació de vela.

Al llarg de la història, els aventurers més intrèpids sempre han volgut creuar els oceans. En aquest trajecte, s'han hagut d'enfrontar a nombrosos problemes i contratemps, un d'aquests, sempre ha estat la falta d'energia per a propulsar l'embarcació.

Avançant en el curs de la història, amb l'aparició de noves tecnologies, la problemàtica ja no està tan enfocada a la propulsió del vaixell, sinó a l'estalvi de combustible emprat tant per al motor de combustió interna com per al manteniment de la xarxa elèctrica del vaixell.

Durant un dia de navegació, el consum d'electricitat ha d'estar controlat amb cautela. Un clar exemple de la cura amb la qual se sol subministrar l'electricitat, és apagar la nevera per a tal de no quedar-se sense electricitat durant la nit. Un inconvenient que sol ocórrer amb certa freqüència és que les bateries es quedin sense energia després d'un dia de navegació. Per a tal de tornar-les a carregar es necessita alimentar-les des del d'un generador, normalment de dièsel, aquest fet comporta una sèrie d'inconvenients a tenir en compte com per exemple:

- El combustible del generador és una font d'energia no renovable, i a més, la quantitat de combustible limita l'autonomia de l'embarcació
- Tenir l'aparell engegat durant hores, el qual emet un soroll constant que pot arribar a ser molest.
- Emissió de gasos contaminants.
- Els motors normalment s'engeguen amb bateries. Si aquestes, s'han quedat sense electricitat emmagatzemada per qualsevol raó, l'embarcació s'ha de treure a terra per recarregar-les, sense equip elèctric.

El problema esmentat anteriorment es podria solucionar amb el sistema generant energia d'una manera eficient i no contaminant.

Avui en dia existeixen sistemes que es nodreixen de l'energia aconseguida pel sistema de propulsió de l'embarcació, per exemple unes microturbines accionades per vent. A diferència d'aquests sistemes, el nostre el prototip genera energia a partir d'un mecanisme aliè al sistema propulsiu, aquest, és un dels punts forts del prototip a dissenyar.

Les embarcacions de vela sempre han estat considerades ideals per a l'aplicació d'energies renovables amb l'objectiu de generar energia elèctrica per a carregar les bateries, les quals nodreixen els aparells elèctrics, com s'ha mencionat amb anterioritat. Per aquest motiu, el

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

sistema de recuperació d'energia cinètica protagonista d'aquest treball està dissenyat per embarcacions de vela d'entre 10 i 20 metres d'eslora. Aquest tipus d'embarcacions són les que se solen enfrontar als trajectes transoceànics, ja que no depenen únicament de la propulsió generada pel motor de combustió interna.

Un dels trajectes més populars entre els capitans de la península Ibèrica, és el creuament de l'atlàntic. Els punts de sortida o d'arribada solen ser, per norma general Gran Canària (Espanya) i *Marigot Bay* a l'illa de *Saint-Martin*. En aquest trajecte hi ha 4.936 km de distància, els quals es tradueixen en una mitja de vint dies de navegació depenent de l'embarcació i el clima en el moment en el qual es parteix del port.



Il·lustració 1. Trajecte transatlàntic (Font: Google Earth)

Durant aquests vint dies hi ha un consum d'electricitat constant, i el fet de tindre un generador com el que s'exposarà en aquest treball a bord que sigui capaç de carregar les bateries que subministren l'energia als dispositius elèctrics, facilita molt el trajecte per als tripulants.

CAPÍTOL 2: ESTAT DE L'ART

L'estat en el qual es troben els sistemes de recuperació d'energia cinètica a estudiar és bastant avançat i ampli. Tot i això, com que el present treball de final de grau està orientat al vessant nàutic i més concretament a la nàutica d'esbarjo no hi ha gaires estudis semblants. Per aquest motiu, també s'han agafat exemples de sistemes de recuperació d'energia cinètica que no pertanyin al sector de la nàutica per entendre quin grau de maduresa té aquest tipus de tecnologia.

Al sector automobilístic, el fregament, és un paràmetre amb molt protagonisme. S'ha de tenir en compte que a terra les pèrdues d'energia produïdes per la fricció són molt més considerables, pel simple fet del medi on es desplaça el vehicle. Per norma general, el coeficient de fregament de l'aigua serà menor que el de l'asfalt, però evidentment depenent de les càrregues i les formes dels vehicles el fregament serà major o menor, és a dir que hi poden haver excepcions.

A continuació, s'analitza que passa quan el conductor d'un vehicle convencional terrestre prem el pedal de fre. Sigui per accionament mecànic o hidràulic, quan les pinces entren en contacte amb el disc, es genera un fregament, resultant amb un augment de temperatura. Explicat d'una manera diferent, hi ha un canvi de tipus d'energia, de cinètica a tèrmica.

Per tant, si en comptes de perdre l'energia cinètica en forma de calor es pogués fer servir per a generar energia elèctrica, el sistema seria molt més eficient. D'aquesta manera, els dispositius de recuperació d'energia cinètica permeten reduir la velocitat del vehicle transformant part de l'energia cinètica en energia elèctrica.

Tot seguit, s'exposen diversos exemples en els quals s'aprofiten diferents tipus d'energia per acabar transformant-la en electricitat com en el cas del vehicle convencional.

- **Turbines d'aigua:**

Aquest és un altre exemple d'un sistema de recuperació d'energia cinètica en el sector naval, concretament pensat per als bucs de grans eslores com portacontenidors, petrolers o granelers. El sistema es basa en rebre per una entrada d'un conducte que travessa el casc del vaixell per sota de la línia de flotació, un flux d'aigua entrant com a resultat de l'avenç del vaixell. Aquesta aigua en travessar el conducte, produeix un moviment de rotació en una hèlice instal·lada a l'interior del conducte. Una vegada s'obté el moviment rotatiu de la turbina es pot transformar en electricitat, com en el cas anterior.

- **Turbines de vent o turbina eòlica:**

Aquestes s'instal·len sobre la coberta principal i generen energia mitjançant el vent aparent disponible. El seu principal inconvenient és que tendeixen a generar la màxima potència quan el vent té unes velocitats excessives per a la navegació de creuer, i, per tant, la generació d'energia disminuirà ràpidament a mesura que la velocitat del vent també es vegi reduïda. Aquesta generació d'energia es veu reduïda amb el quadrat de la velocitat relativa del vent.

- **Panells solars fotovoltaics:**

Els panells solars fotovoltaics tenen alguns avantatges sobre els seus competidors, com la reducció del manteniment i la producció d'electricitat sense vent i en el cas d'un iot immòbil, però també hi ha problemes que cal resoldre com la fragilitat, la col·locació (per evitar que les espelmes facin ombra als panells) i la seva gran superfície a la coberta. Aquest tipus d'instal·lacions solen ser cada vegada més comunes, però continuen depenent d'un paràmetre independent a la navegació, la captura dels fotons de la llum solar.

Amb aquests exemples es pot apreciar que hi ha diferents tipus de sistemes de generació d'energia elèctrica. Es pot distingir entre dos tipus de sistema, els de recuperació, en els quals s'ha consumit energia prèviament, i els de captació, els quals capten la font d'energia des de fora de l'entorn. Els de captació solen fer servir fonts d'energia renovables i els de recuperació, indiferentment de la procedència de la font recuperen energia prèviament consumida.

En el cas del vaixell, tot i anomenar-lo sistema de recuperació d'energia cinètica, es podria considerar un sistema de captació, ja que no s'ha consumit energia de cap tipus per a fer pendular el vaixell. El vaivé del vaixell és causat per acció de les ones.

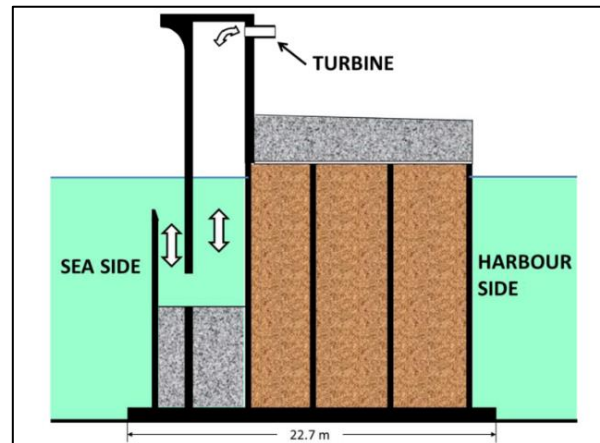
2.1 Comparativa entre altres tecnologies similars

2.1.1 Energia de les ones

Consisteix en l'aprofitament de l'energia produït pel moviment ondulatori de la superfície de l'aigua del mar.

Cal saber que l'onatge és una simple conseqüència del fregament de l'aire sobre la superfície del mar. Aquest moviment ondulatori tan comú als mars i oceans, ha portat als enginyers a desenvolupar diferents artefactes per aprofitar-ne el moviment generat. Per exemple, la columna d'aigua oscil·lant o els cossos flotants.

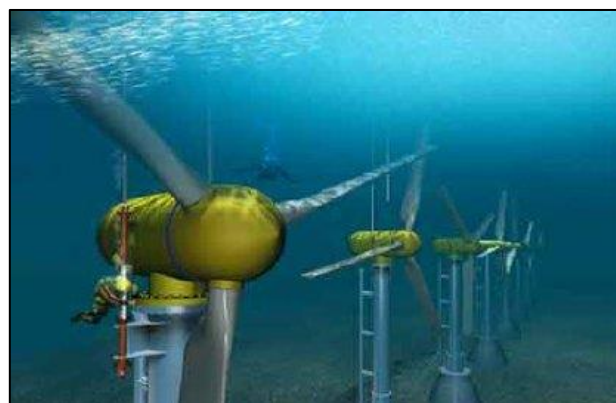
Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Il·lustració 2. Secció d'una columna d'aigua oscil·lant. (Font: *Oscillating water column wave energy converters andair*)

2.1.2 Energia de les corrents

Consisteix en l'aprofitament de l'energia cinètica continguda en les corrents marines. El procés de captació es basa en convertidors d'energia cinètica similars als quals trobem en els aerogeneradors, tot i que en aquest cas està pensat per a instal·lacions submarines.

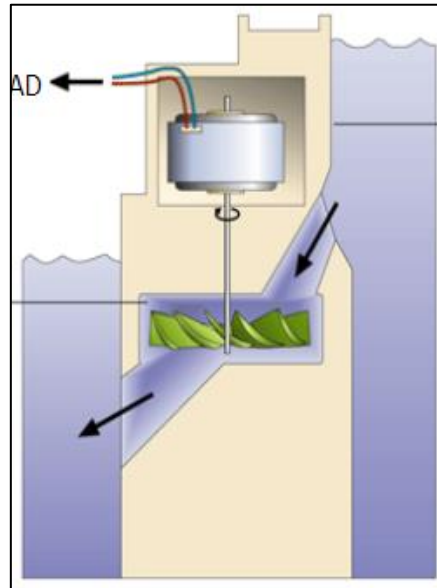


Il·lustració 3. Conjunt de turbines heterocinètiques (Font: *Simulation Based Optimisation of MarineCurrentTurbine Blades*)

2.1.3 Energia de les mareas

Basada en aprofitar l'ascens i el descens del nivell de l'aigua generat per les mareas, que són la conseqüència de l'acció gravitatòria de la lluna i el sol. Aquesta diferència del nivell de l'aigua fa que es mogui una turbina, que a l'hora activa un generador elèctric, per així doncs obtenir energia elèctrica.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Il·lustració 3. Sistema d'aprofitament d'energia de les mareas (Font: *sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz*)

2.1.4 Energia maremotèrmica

Consisteix en aprofitar l'energia tèrmica del mar. Es fonamenta en la diferència de temperatures entre les aigües fredes i profundes i les aigües superficials i més calentes. El sistema està basat en el conegut principi termodinàmic anomenat cicle de Rankine.

2.1.5 Energia del gradient salí

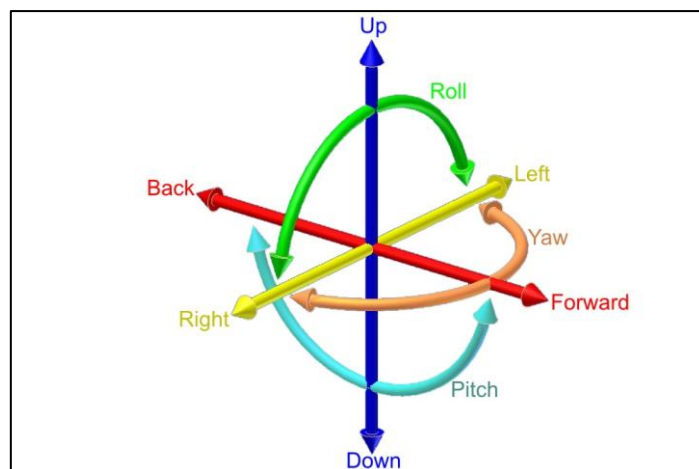
Aquesta, és l'energia obtinguda mitjançant el procés d'osmosi (que requereix de membranes d'osmosi) aprofitant la diferència de salinitat entre l'aigua dolça dels rius i l'aigua salada marina.

CAPÍTOL 3: ANÀLISIS I DESCRIPCIÓ DE LA TECNOLOGIA DE RECUPERACIÓ D'ENERGIA CINÈTICA

3.1 Els sis graus de llibertat d'una embarcació

Com ja s'ha anat mencionant en els apartats anteriors, la base de l'èxit del sistema és l'aprofitament del moviment generat per a transformar-lo en energia elèctrica.

Cal dir que qualsevol embarcació té sis graus de llibertat de moviment.



Il·lustració 4. Eixos dels sis graus de llibertat (Font: *Six-Degrees of Freedom*)

Aquest fet, sol ser un inconvenient, ja que són paràmetres que convé tindre fixes. En canvi, per al sistema protagonista d'aquest treball final de grau, és un avantatge, perquè com més graus de llibertat de moviment tingui el vehicle més quantitat d'energia cinètica podrà ser transformada en energia elèctrica. Tot i així no val la pena aprofitar-los tots, s'ha de fer una valoració de quins graus de llibertat de moviments són beneficiosos per al rendiment del sistema. A continuació es valoraran quins graus de llibertat seran els útils per al sistema.

1. *Up/Down*: Aquest moviment és comú en situacions de mar de fons amb ones de certa altura sobre les quals l'embarcació navegarà, realitzant d'aquesta forma, un moviment ascendent i descendent.
2. *Back/Forward*: Aquest moviment no es sol donar gairebé mai, ja que l'embarcació, per norma general està dissenyada només per a avançar.
3. *Right/Left*: Aquest moviment no se sol donar mai.
4. *Roll*: Aquest moviment es comú, tot i això és molt poc convenient en una embarcació, perquè als tripulants suposa molta incomoditat i pot arribar a ocasionar marejos a la tripulació.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

5. *Pitch*: Aquest moviment és comú i a més és el responsable de generar certa inclinació entre la popa i la proa generant així un desnivell aprofitable per al sistema de recuperació d'energia cinètica
6. *Yaw*: Aquest moviment és poc comú i, per tant, no es tindrà en compte.

Per tant, resumint, s'observa que en l'àmbit marítim els dos graus de llibertat que poden resultar més útils són el moviment vertical (*up/down*) i el moviment rotatiu respecte l'eix de l'eslora de l'embarcació (*pitch*).

En aquest punt, es sap quina energia cinètica es pot fer servir, el que cal saber és com transformar-la en energia elèctrica aprofitable per a carregar les bateries de l'embarcació.

3.2 Electromagnetisme

Per començar, s'ha de definir el concepte. L'electromagnetisme, és l'estudi dels fenòmens elèctrics i magnètics causats per càrregues elèctriques en repòs o en moviment.

Cal deixar clar que el prototip genera electricitat a partir de l'energia mecànica generada per les onades. Analitzant-ho en més detall, és imprescindible entendre quin paper té l'electromagnetisme en aquest sistema.

Com ja s'ha explicat anteriorment, la part mòbil, el *cursor*, té incorporats uns imants permanents, els quals quan es mouen a prop dels debanats del *stator* generen energia elèctrica a causa de la inducció electromagnètica. La conductivitat elevada pel circuit elèctric. L'aïllament elevat pel circuit dielèctric (tots els aïllants), la conductivitat (no es diu conductivitat, sinó permeabilitat) magnètica per al circuit magnètic, el comportament tèrmic, i la robustesa mecànica. Són els 5 elements d'una màquina elèctrica que s'han d'equilibrar.

A efectes pràctics, quan s'acosta l'imant a la bobina s'indueix una tensió en la bobina que intenta contrarestar l'efecte que li produeix l'imant. De la mateixa manera quan l'imant s'allunya de la bobina també es genera un pas de corrent però de sentit contrari que en el cas anterior.

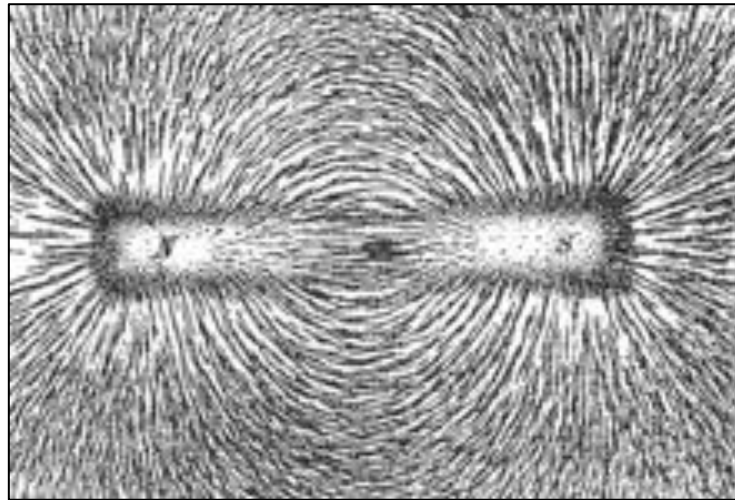
3.2.1 Camp magnètic

És important parlar d'aquest concepte per entendre la funcionalitat dels imants permanents del sistema. Un camp magnètic existeix en cada punt de l'espai proper a un conjunt de fonts magnètiques com poden ser corrents o cossos imantats.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Per a una comprensió més profunda del concepte cal introduir breument les lleis que regeixen aquest principi.

En la següent imatge es poden apreciar les línies de força d'una barra magnètica, o el que és el mateix un imant rectangular.



Il·lustració 5. Línies de força d'una barra magnètica (Font: *Practical Physics*)

3.2.1.1 Llei de Biot i Savart

La llei de Biot-Savart, relaciona els camps magnètics amb els corrents que els creen. D'una manera similar a com la llei de Coulomb relaciona els camps elèctrics amb les càrregues puntuals que les creen.

La llei de Biot-Savart és una equació de l'electromagnetisme que descriu el vector d'inducció magnètica en termes de la magnitud i la direcció de la font de corrent elèctric, la distància de la font de corrent elèctric i el factor de ponderació de la permeabilitat magnètica.

La densitat de flux magnètic o inducció magnètica és el nombre de línies de flux per unitat d'àrea que travessen perpendicularment un camp magnètic.

3.2.1.2 Llei d'Ampere

Relaciona un camp magnètic amb el corrent elèctric que el produeix. És l'equivalent de la llei d'inducció de Faraday per al magnetisme. Aquesta llei, permet calcular els camps magnètics generats al voltant de distribucions de corrent que poden ser uniformes o variables.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

La inclusió d'aquestes dues lleis a la memòria pot ajudar a la comprensió de la generació d'energia elèctrica.

