

La moguda electromagnètica



Descripció de la proposta

La moguda electromagnètica

L'itinerari La moguda electromagnètica és una introducció experimental i heurística als conceptes de l'electromagnetisme bàsic, amb referències històriques inspirades principalment en els descobriments d'Ørsted i de Faraday.

S'adreça a nois i noies de 2ⁿ d'ESO, per bé que aquesta és una recomanació indicativa.

La moguda electromagnètica consta de les següents unitats:

1. Investigant els imants
 - 1.1. Els imants
 - 1.2. Cosa de bruixes?
 - 1.3. Els espectres dels imants. El camp magnètic.
2. El descobriment i la pregunta d'Ørsted
3. Investigant els espectres electromagnètics
 - 3.1. Camps electromagnètics
 - 3.2. Més sobre Ørsted
 - 3.3. El motor de Faraday
4. La invenció de l'electroimant
5. Petita història del motor elèctric
 - 5.1. Projecte 1: Disseny i construcció d'un motor de dos braços
 - 5.2. Projecte 2: Disseny i construcció d'un motor de tres braços

5.3 Projecte 3: Motors controlats digitalment. Snap i Arduino. Principi del motor pas a pas.

6. Disseny i construcció d'un generador simple

6.1. La resposta de Faraday a la pregunta d'Ørsted

6.2. Disseny i construcció del generador

7. Construcció d'aerogeneradors:

7.1. Aerogenerador d'eix horitzontal tipus Tripala







7.2. Aerogenerador d'eix vertical tipus Savonius

L'estratègia didàctica es basa en plantejar idees, preguntes i problemes que originaran projectes per construir màquines i observacions experimentals, a partir de les quals els nois i les noies hauran d'inferir conceptes, procediments i generar preguntes. La proposta desenvolupa una via cognitiva de caràcter heurístic que promou la descoberta i la construcció conceptual de coneixements bàsics de l'electromagnetisme, tot seguint l'esquema natural de l'aprenentatge per assaig-error:

Problema inicial ➡ Solució ➡ Emergència d'errors ➡ Nou problema ➡ Solució ➡ Emergència d'errors ➡ etc.

Cal esmentar abans de comentar l'estratègia didàctica de cada unitat, que d'una manera deliberada he esquivat la presentació de «fórmules quantitatives» com són el Flux Magnètic, la Força Magnetomotriu, la Intensitat del Camp, etc. Per sobre de les relacions quantitatives he primat les preguntes pertinents, les observacions i les exploracions físiques de caire qualitatiu i les composicions geomètriques que se'n deriven d'aquestes, ja que, des d'una perspectiva epistemològica, són les que determinaran, més endavant, una correcta construcció comprensiva de les fórmules físiques.

Quant al material adreçat a l'alumnat, cada unitat conté una **Guia** detallada de les activitats i de les informacions pertinents estructurada en paràgrafs numerats, tots ells precedits per d'una sèrie d'icones que indiquen la naturalesa cognitiva de l'activitat:

 Idea  Exploració  Construcció
 Pregunta  Informació  Redacció.

La majoria de les unitats contenen també un **Full de treball** on els alumnes han de deixar constància escrita i documentada dels projectes, a fi que es pugui fer un seguiment més detallat

de l'activitat i avaluar-la.

En la Guia didàctica adreçada al professorat de cada unitat s'inclou el llistat dels materials necessaris per dur a terme els projectes i les activitats plantejades. La majoria estan plantejades per realitzar-se al taller o al laboratori.

Seguidament es detalla l'estratègia didàctica de cada unitat.

1. Investigant els imants

1. Els imants
2. Cosa de bruixes?
3. Els espectres dels imants. El camp magnètic.

1.1. Els imants.

Es necessari que cada alumne disposi del clàssic l'imant rectangular (d'alnico). D'entrada, tots els imants no han de tenir els pols identificats o estar pintats amb els dos colors típics (vermell i verd), ja que així es facilita el plantejament de dos problemes: la identificació de pols i la descoberta de la interacció dels pols magnètics, activitats a les quals s'hi dedica una part del full de treball. Així que es recomana pintar-los d'un sol color. La senyalització dels pols es fa enganxant gomets de dos colors.



