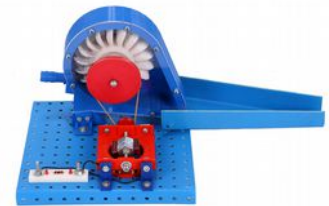
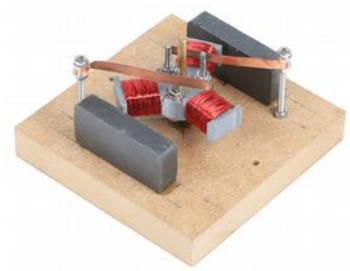


CONSTRUÏNT CONEIXEMENT STEAM: IMANTS, MOTORS I GENERADORS



Guia didàctica

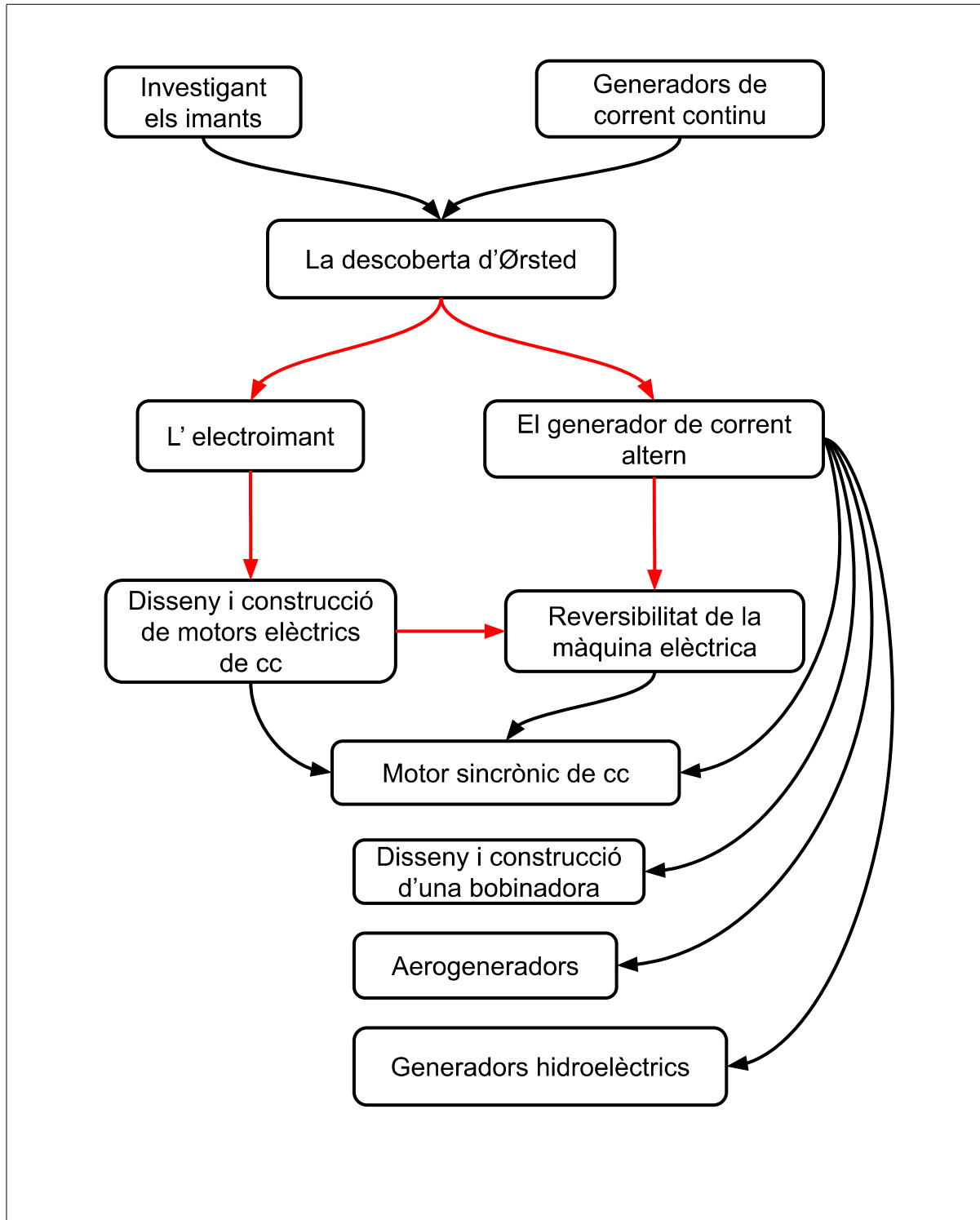
Jordi Achón
Jordi Regalés
Jaume Riera

CESIRE
Departament d'Educació
Generalitat de Catalunya

BCN 2019



Gràfic conceptual de la proposta



Els punts bàsics de l'estratègia didàctica d'aquesta proposta són:

- Situar el coneixement objecte d'aprenentatge en el seu context i mentalitat històrica.
- Concebre els coneixements que són objecte d'aprenentatge com a problemes a resoldre, de manera que la resolució del problema esdevé el projecte a realitzar.
- L'esquema del procés de creació científica és: Problema inicial \Rightarrow Temptativa de solució \Rightarrow Emergència d'errors \Rightarrow Nou problema \Rightarrow Temptativa de solució \Rightarrow Emergència d'errors \Rightarrow etc.
- Les dues principals vies cognitives per resoldre un problema-projecte són la producció d'heurístiques i l'establiment d'analogies, per tant, són susceptibles de contenir errors.
- La producció d'heurístiques es compartida per les noies i els nois mitjançant pluges d'idees que són conduïdes i regulades pel docent.
- Els errors emergiran durant el procés de resolució creant conflictes cognitius que cal explotar didàcticament.
- La resolució del problema obre noves perspectives cognitives, de manera que el coneixement obtingut no és tancat sinó que s'obre a nous projectes.
- S'utilitzen tots els recursos a l'abast (simulacions interactives, disseny i impressió 3D i plaques de control) per tal de comprendre els problemes i realitzar els enginyers necessaris per resoldre'ls.