3.3 Esquema elèctric

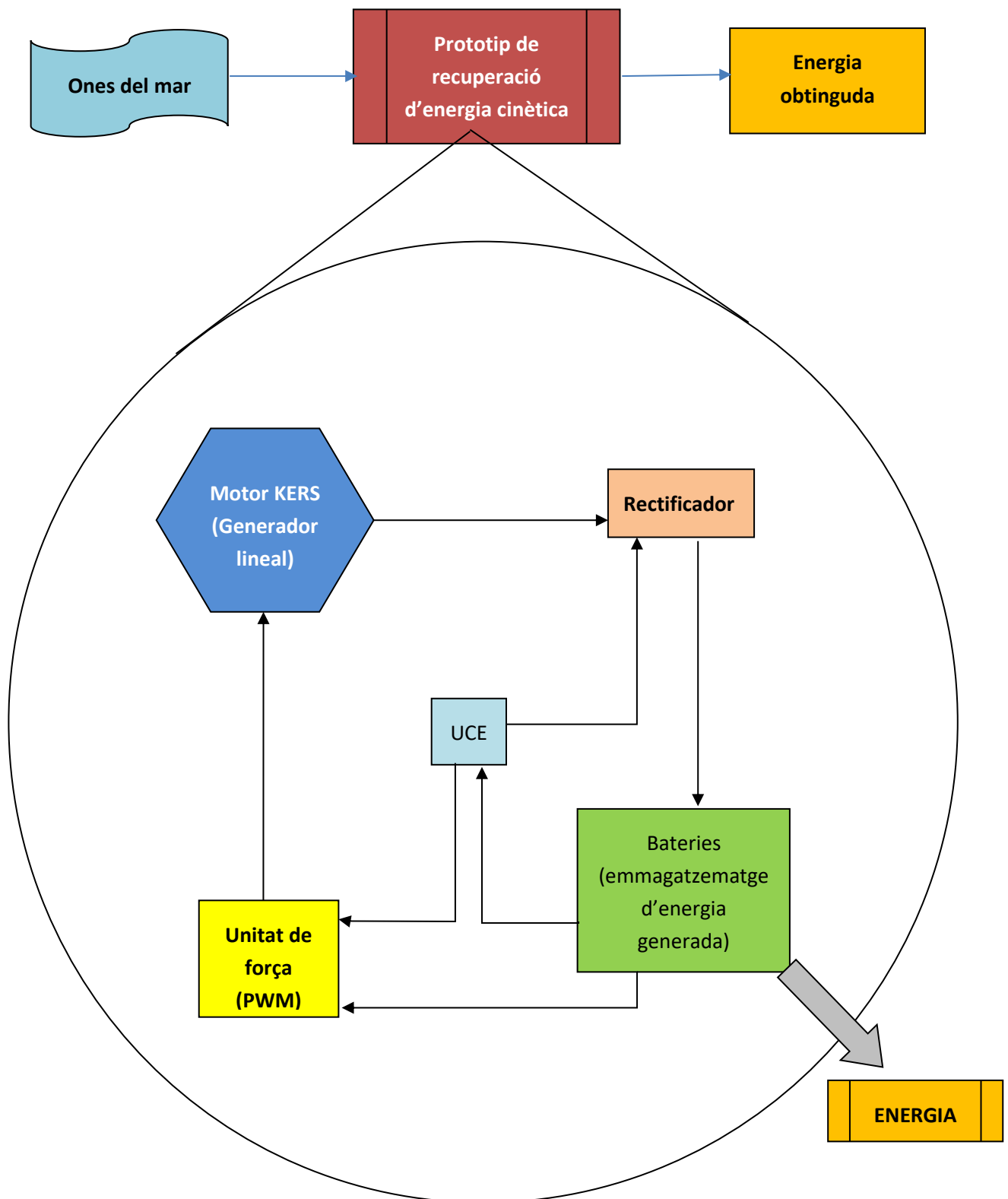
Fins al moment, només s'ha parlat sobre el prototip per se, però perquè el sistema funcioni i realment transformi l'energia cinètica en elèctrica, es precisa dels següents aparells.

1	Motor KERS
2	Rectificador de corrent altern a corrent continu
3	Unitat de control elèctrica (UCE)
4	Bateries
5	Unitat de força

Taula 1. Llistat d'aparells del sistema elèctric (Font: Pròpia)

En aquest apartat es podrà veure com estan interrelacionats els elements de la taula anterior, de manera que formin un circuit elèctric tancat i s'entengui la funció de cadascun dels components.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Il·lustració 6. Esquema elèctric del sistema (Font: *SeaKERS*)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Per tal de seguir l'estudi de viabilitat tècnica i econòmica d'aquest prototip es buscaran models dels diferents aparells elèctrics que permeten el funcionament del sistema.

Per començar, el generador lineal no es ven ja preparat amb les mides que es requereixen ni amb els materials que es requereixen ni amb els imants necessaris. En definitiva, el generador lineal, s'ha de dissenyar i construir des del començament. Més endavant en aquesta memòria hi ha un capítol on s'explica el procediment per a triar els materials idonis i la preparació per a la construcció, per tant, de moment no se li donarà importància al generador lineal.

Seguint amb els aparells elèctrics, s'ha de buscar un rectificador de corrent altern a corrent continu. Aquest aparell aconsegueix fer aquest canvi de corrent utilitzant uns díodes rectificadors, poden ser semiconductors en estat sòlid, vàlvules al buit o vàlvules de gas com les de vapor de mercuri, tot i que aquestes últimes es descarta perquè ja estan en desús.

Per altra banda, es necessiten unes bateries on poder emmagatzemar l'energia generada pel sistema, ja que en absència d'aquestes s'estaria generant energia elèctrica sense cap possible aprofitament. Per tant, fent una recerca de les bateries que es poden adaptar al sistema s'ha trobat el següent model que pot funcionar *NA-12Li100BL*, de la companyia *Nautic Battery*. En una embarcació sempre s'instal·len els aparells essencials de dos en dos, o amb elements de reserva, per si algun dels necessaris queda fora de servei. Per tant, es requerirà de com a mínim dues bateries. La fitxa tècnica s'adjuntarà com a un annex.

Es podria haver optat per l'opció més econòmica fent servir les bateries de Plom, però s'ha optat per les bateries de Liti, ja que són més eficients.



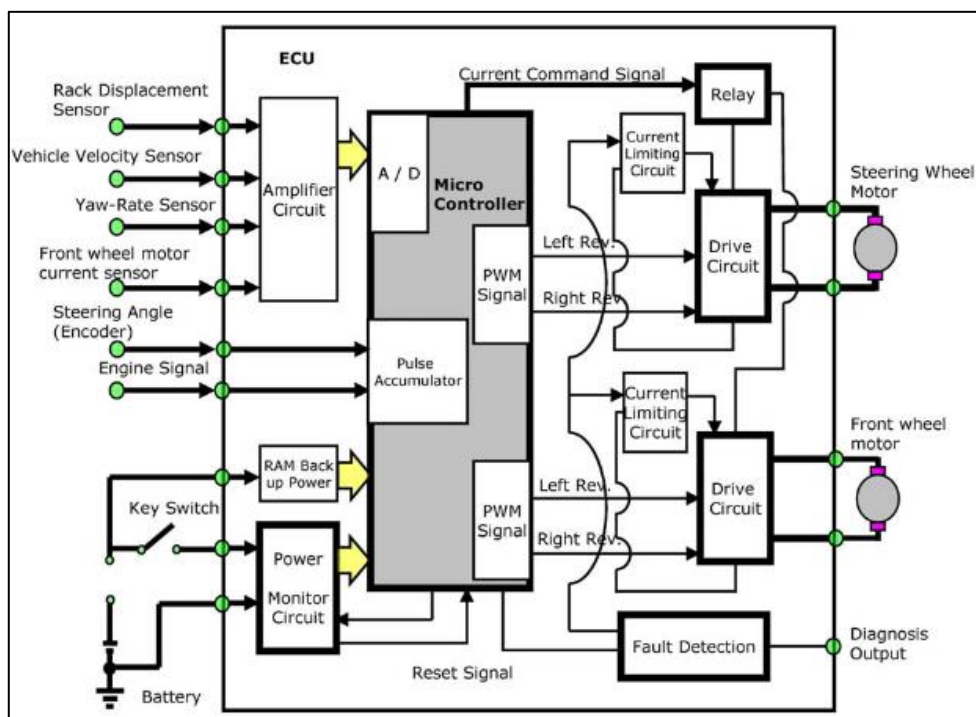
Il·lustració 7. Bateria a instal·lar (Font: *Nautic Battery*)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

També s'ha d'investigar quin tipus d'unitat de control elèctrica es requereix. Aquest aparell està present en qualsevol sistema mecatrònic d'automoció, no només als motors dels automòbils.

Originalment, l'ECU, o la centralita elèctrica, té l'objectiu de controlar la injecció de combustible en els motors de combustió interna, o també pot controlar la sincronització de l'espurna que genera la bugia d'un motor de benzina. De totes maneres, aquest vessant més enfocada als motors de combustió interna no és d'interès per al sistema. El que no s'ha mencionat és que aquesta centralita, normalment, va connectada a una sèrie de sensors que li proporcionen informació. Per tant, aquest element del sistema elèctric és essencial per a tindre un control exhaustiu del sistema i poder ser conscients del funcionament del sistema des d'un punt de vista general. Com que cada sistema necessitarà controlar diferents paràmetres segons els sensors que s'hi instal·lin no es pot trobar un model en concret, comprar-lo i instal·lar-lo sinó que s'ha de fer una anàlisi dels paràmetres a controlar, dissenyar-la i posteriorment construir-la.

En la següent imatge es pot observar un exemple de l'esquema elèctric d'una centralita elèctrica, que no té relació amb el prototip, però pot ajudar a crear una idea de com podria ser la del prototip i el tipus de microcomponents amb la que està conformada.



Il·lustració 8: Exemple d'una centralita elèctrica (Font: *Development of the electronic control unit*)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Per últim, s'ha de parlar de la unitat de força. La unitat de força té un paper més important del que aparentment pot semblar que té. Aquest aparell canvia la manera amb la qual s'ha concebut, fins ara el prototip, permetent que el generador lineal pugui actuar de dues maneres diferents. Per un cantó, i evidentment, pot actuar com a generador, però la unitat de força el que permet és que el generador també pugui actuar com a motor.

Es vol que el sistema pugui funcionar també com a motor per a solapar i sintonitzar el sistema amb l'espectre de freqüència de les ones del mar, les quals estan associades a diferents condicions de la mar. Evidentment, en llocs diferents del planeta, les ones no es comportaran igual, i a vegades encara que sigui sempre al mateix lloc, les ones es seguiran comportant diferent segons el dia i segons les condicions atmosfèriques a les quals el mar està exposat. Per aquest motiu, el sistema necessita aquesta unitat de força que permet al generador lineal actuar com un motor. La gran avantatge de la unitat de força, és que fa actuar el dispositiu com a motor per si mateixa i no fa falta la instal·lació d'un motor elèctric que impulsi el cursor del generador lineal per a fer-lo actuar com a motor. Aquest fet, comporta un estalvi d'espai molt significatiu, fent el sistema molt més compacte i igual d'eficient. Aquesta unitat de força no genera electricitat per si mateixa, sinó que fa servir part de l'energia generada emmagatzemada a les bateries. Evidentment, si consumís més energia de la que genera, aquest component no tindria viabilitat dins del sistema, però es dissenya per a tal de que el consum sigui molt menor al del còmput global d'energia generada pel sistema.

CAPÍTOL 4: GENERADOR LINEAL

El generador lineal és un aparell que recupera energia a partir de les inèrcies generades per les ones. En aquest projecte, es tindrà en compte com un oscil·lador mecànic lineal, amb una massa oscil·lant al llarg de l'eix horitzontal, guanyant d'aquesta manera energia cinètica. El generador lineal que es descriurà en aquest apartat està patentat per l'equip de SeaKERS, i s'està avaluant per poder adaptar-lo als requeriments establerts en aquest TFG. Finalment, al capítol 9 es proposaran millores per tal d'adaptar aquest generador encara més a la nàutica d'esbarjo de la manera més pràctica possible.

4.1 Funcionament del dispositiu

La massa oscil·lant conté imants permanents, si aquesta es mou prop de les bobines de l'estator, es genera energia elèctrica degut a la inducció electromagnètica, que és el procés pel qual es genera electricitat a partir d'un camp magnètic.

Aquest aparell consta de dues parts. Per un cantó, es necessita d'una part estàtica *stator* i per l'altre cantó també es necessita una part mòbil *cursor*, la qual es desplaçarà lliscant sobre l'estator. El moviment del cursor es deu a la força d'inèrcia entre l'estator i el cursor causada pel moviment de l'ona.

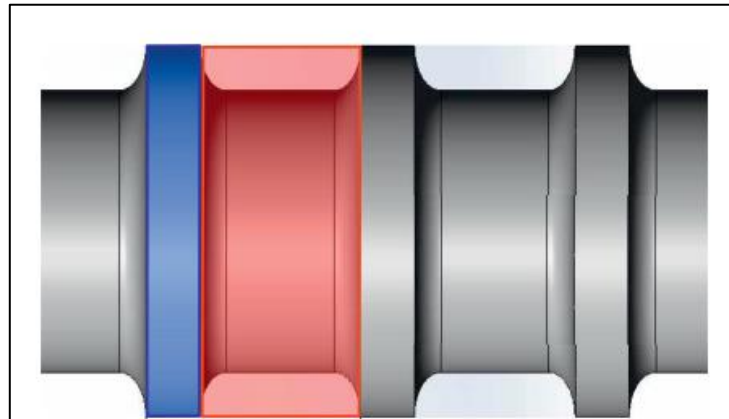
Cal observar detalladament el funcionament de les dues parts del generador lineal per separat:

4.1.1 Stator

L'estator té dues funcions principals, per una banda, ha d'actuar com a guia mecànica per on es desplaçarà la part mòbil, i per altra banda, ha de complir una funció magnètica. Per tal que el *cursor* es desplaci longitudinalment fent servir el *stator* com a guia es col·loca una capa de tefló entre els dos mòduls per tal de reduir les friccions generades, ja que aquest material té un baix coeficient de fricció. L'*stator* ha de tancar el circuit magnètic per tal que els imants permanents del *cursor* generin un flux magnètic amb la bobina.

A més, l'*stator* té una espècie de dents o cavitats per tal d'induir el canvi de flux magnètic amb la bobina. Aquestes cavitats s'omplen de resina per tal que el cursor sigui guiat per la part externa o superficial de l'estator sense components addicionals. És on entra en joc la reluctància del sistema

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Il·lustració 9. Estator on es veu la dent i la cavitat (Font: *SeaKERS project*)

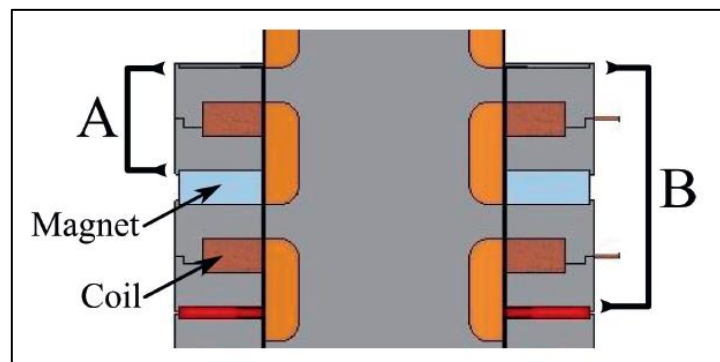
4.1.2 Cursor

El *cursor* està compost de tres mòduls en forma d'anell. Estan muntats un sobre l'altre amb una separació al mig de PVC, cal remarcar que a la segona fase, al mig, està muntat en direcció contrària per reduir la pèrdua de flux magnètic.

Aquest anell de PVC té dues funcions principals:

1. Permetre una separació magnètica entre les fases.
2. Canviar el circuit magnètic entre les fases

Cada mòdul està compost de dos anells de ferro amb una secció en forma de semicircumferència o "C". D'aquesta manera, els anells formen una sèrie de dents o cavitats. Els imants permanents se situen entre aquests anells de ferro. La bobina es situa en cada cavitat de les mencionades. Cada fase està composta per dues bobines, una bobina envolta la primera secció de la fase, i l'altre bobina envolta la segona secció de la fase. A més, les dues bobines estan connectades en sèrie de forma que el corrent elèctric va en el sentit de les agulles del rellotge en una i en el sentit contrari a l'altra.



Il·lustració 10. Secció de l'*stator* i del *cursor* (Font: *SeaKERS project*)

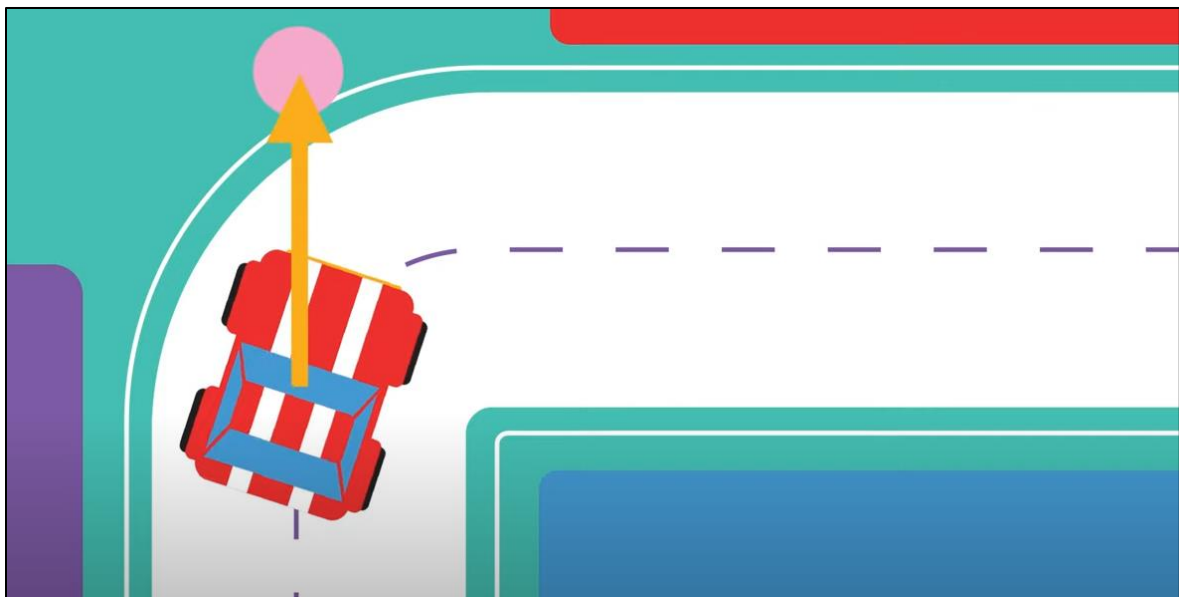
4.2 Absorció de les forces inercials

El *cursor* del generador lineal, la part mòbil, serà la part encarregada de rebre les inèrcies transmeses per les ones. Dit d'una altra manera, el moviment longitudinal que recorrerà el *cursor* serà causat en gran mesura per les inèrcies generades per les ones.

Cal entendre per això, què és la inèrcia i quines són les forces que hi intervenen. La inèrcia és la incapacitat que tenen els cossos de modificar per si mateixos l'estat de repòs o de moviment en el que es troben.

Per tant, si es vol canviar l'estat d'un cos com pot ser el *cursor* del dispositiu que s'està analitzant s'ha d'aplicar una força, ja que si no el cos romandria en repòs. El mateix passa per frenar al cursor, que es necessita una força per a aturar el moviment, la qual serà aplicada per la fricció, fent que el cos vagi reduint moderadament el seu moviment.

Com s'ha mencionat amb anterioritat, les forces generades per les ones seran absorbides pel generador lineal, el qual aprofitarà la inèrcia de la massa de l'aigua per a moure el *cursor* del dispositiu.



Il·lustració 11. Explicació inèrcia (Font: *Fuse School Global Education*)

En aquesta imatge es pot veure com el cotxe si no fos per les forces generades per la fricció entre l'asfalt i els pneumàtics del cotxe seguiria recte i no podria girar.

El mateix passa amb el dispositiu protagonista d'aquest TFG. Si la força de les ones no fessin que l'embarcació es mogués, el cursor seguiria en repòs, però com que les ones actuen

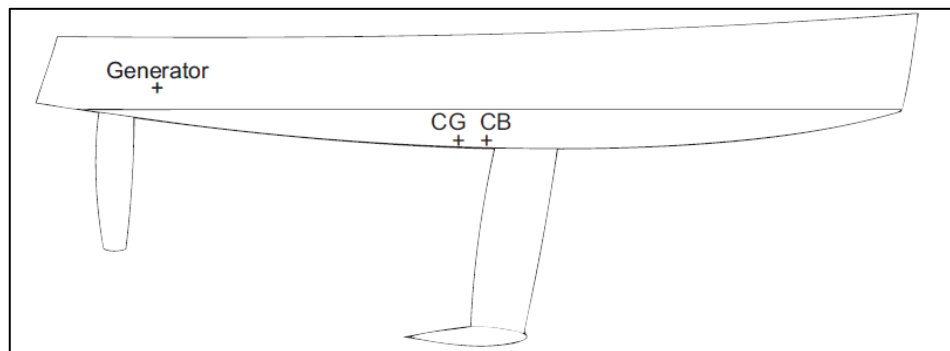
sobre l'embarcació fent que el cursor es mogui, el dispositiu pot funcionar, i, per tant, pot absorbir la inèrcia que té la massa de l'aigua que es mou.

4.3 Implementació a la nàutica

Una vegada explicat el funcionament i els principis sobre els quals es basa el dispositiu s'ha de pensar quina seria la millor manera d'implementar-lo a la nàutica, és a dir com instal·lar-lo per a tal d'obtenir el màxim rendiment.

Tal i com s'ha esmentat amb anterioritat, s'aprofitarà el grau de llibertat de l'eix vertical de l'embarcació i el grau de llibertat que permet a l'embarcació generar una inclinació entre la popa i la proa i a l'inrevés.

Sabent en quins eixos s'ha d'instal·lar el dispositiu, la feina es facilita molt. L'eix del qual s'obtindrà un major rendiment, serà l'horitzontal respecte l'embarcació i obtindrà l'energia del moviment *pitch*. S'ubicarà el dispositiu a la popa de l'embarcació per tal de contribuir a la millora de l'estabilitat i el trimat d'aquesta.