Aquesta part també treballa el concepte d'**inducció magnètica** a partir d'un parell d'observacions i apunta cap a una explicació molecular dels cossos magnetitzats. Un concepte al què es recurrirà en posteriors unitats.

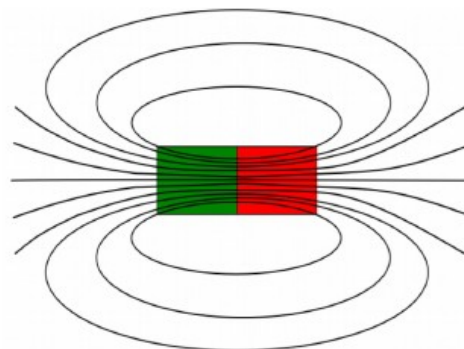
1.2. Cosa de bruixes?



Havent identificat els pols dels imants que tenim a les mans i formulada la regla de l'atracció i la repulsió dels pols magnètics, és passa a inferir l'existència del camp magnètic de la terra mitjançant una observació experimental al pati de l'institut, amb els imants ja marcats. Aquí s'elabora una explicació científica al fenomen que tots els imants suspesos d'un fil queden orientats cap el Nord i el Sud geogràfic.

1.3. Els espectres dels imants. El camp magnètic.

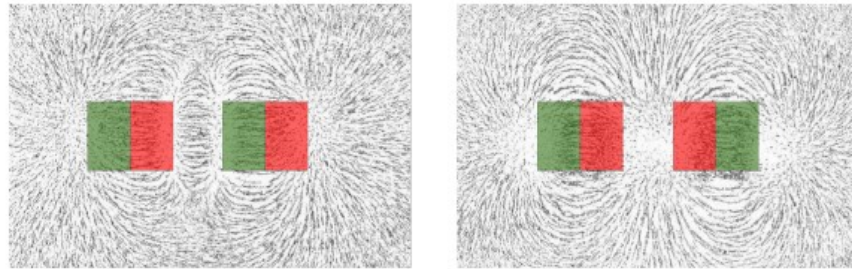
Es comença amb la típica experiència de visualitzar l'espectre magnètic d'un imant amb llimadures de ferro. Basant-se en la idea de l'inducció magnètica i de l'atracció entre pols diferents, s'elabora una explicació al fet que les llimadures quedin orientades i se'n fa un model geomètric, de la curvatura de les línies del camp, insistint en què el camp magnètic és continu, i no discret com suggereix la representació per les línies del camp. Es construeix una senzilla maqueta d'aquesta, que serà molt útil en unitats posteriors.



La primera intuïció observable del camp magnètic és limitada a un espai corbat que és més intens o dens en els pols. En la primera representació geomètrica del camp magnètic no s'hi pinta cap

sentit per a les línies del camp, ja que idea implícita i subjacent en la ment dels nois i noies és que el camp magnètic és un simple espai d'influència i prou, per això no hi ha cap necessitat de representar-hi un sentit.

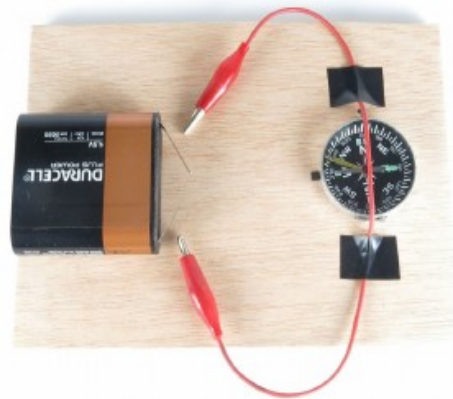
Però aquest model geomètric es posarà en entredit perquè no aportarà res a una explicació dels espectres de l'atracció i la repulsió entre pols.



