

# ESTUDI PRELIMINAR D'UN COL·LECTOR D'ENERGIA PIEZOELÈCTRIC EXCITAT PER FORCES MAGNÈTIQUES PER AL MEDI MARÍ

Álvaro Roca Rubí

Projecte Final de Grau (Grau de Mecànica). Departament de Mecànica de Fluids. Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (UPC).

## Resum

Durant el present Treball de Fi de Grau s'ha efectuat un estudi preliminar d'un nou col·lector d'energia piezoelèctric (a partir d'un ja existent) per alimentar dispositius de baix consum sota el mar.

El projecte s'ha separat en dues línies de treball diferenciades. Per una banda, es fa un estudi del moviment, pendolar del prototipus i es fa un disseny d'un nou mecanisme apte per poder fer experimentacions amb imants acoblats i que millorin el gir del dispositiu. Les possibles millores aniran encaminades, tant en l'aspecte de la velocitat com en els girs efectuats siguin homogenis.

Per altra banda, s'estudiarà i es faran experimentacions amb el mètode d'excitar els piezoelèctrics. En els anteriors prototipus de les mateixes característiques, la deformació dels piezoelèctrics era produïda per xoc. En aquest present dispositiu les deformacions del piezoelèctric seran produïdes per la força magnètica d'imants acoblats tant en el piezoelèctric, com en el pèndol.

## 1. Introducció

Des del *Centre de Desenvolupament Tecnològic de Sistemes d'Adquisició Remota i Tractament de la Informació* (SARTI) es crea una línia de treball on s'intenta alimentar un observatori marí OBSEA, que es troba al fons marí i a 4 km de la costa de Vilanova i la Geltrú.

En anteriors projectes desenvolupats en l'àmbit de *l'Energy Harvesting*, s'ha arribat a la construcció d'un prototipus de col·lector d'energia basat en el moviment pendolar i on la excitació dels piezoelèctrics, que són els encarregats de convertir l'energia mecànica en el elèctrica, és fa mitjançant xocs.

En el cas d'aquest Treball de Fi de Grau, l'aplicació que es pretén estudiar fa referència a l'alimentació de sensors sense fils de baixa potència. Actualment són nombrosos els treballs de recerca enfocats a la captació d'energia per a l'alimentació de xarxes de sensors sense cables (*Wireless Sensor Networks* (WSNs), degut a que el seu major

problema és la limitada capacitat de les bateries que els alimenten. A més, algunes d'aquestes xarxes de sensors poden trobar-se en llocs difícils d'accedir per el canvi de bateries i, a més, en condicions extremes les bateries es poden fer malbé, donant lloc a substàncies químiques que poden causar problemes mediambientals.

## 2. Disseny i construcció d'un nou dispositiu per efectuar els estudis preliminars.

La primera idea per efectuar els estudis era aprofitant la utilització d'un prototipus de col·lector d'energia ja construït. Però donats els requisits que eren necessaris que tingués el dispositiu per tal de fer les diferents configuracions amb imants, va sorgir la necessitat de dissenyar i construir un nou dispositiu.

Les característiques principals del nou prototipus són les següents:

- Moviment pendolar.
- Capacitat per ser provat en condicions que simulin el medi marí.
- Llibertat d'efectuar diferents configuracions amb imants.
- Disseny robust.

Tenint en compte aquestes característiques, s'ha dissenyat un prototipus preliminar (Figura 1) que permetrà dur a terme les experimentacions necessàries.

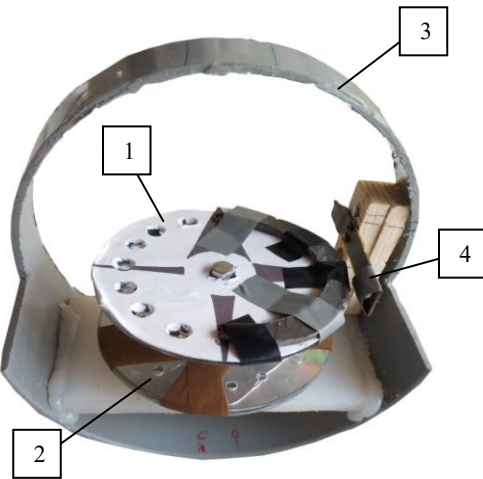


Figura 1. Construcció del dispositiu.

De la Figura 1, es poden diferenciar diferents parts del prototipus:

1. Part mòbil: Aquesta part del prototipus serà l'encarregada de convertir els moviments del mar en el moviment pendolar. També disposarà d'espais al voltant del perímetre per provar les configuracions magnètiques en les experimentacions.

Les diferents càrregues de pes que s'aniran provant al llarg de les proves també aniran allotjades a la part mòbil.