Il·lustració 12. Posició del generador lineal (Font: *SeaKERS project*)

La posició on es pretén instal·lar el sistema, tal i com es veu a la imatge, és una posició on normalment hi ha espai no molt ben aprofitat en les embarcacions de vela. A més, el dispositiu no està al caramot, sinó més aviat prop de la quilla de l'embarcació on més pot ajudar a l'estabilitat de l'embarcació i on no molesta, tot i que és un dispositiu de dimensions reduïdes. Posteriorment es veurà com afecta a l'estabilitat de l'embarcació a part de generar energia elèctrica.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Malgrat tot els punts positius, n'hi ha que dificulten la implementació d'aquest sistema a la nàutica, els quals es comentaran amb profunditat al capítol 10, on es comentaran els punts febles del sistema i possibles canvis i propostes de millora que s'haurien d'aplicar al sistema per tal d'abaratir costos i facilitar d'instal·lació.

CAPÍTOL 5: SITUACIONS DE L'ÚS DE LA TECNOLOGIA EN L'ACTUALITAT

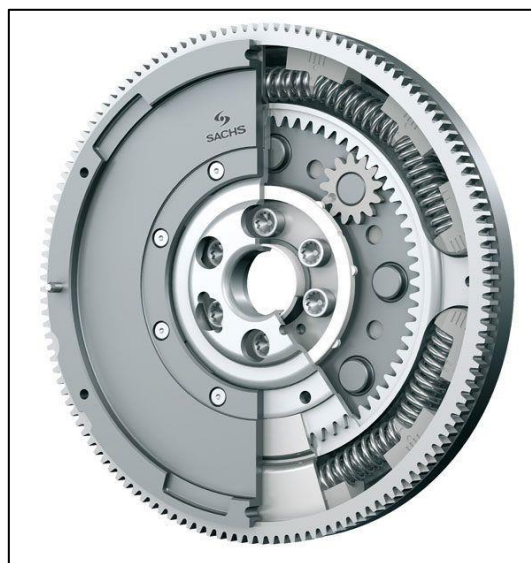
Per a poder comparar dispositius similars en el que s'aprofita energia mecànica que en principi, i fins al moment hagués estat desaprofitada, es farà una recerca de situacions reals i actuals en les que s'utilitzi d'una forma semblant la tecnologia del sistema.

5.1 Volant d'inèrcia

Últimament, se sent bastant a parlar dels volants d'inèrcia, i tot i que encara no s'hagi mencionat durant la memòria, el prototip d'aquest projecte es basa en els fonaments dels volants d'inèrcia.

Abans de seguir, cal deixar clar que és un volant d'inèrcia per se. És bàsicament, un sistema d'emmagatzemament d'energia mecànica, amb la capacitat d'absorbir i de cedir energia en un temps reduït. El seu funcionament es basa en un dels principis més simples de la física: *"els objectes que estan en moviment tendeixen a romandre en moviment"*.

El volant d'inèrcia consisteix en una roda, o rotor, generalment pesada, a la qual una font d'energia li transmet energia cinètica rotacional perquè després el volant li torni. És important mencionar que en un cas real una porció de l'energia emmagatzemada es perdrà en forma de fricció desprenent calor.



Il·lustració 13. Volant d'inèrcia (Font: *Sachs Performance*)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Com es pot observar, el principi que segueix el prototip del projecte, és molt similar al del volant d'inèrcia, la principal diferència és que pot generar energia elèctrica la qual s'emmagatzemarà en bateries.

L'aspecte que presenta la fórmula de l'energia emmagatzemada en un rotor com energia cinètica o rotacional, és la següent:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

On:

- ω és la velocitat angular
- I és el moment d'inèrcia de la massa sobre l'eix de rotació.

La tecnologia tan rudimentària que fan servir els volants d'inèrcia és la base d'altres tecnologies més avançades com la que s'observarà al següent apartat, el KERS a la fórmula 1. Una altre línia d'investigació dels volants d'inèrcia es decanta cap a l'energia eòlica, per a tal de suavitzar el funcionament dels generadors elèctrics, els molins de vent. Un altre camp d'aplicació, on es fa servir la mateixa tecnologia base, és el dels ferrocarrils elèctrics, on amb un fre regeneratiu s'extreu energia del fet de frenar per posteriorment retornar aquesta energia a les línies de potència.

Per tant, es pot dir que la tecnologia que alimenta el prototip protagonista d'aquest projecte es basa en el volant d'inèrcia, però té certes diferències.

CARACTERÍSTICA	PROTOTIP PROJECTE	VOLANT D'INÈRCIA
Tipus d'energia cinètica	Lineal	Rotacional
Emmagatzematge	Bateries	Rotant
Mecanisme	<i>Stator</i> + rotor	Circumferència
Aprofitament de l'energia	Moviment del vaixell generat per les ones	Rotació dels eixos
Versatilitat	Mecanismes puntuals	Mecanismes ordinaris
Transformació d'energia	Electromagnetisme	No es transforma, s'acumula.

Taula 2. Diferències entre un volant d'inèrcia i el prototip. (Font: Pròpia)

5.2 El KERS a la Fórmula 1

Entre l'any 2009 i 2011 es va començar a implementar el KERS (*Kinetic Energy Recovery System*) a la famosa competició de monoplaques a nivell mundial. Fins aleshores, l'energia després de les frenades, era menyspreable i s'alliberava en forma d'energia tèrmica. Des de la implementació del KERS, es va dissenyar aquest sistema per tal de transformar l'energia mecànica empleada en les frenades, en energia elèctrica. A més es va desenvolupar un sistema amb el qual es podia emmagatzemar aquesta energia elèctrica generada, perquè posteriorment el pilot pogués dosificar i atorgar aquest extra de potència en el moment que creguessin convenient.



Il·lustració 14. Composició parts KERS d'un monoplaça F1 (Font: Renault)

A la il·lustració es distingeixen diferents parts del sistema KERS. És d'interès per a l'objecte del treball una part d'aquesta unitat de potència, anomenada MGU-K. L'MGU-K, pot actuar de dues maneres diferents. Per un cantó pot actuar de generador ocupant-se de transformar l'energia cinètica del vehicle, que en principi s'hagués menyspreat i perdut en forma de calor quan el conductor frenés, en energia elèctrica. Les rodes al moure's accionen un eix fent-lo girar, d'aquesta manera l'MGU-K pot generar energia elèctrica, és bàsicament com la dinamo d'una bicicleta. Per un altre cantó, aquesta unitat de potència pot actuar com a motor accionant l'eix que fa que les rodes es moguin, fent que el vehicle acceleri.

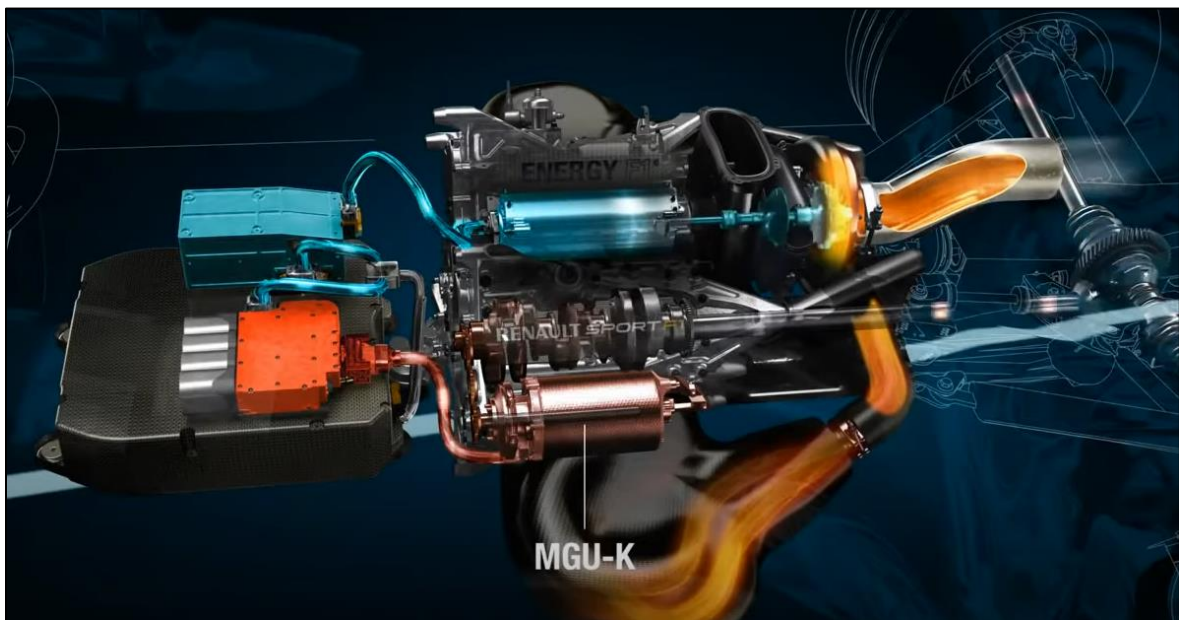
Resumidament, es pot dir que l'MGU-K funciona com un generador quan el monoplaça frena, i funcionarà com un motor quan el monoplaça acceleri.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

L'altra part de la unitat de potència anomenada MGU-H, s'ocupa d'eliminar el fenomen anomenat *turbolag*. El *turbolag*, és el temps que es necessita per a poder fer girar el compressor d'aire.

L'MGU-K i l'MGU-H poden arribar a produir un extra de potència d'uns 120 kW de potència, que traduïts a cavalls, serien uns 160 CV. Aquest extra d'energia se sol utilitzar per a poder realitzar avançaments d'una manera més eficaç.

El KERS a la fórmula 1 va suposar un punt d'inflexió. Aquest extra de potència proporcionada pel sistema extreta d'una energia que fins al moment no s'utilitzava va fer millorar l'eficiència de la unitat de potència radicalment obtenint un augment de propulsió sense tindre en compte el motor de combustió interna.



Il·lustració 15. Unitat de potència monoplaça Renault (Font: *Renault*)

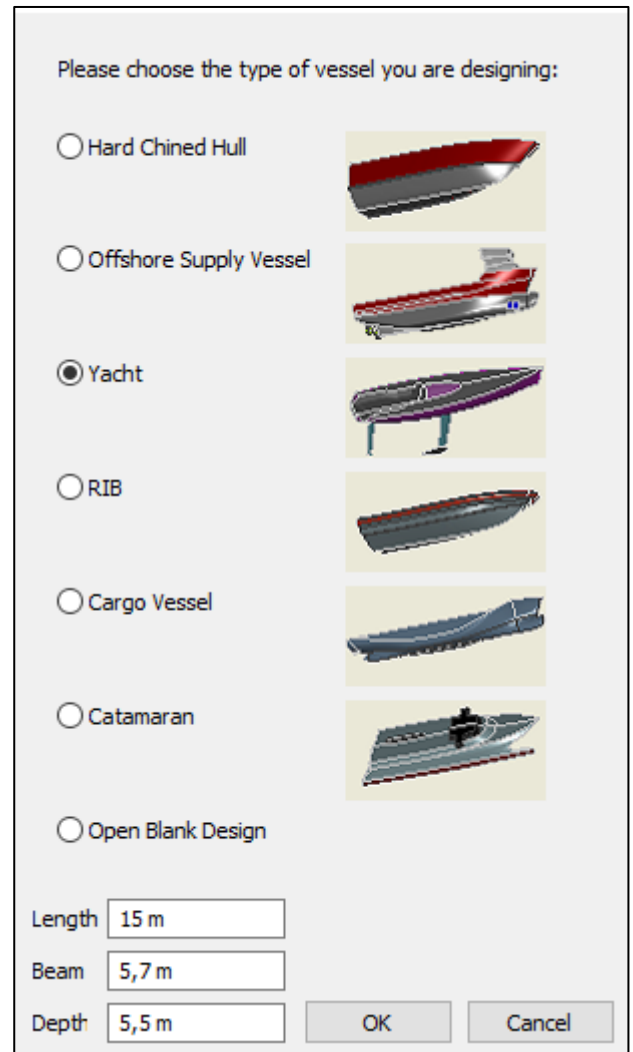
CAPÍTOL 6: DISSENY CONCEPTUAL PER A UNA EMBARCACIÓ D'ESBARJO

6.1 Embarcació model

El prototip no tindrà la mateixa funcionalitat, ni rendiment en totes les embarcacions, cada vaixell té les seves pròpies formes, coeficients, estructura del casc, i en definitiva les seves peculiaritats, que faran que el prototip es comporti d'una manera diferent en cada vaixell.

Pels motius mencionats en l'anterior paràgraf, cal considerar un estil de vaixell en el que el funcionament del prototip seria òptim, evidentment, ara per a ara, sense considerar les condicions del mar.

Per a poder dur a imposar els paràmetres exactes de l'embarcació model, es requereix de l'ús del software *Maxsurf Modeller* el qual proporciona un modelatge ràpid, flexible de tot tipus de cascs, superestructures i apèndix. Es pot crear des de zero el casc d'un vaixell proporcionant els valors de l'eslora del vaixell, màniga i calat.

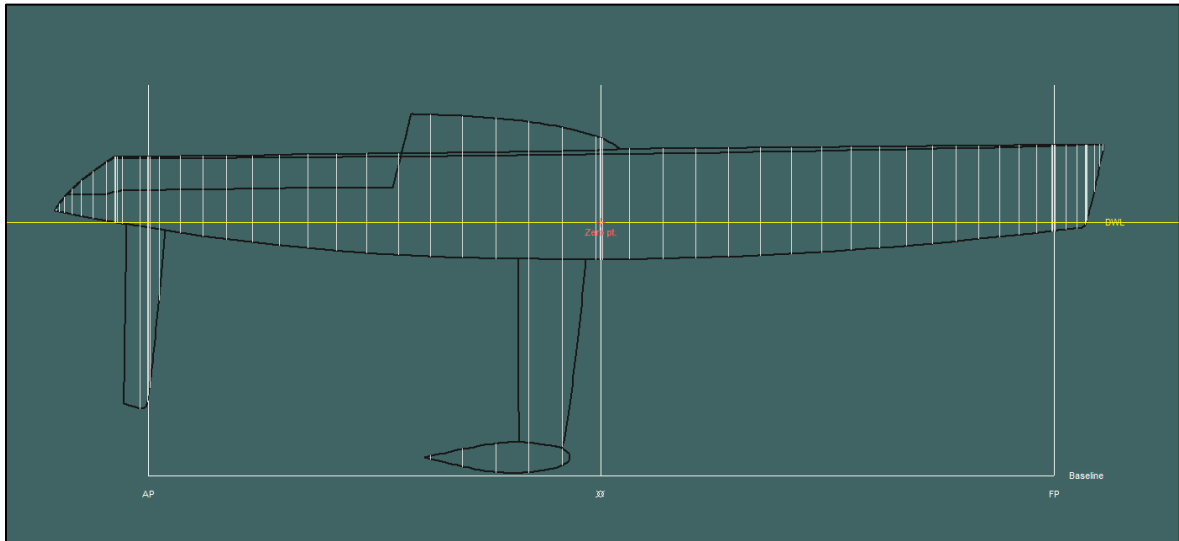


Il·lustració 16. Models preestablerts *Maxsurf* (Font: Pròpia)

Per al prototip d'aquest treball, s'ha seleccionat l'estructura tipus *yacht* que és l'adient per a un veler. També es pot observar a la figura x que s'ha escollit una eslora de 15 metres, una màniga de 5,7 metres i un calat de 5,5 metres.

Una vegada ja s'han imposat aquests 3 primers paràmetres, s'ha obert aquest arxiu, a una altra branca del software anomenada *Maxsurf Stability*. Aquesta part del software, inclou integració de compartiments, i editors de les condicions de càrrega, a més es poden obtenir les taules hidroestàtiques de l'embarcació.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Il·lustració 17. Dibuix embarcació d'esbarjo model (Font: Pròpia)

Cal recordar que aquesta línia de flotació, és l'obtinguda sense la suposada situació de càrrega que es tindria amb el sistema de recuperació d'energia cinètica.

Aquesta és l'aparença del veler una vegada obert l'arxiu al *Stability*, en el qual s'ha pogut obtenir la següent taula d'hidroestàtiques:

Draft Amidships m	3,594
Displacement t	8,443
Heel deg	0,0
Draft at FP m	3,594
Draft at AP m	3,594
Draft at LCF m	3,594
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	13,778
Beam max extents on WL m	2,797
Wetted Area m ²	38,023
Waterpl. Area m ²	26,147
Prismatic coeff. (Cp)	0,444
Block coeff. (Cb)	0,060
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,148
Waterpl. Area coeff. (Cwp)	0,678

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,845
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-1,139
KB m	3,297
KG m	3,594
BMt m	1,453
BML m	31,622
GMt m	1,156
GML m	31,325
KMt m	4,750
KML m	34,919
Immersion (TPc) tonne/cm	0,268
MT ctonne.m	0,206
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,170
Max deck inclination deg	0,0000

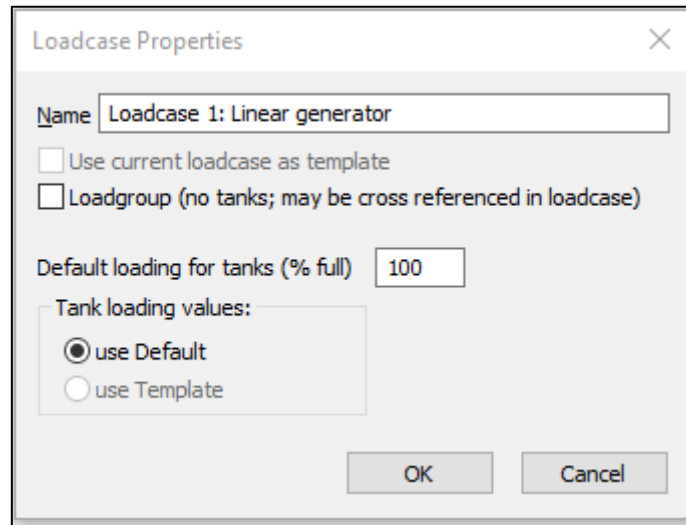
Taula 3. Taules hidroestàtiques *Maxsurf* (Font: Pròpia)

Totes les embarcacions que s'acostin a aquests paràmetres seran bones candidates perquè el prototip hi funcioni correctament.

6.2 Increment de l'estabilitat de l'embarcació

Com s'ha comentat amb anterioritat, el sistema contribueix positivament a que l'embarcació sigui més estable. Amb l'objectiu de poder veure com el veler es comporta i com canvien les taules hidroestàtiques d'aquest després d'afegir el dispositiu al software, s'afegirà en forma de situació de càrrega, ja que és la manera de representar una càrrega puntual com la que suposa el dispositiu. La situació de càrrega que s'ha d'imposar, és certament peculiar, ja que es tracta d'una càrrega dinàmica, la qual va canviant de lloc a mesura que el vaixell canvia l'angle d'inclinació segons la navegació. Ha d'enrederir el centre de gravetat cap a la popa de l'embarcació i fer que la línia de flotació de l'embarcació pugui, ja que hi ha un augment de pes, reduint la distància de la coberta a l'aigua.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



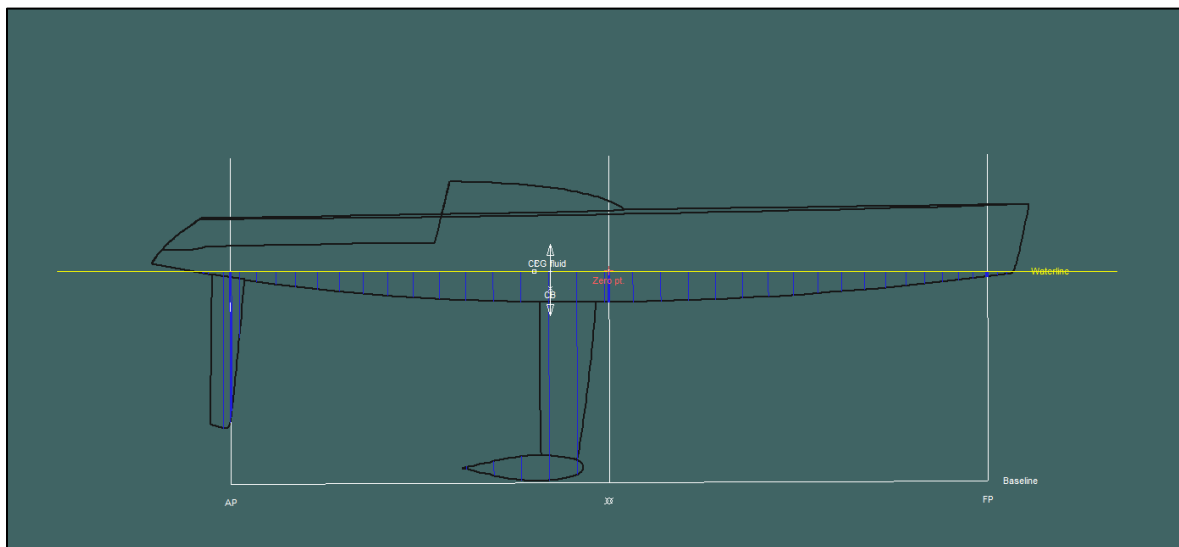
Il·lustració 18. Propietats de la càrrega (Font: Pròpia)

Es determina una càrrega dinàmica de aproximadament 120 quilograms que és el pes que té el dispositiu segons el projecte SeaKERS.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Càrrega dinàmica	1	0,120	0,120			-0,677	0,000	0,000	0,000	User Specific
2	Vaixell	1	8,443	8,443			-1,000	0,000	0,000	0,000	User Specific
3	Total Loadgroup			8,563	0,000	0,000	-0,995	0,000	0,000	0,000	
4	FS correction								0,000		
5	VCG fluid								0,000		

Il·lustració 19. Definició de la situació de la càrrega (Font: Pròpia)

Amb aquesta condició específica s'obté la següent versió del vaixell:



Il·lustració 20. Dibuix generat per Maxsurf (Font: Pròpia)

Com es pot observar s'obté el resultat que s'esperava augmentant l'obra viva de l'embarcació, fet el qual la fa ser més estable. Cal mencionar també que, evidentment, les taules hidroestàtiques varien.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Draft Amidships m	3,593
Displacement t	8,563
Heel deg	0,0
Draft at FP m	3,563
Draft at AP m	3,623
Draft at LCF m	3,599
Trim (+ve by stern) m	0,060
WL Length m	13,941
Beam max extents on WL m	2,819
Wetted Area m ²	38,356
Waterpl. Area m ²	26,558
Prismatic coeff. (Cp)	0,443
Block coeff. (Cb)	0,060
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,140
Waterpl. Area coeff. (Cwp)	0,676
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,997
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-1,263
KB m	3,301
KG m	3,594
BMt m	1,475
BML m	32,205
GMt m	1,181
GML m	31,911
KMt m	4,776
KML m	35,505
Immersion (TPc) tonne/cm	0,272
MT ctonne.m	0,213
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,177
Max deck inclination deg	0,2670

Taula 4. Taules hidroestàtiques resultants (Font: Pròpia)

CAPÍTOL 7: DESENVOLUPAMENT DEL DISSENY CONCEPTUAL EN UN PROTOTIP

L'objectiu d'aquest treball de grau, no és dur a terme la construcció del prototip, de totes maneres, es pretén deixar la línia d'investigació oberta per si algun acadèmic la vol seguir. Per a tal de facilitar el començament de la següent fase del projecte, en aquest capítol es fa un recull dels diferents materials que podrien servir per a la construcció del prototip.