La proposta a l'alumnat es desenvolupa a través de les unitats següents:

1. Investigant els imants (+ Full de treball)
2. Generadors de corrent continu
3. La descoberta d'Ørsted (+ Full de treball)
4. L'electroimant (+ Full de treball)
5. Disseny i construcció de motors de cc (+ Full de treball)
6. El generador de corrent altern (+ Full de treball)
7. Reversibilitat de la màquina elèctrica
8. Control electrònic del rotor
9. Disseny i construcció d'una bobinadora
10. Aerogeneradors
11. Generadors hidroelèctrics

Les unitats estant dissenyades com una **guia cognitiva** per a l'alumnat. Algunes d'elles contenen, a més, un **full de treball** on els nois i les noies reporten la seva activitat per tal de poder-se avaluar.

Cada unitat està estructurada per activitats i cadascuna d'elles encapçalada per una icona que representa quina mena d'activitat és:



Signe d'**atenció**. La qüestió que s'exposa és determinant per a tot el projecte.



Es proporciona una **informació** rellevant que cal llegir i comprendre.



El text o bé formula una **pregunta** o la demana.



Es demana una **idea** o es proposa una **pluja d'idees** col·lectiva, de la qual n'ha de brotar una idea per compartir.



Signe d'**exploració**. S'ha arribat a un punt del projecte en què s'obren diverses possibilitats. Cal explorar-les totes. En una d'elles hi ha un **descobriment** a fer.



Mans a l'**obra**. Cal concretar i **construir** una idea o un prototip. Cal usar eines i materials.