2. Part fixa: El cos principal d'aquesta part del prototipus és igual al de la part mòbil (forma circular i amb els espais per els imants), però fixada al suport de manera fixa.
3. Suport: Aquesta part serà l'encarregada de suportar tot el muntatge (part mòbil i part fixa) i, a més, permetrà fer les experimentacions d'una manera que es simulin les oscil·lacions de les onades del mar.
4. Piezoelèctric. El piezoelèctric muntat amb un imant al seu extrem, va acoblat al suport i a 2 cm del perímetre on aniran situats els imants de la part mòbil en futures configuracions.

### 3. Experimentació.

Un cop construït el nou dispositiu les experimentacions que es volen realitzar seran efectuades a una taula de proves, o taula oscil·latòria, (Figura 2) on es poden controlar les amplituds i les freqüències dels seus moviments, de manera que es podran simular els moviments que tindria el dispositiu si estigués situat a la superfície del mar.

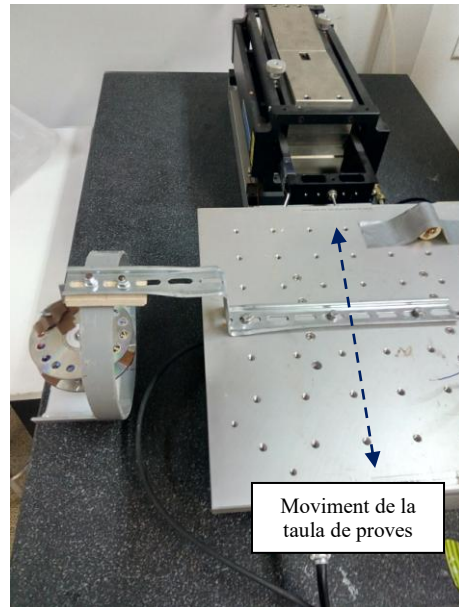


Figura 2. Taula de proves.

El moviment de la taula al prototipus es transmetrà amb un braç metàl·lic, el qual farà oscil·lar el suport i la part mòbil carregada amb una massa farà el moviment de pèndol.

#### 3.1. Proves de gir efectuades.

Per estudiar el gir del pèndol i fer l'estudi preliminar de la millora del gir d'aquest, s'han efectuat proves amb diferents configuracions magnètiques, provant diferents càrregues de pes i variant les amplituds i freqüències de la taula de proves.

Els resultats dels test de gir han sigut enregistrats amb un càmera i gravats a càmera lenta.

La configuració del prototipus que ha donat resultats més positius ha sigut la següent:

- Càrrega de 0.14 kg no uniformement repartida i formant un angle de  $180^\circ$  al voltant del perímetre del disc de la part mòbil.
- Distància entre la part mòbil i la part fixa de 16 mm.
- Els paràmetres de la taula de proves:  $A=500$  mV i  $T=2,5$ s.

Per aquesta configuració i sense càrrega magnètica s'ha enregistrat un velocitat de gir de 0.37 rps.

Els resultats obtinguts en carregar magnèticament el prototipus (Figura 3), són també de 0.37 rps en el millor del casos.

Per obtenir la velocitat de gir de 0.37 rps els imants s'han col·locat tant en la part mòbil (part superior) com en la part fixa (part inferior) a  $180^\circ$  de la massa i orientats de manera que es repel·leixen.

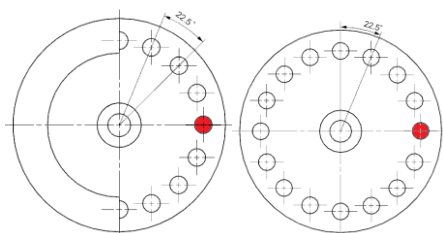


Figura 3. Configuració magnètica del prototipus (esquerra disc superior/dreta disc inferior).

Els resultats d'aquest test no han sigut considerat com a vàlids, ja que no es millora el gir del pèndol en efectuar les diferents configuracions magnètiques. Però els valors de l'amplitud i freqüència de  $A = 500 \text{ mV}$  i  $f = 400 \text{ mHz}$ , que eren amb els qual el pèndol efectuava millor els girs, s'agafaran per efectuar les futures proves amb els piezoelèctrics.

En provar el dispositiu amb aquesta freqüència i amplitud s'observa que es produeix un angle de  $15^\circ$  respecte a la vertical (Figura 4).

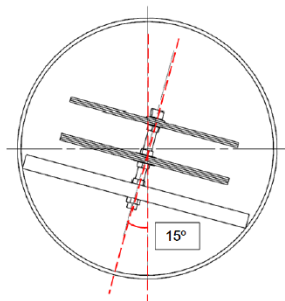


Figura 4. Angle d'inclinació del dispositiu a  $A = 500 \text{ mV}$  i  $f = 400 \text{ mHz}$ .