7.1 Selecció dels materials

Per a l'èxit del projecte és imprescindible passar per aquest procés. La tria dels materials és de summa importància i més en la indústria marina. Els materials dels quals es fabricarà el prototip hauran de complir certs requisits. Primer, s'han de distingir les parts del prototip. Bàsicament, el generador lineal estarà compost per 3 materials diferents. En primer lloc, l'estructura de l'*stator* i el *cursor*, en segon lloc, els imants permanents, i per últim les bobines. Els materials han de complir els següents requisits:

- Resistència a la fatiga
- Resistència a la corrosió, oxidació i atac químic
- Magnetisme elevat
- Bon conductor elèctric

Donat que aquest prototip està pensat per a llençar-lo al mercat, s'haurà de tindre en compte el cost del material, i a la vegada que pugui complir tots els requisits mencionats anteriorment.

Per a fer un estudi del material idoni per a l'estructura metàl·lica del prototip, s'utilitzarà el software *Granta Edu Pack*, de la companyia ANSYS. Aquest software, serà, certament útil per filtrar i seleccionar els materials més indicats per a l'ús del prototip.

A continuació, s'explica quins filtres s'han aplicat dins del *software*, així com els diferents resultats obtinguts.

1. El rang de preu que s'ha considerat ha sigut molt ampli, entre 1 EUR/Kg i 100EUR/Kg, de tal manera que considerem més tipus de materials. Tot i així com més contingut sigui el preu, millor, és a dir més fàcil serà la seva viabilitat econòmica.



Il·lustració 21. Rang de preu estreta de *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

2. La resistència a la fatiga és té en compte amb cicles de moviment completats.

Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="1000"/>	MPa
--------------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----

Il·lustració 22. Resistència a la fatiga (en cicles). *Granta Edu Pack*. (Font: Pròpia)

3. La resistència a la corrosió generada per l'aigua del mar hauria de ser excel·lent si estigués en contacte directe amb l'aigua, però no és el cas. El prototip s'instal·larà dins d'una capsula estanca, però tot i així ha de tindre un mínim de resistència al contacte amb l'aigua, ja que treballarà en un ambient humit.

Water (salt)	Limited use
--------------	-------------

Il·lustració 23. Tolerància a l'aigua del mar *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)

4. El prototip està dissenyat per ser col·locat a les sentines de l'embarcació, prop de la quilla. La probabilitat d'entrar en contacte amb una fuita de qualsevol fluid del motor, és alta. Per aquest motiu, també ha de ser resistent als productes que intervenen al funcionament del motor de l'embarcació.

Diesel oil	Excellent
Lubricating oil	Excellent
Paraffin oil (kerosene)	
Petrol (gasoline)	Excellent

Il·lustració 24. Tolerància als olis i combustibles *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)

5. També cal tenir en compte que l'*stator* i el *cursor* estan sotmesos a un fregament continu, per aquest motiu, el material seleccionat haurà de ser capaç de suportar la fricció generada.

Abrasion resistance	Good
---------------------	------

Il·lustració 25. Resistència a l'abració *Granta Edu Pack* (Font: Pròpia)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

7. Cal mencionar també, que només s'han tingut en compte materials metàl·lics i aleacions.

Seleccionar de: MaterialUniverse: Metals and alloys

II·lustració 26. Ventall de materials a considerar *Granta Edu Pack*. (Font: Pròpia)

8. Com que el prototip genera electricitat gràcies al camp electromagnètic generat pels imants permanents, és imprescindible que el material amb el qual es fabriqui el prototip sigui un bon conductor, per tant, s'ha afegit un filtre tenint en compte la conductivitat dels metalls.

Electrical conductor or insulator? Good conductor

II·lustració 27. Conducció elèctrica del material *Granta Edu Pack*. (Font: Pròpia)

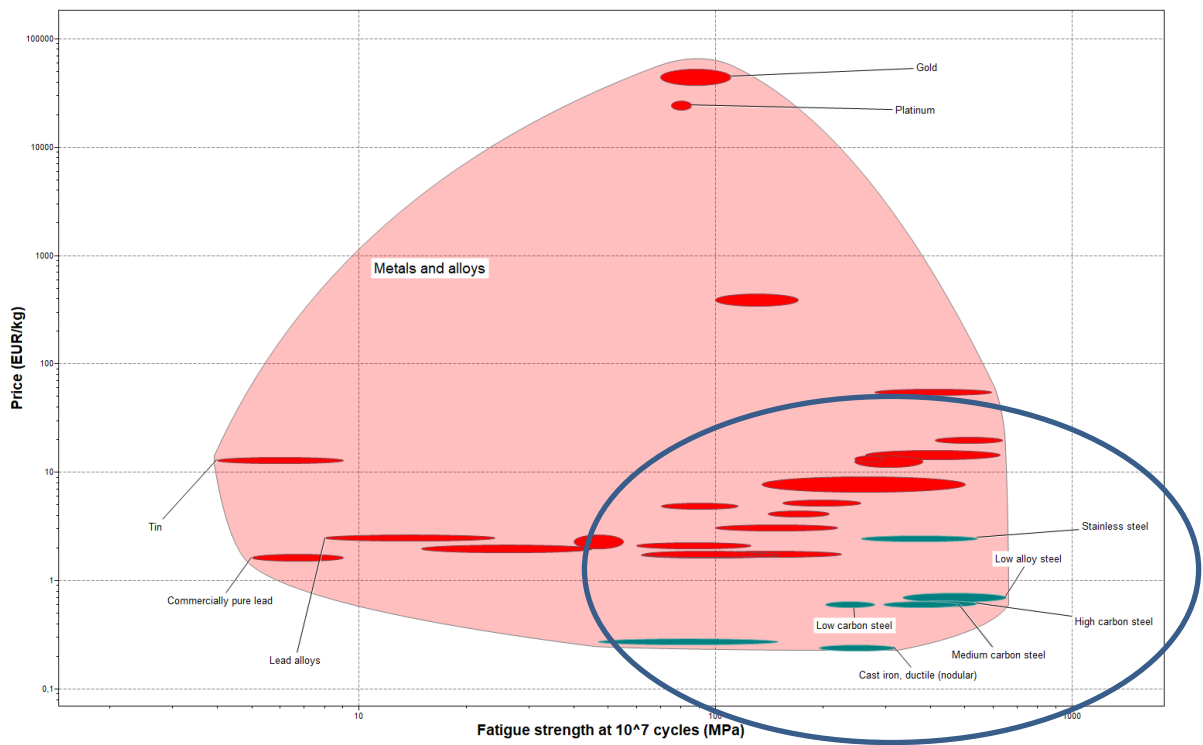
La gràfica generada pel software, representa per una banda, a l'eix de les "X" la resistència a la fatiga (en cicles), i per altra banda, a l'eix de les "Y" el preu dels materials. Els materials obtinguts a partir dels filtres imposats es poden dividir en dos grups, els ferrosos, i els no ferrosos.

Es pot observar que hi ha bastants metalls que directament no són d'interès per al prototip, com per exemple l'or o el platí que tot i tindre unes propietats no desfavorables, farien que el preu del prototip fos insostenible.

Els materials interessants de cara al projecte, són aquells que millor compleixin tots els requisits imposats anteriorment.

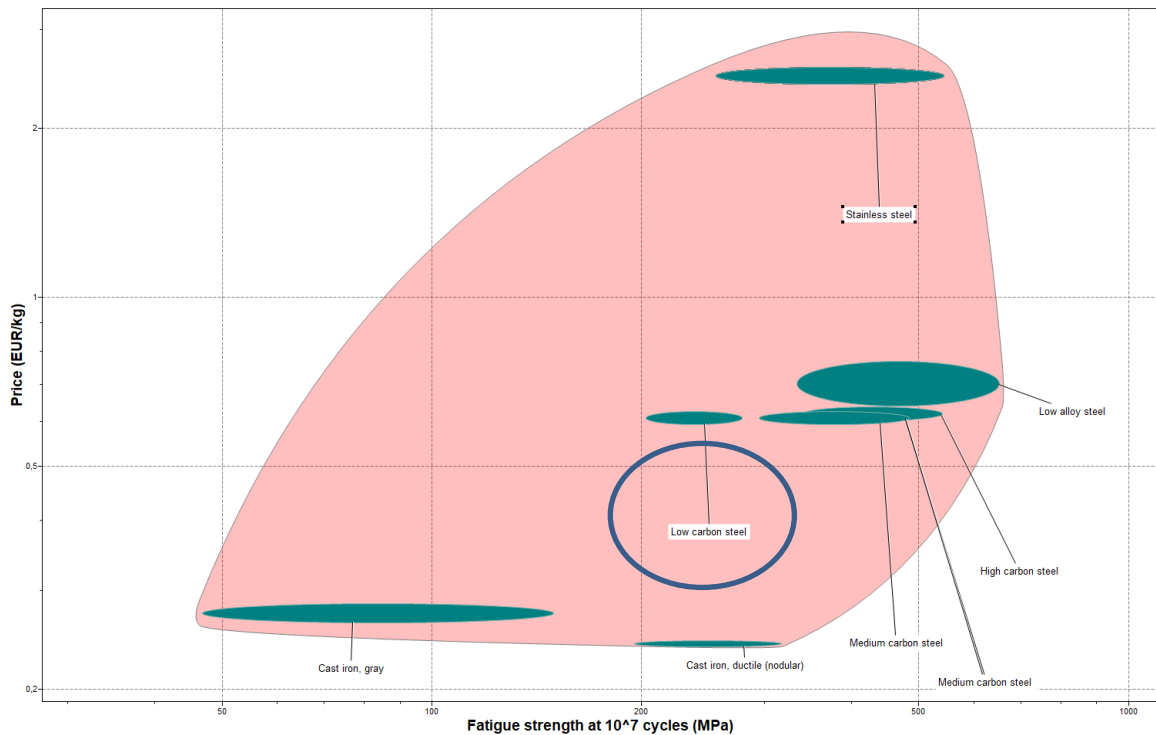
Aquests materials que poden ser més interessants, són els de color blau, tot i que n'hi ha alguns com l'acer inoxidable (*stainless steel*) que no són d'interès per la falta de magnetisme. Per tant, dins dels materials d'interès es troben els acers (amb més o menys quantitat de carboni).

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



II·lustració 28. Gràfica resultant amb els filtres establerts. (Font: Pròpia)

Ampliant el gràfic a la zona interessant (marcada amb un cercle en blau) obtenim aquests materials:



II·lustració 29. Gràfica reduint els possibles materials a triar (Font: Pròpia)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Sens dubte, el metall més magnètic i que a la vegada tingui un preu coherent amb el prototip és el Ferro (Fe). Per tant, el material a escollir té molt sentit que sigui el ferro pur, és a dir el mineral com a tal, la ferrita, però no apareix a la gràfica. El ferro amb baix contingut de carboni, és relativament fàcil de trobar al mercat, el nom vulgar és ferro dolç, però es corroeix amb facilitat.

Per aquest motiu, es busca un metall comercial que tingui un alt percentatge en ferro i un baix percentatge en altres components com el carboni.

Per les necessitats del prototip i segons els materials que surten a la gràfica, s'ha triat l'acer amb un baix contingut de carboni, el *Low Carbon Steel*.

Després d'una recerca ajustada a les característiques que requereix el prototip, s'ha trobat un proveïdor en específic reconegut a nivell mundial: *Cliff AK Steel International*. Aquest proveïdor confecciona uns tipus d'acer amb un alt contingut de ferro i un baix contingut de Carboni

A la taula següent es pot apreciar la composició química de l'acer escollit. El nom comercial d'aquest metall és *ARMCO Pure Iron*, que fa referència a l'alt contingut de ferro que conté.

ARMCO PURE IRON

Ferro (F)	99.877%
Carboni (C)	0.010%
Manganès (Mn)	0.06%
Fòsfor (P)	0.005%
Sofre (S)	0.003%
Nitrogen (N)	0.005%
Coure (Cu)	0.03%
Cobalt (Co)	0.005%
Estany (Sn)	0.005%

Taula 5. Composició química *pure iron* amb baix contingut de carboni (Font: Pròpia)

Als annexos d'aquest treball es trobarà el pressupost demanat per a confeccionar el prototip. Tot i ser el material ideal segons la teoria, el preu és desorbitat i tindria poca viabilitat econòmica. Per aquest motiu és millor triar un ferro dolç amb una mica més de contingut de Carboni.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

En quant als imants permanents no es farà una comparativa --> imants de neodimi.

En quant a les bobines tampoc es farà cap estudi, han de ser de coure.

7.2 Costos del projecte

El pas a realitzar una vegada el material és escollit és posar-se en contacte amb el proveïdor i demanar pressupost del que es necessita.

Les empreses que fabriquen els materials necessaris per a la construcció tenen sucursal a Barcelona o a prop, fent així més senzill el contacte i la possible visita a la fàbrica.

En el cas de l'estructura metàl·lica s'ha demanat pressupost a *Ak Steel* el qual es pot consultar a l'annexa IV.

Per l'altre cantó en quant als imants de Neodimi, s'ha contactat amb la multinacional *IMA Magnets*, es pot consultar el pressupost i la fitxa tècnica a l'annexa IV també.

Pel que fa al Coure, no hi ha tant misteri, és molt més senzill i comú.

7.2.1 Estructura exterior

Començant pel *pure iron* de *AK Steel*, l'autor d'aquest projecte final de grau, va contactar amb les oficines de la companyia a Barcelona. Es troben a l'Avinguda Diagonal, 640 (planta Es va contactar amb un comercial de *AK Steel* per a demanar pressupost, i el preu és certament alt. Econòmicament, val més la pena triar un ferro menys pur, ja que és més econòmic.. S'adjunta el pressupost mencionat a l'annexa IV.

7.2.2 Imants permanents

Per altra banda, el prototip precisa d'uns potents imants per a generar l'electricitat a través del camp electromagnètic. Per a començar la recerca del tipus d'imant més idoni, l'autor del TFG va anar a la companyia d'origen italià *IMA magnets* amb sucursal i fàbrica a Ripollet, al Vallès Occidental.

El pressupost dels imants necessaris per a la construcció del prototip es pot trobar a l'annexa IV.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Il·lustració 30. Fàbrica i oficines IMA magnets, Ripollet (Font: IMA magnets)



Il·lustració 31. Targeta de visitant de l'empresa (Font: Pròpia)

Havent explicat l'objectiu del treball final de grau i per a quin ús es volien els imants, professionals del sector van recomanar a l'autor del treball que els imants de Neodimi són els adequats per al prototip, tot i així aquest tipus d'imants tenen una sèrie d'inconvenients a considerar.

IMANTS DE NEODIMI	
VENTATGES	INCONVENIENTS
Elevada resistència a la desmagnetització.	No treballa bé a temperatures superiors a 80 graus C.
Relació entre l'efecte magnètic respecte el pes i el volum és molt alta.	Baixa resistència a la corrosió
Coercitivitat elevada	
Romanència magnètica elevada	
Grau de magnetització de 5.000 gauss	
Aplicació en espais reduïts	

Taula 6. Avantatges i inconvenients dels imants de neodimi (Font: Pròpia)

Havent trobat el tipus d'imant que es precisa, cal trobar un model en concret i estudiar-ne la forma i la composició química. Tot i que es diguin imants de neodimi (Nd), no només estan compostos d'aquest element, també estan compostos de ferro (Fe) i bor (B).

Per a una millor resistència en l'àmbit al qual estarà sotmès, és recomanable aplicar un recobriment de zinc (Zn) a causa de l'augment de residència a la salinitat que li atorgaria a l'imant.

Poden tindre diferents formes segons l'ús per al qual siguin dissenyats. En el cas del prototip d'aquest treball. Es necessiten uns imants en forma d'anell per a poder encaixar amb la part mòbil del generador.

A la següent imatge es pot veure la mostra d'imants de Neodimi que la companyia va proporcionar a l'autor del treball.



Il·lustració 32. Imants de Neodimi proporcionats per IMA (Font: Pròpia)

7.2.3 Bobina

La bobina de coure (Cu) es pot comprar a qualsevol ferreteria local. No ha de tindre unes característiques especials com els dos materials anteriors.

7.3 Cobertura estanca

Els materials amb els qual es vol construir el prototip poden estar exposats a l'aigua salada en ocasions limitades, en cas d'exposar directament el prototip a l'ambient marí, tot i no estar en contacte directament amb l'aigua, la salinitat present a l'aire oxidaria el prototip, fent que perdés propietats, resistència i, en definitiva, propietats.

Per a evitar arribar a aquests extrems perjudicials per al prototip, s'ha d'evitar que aquest estigui en contacte amb l'ambient amb alt contingut salí. Per a aconseguir-ho, caldrà aïllar estancament al prototip, i la manera més senzilla, econòmica i efectiva, és ficar-lo dins d'una caixa estanca.

7.3.1 Materials per a la construcció per a la caixa estanca

Per a construir la caixa on es dipositarà el prototip protagonista d'aquest projecte, es requereix de qualsevol material estructural no porós (com alguns tipus de plàstics) per a

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

aïllar completament l'interior de la caixa. A més, s'afegirà un material flexible (com la silicona) per a poder tapar qualsevol tipus de forat per on es pugui colar l'aire de l'exterior, com podria ser la silicona.

CAPÍTOL 8: IMPACTE SOCIAL, ECONÒMIC I MEDIAMBIENTAL

En aquest capítol es vol reflectir l'impacte que es pot esperar del llançament al mercat del sistema de recuperació d'energia cinètica. Tant en el sector social, econòmic, com en el sector referent medi ambient.

Primer, s'estudiarà l'impacte que suposarà instal·lar el prototip en una sola embarcació, i després es farà l'estudi a més gran escala, considerant que un nombre considerable d'embarcacions considerin la instal·lació del sistema.

8.1 Impacte social

El mercat mundial d'embarcacions d'esbarjo està dominat amb una clara diferència pel gegant Americà, els Estats Units. Pel que fa a nivell europeu els principals fabricants són Itàlia i el Regne Unit, respectivament.