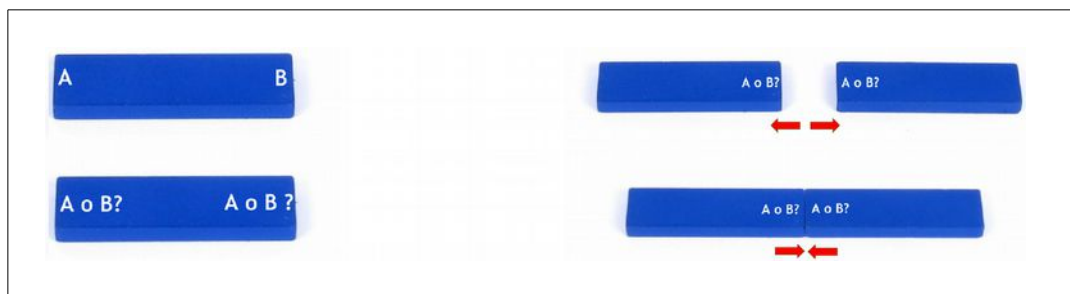


Signe de **raonament**. Es demana una explicació raonada sobre algun aspecte del projecte.

Tot seguit comentem, unitat per unitat, les seves claus didàctiques:

1. Investigant els imants

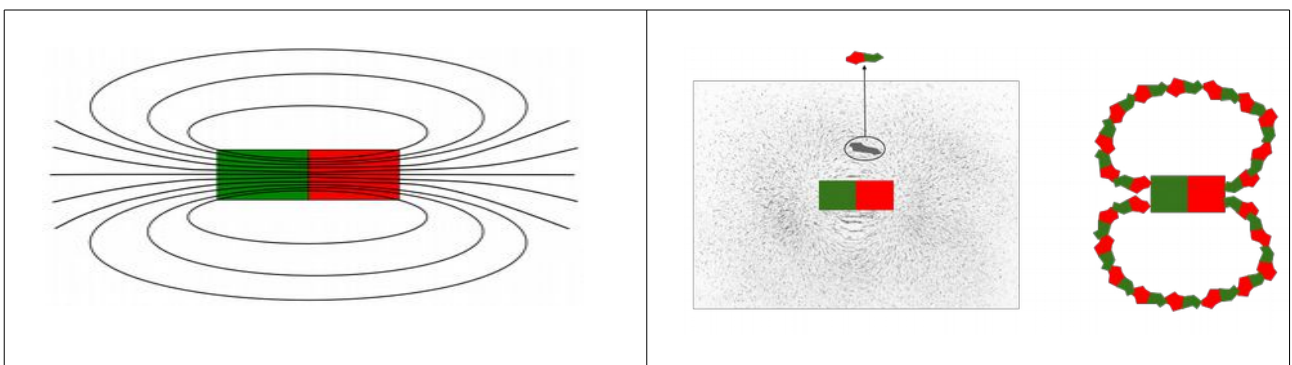
Es necessari que cada alumne disposi del clàssic l'imant rectangular (d'alnico). D'entrada, tots *els imants no han de tenir els pols identificats*, és a dir, no han d'estar pintats amb els dos colors típics, ja que així es facilita el plantejament de dos **problemes-pregunta**: com s'identifiquen els pols i la descoberta de la interacció dels pols magnètics, activitats a les quals s'hi dedica una part del full de treball. La senyalització dels pols es fa enganxant gomets de dos colors.



S'introdueix el concepte d'inducció magnètica a partir d'un parell d'observacions experimentals que apunta cap a una explicació molecular dels cossos magnetitzats. Un concepte al qual es recorrerà en posteriors unitats.

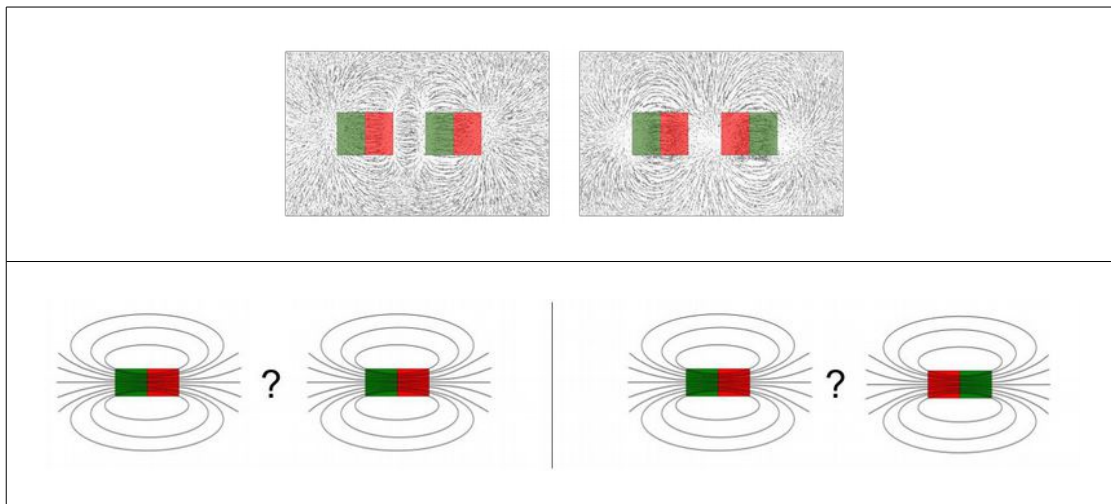
Els espectres dels imants. El camp magnètic.