A partir d'aquest moment es comença a explicitar una visió del camp magnètic com alguna cosa més que un **espai estàtic** d'influència, ja que «indueix» l'emergència de forces dirigides cap als pols en els objectes de ferro que hi entren. Així es suggereix una visió dinàmica del camp que implica o suggereix la idea d'un **fluid** magnètic, que connota una idea de moviment.

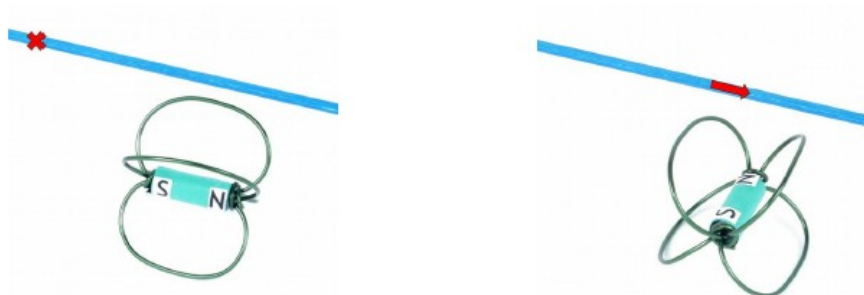
Una idea que pot representar-se geomètricament dotant de sentit les línies de camp. I es comprova que, amb aquesta ampliació conceptual, el sentit de les línies de camp també representa l'atracció o la repulsió entre pols diferents, ja que hi ha una continuïtat del sentit de les línies de dos pols oposats, de manera que representa bé l'observació espectral. El mateix passa amb dos pols iguals, en què el sentit de les línies entre els dos pols és contrari i corrobora l'observació espectral.

2. El descobriment i la pregunta d'Ørsted



Es comença reproduint l'experiència d'Ørsted i es planteja una observació sistemàtica que dona pistes per formular el coneixement que se n'extreu de l'evidència experimental: l'electricitat crea un camp magnètic.

Es fa servir la maqueta del camp magnètic per representar geomètricament el fenomen, que més endavant explicarà el funcionament del motor de Faraday. Aquí s'obren noves preguntes quant a la forma del camp magnètic d'un conductor, que es respondran a la unitat següent.



Segueix una activitat per generar i formular la pregunta crucial que planteja el descobriment d'Ørsted, que els alumnes han de redactar de manera clara i explícita: si l'electricitat pot generar un camp magnètic, un camp magnètic podrà generar electricitat?

Pregunta que Faraday respongué poc temps després ideant el primer generador elèctric de la història de l'electricitat. Fet que inspirarà una unitat dedicada al generador elèctric.

3. Investigant els espectres electromagnètics

3.1. Camps electromagnètics

Partint de l'experiència d'Ørsted i de la pregunta sobre la forma del camp magnètic d'un conductor es proposen dues observacions. De nou tornem a usar les llimadures de ferro.

S'observa primer l'espectre magnètic d'una espira i s'infereix el model geomètric del camp d'un conductor a partir del model geomètric elaborat en la primera unitat. Es construeix una maqueta del camp magnètic d'un fil conductor.

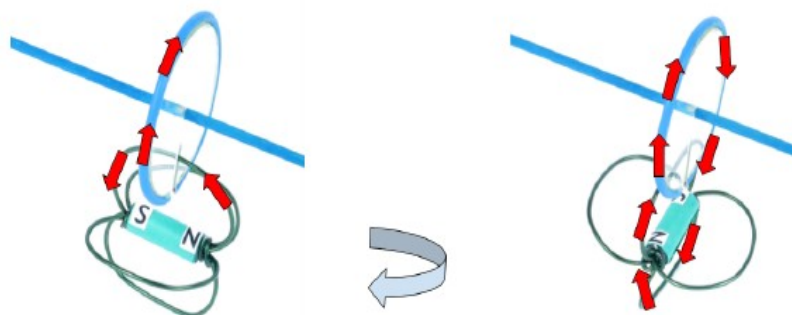


La següent observació, amb dues espires, evidencien la identitat entre els camps magnètics d'un imant permanent i el d'un conjunt d'espires.