Nation	Sailboats	Inboard / sterndrive motor boats	Other rigid boats incl outboard motor boats	Inflatable boats 2.5m+ and 20kg+	Totals (excluding not known figures)
Argentina	3,902	18,570	108,909	27,919	159,300
Australia	N/K	N/K	N/K	N/K	788,000
Croatia	N/K	N/K	N/K	N/K	N/K
Czech Republic	2,797	2,665	4,456	6,365	16,283
Denmark	31,350		23,650		55,000
Finland	N/K	N/K	N/K	N/K	737,000
France	N/K	N/K	N/K	N/K	506,000
Germany	195,227	193,419	115,149	N/K	503,795
Greece	3,805	13,403	117,397	16,726	151,331
Ireland	N/K	N/K	N/K	N/K	27,000
Italy	18,843		82,695		617,638
Japan	11,000		201,000	12,000	224,000
Netherlands	202,000	146,000	175,000	N/K	523,000
New Zealand	43,180	20,380	401,315	28,279	493,154
Norway	58,500	275,000	415,000	110,000	858,500
Poland	36,045	2,030	20,510	N/K	58,585
South Africa	N/K	N/K	N/K	N/K	5,111
Spain	13,455	154,178	N/K	52,365	219,998
Sweden	105,000	120,000	616,000	40,000	881,000
Switzerland	31,795	60,911	6,537	N/K	99,243
Turkey	9,030	29,570	24,800	15,245	78,645
UK	212,305	94,805	155,850	78,600	541,560
USA	1,531,753	2,601,913	12,533,266	N/K	16,666,932
TOTALS*	2,509,987	3,732,844	14,694,189	387,499	24,211,075

Taula 7. Embarcacions d'esbarjo fabricades per país (Font: *A market analysis on the global*)

L'impacte social que pot arribar a aconseguir l'ús d'aquest prototip, és de magnituds considerables dins de la nàutica d'esbarjo. Pels navegants que vulguin realitzar llargs trajectes, és un dispositiu que facilitarà molt aquest tipus de travessies on les bateries esgoten la seva càrrega base i necessiten tornar-se a carregar per a mantenir els serveis elèctrics de l'embarcació. Uns exemples d'aquest tipus de travessies on es podria observar el potencial màxim del prototip, són la travessia de Catalunya o València a les illes Balears, o bé per a un repte major, la travessia transatlàntica de Les Illes Canàries al Carib com es menciona a la introducció d'aquest treball.

Avui en dia emprendre un viatge transoceànic és un repte considerable, amb l'ús de dispositius com el del present projecte, es pot arribar a millorar l'experiència dels navegants facilitant la gestió energètica de l'embarcació. Actualment, aquesta gestió d'energia és una de les preocupacions que empitjora l'experiència del viatge, i, per tant, si es soluciona, molts més navegants s'atrevirien a emprendre el repte.

Últimament, molts turistes opten per passar les seves vacances recorrent diverses costes a bord d'un veler. Per a aquest sector una millora tan significativa a l'embarcació, suposaria una gran avantatja respecte aquelles embarcacions que seguissin fent ús de generadors corrents per a carregar les bateries de l'embarcació. D'aquesta manera, les empreses del sector turístic podrien marcar la diferència fent servir el dispositiu del present projecte.

8.2 Impacte econòmic

Per a fer un estudi de l'impacte econòmic, s'ha de tindre en compte la inversió que es requereix per a instal·lar el sistema de recuperació d'energia cinètica a l'embarcació, i els estalvis de combustible que suposarien deixar d'utilitzar els generadors comuns.

S'ha de considerar quins serien els diferents tipus d'embarcacions candidates per a utilitzar el dispositiu i que en puguin treure un màxim rendiment.

1. Els velers amb una eslora superior als 10 metres són els candidats naturals per a l'ús del dispositiu ja que una mica més de pes a l'embarcació no tindria un impacte rellevant.
Per altre banda a més aquest tipus de velers tenen un tipus de navegació compatible amb el dispositiu, ja que amb el moviment de capcineig que es produeix durant la navegació, és la que permet el correcte funcionament del generador.
2. Els velers de competició tipus AC 75 no podrien treure profit del dispositiu ja que pràcticament planegen sobre l'aigua i no tenen el moviment característic que fa funcionar el dispositiu. En aquest cas, el dispositiu contribuiria negativament a l'objectiu d'aquest tipus d'embarcacions ja que no busquen confort i una millor de l'energia elèctrica sinó el menor pes possible per a aconseguir una velocitat més elevada.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Pel que fa als velers que competeixen a la competició *Ocean Race* podrien aprofitar-se dels beneficis del dispositiu. Tot i així busquen fer la volta al món el més ràpid possible, així que s'hauria de fer alguna adaptació per tal de reduir el pes del generador, de manera que no suposi un inconvenient la instal·lació del generador en una embarcació d'aquest tipus. Com es pot observar en la següent imatge en recorregut és de suficient dies com perquè les bateries es descarreguin i que per tant, es requereixi de l'ús del sistema.



Il·lustració 33. Recorregut de la competició *Ocean Race* (Font: *Ocean Race*)

3. Les llanxes motores a priori no són de gaire interès ja que la majoria d'elles planegen. Tot i així, si considerant l'estalvi de combustible que suposa aquest sistema no deixen de ser candidates per a l'ús del sistema.

Un sistema que queda amagat a les sentines del vaixell, que proporciona energia sense sostreure-la de la propulsió i que ajuda a l'estabilitat del vaixell absorbint les inèrcies, és molt atractiu de cara als possibles clients.

Veient les unitats d'embarcacions d'esbarjo fabricades arreu del món, es pot observar que la comercialització del sistema de recuperació d'energia cinètica és viable tècnicament, però falta determinar el preu de sortida a la venda, el qual es decidirà una vegada construït el prototip en les fases més avançades del projecte.

Per a determinar el preu del dispositiu s'ha de tindre en compte el cost dels materials i la mà d'obra per a construir-lo. Els materials seleccionats en el capítol anterior, sobretot el de l'estructura exterior s'han seleccionat de manera que el dispositiu entregui el màxim

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

rendiment possible, però el preu és desorbitat i dificulta molt la seva viabilitat econòmica. Si en comptes del *pure iron* es fes servir un ferro dolç comú s'abaratirien molt els costos de producció facilitant-ne la comercialització.

8.3 Impacte mediambiental

Fins al moment les bateries que proporcionen electricitat als aparells elèctrics de l'embarcació són recarregades mitjançant un generador comú. Aquests tipus de generadors consumeixen combustibles provinents de combustibles fòssils, motiu pel qual emeten gasos contaminants a l'atmosfera deixant una empremta de carboni important.

Normalment, funcionen amb dièsel i la combustió genera una olor desagradable, mentre està en funcionament emet un soroll molest i contribueix a la contaminació del planeta terra.

És per aquest motiu que el dispositiu que es planteja en aquest treball final de grau té un impacte tan positiu en embarcacions d'esbarjo.

8.3.1 Càlcul de les emissions de CO_2

Per a posar l'exemple s'ha fet una recerca d'un generador dièsel convencional i comú en la indústria per saber a través de la seva fitxa tècnica quina empremta de carboni deixa. Per a dur a terme aquesta investigació s'ha escollit el següent generador:



Il·lustració 34. Generador dièsel (Font: *Fischer Panda*)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Aquest generador de la marca *Fischer Panda* és un generador estàndard per a una embarcació d'esbarjo. Segons la seva fitxa tècnica, aquest generador té una potència nominal de fins a 8 kW.

Ara cal veure la quantitat de gasos d'efecte hivernacle (GEI), és a dir els gasos contaminats, emet durant el seu funcionament.

Suposant que el generador té una capacitat de 20 litres o el que és el mateix 17,8 quilograms de gasoil, fent servir el factor d'emissió que dicta l'OMI per al dièsel (3,206 kg CO_2 /kg gasoil) es pot dir:

Es generen 57,0668 quilograms de CO_2 cada vegada que el generador consumeix tot el combustible del dipòsit per a transformar-lo en energia elèctrica.

Es farà una extrapolació d'aquest càlcul a un any de vida del generador. Es tindran en compte 3 escenaris diferents, un on l'ús anual sigui elevat, un altre on sigui reduït, i per últim un que es trobi al mig dels dos escenaris anteriors.

Escenari/Dades	L consumits/any	Kg consumits/any	Factor d'emissió	Kg CO_2 generats
Ús reduït	100	89	3,206 kg CO_2 /kg gasoil	285,334
Ús mitjà	500	445	3,206 kg CO_2 /kg gasoil	1426.67
Ús elevat	2000	1780	3,206 kg CO_2 /kg gasoil	5706,68

Taula 8. Massa de diòxid de Carboni generada en els diferents escenaris (Font: Pròpia)

A part de l'estalvi d'emissions de GEI a l'atmosfera també cal fer una reflexió sobre la vida útil del dispositiu i de la possibilitat de reciclatge quan el vaixell arriba al final del seu cicle d'ús.

Si el propietari del veler vol canviar-se l'embarcació només cal des instal·lar el dispositiu i instal·lar-lo al nou veler. Pel que fa a la vida útil del dispositiu, certament està per determinar, tot i així, depèn del nombre de cicles que realitzi i el tipus de mar en els quals el veler navegui.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

En el pitjor dels casos l'estructura de ferro dolç del dispositiu pot estar esquarterada o oxidada amb el pas dels anys, ja que és el tipus d'inconvenients que sol presentar aquest metall amb baix contingut de carboni.

Malgrat l'estat en el que es trobi, com a metall que és, es pot reciclar. L'únic que caldria fer es desmagnetitzar l'estructura metàl·lica o bé escalfant-la fins al punt de *Curie* del Ferro que es troba aproximadament als 770 graus *Celsius* o bé mitjançant l'ús el jou electromagnètic (*yugo electromagnético*) seguint un patró de moviments circulars mentre s'allunya de la peça.



Il·lustració 35. Jou electromagnètic (Font: *Magnaflux*)

Pel que fa als imants de Neodimi, també es poden reciclar, de fet l'elaboració de nous imants és molt més cara, ja que el Neodimi provés de *terres rares*¹, fet el qual fa augmentar molt el cost. Per tant, per a reciclar-los cal eliminar la capa protectora exterior anticorrosiva, i quedar-se només amb l'interior.

Les bobines de coure només cal escalfar-les fins al seu punt de fusió per a fondre el metall i poder-lo fer servir en altres usos.

Per tant, quan es vulgui reciclar el dispositiu simplement s'hauran de fondre els materials que ho permetin. És important que el dispositiu tingui facilitat de reciclatge per seguir complint l'objectiu inicial de no malmetre el medi ambient.

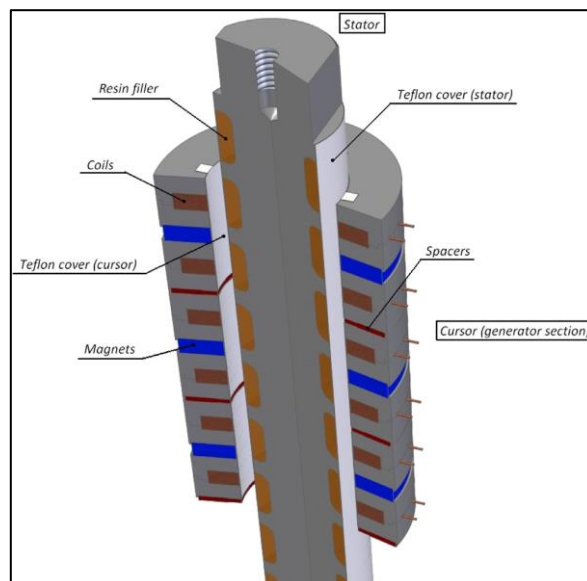
1. Les terres rares són un conjunt de disset elements químics, metalls, amb propietats semblants que inclou l'escandi i l'itri del grup 3 de la taula periòdica i els quinze elements de la sèrie dels lantanoides. Són algunes de les primeres matèries estratègiques en l'economia mundial.

CAPÍTOL 9: COMPARATIVA DEL PROJECTE SEAKERS AMB EL DISSENY PROPOSAT ANÀLISIS I VALORACIÓ DEL PROJECTE SEAKERS

Aquest treball final de grau va sorgir a partir d'una idea presentada en un altre projecte (mencionat a la bibliografia), la qual també es basava en un sistema de recuperació d'energia cinètica per a vaixells. Malgrat que el treball realitza avenços notables i obté resultats i rendiments admirables, existeix una metodologia de recuperació d'energia cinètica molt més senzilla. Mantenint els mateixos components principals que són el material estructural ferromagnètic un imant permanent i bobines de coure, existeix un mètode molt més senzill amb resultats similars i amb un preu molt més reduït i competitiu per al possible llançament al mercat. Potser la solució que proposa el personal tècnic de *SeaKERS*, pot ser més atractiu pels rendiments obtinguts, ara bé, el plantejament de la implementació del prototip en un vaixell real fa que el projecte perdi força.

9.1 Justificació de la ubicació dels components

El projecte *SeaKERS* planteja la disposició dels components del prototip de manera que la implementació a la nàutica és certament complicada. Com es pot apreciar en la següent imatge, el prototip de *SeaKERS* ubica els extrems dels cables de la bobina al cursor, el qual suposadament està en moviment. El fet de tindre el cursor amb els cables mentre llisca sobre l'estator genera una situació delicada i poc convenient.



Il·lustració 36. Secció del generador lineal dissenyat per SeaKERS (Font: *SeaKERS*)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

A més, el fet de dissenyar el prototip posant els imants permanents a la mateixa peça estructural que les bobines fa augmentar la complexitat d'aquest. Cal mencionar que molt astutament, el personal tècnic de *SeaKERS* aprofita aquesta disposició peculiar jugant amb la reluctància del sistema, tot i que en el present treball no s'hi parlarà atenció.

Sabent que la disposició dels components proposada pel prototip de *SeaKERS* és tan complexa, es vol fer servir aquest treball final de grau per a fer una recopilació de propostes de millora.

En primer lloc, i com a canvi més significatiu, es vol proposar de fer un canvi de rols entre el cursor i el *stator*, de tal manera que sigui el cilindre del mig la part mòbil del sistema i que la part fixe sigui la que envolti aquest cilindre. A més també es vol proposar una reestructuració dels components de tal manera que els imants permanents passin a estar a formar part del cilindre i les bobines es quedin a la part exterior de manera que el moviment del cilindre amb els imants de neodimi passant repetidament a través de les bobines generi energia elèctrica. Aquest funcionament molt més senzill i fàcil d'implementar pot recordar a les llanternes famoses als anys 90, les quals generaven llum a partir de l'agitació d'aquesta. Amb la següent imatge es podrà apreciar d'una manera més entenedora:



Il·lustració 37. Llanterna amb funcionament d'agitació
(Font: Internet)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Si es para atenció, es pot apreciar el coure de la bobina, i una part negra, cilíndrica al mig, que és l'ímant. Només amb el moviment de l'ímant a través de la bobina es generava electricitat per a alimentar la bateria de la llanterna i poder generar llum. Doncs el que es proposa com a millora, és fer servir aquest funcionament aplicat al prototip original de SeaKERS, facilitant la instal·lació significativament.

Cal fer una menció sobre una contradicció que s'ha trobat a la memòria del projecte SeaKERS. L'equip tècnic de SeaKERS, per tal d'obtenir resultats de prova, fa servir una estructura dins de la qual fan moure el cilindre verticalment. La incoherència ve donada per com han assignat els noms, ja que *stator*, per definició és la part fixe d'una dinamo o motors elèctrics dins de la qual gira o es mou el mòbil o rotor, i en aquest cas li han assignat el nom d'*stator* a la part mòbil del prototip. A continuació es pot veure el *test bed* amb el qual van obtenir resultats de rendiment.

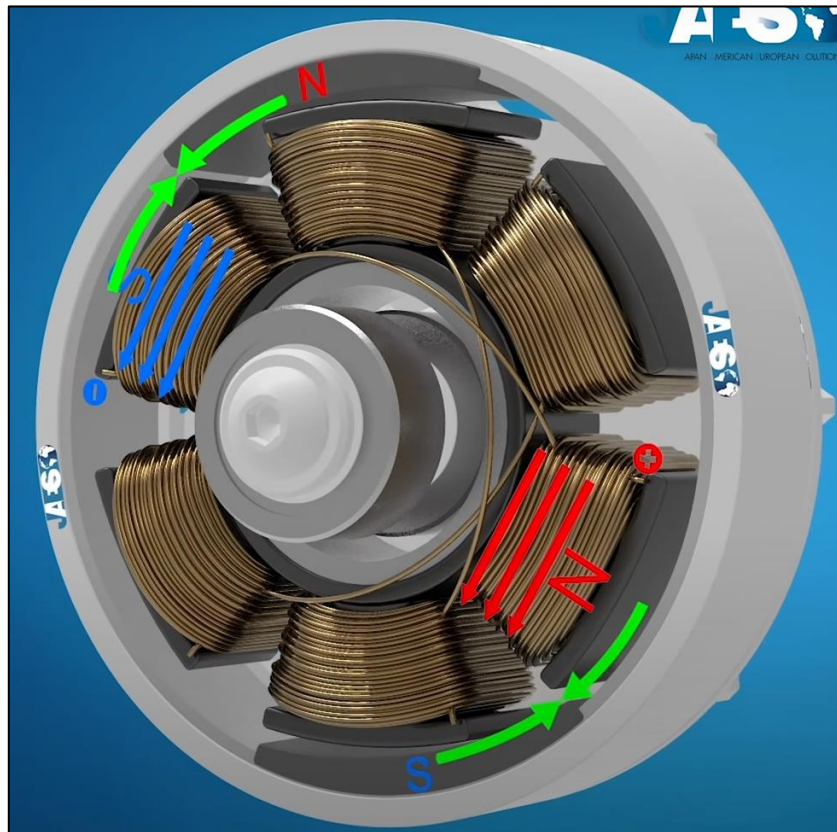


Il·lustració 38. Estructura de simulació del comportament del vaixell, *test bed* (Font: SeaKERS)

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

La manera en què es presenta el prototip en els tests, no és la mateixa manera en la que es presenta teòricament. Cal fer menció que el projecte esmentat ha realitzat grans avenços i facilita en gran mesura els posteriors projectes com el present.

Per a entendre el missatge que es vol transmetre sobre la justificació de la ubicació dels components servirà fer una comparació amb el motor elèctric *brushless* que vol dir que no té escobretes. El motor *brushless* és un tipus de motor que no fa servir escobretes per a realitzar el canvi de polaritat en el rotor. Es tracta d'un motor que té el rotor amb imants permanents, mentre que l'estator està compost d'electroimants. Aquest motor segueix el principi de funcionament que es basa en l'atracció i el rebuig generat pels imants permanents del rotor i els electroimants de l'estator. En la següent imatge es pot apreciar.



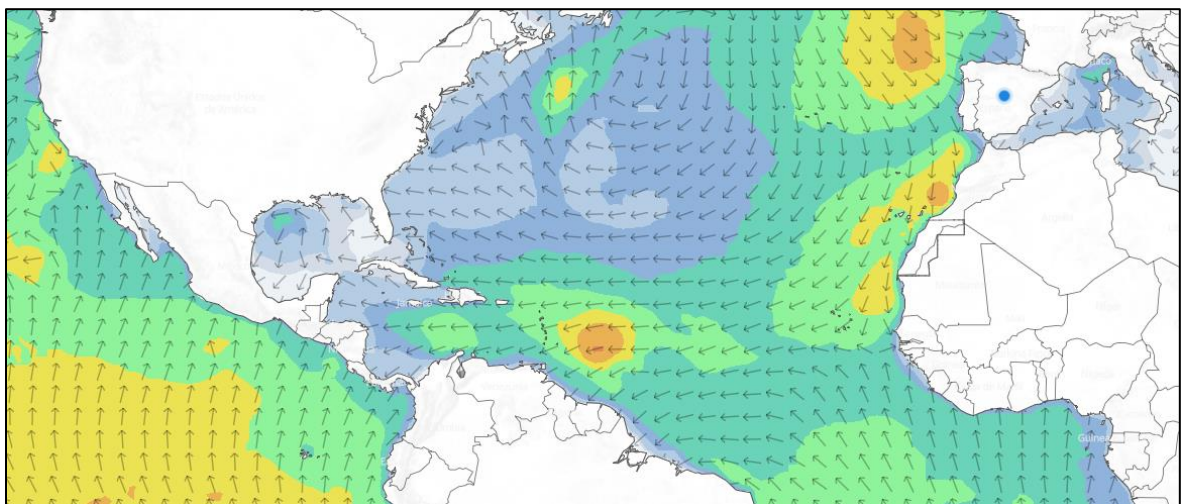
Il·lustració 39. Motor *brushless* (Font: JAES company)

Per tant, aplicant el funcionament d'aquest motor al prototip de *SeaKERS*, facilitaria la instal·lació al veler, de manera que la disposició dels cables no serien un inconvenient, a més, en reduiria el preu dràsticament.

9.2 Recerca i comparació entre la freqüència òptima de treball i de les ones

El sistema de recuperació d'energia cinètica treballarà millor o pitjor, és a dir amb rendiments més elevats o més baixos segons la zona geogràfica on navegui, ja que el vaixell tindrà moviments diferents amb onades de 4 metres o amb el mar calmat. Per al dispositiu, com més altes siguin les onades i més inclinació tingui el vaixell més ràpid farà anar al cilindre, fent passar d'aquesta manera més vegades els imants a través de les bobines de la part fixe, i, per tant, aconseguint una major generació d'energia.

Així doncs, es fa una anàlisi de les ubicacions geogràfiques on normalment les ones es comportin favorablement per al dispositiu i així estudiar-ne la freqüència i la compatibilitat amb l'òptim funcionament del dispositiu.