Es comença amb la típica experiència de visualitzar l'espectre magnètic d'un imant amb llimadures de ferro. S'exploren els espectres de les interaccions possibles entre dos o més imants. Basant-se en la idea de la inducció magnètica i de l'atracció entre pols diferents, s'elabora una explicació **raonada** al fet de què 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.



La primera percepció 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 la 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 permet construir un model geomètric dels espectres de l'atracció i la repulsió entre pols. Vet aquí un bon problema a resoldre:



La solució passa per dotar les línies de camp d'un sentit.

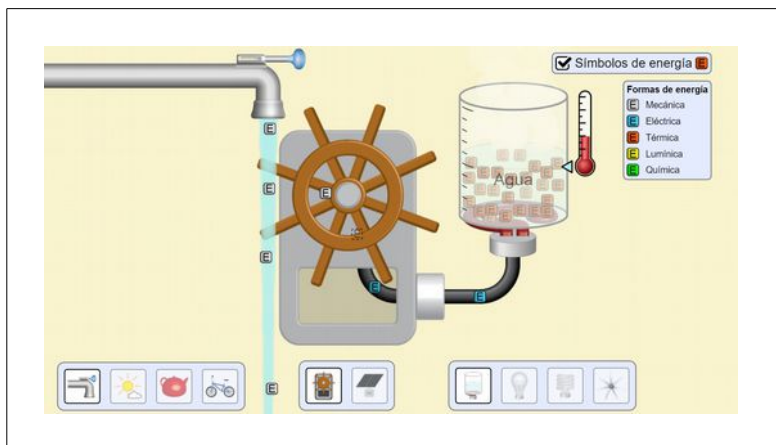
El camp magnètic terrestre

Havent identificat els pols dels imants que tenim a les mans i formulada la regla de l'atracció i la repulsió dels pols magnètics, es 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 **raonada** al fenomen que tots els imants suspesos d'un fil queden orientats cap el Nord i el Sud geogràfic.

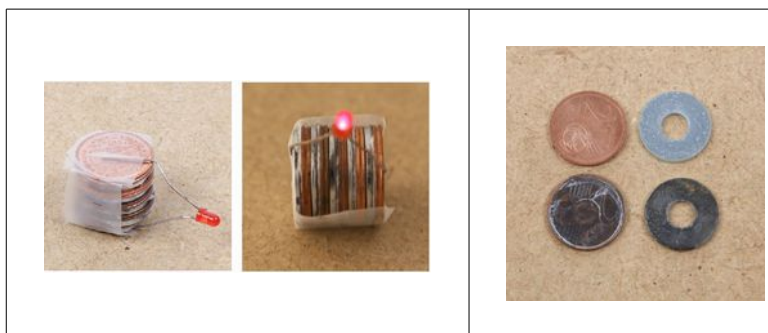


2. Generadors de corrent continu

La unitat comença plantejant el concepte d'energia usant el [simulador del Phet](#) per explorar tres característiques bàsiques de l'energia: que pot emmagatzemar-se, que hi ha diferents formes d'energia (mecànica, elèctrica, química, lumínica, tèrmica, nuclear, etc.) i que pot transferir-se d'un cos a un altre adoptant una nova forma.