3.2. Més sobre Ørsted

Es recupera l'experiència d'Ørsted i se n'explica la dinàmica amb l'ajut de les maquetes del camp magnètic d'un imant (elaborat en la unitat sobre els imants) i la d'una espira. Es tracta de comprendre com interactuen un camp magnètic mòbil (la brúixola) i un camp electromagnètic fix (conductor) quan imant i conductor són paral·lels, és a dir, es tracta de visualitzar que la tendència de les línies d'ambdós camps a unir-se en un mateix sentit farà moure l'agulla de la brúixola.



3.3. El motor de Faraday

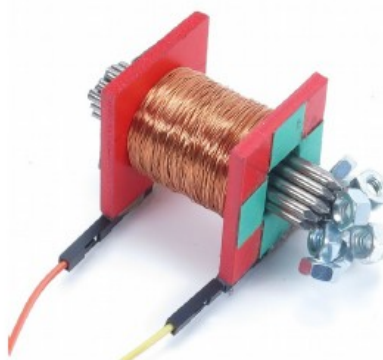


La unitat acaba amb una reproducció simplificada del motor de Faraday, amb l'objectiu d'entendre, amb l'ajuda de les maquetes dels camps d'un imant i d'un conductor lineal, que el fil de coure gira per l'acció combinada de la interacció entre dels dos camps esmentats i la seva posició.

4. La invenció de l'electroimant

Es proposa la construcció d'un electroimant amb un carret sòlid i amb unes mides determinades, ja que s'utilitzarà en una altra unitat (La resposta de Faraday).

Es proposa l'observació del camp magnètic de l'electroimant i la relació de la seva polaritat amb el sentit del corrent elèctric.



5. Petita història del motor elèctric.

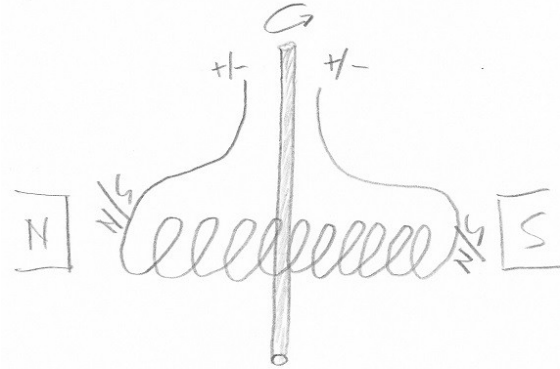
5.1. Projecte 1: Disseny i construcció d'un motor de dos braços

Es planteja el problema de com fer voltar un eix usant els coneixements apresos sobre els imants i els electroimants, és a dir, una màquina que transformi l'energia elèctrica en energia mecànica.

Després de generar col·lectivament idees se'n promou la següent:

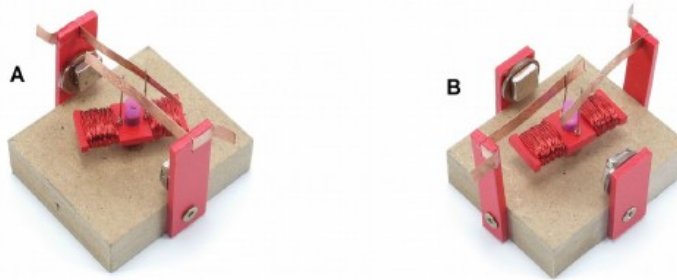
«Imagineu un electroimant amb un eix central (E) que pot girar lliurement. Aquest electroimant *rotor* està situat entre dos imants permanents fixos, encarats amb pols diferents. Si se sap com **controlar** el canvi del sentit del corrent de l'electroimant en els moments adequats, les forces d'atracció i de repulsió entre els pols dels imants i els de l'electroimant faran que el **rotor giri de manera contínua**».