### Simulacions ORCAFLEX

Un cop observat l'angle de  $15^\circ$  del dispositiu a la taula de proves, s'ha efectuat una simulació amb el programa ORCAFLEX per tal de poder saber a quines condicions del mar es podrien donar aquestes oscil·lacions.

Es simular una boia de aproximadament 2 m de diàmetre (molt major que el nostre dispositiu) amb els següents paràmetres:

- Alçada de les onades simulades:  $H = 3.5 \text{ m}$ .
- Període de les onades:  $T = 5 \text{ s}$ .

En fer la simulació s'obté un angle de  $17^\circ$  (Figura 5).

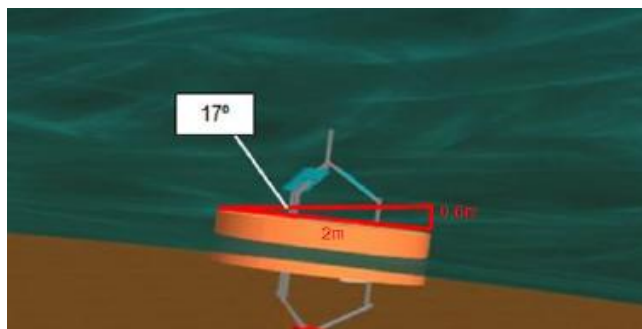


Figura 5. Angle d'inclinació de la boia simulada.

Amb l'amplitud de 500 mV i la freqüència de 400 mHz, segons l'escala Douglas aquestes condicions del mar serien donades en una anomenada mar gruixuda.

### **3.2. Proves amb piezoelèctrics efectuades.**

Les següents proves efectuades han sigut dirigides a l'estudi i la possible millora del mètode d'excitació del piezoelèctric.

Respecte a projectes d'aquests tipus de col·lectors d'energia anteriors, la deformació dels piezoelèctrics era produïda per xoc.

En aquest present projecte la deformació del piezoelèctric serà produïda per la força obtinguda per un camp magnètic.

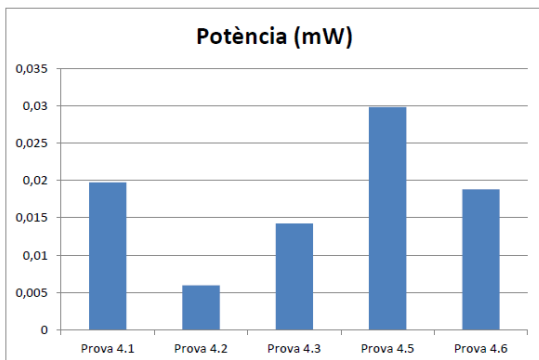
Les diferents proves efectuades durant l'experimentació han seguit la mateixa metodologia que els tests de gir, però ara els resultats obtinguts seran les energies produïdes pels piezoelèctrics i seran obtingudes amb un oscil·loscopi.

De les proves efectuades i dividides en tres diferents tests:

- Primer test. Prototipus amb un piezoelèctric
- Segons test: Prototipus amb dos piezoelèctrics connectats en sèrie.
- Tercer test: Canviant l'orientació dels imants situats a la part mòbil del prototipus de manera que en trobar-se amb l'imant del piezoelèctric ho faran de cara (en comptes que de costat com en els anteriors test).

El test amb millors prestacions ha sigut el segon, ja que la seva potència ha sigut gairebé del doble si es compara amb el primer test (amb un sol piezoelèctric). Amb el tercer test no s'han obtingut resultats positius degut a que la situació dels imants empijoraven el gir del pèndol fins i tot arribant a aturar-lo.

La Gràfica 1 mostra els resultats obtinguts durant les proves del segon test en quan a potència obtinguda per una excitació:



Gràfica 1. Potència per excitació en les proves del test 1.

De la Gràfica 1 es pot observar que la màxima potència obtinguda en una prova és de 0.03 mW.

Aquesta potència de 0.03 mW encara no seria vàlida per alimentar un sensor de baix consum (mínim de 1 mW), però s'ha de tenir en compte les reduïdes dimensions del dispositiu i que només s'han utilitzat dos piezoelèctrics.

De les configuracions provades la que dona millors resultats és la següent (Figura 6):

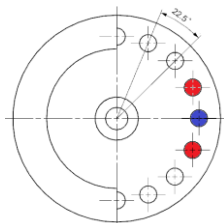


Figura 6. Configuració magnètica de la part mòbil.