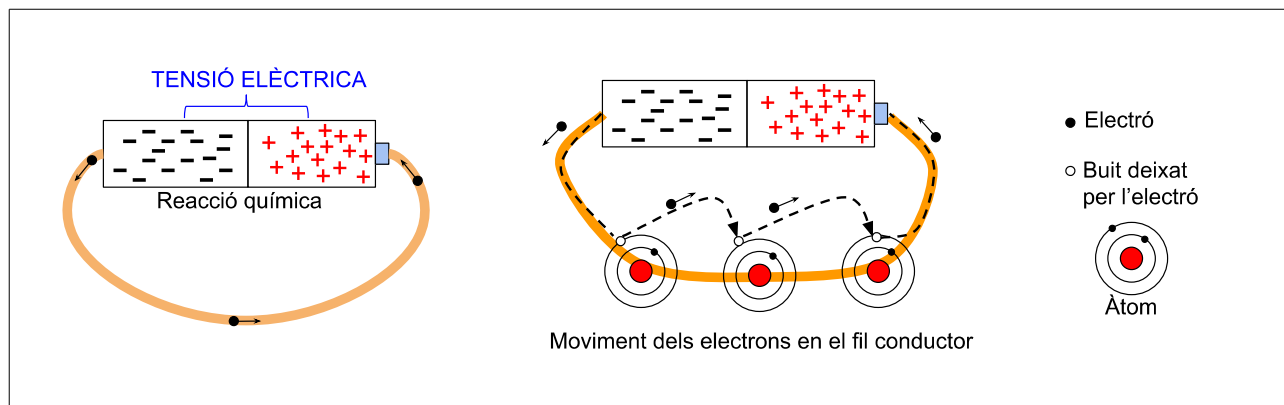


Segueix una petita introducció històrica muntant una pila de Volta usant monedes de coure, volanderes cincades i draps impregnats de vinagre. Es constata la producció d'energia elèctrica connectant un LED. Després s'observen els canvis químics que es produeixen en els materials emprats.



A partir d'aquí s'orienta una **pluja d'idees** cap a la conceptualització de la transferència energètica que s'ha produït: energia química → canvi químic dins la pila → energia elèctrica. Tot seguit s'intenta la construcció d'una explicació científica del fenomen que s'ha produït en la nostra pila. Cal que l'alumnat hagi après els conceptes bàsics de l'àtom. La finalitat és arribar a un model elemental de com es pot produir el moviment dels electrons i de l'equilibri elèctric, és a dir, que no entrem a estudiar les reaccions químiques que s'esdevenen a la pila. Ajudarà a

entendre el moviment de càrregues elèctriques una **analogia** amb l'electricitat estàtica, tot experimentant amb la següent [simulació](#) del Phet. El cas és arribar a representar gràficament un model elemental de la pila elèctrica, introduint també el concepte qualitatiu de tensió elèctrica i de circuit elèctric (ja que sense un circuit extern, la pila no servei de res)

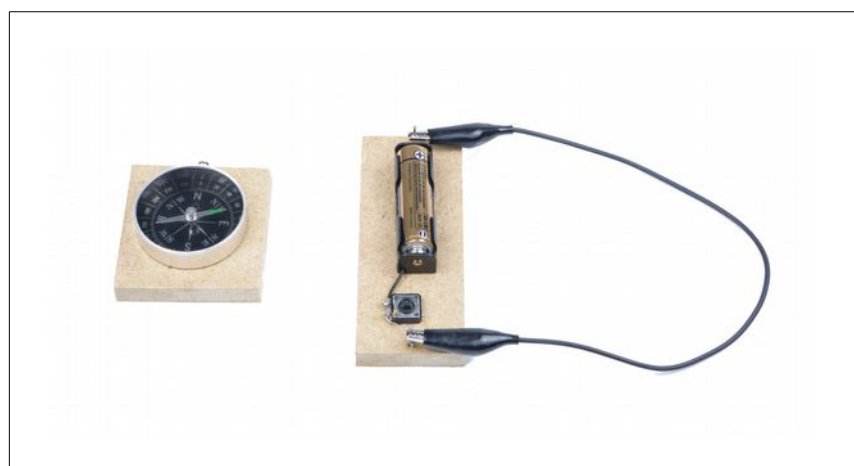


La unitat acaba jugant amb el [simulador de circuits elèctrics](#) del Phet que permet muntar i **explorar** circuits elèctrics elementals. No s'entra a les lleis d'Ohm

3. El descobriment i les preguntes d' Ørsted

L'experiència Ørsted és un punt crucial en tota aquesta proposta, perquè d'ella en derivarem els electroimants i el principi del generador elèctric.