S'esbossa la idea:



Per reforçar la comprensió de la idea es disposa d'una interacció feta amb Geogebra. D'entrada es veu que podem posar l'eix rotor en dues menes de carcasses: una amb l'eix horitzontal i l'altra vertical. S'opta per desenvolupar la més econòmica, la d'eix vertical, per bé que l'altra també hi és fotografiada. Es construeix un electroimant rotor de dos braços. L'armadura del rotor es pot fer manualment o bé dissenyar-la amb un programa tipus Tinkercad per imprimir-la en 3D. S'hi adjunta el fitxer. No obstant això és un bon exercici de geometria dibuixar tant el patró en 2D com dissenyar-la en 3D.

S'explora la posició de les escombretes en relació als contactes de l'electroimant rotor i la posició dels imants permanents. Amb aquesta finalitat es disposa d'una simulació feta amb Geogebra. Es conclou que hi ha dues possibilitats i es construeixen els dos prototips. Es pot fer que uns alumnes en facin un i la resta l'altre.



El prototip funcionarà, però necessitarà d'un impuls inicial per arrencar.

[Vegeu aquí el vídeo](#)

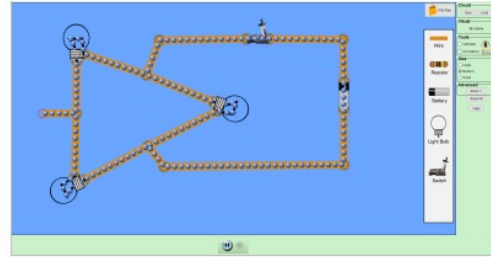
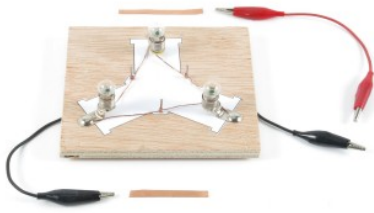
Es constata que en la idea inicial s'hi havia donat per fet que el motor arrencaria a la primera. Es tracta d'un **error** emergent, imprevist. De manera que **emergeix un nou problema**, la solució del qual donarà pas a un segon projecte més complex.

5.2. Projecte 2: Disseny i construcció d'un motor de tres braços

Es desmunta i s'examina un motor petit i s'observa que el seu rotor té tres braços.



Aquesta és la idea inicial per resoldre el problema plantejat. Tres braços eviten la trampa de la simetria de dos braços i han de permetre crear un parell de forces d'arrencada de bon començament. Es dissenya l'armadura i s'usa el Geogebra per dibuixar la seva forma. Cop a l'anterior projecte també es disposa del fitxer per imprimir l'armadura en 3D i del patró en 2D. Es bobina, es posen les tres agulles de contacte i s'entra a explorar el circuit en sèrie dels tres electroimants en funció dels diferents contactes que es poden produir. Possibilitats que s'exploren de manera sistemàtica tot muntant físicament el circuit o a través dels simuladors del Phet (Universitat de Colorado), al quals recorrerem en més d'una ocasió.



El problema central és arribar a **controlar** els contactes de les tres agulles de manera que quan un braç passi davant d'un imant, es desactivi el seu electroimant, fet que ens dóna la clau per esbrinar la posició dels imants i de les escombretes. De nou s'utilitza una simulació feta amb Geogebra per comprendre com s'han de situar uns elements en relació als altres. Acabat el prototip es prova.



[Vegeu aquí el vídeo](#)

S'observa que no sempre arrenca, la qual cosa obliga a analitzar on es troba l'**error**. S'identifica l'error en observar l'especejament del motor que hem desmuntat, quan es veu que els imants permanents gairebé ocupen la meitat d'una volta, la qual cosa intensifica la seva acció. Això obliga a construir una nova peça i a afegir més imants. Finalment es comprova que aquest últim prototip arrenca de manera molt eficaç.