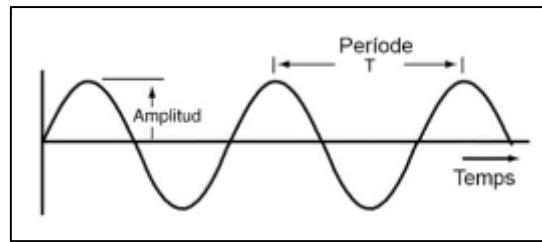


Il·lustració 40. Mapa indicatiu de l'estat de les onades (Font: *Meteoblue*)

En el trajecte transoceànic que es planteja en la introducció, de les canàries a alguna illa del mar carib a dia 25 de juny de 2022, l'altura de les ones en l'oceà atlàntic estan compreses entre els 1,5 i els 4 metres. Evidentment, aquest paràmetre varia segons les condicions meteorològiques, però el que és més constant és el període de les ones, el qual està comprès entre els 6 i els 11 segons.

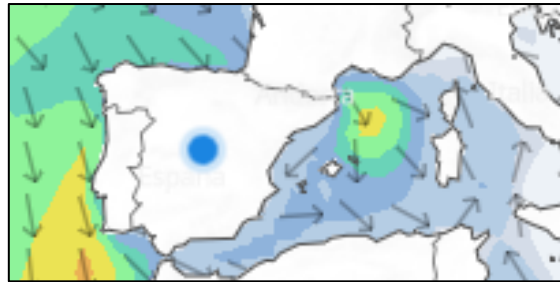
El període, és el temps en què l'ona tarda des d'un punt d'amplitud màxima fins al següent.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Il·lustració 41. Període d'ona. (Font: Un recorregut pel món de les ones electromagnètiques i la seva velocitat)

Pel que fa al mar mediterrani, un trajecte popular entre els capitans de la costa est de la península, és el d'arribar fins les illes Balears. En aquest espai d'aigua, les ones tenen una freqüència més baixa, d'entre 4 i 6 segons, és a dir que tarden menys en arribar al següent punt d'amplitud màxima. A més l'altura d'aquestes sol estar compresa entre els 0,5 i els 3 metres.



Il·lustració 42. Mapa indicatiu de l'estat de les ones al mediterrani (Font: *Meteoblue*)

Després d'haver fet aquesta anàlisi, es pot concloure que el període al qual treballarà el dispositiu vindrà donat segons l'oceà o mar en el que navegui i segons les adversitats meteorològiques a les quals s'enfronti. Tot i així, s'ha de definir un període de treball mig, per a assignar-lo al dispositiu, d'aquesta manera doncs s'ha decidit agafar un valor mig de 7 segons.

Per a definir la freqüència de treball una vegada definit el període només cal utilitzar la següent fórmula:

$$f = \frac{1}{T}$$

- f : freqüència
- T : Període

Llavors s'obté la següent freqüència: $f = \frac{1}{7} = 0,142857 \text{ Hz}$

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Havent establert la freqüència i el període de treball òptim en condicions normals del dispositiu ja es poden començar a determinar la resta de paràmetres tècnics del sistema elèctric.

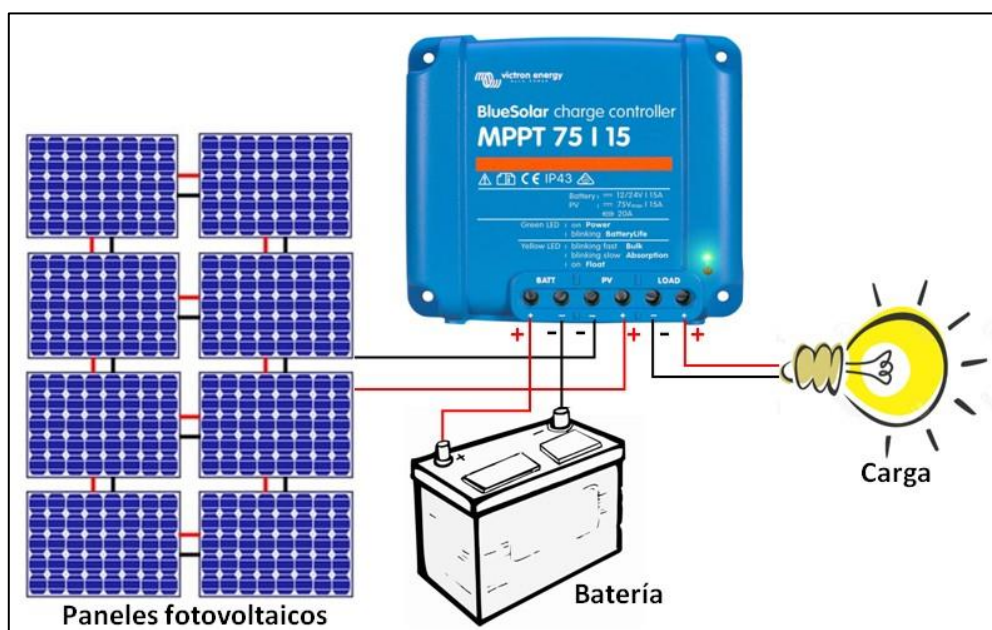
9.3 Símil entre l'ECU i el MPPT

Abans d'entrar en la comparació entre els dos aparells i com aprofitar la tecnologia que ofereixen per a aplicar-la al dispositiu, cal definir tots dos termes.

En primer lloc, l'ECU (*Electronic Control Unit*), com ja s'ha dit anteriorment és la centralita elèctrica que regula i controla el funcionament del sistema elèctric on s'instal·li. Té un paper primordial per al correcte funcionament global del sistema i utilitza diferents tipus de sensors per a controlar els diferents paràmetres i variables que intervenen en el procés.

En segon lloc, i com a presentació d'aquest dispositiu en aquest treball, es parlarà del MPPT i de la tecnologia amb la que s'associa actualment.

El MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), és un controlador de càrrega que s'utilitza per a regular la quantitat d'energia elèctrica que es subministra a una bateria. Aquest tipus de regulador és molt utilitzat en l'àmbit de les plaques solars i és un dels elements més importants del sistema elèctric en aquest tipus d'instal·lacions. Aquest dispositiu aconsegueix ampliar el voltatge de la placa solar per tal d'aprofitar al màxim la seva potència. Utilitzen tota l'energia que poden subministrar els panells solars controlant la tensió de la bateria constantment. En definitiva, són un tipus d'aparells que fan que el sistema elèctric treballi sempre al punt de màxima potència.



Il·lustració 43. Exemple d'instal·lació d'un dispositiu MPPT (Font: *Genera tu luz*)

Si s'aconsegueix que l'ECU del sistema tingui a més de les funcionalitats que ja pot complir de sèrie, les funcionalitats característiques d'un MPPT, s'aconseguiria obtenir un millor rendiment del dispositiu a nivell general, optimitzant d'aquesta manera el procés.

9.4 Variable del sistema a regular per l'ECU: La càrrega

Com tota centraleta electrònica, la que s'utilitza en el sistema KERS del present treball no és una excepció i necessita regular certs paràmetres presents en el sistema.

En el cas del prototip, només cal regular un paràmetre, i és la càrrega entrant a les bateries. Per a regular-lo es necessita un aparell que reguli el pas de la intensitat pel mètode de modulació per amplada de polsos o PWM (*Pulse Width Modulation*) que serveix per a variar l'energia que rep un determinat dispositiu electrònic ràpidament. El PWM aconsegueix realitzar la seva funció obrint i tancant el circuit per mitjà de transistors, a una freqüència elevada de manera que deixa passar la intensitat mitja desitjada. A l'esquema realitzat anteriorment equival a la unitat de força.

Com que es tracta de modular l'ample dels polsos, implícitament s'està parlant de senyals quadrades que només tenen dos estats a la tensió del generador, i a zero de tensió, segons si els transistors condueixen o no. A vegades també es solen representar en codi binari, fent que l'1 representi l'ona quan el transistor condueix, i el 0 quan no condueix.

D'aquesta manera, el PWM deixa passar el flux d'electricitat necessari en cada instant encenent-se i apagant-se en intervals de temps molt petits per a poder tenir capacitat de reacció en vers a les constants variacions de flux elèctric, i poder fer que la càrrega sigui més estable i facilitar-ne la seva regulació.

Per tant, el PWM ajudarà a regular la velocitat a la qual el generador lineal treballi o el que és el mateix, ajudarà a regular la velocitat a la qual el cilindre amb els imants es mourà. Es regularà mitjançant el temps que estigui encès o apagat el dispositiu. Amb el següent exemple s'acabarà d'explicar el funcionament del dispositiu.

- Es té una ona de 10V quan el PWM encès i de 0V quan està apagat. El dispositiu estarà un 50% del temps encès i l'altre 50% restant apagat, obtenint d'aquesta manera una càrrega mitja entre 0V i 10V, és a dir 5V.

Tornant a l'ECU, cal fer menció de com sintonitza el moviment de la part mòbil del dispositiu amb la freqüència de treball del dispositiu. En resum, s'encarrega de moure el cursor al llarg de la guia seguint el moviment de les onades però amb un desfasament de

90°. Quan el cursor aniria cap a la proa seguint el moviment de les onades per inèrcia pròpia, el generador frena el cursor per tal que arribi desfasat, és a dir amb un cert retard de temps a proa, i exactament el mateix quan s'estigués desplaçant cap a popa per inèrcia pròpia.

Per a concloure, la càrrega rebuda pel sistema estarà determinada per la quantitat de temps que estiguin oberts i tancats els transistors del circuit.

9.5 Tensions no profitables

Durant el funcionament del sistema, el voltatge va variant, segons la situació a la que estigui exposat el vaixell, és a dir, mai serà un valor fixe. L'inconvenient, és que el sistema té un rang de voltatge al qual funciona correctament, però en nombroses ocasions, el voltatge que arriba a les bateries no és suficient. En aquest moment és on entra el dispositiu que s'anomena *low loss converter*, el qual té la funció d'aprofitar les tensions generades i no profitables pel sistema, consumint una quantitat d'energia molt baixa de les bateries. Per tant, per posar un exemple, si el sistema treballa idealment a 24V i durant aquell moment el prototip per les condicions donades només està generant 21V, el *low loss converter* s'ocupa de pujar-lo fins al voltatge de treball òptim.

Aquest element del sistema té un paper molt important per a regular el voltatge en situacions on les condicions del mar no siguin favorables per a la generació d'energia del prototip.

9.6 Avaluació del comportament del primer prototip al laboratori i resultats esperats

Una vegada construït el prototip, abans d'instal·lar-lo en cap embarcació es pretén fer un conjunt de proves al laboratori. Per tal de simular el comportament que tindria el dispositiu en una embarcació s'haurà de construir un banc de proves per a acostar-se al moviment que poden generar les onades.

Una vegada, construïda aquesta estructura que simularia el moviment del vaixell, es vol recopilar informació del comportament del dispositiu. Per a obtenir aquest comportament s'hauran de simular diferents situacions del mar, ja que és una variable a tenir en compte. Es té en ment utilitzar un software desenvolupat prèviament per un projecte de característiques similars al del present treball. Es tracta del projecte SEAKEEPER, en el qual es va dur a terme un disseny i desenvolupament d'un dispositiu que elimines el moviment transversal, l'anomenat *roll*. Aquest dispositiu aconsegueix eliminar el *roll* de les

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

embarcacions en un 95% de la seva totalitat i actualment ja està en fase de comercialització.



Il·lustració 44. Dispositiu SEAKEEPER 1 (Font: SEAKEEPER)

Aquest projecte va desenvolupar un software per analitzar el comportament hidrodinàmic de les embarcacions. Aquest software permet proporcionar els càlculs de la resposta del vaixell (disseny originari de *Maxsurf*), per a diferents tipus d'estats de la mar.

El propi software proporcionaria els paràmetres que es volen trobar com ara:

- Gràfiques del desfasament del generador lineal per a diferents velocitats.
- Gràfiques de la forma de les oscil·lacions del generador lineal per a diferents velocitats.
- Grau del coeficient d'amortiment per una excitació d'ones aleatòria.
- Corroboració de la bona elecció de la freqüència de treball.

Pel que fa al càlcul de la potència generada pel sistema es realitzen diferents hipòtesis, consideracions i càlculs. Es calcularà l'energia potencial, ja que és més senzilla de calcular i a la vegada serà la màxima que podrà generar el sistema. Té la següent fórmula: $E_p = mgh$

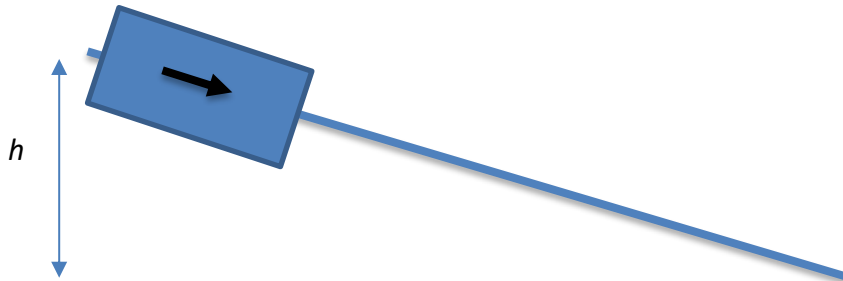
Es representarà el sistema en tres posicions diferents:

1. Equilibri: La part mòbil es troba en repòs

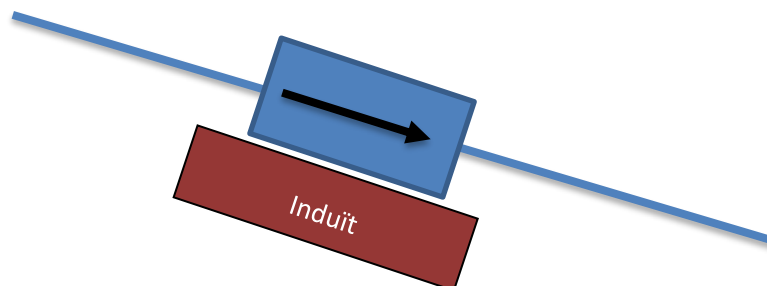


Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

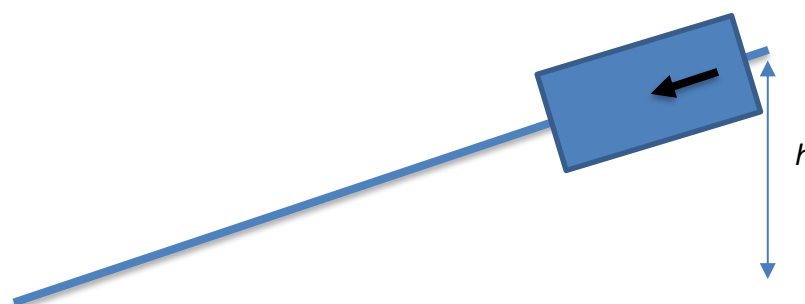
2. El *cursor* es troba en moviment (primera fase del cicle)



3. Dibuix bobina: induït



4. El *cursor* es troba en moviment (segona fase del cicle)



Segons l'altura de les onades, es genera un desnivell h diferent ja que el veler estarà més o menys inclinat. Per a fer els càlculs senzills s'agafarà un valor mig de $h = 1$.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Per a la massa s'agafarà un valor aproximat de la part mòbil de 10 Kg al capítol 6, 120 Kg, i per últim la gravetat té el valor fixat, $9,81 \frac{m}{s^2}$

Per tant, $E_p = 10 * 9,81 * 1 \rightarrow E_p = 98,1 J$

Una vegada obtingut el valor de l'energia potencial, cal recordar que el sistema per a generar energia elèctrica ha d'absorbir part d'aquesta energia generada. D'aquesta absorció se n'ocuparà la bobina de coure ubicada a la meitat del dispositiu, la qual frenarà el cos mòbil. Es pren la hipòtesis de que la bobina absorbeix el 80% d'aquesta energia ja que la part mòbil ha de tenir prou energia per seguir en moviment i arribar a l'altre extrem. Això vol dir que després de passar a través de la bobina, la part mòbil té un 20% de l'energia potencial inicial.

Per tal d'obtenir potència es multiplicarà l'energia potencial obtinguda en un cicle sencer, és a dir: $2mgh$ per la freqüència, la qual s'obté a partir de: $T = \frac{1}{f}$ sent T el valor del període mig que s'ha agafat de l'oceà atlàntic, 8 segons

Aleshores: $8 = \frac{1}{f} \rightarrow f = 0,125 \text{ Hz}$

$$\text{Potència generada} = 2 * (98,1) * 0,125 \rightarrow \text{Potència generada} = 24,53 \text{ W}$$

Cal una reducció per fregament, pèrdues, i pel fet que l'energia de xoc a l'extrem es perd. Per a deixar de perdre l'energia dels xocs contra l'extrem, es podria instal·lar una molla adequada per tal que retornés part d'aquesta energia al cos mòbil.

Fent la hipòtesi que aquestes pèrdues són del 50%, s'acabaria obtenint una *Potència* d'uns 12 Watts.

Aquests càlculs són simplificats. Perquè fossin més precisos, s'hauria d'entrar molt més en detall en el seu comportament harmònic (sinus, cosinus, derivades, etc.), però realment ja serveixen per a determinar que el sistema no generarà més d'uns 12 Watts.

Per a augmentar la precisió dels càlculs caldria tenir en compte els valors exactes del recorregut que té la part mòbil, de la freqüència per a cada situació i per últim l'amplitud d'ona, ja que segons el grau d'inclinació de l'embarcació la potència generada variarà.

Per a concloure aquest capítol és imprescindible fer menció a la importància de la sincronització del dispositiu a nivell global, ja que és la clau d'èxit del correcte funcionament d'aquest.

CAPÍTOL 10: CONCLUSIONS

Arribant al final d'aquest TFG, i com a bon repte que ha estat, s'han extret diverses conclusions que es poden separar en dos grups diferents. Per un cantó, es parlarà de les conclusions tècniques i objectives i per l'altre cantó l'autor ha decidit afegir uns comentaris a nivell personal sobre les dificultats a les quals s'ha anat enfrontant que poden resultar útils a aquelles persones que vulguin continuar amb la línia d'investigació.

10.1 Conclusions tècniques

En aquest treball final de grau s'ha volgut presentar una eina que faciliti els trajectes de llarga durada en una embarcació de vela, proposant certes millores al prototip del projecte SeaKERS el qual ha sigut molt útil per al desenvolupament d'aquest projecte.

Els principals inconvenients que s'han trobat en el prototip presentat per l'equip tècnic de SeaKERS són els següents:

1. Rols dels mòduls *stator* i *cursor*:

El disseny dut a terme per projecte SeaKERS, fa que els cables de corrent que subministren l'electricitat a les bateries surtin del mòdul mòbil. A la pràctica, pot suposar un contratemps, ja que el més lògic és que els cables surtin de la part estàtica.

2. Ubicació dels components del dispositiu:

Per altra banda, els imants i les bobines estan ubicats al mateix mòdul, al cursor dificultant molt més el funcionament general del dispositiu que si estiguessin separats.

3. Disseny estructural:

Pels dos motius anteriors, l'*stator* ha de tindre unes cavitats a l'estructura per tal que entri en joc la reluctància al sistema.

Amb els inconvenients que s'han trobat anteriorment, es proposen una sèrie de canvis per a millorar el prototip.

1. En primer lloc, es vol proposar un canvi de rols dels dos mòduls del dispositiu, és a dir, que la part exterior (*cursor*, segons l'equip tècnic de SeaKERS) passi a ser la part que no es mou, i el cilindre del mig (*stator*, segons l'equip tècnic de SeaKERS) esdevingui la part mòbil del dispositiu.

2. En segon lloc, es proposa un canvi d'ubicació dels imants permanents de Neodimi i les bobines de coure. Amb aquest canvi es pretén acostar-se al funcionament de la llanterna de la il·lustració 36. Per tant, es proposa que sigui el cilindre el que

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

contingui els imants de Neodimi incorporats a l'estructura i que sigui l'estructura exterior, la que contingui les bobines de Coure.

3. Amb els canvis proposats no caldria que el cilindre interior tingués una forma amb cavitats tan pronunciada, fet el qual faria més senzilla i econòmica la fabricació del prototip.

En quant als valors numèrics obtinguts es pot afirmar:

1. Fent ús del dispositiu de recuperació d'energia cinètica del present projecte, es deixen d'emetre a l'atmosfera 3,206 Kg de CO_2 per cada Kg de gasoil consumit pel suposat generador que desenvoluparia la funció d'alimentar les bateries del vaixell.
2. La *Potència generada pel dispositiu* = 24.525 W per la situació establerta al Capítol 9, concretament a l'apartat 9.6.

En quant a les futures línies de treball, cal construir el prototip, avaluar-ne el comportament al laboratori i finalment, instal·lar el prototip a un vaixell.

10.2 Comentaris de l'autor

En aquest apartat parlaré com a autor que soc d'aquest TFG per a transmetre les vivències, opinions i els problemes als quals m'he enfrontat durant aquest projecte. També faré uns comentaris respecte els següents passos a seguir la línia d'investigació.

Per començar m'agradaria deixar clara la sort que he tingut de trobar una línia d'investigació tant interessant i que acadèmicament tingués sentit i sintonia amb el grau que he cursat. Tot i les dificultats que comentaré a continuació, fent aquest treball he gaudit i m'he sentit realitzat, i puc dir orgullosament que he superat una de les majors preocupacions que tenia abans de començar aquest projecte, poder gaudir de l'últim treball del grau.