Iniciem la unitat amb una petita introducció històrica sobre el descobriment del camp magnètic creat per un conductor elèctric. A tal efecte és munta el següent dispositiu que invita a **explorar** els moviments de la brúixola quan s'acosta al fil conductor:



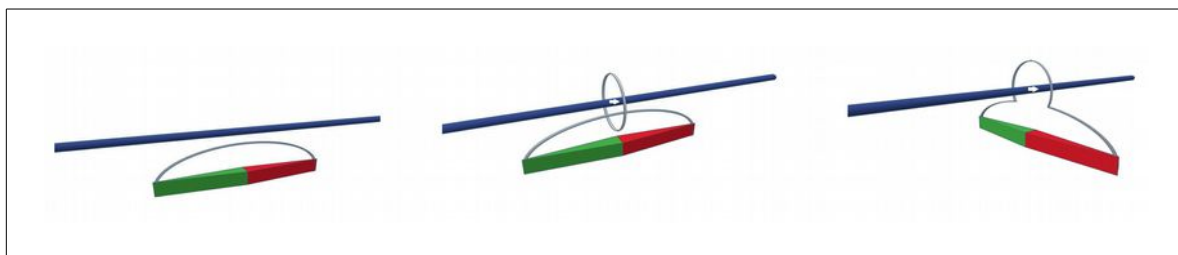
Les noies i els nois observaran que la brúixola no reacciona en qualsevol posició respecte del fil, de manera que aquí hi ha una descoberta pràctica a fer. Primerament, hauran de redactar una **descripció** acurada del fenomen físic que s'esdevé i després hauran de formular una primera **pregunta**: què causa el moviment sobtat de la brúixola?. Una **pluja d'idees** ha de produir una resposta sorprenent que ens conduirà al descobriment del físic danès: el corrent elèctric crea magnetisme.

El descobriment d'Ørsted és molt fèrtil en **preguntes** i en **exploracions**.

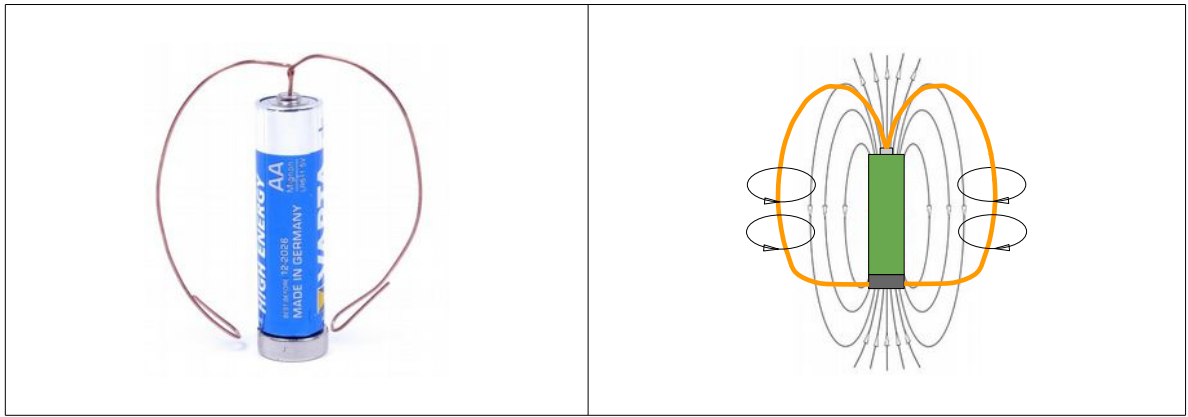
A) Si el corrent elèctric crea magnetisme, com és el seu camp magnètic? A tal efecte hem dissenyat un suport per observar els espectres magnètics d'un fil conductor. En el text hi ha l'enllaç per descarregar-se el fitxer per imprimir-lo en 3D.