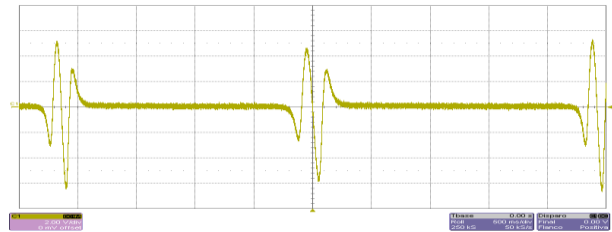
L'imant situat a 180° repel·leix a l'imant situat al piezoelèctric i els altres dos, situats a banda i banda del primer, seran orientats de manera que s'atreuen amb el piezoelèctric.

La amplitud de la taula de proves en l'execució d'aquestes proves ha estat de 500 mV i una freqüència de 400 mHz, ja que com s'ha observat en l'anterior test és la que donava millors resultats.

En la realització de la prova s'han obtingut un resultats de:

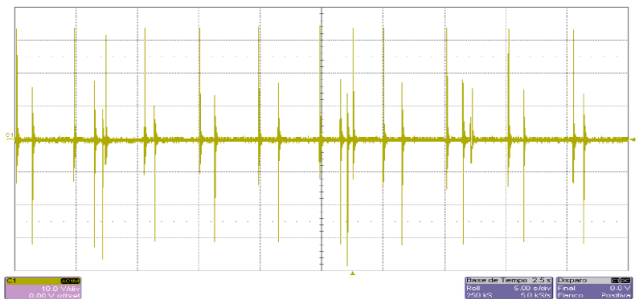
- Potència= 0.03 mW.
- Energia per excitació= 0.012 mJ.
- Energia capturada per minut= 0.27 mJ.

La Gràfica 2 mostra la ona enregistrada amb l'oscil·loscopi.



Gràfica 2. Gràfica descrita per l'oscil·loscopi

Si es compara aquesta gràfica (Gràfica 2) amb una obtinguda d'un anterior prototipus (Gràfica 3) pertanyent al Treball de fi de Grau: *Disseny, construcció i experimentació d'un prototipus de col·lector d'energia a partir de l'onatge marí mitjançant piezoelèctrics de vibració* s'observen dues gràfiques molt diferents.



Gràfica 3. Gràfica descrita per l'oscil·loscopi en el Treball de Fi de Grau: *Disseny, construcció i experimentació d'un prototipus de col·lector d'energia a partir de l'onatge marí mitjançant piezoelèctrics de vibració.*

En comparar les dues gràfiques es pot observar la diferència en els pics de voltatge entre una i altre.

- Pic de voltatge del nou dispositiu: 5 V.
- Pic de voltatge del prototipus anterior: 34 V.

Per tant, es pot arribar a la conclusió que en excitar el piezoelèctric per xoc es produeix més voltatge. En quant a la potència total obtinguda i l'energia capturada per minut no s'han pogut efectuar comparacions degut a les diferents metodologies en per efectuar l'experimentació.

#### 4. Conclusions.

Les conclusions extretes en la part dels estudis del moviment de gir del prototipus no han sigut positives, degut a que les diferents configuracions magnètiques provades no han millorat ni la uniformitat del gir del pèndol ni la velocitat d'aquest. Malgrat que no s'ha aconseguit una configuració que millori el gir, sí s'han aconseguit els paràmetres de la taula de proves pels quals el dispositiu (sense càrrega magnètica) efectuava el girs de manera

homogènia i en un mateix sentit. Aquests paràmetres ( $A = 500 \text{ mV}$  i  $f = 400 \text{ mHz}$ ) han servit per l'elaboració dels següents tests.

En quant a l'estudi del canvi del mètode d'excitació del piezoelèctric, els resultats obtinguts sí han demostrat que el piezoelèctric podria ser deformat (encara que no arriba a  $1 \text{ mW}$ ), en un futur prototipus definitiu, per les forces magnètiques. Però per aquest present estudi preliminar encara els valors de les potències i les energies obtingudes són inferiors als obtinguts en passats estudis de col·lectors d'excitació del piezoelèctric per xoc.

## Referències

BASAGNI, S., NADERI, M.Y., PETROLI C., SPENZA, D., Chapter 1: "*Wireless sensor networks with energy harvesting*". Mobile Ad Hoc Networking: Cutting Edge Directions, John Wiley & Sons, Inc., Hooken, NJ, 2013.

VIDAL RUBIO, Jordi; *Disseny, construcció i experimentació d'un prototipus de col·lector d'energia a partir de l'onatge marí mitjançant piezoelèctrics de vibració*. UPC, Vilanova i la Geltrú: Projecte Final de Grau, 2014.

PIQUET BERNET, Ferran; *Disseny i caracterització d'un col·lector d'energia giratori amb piezoelèctrics d'excitació per vibració a l'observatori OBSEA*. UPC, Vilanova i la Geltrú: Projecte Final de Grau, 2014.