M'agradaria haver seguit amb la línia d'investigació i dur a terme la construcció del prototip, les proves al laboratori, i per què no la instal·lació a un veler real. Tot i així tot té un temps límit i aquest TFG no és una excepció. Això no vol dir que no segueixi fent la recerca per compte propi o posant a disposició el que he après als futurs alumnes que vulguin seguir amb aquesta línia d'investigació.

A més soc una persona amb certes preocupacions davant la incertesa del canvi climàtic, i m'agrada haver investigat i treballat en un projecte que en petita mesura contribueixi a la descarbonització del planeta Terra.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Respecte als reptes que he hagut de superar, m'agradaria fer menció a la dificultat del repte com a tal. Per a entendre correctament el funcionament del sistema de recuperació d'energia cinètica que es presenta en aquest treball s'han de tindre certs coneixements del que es denomina DINÀMICA DE SISTEMES, que és una metodologia que intenta l'aproximació a la modelització de la dinàmica de sistemes complexos. Gràcies al professor Victor Fuses, he pogut indagar en cada funció de cada component que té el dispositiu i entendre'n la repercussió.

Per un altre cantó, una altre de les dificultats a les quals m'he enfrontat ha sigut la recollida i la selecció d'informació de qualitat, en la qual el mòdul acadèmic *Google Scholar* m'ha facilitat la recerca d'aquesta informació trobant tot tipus d'articles científics que m'han servit per dur a terme el present projecte. A més, la informació que he trobat no estava relacionada amb el sector naval i en la majoria d'ocasions he hagut de fer adaptacions per a aplicar els coneixements al present projecte.

Per altra banda, i com a punt positiu, tot i que em pensava que seria una dificultat el fet de parlar en nom de la Universitat Politècnica de Catalunya, va fer que les companyies amb les quals contactés em tinguessin en consideració, atenguessin els meus comentaris i m'ajudessin.

Per últim, m'agradaria tancar aquest treball recalcant que hem de cuidar els nostres mars i oceans i nosaltres com a professionals del sector marí i naval en som directament responsables. És per això que m'agradaria encoratjar a més alumnes a dur a terme projectes amb finalitats de reduir la empremta de carboni que estem deixant la humanitat.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES:

Per a la realització d'aquest TFG, s'ha realitzat una recerca exhaustiva de diferents llibres, articles científics i webs divulgatives. Aquest apartat té l'objectiu de deixar constància de les consultes realitzades durant la realització del projecte per si alguna persona vol seguir amb la línia d'investigació.

LLIBRES

Ciufolini, I., & Wheeler, J. A. (1995). *Gravitation and Inertia*. Amsterdam University Press.

https://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=6V6YDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=inertia&ots=zK7KxqrlgV&sig=HJMC2pX9AcImDh2ruj4ZssMzAdc&redir_esc=y#v=onepage&q=inertia&f=false

Falnes, J., & Kurniawan, A. (2020). *Ocean Waves and Oscillating Systems*. Cambridge University Press.

https://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=JxfeDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=waves+energy&ots=aQK6VRsqzh&sig=K-Fp1tzXTATX5rTtpMiHvMhcQI&redir_esc=y#v=onepage&q=waves%20energy&f=false

Miller, T. J. E., & Miller, T. J. E. (2001). *Electronic Control of Switched Reluctance Machines*. Elsevier Gezondheidszorg.

https://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=jH6JPmzbsiIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Electronic+Control+of+Switched+Reluctance+Machines&ots=XoUvwwit3H&sig=A2nvBMBZL1xjczbkBdAIBw8kldU&redir_esc=y#v=onepage&q=Electronic%20Control%20of%20Switched%20Reluctance%20Machines&f=false

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Vidal, L. M., Tous, R. B., & Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Elèctrica. (2001). *Aportaciones al estudio de los motores de inducción magnetohidrodinámica* <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93592>

INFORMES CIENTÍFICS

Doolittle, J. A., & Brevik, E. C. (2014, abril). *The use of electromagnetic induction techniques in soils studies*. Elsevier.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0016706114000548?token=2C586887CF859DC2975A0D23C31D74146523FF1A7A5A1C54EE741D50ED61BC104B92377FE58D4C979849BC525D6A5E7B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703102441>

Falcão, A. F. O., & Henriques, J. C. C. (2015, agost). *Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review*. Elsevier.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148115301828?token=9C2BD2259AC109F283AE4781C50875158CDDE48AE6BFACF29CC5DBA8A3049B06A308DE0921E652158C5007B7AE7C5D23&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703105638>

Guizzi, G. L., Manno, M., Manzi, G., Salvatori, M., & Serpella, D. (2013a). *Kinetic energy recovery system for sailing yachts*. Elsevier.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610214000861?token=AFD5660A6F5DB3B9328C608053C8E286B6028F335EE1300A49FFBD0775137212919D1BC16>

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

[585082778E2C4747823D44D&originRegion=eu-west-](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148113003443?token=32F1FC9DCDFCE84C9949D1C99408144EADE18AD1E1AB5A25B88E63C5523EA8A222DAB0613ABCC05202AF6EA386761EFB&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703110807)

[1&originCreation=20220703110807](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148113003443?token=32F1FC9DCDFCE84C9949D1C99408144EADE18AD1E1AB5A25B88E63C5523EA8A222DAB0613ABCC05202AF6EA386761EFB&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703110807)

Guizzi, G. L., Manno, M., Manzi, G., Salvatori, M., & Serpella, D. (2013b, juliol). *Preliminary study on a kinetic energy recovery system for sailing yachts*. Elsevier.

[https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148113003443?token=32F1FC9D](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148113003443?token=32F1FC9DCDFCE84C9949D1C99408144EADE18AD1E1AB5A25B88E63C5523EA8A222DAB0613ABCC05202AF6EA386761EFB&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703111056)

[CDFCE84C9949D1C99408144EADE18AD1E1AB5A25B88E63C5523EA8A222DAB061](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148113003443?token=32F1FC9DCDFCE84C9949D1C99408144EADE18AD1E1AB5A25B88E63C5523EA8A222DAB0613ABCC05202AF6EA386761EFB&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703111056)

[3ABCC05202AF6EA386761EFB&originRegion=eu-west-](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148113003443?token=32F1FC9DCDFCE84C9949D1C99408144EADE18AD1E1AB5A25B88E63C5523EA8A222DAB0613ABCC05202AF6EA386761EFB&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703111056)

[1&originCreation=20220703111056](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960148113003443?token=32F1FC9DCDFCE84C9949D1C99408144EADE18AD1E1AB5A25B88E63C5523EA8A222DAB0613ABCC05202AF6EA386761EFB&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703111056)

Hazim, S., el Ouatoati, A., Taha, M., & Ghennioui, A. (2018, setembre). *Marine Currents Energy Resource Characterization for Morocco*. Elsevier.

[https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S187661021831244X?token=C28D271F](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S187661021831244X?token=C28D271FA2C7F890197F7B538A193FA98A092637AAA16C6AF2146FE3911762E1286A32176093B9774D513A8FE1F5D81A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703105336)

[A2C7F890197F7B538A193FA98A092637AAA16C6AF2146FE3911762E1286A32176](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S187661021831244X?token=C28D271FA2C7F890197F7B538A193FA98A092637AAA16C6AF2146FE3911762E1286A32176093B9774D513A8FE1F5D81A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703105336)

[093B9774D513A8FE1F5D81A&originRegion=eu-west-](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S187661021831244X?token=C28D271FA2C7F890197F7B538A193FA98A092637AAA16C6AF2146FE3911762E1286A32176093B9774D513A8FE1F5D81A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703105336)

[1&originCreation=20220703105336](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S187661021831244X?token=C28D271FA2C7F890197F7B538A193FA98A092637AAA16C6AF2146FE3911762E1286A32176093B9774D513A8FE1F5D81A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220703105336)

ICOMIA. (2018, octubre). *Recreational Boating Industry Statistics 2017*. Liquid Scope.

[https://www.bvww.org/fileadmin/user_upload/bvww/PDF_Dateien/ICOMIA Stati](https://www.bvww.org/fileadmin/user_upload/bvww/PDF_Dateien/ICOMIA_Statistics_Yearbook/ICOMIA_Recreational_Boating_Industry_Statistics_2017_ed2_-_UNPROTECTED.pdf)

[tics Yearbook/ICOMIA Recreational Boating Industry Statistics 2017 ed2 -](https://www.bvww.org/fileadmin/user_upload/bvww/PDF_Dateien/ICOMIA_Statistics_Yearbook/ICOMIA_Recreational_Boating_Industry_Statistics_2017_ed2_-_UNPROTECTED.pdf)

[_UNPROTECTED.pdf](https://www.bvww.org/fileadmin/user_upload/bvww/PDF_Dateien/ICOMIA_Statistics_Yearbook/ICOMIA_Recreational_Boating_Industry_Statistics_2017_ed2_-_UNPROTECTED.pdf)

Laaksonen, T. (2012, maig). *A MARKET ANALYSIS ON THE GLOBAL BOATING INDUSTRY*.

Tampereen Ammattikorkeakoulu.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44214/Laaksonen Tommi.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44214/Laaksonen_Tommi.pdf)

Lacruz, A. L. (2013, novembre). *Estudi hidrodinàmic d'una boia per a l'absorció d'energia*

de l'onatge. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/20991>

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Marinier, J. M., Puglisi, H. P., & Julián, P. J. (2016). *Volante de inercia*.

<https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3378/Volante%20de%20inercia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Nicholls-Lee, R. F., Turnock, S. R., & Boyd, S. W. (2008, gener). *Simulation Based*

Optimisation of Marine Current Turbine Blades. Research Gate.

https://www.researchgate.net/publication/237136274_Simulation_Based_Optimisation_of_Marine_Current_Turbine_Blades

Otiaba, K. C., Ekere, N. N., Bhatti, R. S., Mallik, S., Alam, M. O., & Amalu, E. H. (2011,

maig). *Thermal interface materials for automotive electronic control unit: Trends, technology and R&D challenges*. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002627141100165X>

Park, T. P., Lee, S. L., & Han, C. H. (2005, maig). *Development of the electronic control unit*

for the rack-actuating steer-by-wire using the hardware-in-the-loop simulation system. Elsevier.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0957415805000681?token=1CA614A049B70A42D37BBE357931B2B554228E57FAF252AE130976158AB0C647F4C1A6A99131B836644A0A104B6A0B82&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220618115227>

Pérez, J. J. (2013, abril). *Diseño de motores Lineales Síncronos Miniaturizados para el*

Accionamiento de puertas Automáticas. Universidad de Navarra.

<https://dadun.unav.edu/handle/10171/29803>

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

Quintero, J. R. Q. G., & Quintero, L. E. Q. G. (2016). SISTEMAS DE PRODUCCIÓN y

POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA ENERGÍA MAREOMOTRIZ. *Revista ingeniería,*

Investigación y desarrollo, 16, 39–45.

https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/4078/4

[150](#)

Rhinefrank, K., Agamloh, E. B., von Jouanne, A., Wallace, A. K., Prudell, J., Kimble, K., Aills,

J., Schmidt, E., Chan, P., Sweeny, B., & Schacher, A. (2005, setembre). *Novel ocean*

energy permanent magnet linear generator buoy. Elsevier.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S096014810500217X?token=DE1CB86E>

[7C9656D3104E57D9069F9880A1A21F8EE8812826C5A045F7EF52FBE3761882EA4](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S096014810500217X?token=DE1CB86E)

[4F79207373EBB05B6579A6F&originRegion=eu-west-](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S096014810500217X?token=DE1CB86E)

[1&originCreation=20220703104521](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S096014810500217X?token=DE1CB86E)

Serpella, D. (2013, març). *Final Report Summary - SEAKERS (Sea kinetic energy recovery*

system). Cordis. <https://cordis.europa.eu/project/id/262591/reporting/it>

Thong, W. M., & Gunstone, R. (2007, febrer). *Some Student Conceptions of*

Electromagnetic Induction. Springer.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-007-9038-9?noAccess=true>

Universitat Politècnica de Catalunya, & el Hassali, Y. E. H. S. (21–10). *Análisis energético y*

simulación del comportamiento de una boya undimotriz con tres guías verticales.

<http://hdl.handle.net/2117/363577>

Valerio, L., Acosta, V., & Loarte, V. (1999). DETERMINACIÓN NUMÉRICA DE LA

RESISTENCIA AL AVANCE DE BUQUES. *TECNIA*, 9(2), 1–8.

<http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/324/314>

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

PÀGINES WEB

Energías del mar. (s. f.). Idae. Recuperat 20 de febrer de 2022, de

<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/energias-del-mar>

Fischer Panda | 10000i PMS. (s. f.). Fischer Panda. Recuperat 1 de juliol de 2022, de

https://www.fischerpanda.de/Generator-Datasheet-Panda_10000i_PMS-230_AC_-_50_Hz_95.htm#tabs-6

Yugo electromagnético. (s. f.). Magnaflux. Recuperat 2 de juliol de 2022, de

<https://magnaflux.mx/Productos/Inspeccion-por-Particulas-Magneticas/Equipo/Y-7.htm>

Seakeeper | Eliminate Boat Roll. (2021, 2 febrer). Seakeeper. Recuperat 15 de juny de

2022, de <https://www.seakeeper.com/>

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA EN UN BARCO. (2018, 12 abril).

Patentscope. Recuperado 20 de febrer de 2022, de

<https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2018065644>

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

ANNEXOS

ANNEXE I: JUSTIFICACIÓ DEL TEMPS INVERTIT PER A LA REALITZACIÓ DEL TREBALL FINAL DE GRAU

En aquest treball final de grau s'ha invertit una quantitat de temps considerable com per justificar-la i desglossar-la per a tal de tindre una noció dels capítols i apartats en els quals ha fet falta una atenció especial.

Cal mencionar que es tracta d'un projecte de 24 ECTS (crèdits) i cada crèdit equival a una quantitat de temps d'entre 25 i 30 hores. Per tant, multiplicant 30 hores per 24 ECTS s'obté un total de 720 hores de treball, les quals s'han superat de bon grat.

Els capítols on ha fet falta parar més atenció i invertir una quantitat de temps més gran han estat els següents:

- Capítol 4: Generador Lineal
- Capítol 7: Prototip
- Capítol 8: Impacte socioeconòmic i mediambiental
- Capítol 9: Anàlisis i valoració del sistema SEAKERS

A cada un d'aquests capítols se'ls hi ha invertit una quantitat de temps mínima de 200 hores per capítol aproximadament. Per un altre cantó, als 5 capítols restants se'ls hi ha invertit una mitja de 100 hores a cada un.

Fent la suma s'obté un total de 1400 hores invertides en el present projecte aproximadament.

D'aquesta manera queda plasmat el rigor emprat per a realitzar aquest treball, però també queda plasmada la intriga i les ganes d'avançar la recerca, ja que si no fos així no s'hauria gairebé doblat el mínim de temps a invertir per a dur a terme el treball final de grau d'aquesta titulació.

ANNEX II :FITXES TÈCNIQUES



www.upowerbatteries.com

Multi-application - LiFePO4 Power CE NA-12Li100BL	LITHIUM IRON PHOSPHATE BATTERY 
Issued Date > 2017-05-31 Issued Version > V00	
	

1. General Information

This specification defines the performance of rechargeable LiFePO4 battery pack **NA-12Li100BL** manufactured by UPOWER, S.L., describes the type, performance, technical characteristics, warning and caution of the battery pack. The battery pack support Bluetooth communication function. Through Android and IOS APP, can read the battery status and information. Especially due to the Android system's openness, different smart phone manufacturer will have their own different Bluetooth hardware version and customized feature Android systems. So the APP may not work well on some smart phones (with Android system) due to compatible issue. It is necessary for the customer to confirm whether the phone is compatible for the APP.

2. Specification (@Battery initial Temp $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$)

NO.	Items	Description
1	Rated Capacity	100Ah
	Minimum Capacity	95Ah
2	Energy	1.28KWh
3	Nominal Voltage	12.8V
4	Outgoing Voltage	$\geq 12.8\text{V}$
5	Internal resistance	$\leq 30\text{m}\Omega$
6	Series parallel application	Up to 4 series-connected applications
7	Limited charge voltage	$14.6 \pm 0.2\text{V}$
8	Floating charge voltage	$13.8 \pm 0.2\text{V}$
9	Standard charge current	60A
10	Maximum charge current	80A
11	Standard discharge current	80A

01



** Siguiendo la normativa estricta de la industria naval en materias de interconexión eléctrica y salud

NO.	Items	Description
12	Maximum discharge current	100A
13	Pulse discharge current	Withstand the 350A/3s
14	Discharge cut-off voltage	8.0V
15	Dimension	Length: 327±2mm
		Width: 171±2mm
		Height: 234±2mm
16	Weight	Approx: 12.8±0.5Kg
17	Operating Temperature	Charging: 0~45°C
		Discharging: -20~60°C
		Recommended operating temperature: 15°C~35°C
18	Self-discharge rate	Residual capacity: ≤3%/month; ≤15%/years
		Reversible capacity: ≤1.5%/month; ≤8%/years
19	Storage Temperature & Humidity Range	Less than 1 month: -20°C~35°C, 45% RH~75% RH
		Less than 3 months: -10°C~35°C, 45% RH~75% RH
		Recommended storage environment: 15°C~35°C, 45% RH~75% RH

Long time storage:
If the battery need be stored for a long time, the voltage should be 13.2V (50% SOC), and stored in the condition as storage proposal. It need at least one charge & discharge cycle every six months

3. Test Condition

3.1 Standard Test Conditions

3.1.1 Unless otherwise specified, all performance tests is required conducted at temperature 25°C±2°C, Humidity less than 45% ~ 75% RH.

3.1.2 Unless otherwise specified, the tested product is required unused within two month after outgoing.

3.2 Standard Charge Mode

"Standard Charge" means at 25±2°C charge to limit voltage with 0.33C constant current, then charge with constant voltage until current less than 0.02ItA.

3.3 Quick Charge Mode

"Quick Charge" means at 25±2°C charge to limit voltage with 0.5C constant current, then charge with constant voltage until current less than 0.02ItA.

3.4 Standard Discharge Mode

"Standard Discharge" means at 25±2°C discharge to the cut-off voltage with 0.33C current.

02

3.5 Quick Discharge Mode

"Quick Discharge" means discharge to the cut-off voltage with 0.5C current.

4. Product Performance

NO.	Items	Criteria	Testing Method	
1	Rated Capacity	100Ah	Rest for 1 hour after fully charged, then discharge with 0.33C current until the battery reaches the discharge cutoff voltage. Repeat above process for three times, if the discharge time is not less than 120 minutes, you can stop and define the Discharging current*time value (Ah) as battery capacity.	
2	Minimum Capacity	95Ah		
3	Internal resistance	≤30mΩ	50% battery SOC state frequency of 1 KHZ ac resistance tester.	
4	Cycle life (DOD%100)	≥2500 cycles	Discharge with the current of 0.33C until it can't discharge, and then rest it for 1h. Charge the battery following CC (0.33C)/CV (14.6V) mode to full capacity, and then rest it for 1h. Repeat above process until full charged capacity is no more than 80% of normal value. Accumulated times is defined as cycle life.	
5	Discharge Temperature Characteristics	-20°C	≥70%	At 25±5°C discharge the battery with the current of 0.33C to the cut-off voltage and record charge capacity. Store the battery at various temperatures for 2h and discharge the battery with 0.33C to the cut-off voltage.
		0°C	≥80%	
		25°C	≥100%	
		55°C	≥95%	
6	Charge Retention ability	Residual capacity ≥80%	Charge the battery to full capacity and store it for 28 days, and then discharge it with 0.33C to the cut-off voltage.	
		Recovery capacity ≥90%		
7	Communication Function	Bluetooth	Though, user can read the battery system information such as voltage, current, SOC, temperature... and so on.	

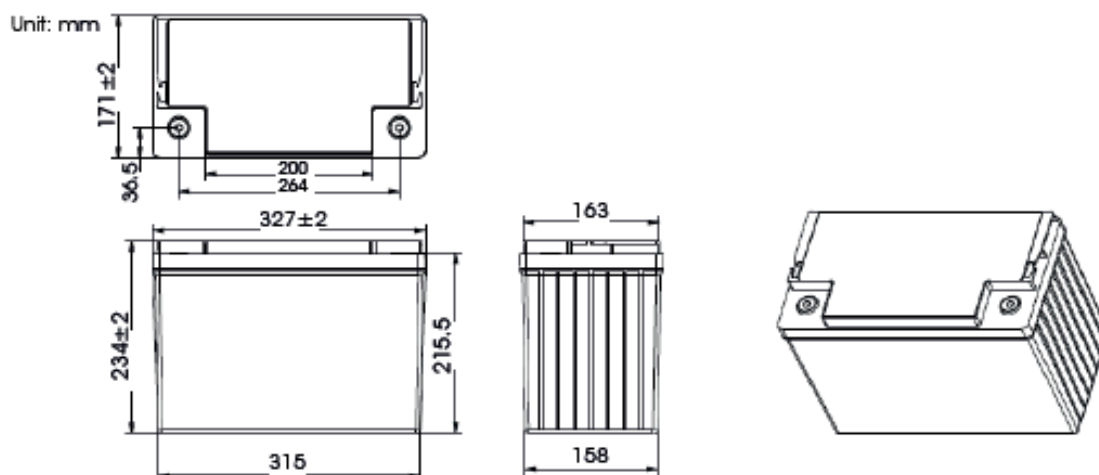
5. Protective Circuit Specification

The batteries are supplied with a LiFePO4 Battery Management System (BMS) that can monitor and optimized each single prismatic cell during charge & discharge, to protect the battery pack overcharge, over discharge, short circuit. Overall, the BMS helps to ensure safe and accurate running.