Una vegada representat el camp magnètic d'un conductor elèctric ja és possible confeccionar un model geomètric que expliqui el moviment de la brúixola, sempre que entri en joc el coneixement ja treballat de la interacció entre pols magnètics, a saber: dos imants que es poden moure lliurement, tendiran a unir-se formant un sol camp magnètic.



A partir d'aquest model es pot muntar un senzill prototip del motor de Faraday i entendre com funciona:



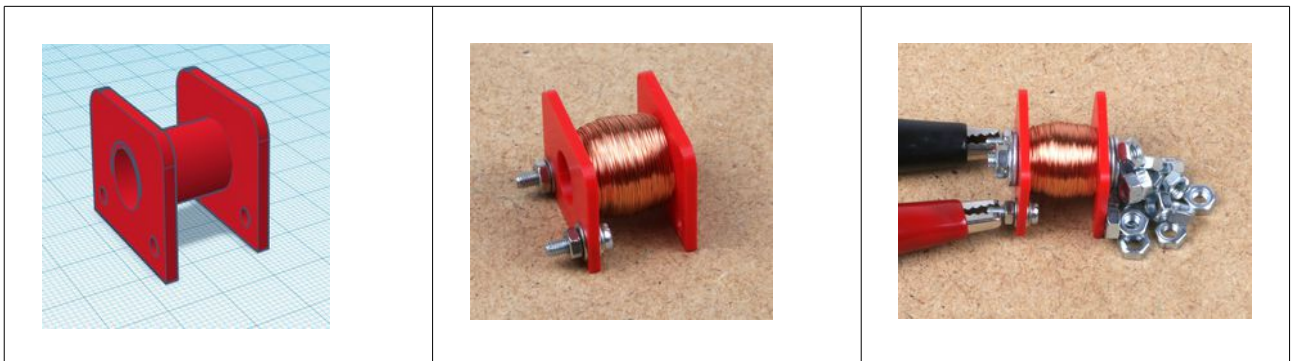
B) Una nova pregunta és conduirà a dissenyar l'electroimant. Com que el corrent elèctric crea un camp magnètic al voltant del conductor, de fet, tenim un imant a voluntat. Però és un imant d'una intensitat molt feble, aleshores, la pregunta és com podem incrementar la intensitat d'aquest camp magnètic: amb més tensió? Amb més fil?

C) Si es continua amb la **pluja d'idees** és pot fomentar una **heurística de la interrogació** consistent en commutar els elements de la proposició bàsica del descobriment d'Ørsted: si el corrent elèctric crea magnetisme, pot el magnetisme crear corrent elèctric? Pregunta que ens obrirà la unitat 6, dedicada al generador elèctric.

4. La invenció de l'electroimant

Si en l'experiència d'Ørsted s'exploren més possibilitats que la de posar el fil en paral·lel a l'agulla de la brúixola, com per exemple donar una volta de fil a la brúixola, s'observa que el cop brusc que fa girar l'agulla és més intents. De manera que si fem moltes voltes (*espires*) sumarem el magnetisme de cada volta. D'aquesta **idea** en surt el **prototip** del nostre electroimant: fer una **bobina** amb un sol fil, de manera que caldrà disposar d'un carret.

En el text de l'alumnat hi trobareu l'enllaç per descarregar el fitxer del carret de la bobina.

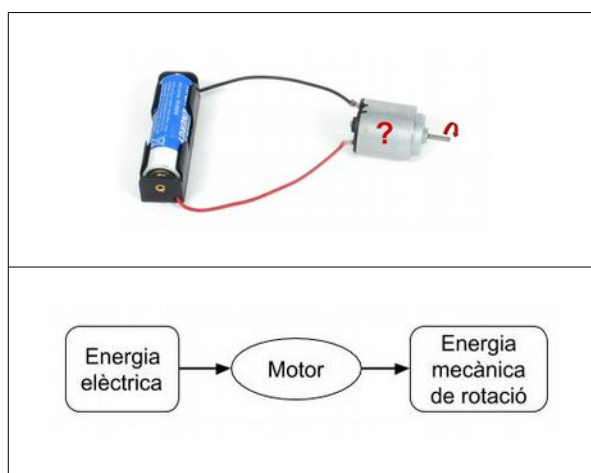


Tres **preguntes** ens obriran tres **exploracions**, de les quals s'inferiran tres coneixements bàsics de l'electroimant que seran emprats en unitats posteriors:

- Què passa si fem més o menys espires?
- I si variem la tensió del corrent elèctric?
- I si invertim el sentit del corrent elèctric?