[Vegeu aquí el vídeo](#)

5.3. Projecte 3: Motors controlats digitalment amb Snap i Arduino. Principi del motor pas a pas.

Al llarg dels dos projectes anteriors, s'insisteix en el concepte de **control**, és a dir, que el principal problema és controlar que els braços de l'electroimant estiguin inactius quan s'encaren amb els imants permanents i actius amb la polaritat adequada quan s'hi aproximen o se'n distancien. Des d'aquest punt de vista, el sistema escobretes—agulles de contacte és un **sistema de control mecànic**.

Com que disposem de mitjans i recursos digitals, es planteja el projecte de construir un motor en què aquest control es faci electrònicament i es programi, de manera que el motor serà més simple des del punt de vista mecànic: un imant solidari a un eix i aquest a l'interior d'una bobina que es controlada per una placa Arduino més una placa controlador de motors i programada amb Snap.

El programa Snap actua com un commutador doble invertint, cada mitja volta, la polaritat de la bobina.

S'usa el generador elèctric proposat en la unitat dedicada al Generador elèctric.



Aquest projecte, doncs, només es podrà fer després d'haver fet l'esmentada unitat.

[Vegeu aquí el vídeo](#)

6. Disseny i construcció d'un Generador elèctric simple

6.1. La resposta de Faraday a la pregunta d'Ørsted

És una continuació de la unitat **L'experiència i la Pregunta d'Ørsted**. Es respon amb el generador de Faraday (dibuix de l'esquerra) a la pregunta: Si l'electricitat pot crear magnetisme, el magnetisme podrà crear electricitat?. És proposa la construcció partint del mateix carret (i la bobina) que s'utilitzà per fer l'electroimant, ja que les mides de l'interior d'aquest es van preveure en funció dels imants i també per usar-se en aquesta unitat.

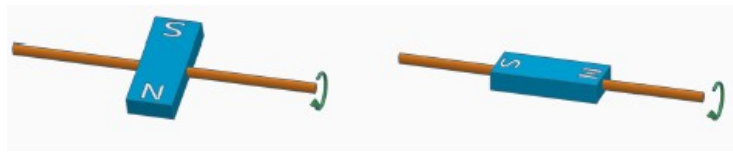


Una vegada comprovat que el LED de la bobina s'encén i que el voltímetre marca tensió positiva i negativa alternadament s'introdueix la idea **d'inducció electromagnètica** mitjançant l'observació de la relació entre la rapidesa de la variació del camp magnètic i la intensitat de la llum del LED i el moviment de l'agulla del voltímetre. A partir de les evidències de la il·luminació intermitent del LED i del moviment altern de l'agulla del voltímetre, per analogia, s'infereix que la naturalesa del «corrent generat» no se s'assembla gens al corrent continu, i aquí s'introdueix el concepte de corrent altern i la diferenciació amb el corrent continu. S'ofereix una simulació elaborada amb el Geogebra per visualitzar la gràfica del corrent altern. I no sobrarà, per part del docent, una petita explicació històrica dels avatars del corrent altern en els seus inicis (Confrontació entre Tesla i Edison).

Es continua amb una exploració sistemàtica de les relacions geomètriques entre les línies de camp i les espirals de la bobina tot usant la maqueta del camp magnètic d'un imant (feta a la unitat sobre els imants) i la d'una espira.

6.2. Disseny i construcció del generador

La segona part planteja el problema de dissenyar un generador més eficient que el de Faraday. Es parteix de la intuïció que un moviment giratori de l'imant a l'interior de la bobina proporcionarà una variació del camp magnètic més ràpida que la del moviment alternatiu. El problema que s'obre és esbrinar quin ha de ser l'eix de gir de l'imant per tal que es produeixi la variació del camp magnètic en la bobina i que les línies de camp tallin verticalment les espirals d'aquesta.