03

Items	Content	Specification
Over charge	Over-charge protection for each cell	3.75±0.025V
	Over-charge release for each cell	3.60±0.04V
	Over-charge release method	Under the release voltage
Over discharge	Over-discharge protection for each cell	2.0±0.04V
	Over-discharge release for each cell	2.5±0.04V
	Over-discharge release method	Charge to recovery
Over current	Discharge over current protection	420~480A
	Protection delay time	20 - 40ms
	Over current release method	Delay about 10S after recovery
Short circuit	Do not short-circuit the electrodes	Designed For 480A~700A /500us
Battery temperature	Charge over temperature	Protection @65±5°C
		Release @50±5°C
	Discharge over temperature	Protection @65±5°C
		Release @50±5°C
	Charge over temperature protection MOS	Protection @103±10°C
		Release @75±10°C
	Discharge over temperature protection MOS	Protection @103±10°C
		Release @75±10°C

6. Dimensional Drawing



04

7. Transportation

- Based on the character of cell, proper environment for transportation of LiFePO₄ battery pack need to be created to protect the battery.
- Battery should be stayed in the warehouse 15°C ~ 35°C where it's dry, clean, shade and well-ventilated.
- The battery should be stored in 50% SOC during transportation.
- The battery need to be charged every 6 months if out of use.
- Keep the battery against dropping, turning over and serious stacking during loading.

8. Warning & Tips

Please read and follow the specification and caution remarks on battery surface before use the battery. Improper use may cause heat, fire, rupture, damage or capacity deterioration of the battery. UPOWER, S.L. describes is not responsible for any accidents caused by the usage without following our specification.

- The battery must be far away from heat source, high voltage, and avoid to be exposed in sunshine for long time.
- Never throw the battery into water.
- Do not put the battery in a charger or equipment with wrong terminals connected.
- Never connect the positive and negative of battery with metal.
- Avoid excessive physical shock or vibration. don't hit, fall, stamp on the battery.
- Without the permission of the manufacturer and guidance, forbidden to remove or to assemble the battery.
- Do not use the battery mixed with other different manufacturer, type, or model batteries.
- Keep the battery against high temperature. Otherwise it will cause battery heat, get into fire or lose some function and reduce the life.
- When battery run out of power, please charge your battery timely (≤15 day).
- Please use the matched or suggested charger for this battery.
- If battery emit peculiar smell, heating, distortion or appear any abnormality during working or storage, please stop using and take it out from device.
- If the battery leaks and get into the eyes or skin, do not wipe, instead, rinse it with clean water and see doctor immediately.
- Please far away from children or pets.
- Do not put disuse battery into a fire or water.
- The battery pack supports up to 4 series-connected applications.
- Parallel connection of this battery pack is allowed under condition that voltage difference ≤0.2V, parallel numbers ≤4 groups, and operated by professionals.

9. Battery Operation Instruction

9.1 Charge and discharge

9.1.1 Charging current: Do not surpass the largest charging current that specification stipulated.

9.1.2 Charging voltage: Do not surpass the highest limited voltage that specification stipulated.

9.1.3 Charging temperature: within temperature scope that specification stipulated.

9.1.4 Charge with constant current, then with the constant voltage, no reverse charge, which is dangerous.

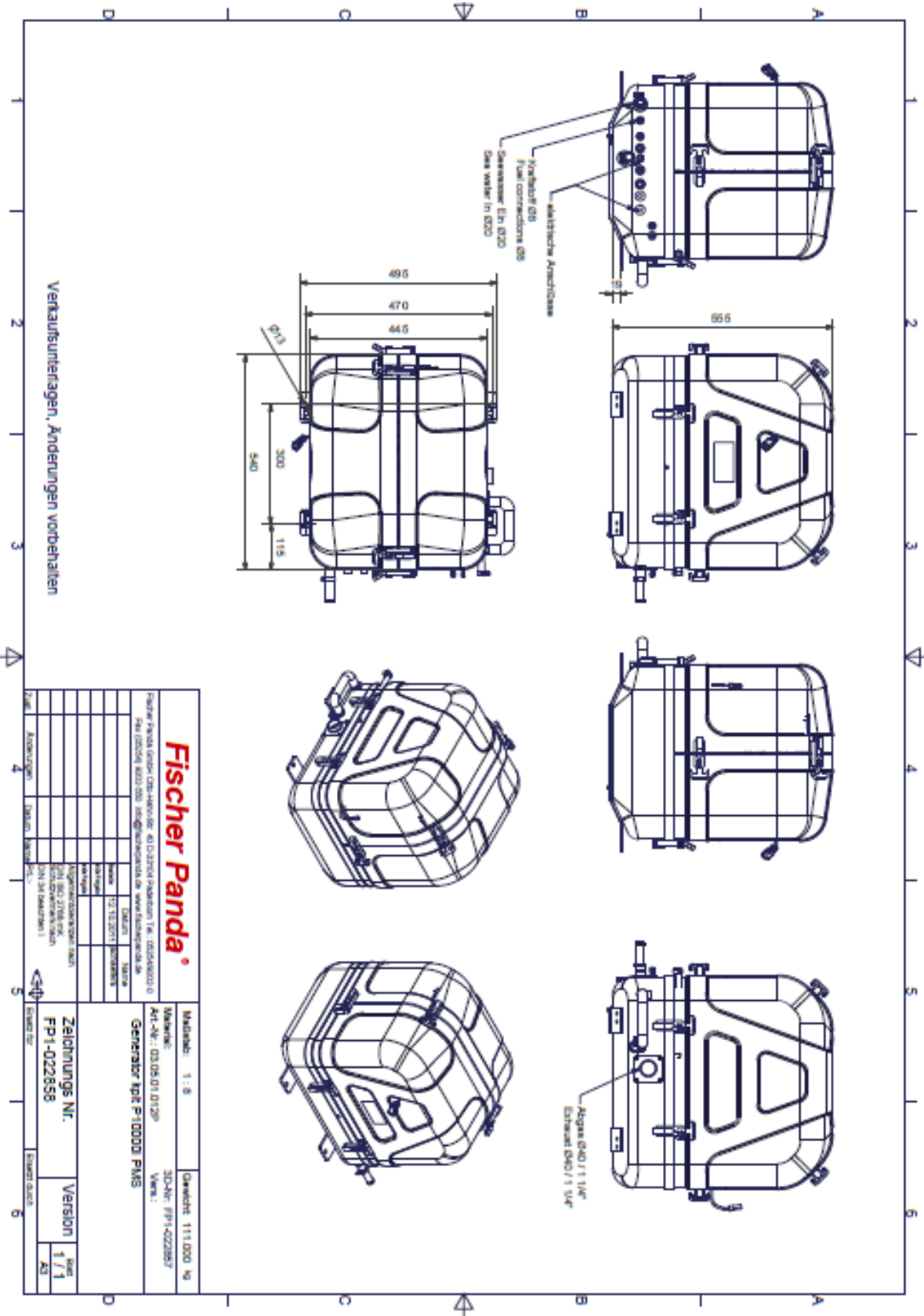
9.1.5 Special note:

Short time doesn't affect the use of the battery overcharge too, but for a long period of time over discharge or over charge can affect the function of the battery failure, or the battery can't use permanent, appear serious safety hazards, need long time floating please use the recommended floating model specification. Battery when not in use for a long time, because of its own self-discharge characteristics can also cause discharge, to prevent the occurrence of a discharge, battery should maintain a certain capacity, maintain the voltage at 50% state of SOC.

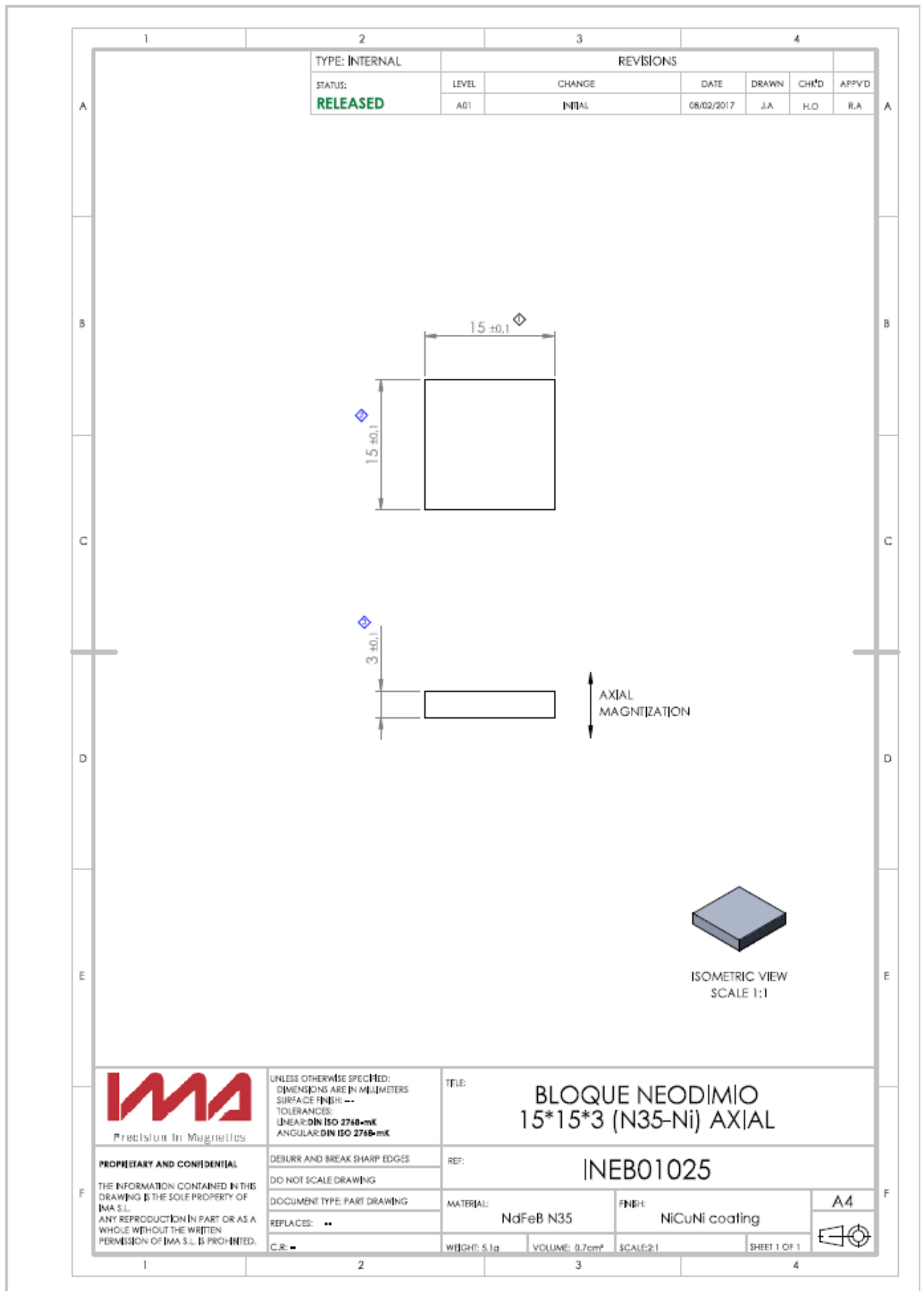
10. Other Chemical Reaction

Because batteries utilize a chemical reaction, battery performance will deteriorate over time even if stored for a long period of time without being used. In addition, if the various usage conditions such as charge, discharge, ambient temperature, etc. are not maintained within the specified ranges, the life expectancy of the battery may be shortened or the device in which the battery is used may be damaged by electrolyte leakage. If the discharge time is much shorter than the normal after full charged, even battery is charged correctly, and this may indicate it is time to change the battery.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo

ANNEX IV: PRESSUPOSTOS



OFERTA

Nº oferta: SQMS-220564
 Fecha: 21-06-22

Pág 1

AK Steel International B.V.
 Rat Verleghstraat 2A
 4815 NZ Breda, The Netherlands

AK Steel International B.V.
 Sucursal en España
 Avda. Diagonal, 640, 6ª planta
 08017 BARCELONA, Spain
 Tel: 00.34.93-2094177

BBVA EUR,
 IBAN: ES0301821015010202494448
 BIC: BBVAESMM

P.V.A: NL8050.41.060.B01

DS18.002.0legu/220521

Dirección de Factura

UPC
 BARCELONA
 Spain

Dirección de Recogida

Steel Solutions B.V.
 Ankerkade 4
 Beatrixhaven No.21005
 6222NM Maastricht
 The Netherlands

CIF/NIF: ESA08142952
 Términos de pago: ANTICIPADO TRANSFERENCIA
 Condiciones entrega: EXW (Ex Works) Maastricht
 Segun incoterms 2010

Final Destination

UPC
 BARCELONA
 Spain

Cliente: C-MS1081 **CLIENTE TEMPORAL**
 OP-2204800

Su referencia:

Con referencia a su petición, le ofrecemos lo siguiente (sujeto a modificaciones)

No.	Descripción	Pzas.	Espesor	Ancho	Longitud	Diá.	Cantidad	Precio unidad	Importe	Fecha
327040	Pure Iron AME Piece HF DIN 7527/6	1			1.000	300,00	555KG	13,20	7.326,00	01-09-22
	Código Taric 7326 19 10 1 FORGED PIECE ARMCO PURE IRON (A.P.I.) 99,85% Fe THE DIMENSION OF THE FORGED PIECE WILL EXCEED THE ABOVE MENTIONED FINISHED SIZE. THE GROSS DIMENSION OF THE FORGED PIECE WILL ALLOW TO OBTAIN THE ABOVE MENTIONED FINISHED SIZE AFTER MACHINING. THE MACHINING SHOULD BE DONE SYMMETRICALLY.									
327050	ARMCO® Pure Iron Piece HF DIN 7527/6	6			150	300,00	500KG	17,90	8.950,00	01-09-22
	Código Taric 7326 90 92 6 FORGED PIECES ARMCO PURE IRON (A.P.I.) 99,85% Fe THE DIMENSION OF THE FORGED PIECE WILL EXCEED THE ABOVE MENTIONED FINISHED SIZE. THE GROSS DIMENSION OF THE FORGED PIECE WILL ALLOW TO OBTAIN THE ABOVE MENTIONED FINISHED SIZE AFTER MACHINING. THE MACHINING SHOULD BE DONE SYMMETRICALLY.									
							Continua		16.276,00	

Segun nuestras condiciones generales de venta, los pesos indicados son aproximados y las fechas de entrega estimadas. Entrega con certificados. En ningún caso se aceptaran anulaciones de pedido. Todas las ofertas realizadas por nuestra compañía, los pedidos con nosotros y contratos realizados con nosotros estarán sujetos a las condiciones de venta de AK Steel International. Bajo previa demanda, les enviaremos de forma gratuita una copia de estas condiciones. Por favor, tengan en cuenta que ningunas otras condiciones generales de venta serán reconocidas por nosotros en cualquier otra circunstancia.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



OFERTA

Nº oferta

SQMS-220564

Pág 2

Fecha:

21-06-22

EXW - MAASTRICHT - THE NETHERLANDS	Continua	16.276,00
Total KG	1.055	
Total EUR		16.276,00

Agencia Transporte: RHENUS LOGISTICS
Reverse charge VAT

Eduardo Gulnovart

Segun nuestras condiciones generales de venta, los pesos indicados son aproximados y las fechas de entrega estimadas. Entrega con certificados. En ningún caso se aceptaran anulaciones de pedido. Todas las ofertas realizadas por nuestra compañía, los pedidos con nosotros y contratos realizados con nosotros estarán sujetos a las condiciones de venta de AK Steel International. Bajo previa demanda, les enviaremos de forma gratuita una copia de estas condiciones. Por favor, tengan en cuenta que ningunas otras condiciones generales de venta serán reconocidas por nosotros en cualquier otra circunstancia.

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo



FÁBRICA Y OFICINAS (SEDE) OFFICE HQ & FACTORY Av. de Cataluña, 6 08291 Ripollet, Barcelona Tel: (+34) 93 579 54 15 oortato@imamagnets.com	DELEGACIÓN MADRID SALES OFFICE MADRID C/ Arquímedes, 4-2ª Planta 01.201, 28914 Leganes Tel: (+34) 91 00 20 830 orizina.martin@imamagnets.com	DELEGACIÓN BILBAO SALES OFFICE BILBAO C/ José M ^o Ugarteburu, 7 Bajos 48007 Bilbao Tel: (+34) 94 44 80 888 pedro.zubieta@imamagnets.com	DELEGACIÓN ITALIA SALES OFFICE ITALY Via Industria, 38 20080, Milan Tel: (+36) (02) 94 00 137 oortato@imamagnets.com
DELEGACIÓN ALEMANIA SALES OFFICE GERMANY Tel: (+49) 303 080 90 74 kontakt@imamagnets.com	DELEGACIÓN FRANCIA SALES OFFICE FRANCE Tel: (+33) 182 882 180 commercial@imamagnets.com	DELEGACIÓN INGLATERRA SALES OFFICE UK Tel: (+44) 203 318 76 78 oortato@imamagnets.com	DELEGACIÓN PORTUGAL SALES OFFICE PORTUGAL Tel: (+351) 30 880 0711 oortato@imamagnets.com

www.imamagnets.com

INGENIERÍA MAGNÉTICA APLICADA S.L.

Av. de Cataluña, 5
08291 Ripollet
Barcelona
Tel (+34) 93 579 54 15
e-mail: info@imamagnets.com

OFERTA/OFFER

Cliente
Customer
ALEXANDRE CANALS ORDEIG
VAT Nº: ES

ESPAÑA

Nº Oferta	4.272
Offer Nº:	
Fecha	04-07-2022
Date	

Atención Sr/Sra:	ALEXANDRE CANALS ORDEIG
Attention to Mr/Mrs:	
Tel:	-

DPTO Comercial:	VIVIANA CHEREZ
Sales DEPT:	
Tel:	935795415 935445320

Cod. Producto Product Code	Referencia / Descripción Reference / Description	Unidades Units	Precio Unitario Unit Price	Total Total	Entrega Delivery
INEB01025	BLOQUE NEODIMIO 15*15*3 (N35-Ni) AXIAL 15(±0.1)*15(±0.1)*3(±0.1)	35,00	1,3000	45,50	STOCK

Validez de la oferta: 5 días / Offer validity: 5 days

Importe Neto / Net Amount 45,50

OBSERVACIONES / COMMENTS :
IVA+TRANSPORTE NO INCLUIDOS

PLAZO ENTREGA / DELIVERY TIME :

FIRMA Y SELLO :

CONDICIONES PAGO / PAYMENTS TERMS AND CONDITIONS:
TRANSF. AVANZ./ ADVANCE PAYMENT

SIGNATURE AND STAMP:

Ingeniería Magnética Aplicada S.L.U. Reg. Mercantil de Barcelona, Tomo 11.164, Libro 700, Seo.º, Folio 88, Hoja 12.877, Inscrip. 1ª. Sociedad Unipersonal n° C.I.F. B-58.078.768 / VAT ES.B.58.078.768



De conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Protección de Datos 2016/679, INGENIERÍA MAGNÉTICA APLICADA S.L.U. tratará la información que nos facilite en base al interés legítimo de desarrollar la relación comercial. Los datos no se cedrán a terceros, salvo en los casos en que exista una obligación legal o necesaria para la prestación del servicio. Puede ejercer sus derechos de acceso, rectificación, supresión u oposición, enviando un correo electrónico acreditando su identidad a rgpd@im.es. Puede consultar nuestra Política de Privacidad en www.im.es. Le informamos que puede presentar una reclamación ante la Agencia Española de Protección de Datos.

According to the terms of the General Data Protection Regulation 2016/679, INGENIERÍA MAGNÉTICA APLICADA S.L.U. will treat all information which you supply to us according to legitimate interests of developing the commercial relationship. Data will not be ceded to third parties, except in cases where there is a legal obligation or it is required for service delivery. You can exercise your rights of access, correction or opposition, by sending an e-mail, with proof of your identity, to rgpd@im.es. Our Privacy Policy can be consulted on the website www.im.es. We inform you that you can present a claim before the Spanish Data Protection Agency, or before the Controlling Authority in your country of residence.

F-04-005-01

Disseny d'un sistema de recuperació d'energia cinètica a partir del moviment longitudinal generat per les onades en una embarcació d'esbarjo