De manera que es planteja una observació i una exploració sistemàtiques que es realitzen amb les maquetes de l'espira i del camp magnètic:

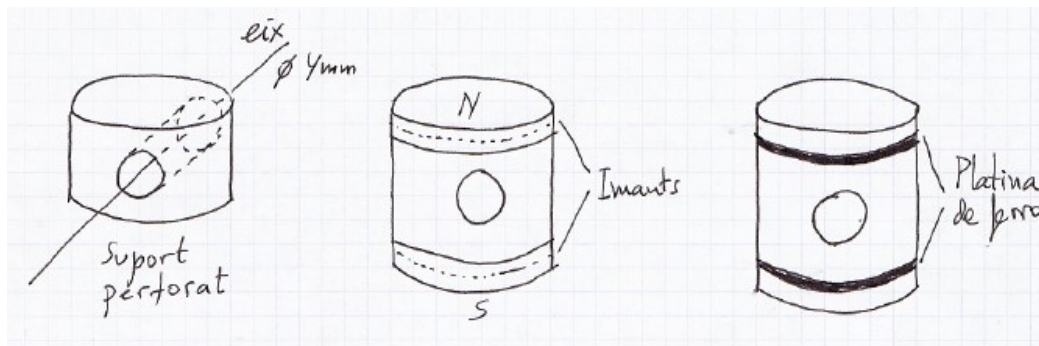


L'exploració arriba a la conclusió que l'eix de gir de l'imant ha de ser transversal a aquest i perpendicular a les espiras (tercera opció començant per l'esquerra).

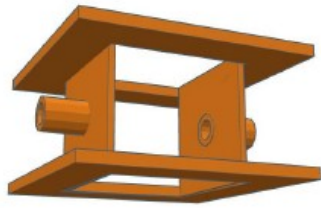
A partir d'aquest coneixement tècnic ja podem entomar la construcció del Generador.

6.2. Disseny i construcció del generador

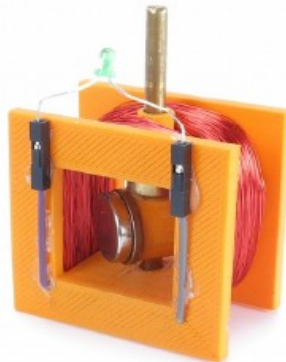
Es comença esbossant l'imant rotor i les seves mides:



Després s'hi adapten les mides del carret.



S'ofereix tant la possibilitat d'imprimir-lo en 3D com de fer-lo a partir de placa de PVC expandit de 3 mm de gruix. Vet aquí el Generador elèctric simple. (Que també s'usarà com a principi del motor pas a pas)



7. Construcció d'aerogeneradors: Tripala i Savonius.

Aquesta unitat tanca l'itinerari La moguda electromagnètica.

Es proposen dos projectes:

- Aerogenerador d'eix horitzontal tipus Tripala
- Aerogenerador d'eix vertical tipus Savonius)

Ambdós projectes cal contextualitzar-los en els diferents mètodes de producció d'energia mecànica (hidràulica, tèrmica, nuclear, i eòlica, principalment) i explicitar les conseqüències que cada un d'ells té per al medi ambient.

També cal emfatitzar que tots aquests mètodes (llevat del fotovoltaic) són per resoldre el problema principal de la generació del corrent altern, que consisteix en obtenir energia mecànica per fer girar els generadors.



Són dos projectes de fàcil realització i consistents. Amb un ventilador d'una mínima potència, el LED s'encén. Ambdós projectes necessiten com a peça fonamental el generador dissenyat i construït a la unitat anterior.

El temps de construcció a l'aula taller dependrà molt de si es donen les peces elementals ja preparades i tallades o els han de preparar les noies i els nois. En el tripala la major dificultat que trobaran serà tallar les pales a partir d'un tub. En el Savonius seran les dues bases que subjecten les làmines. Per aquest últim es facilita un fitxer per imprimir-les en 3D.

El procés de construcció està documentat amb fotografies detallades de cada peça, i amb les mides indicades. Cada projecte està especejat en les tres parts bàsiques que formen un aerogenerador: Carcassa (Savonius) o columna de suport (Tripala), Rotor i Generador. I cadascuna d'aquestes en les peces bàsiques.

Alumnat a qui s'adreça especialment

La moguda electromagnètica és un itinerari didàctica adreçat a alumnes de segon d'ESO.

Autoria

Jordi Achon i Masana