5. La petita història del motor elèctric

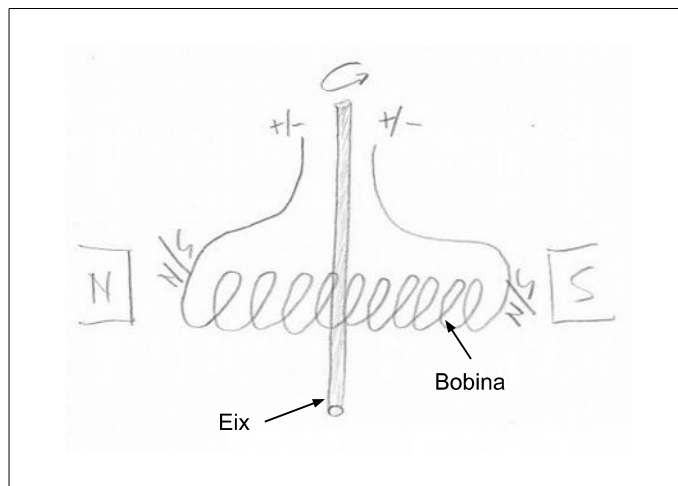
La unitat comença plantejant una **pregunta** que resumeix la següent fotocomposició:



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. Els nois i les noies saben que:

- a) Si es canvia el sentit del corrent elèctric d'un electroimant (**commutació**), aleshores, la seva polaritat magnètica canvia, és a dir, que l'extrem que és Nord canvia a Sud i viceversa.
- b) Les forces d'atracció i repulsió entre pols magnètics, ja siguin d'imants permanents o d'electroimants, poden produir moviment: pols iguals s'allunyen i pols diferents s'acosten.

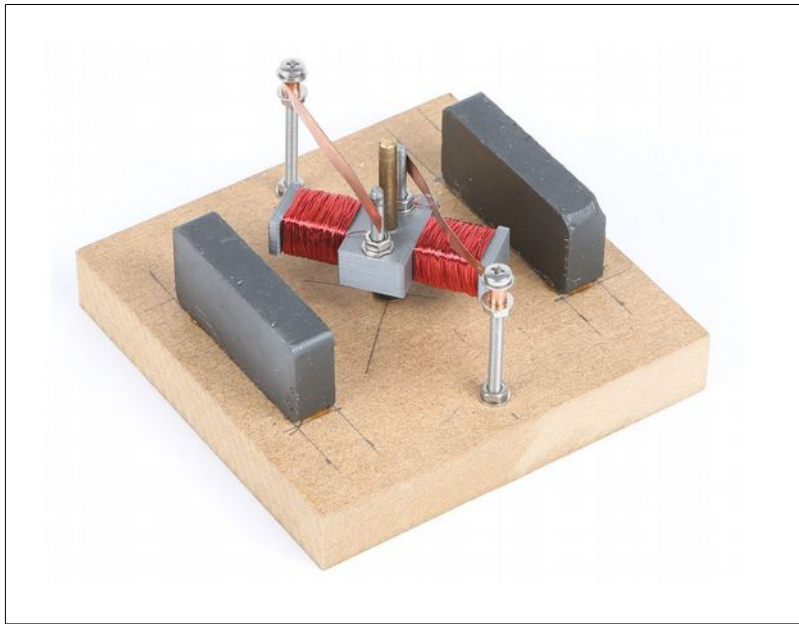
Amb aquests dos coneixements es possible **idear** un prototip. Caldrà conduir la pluja d'idees cap a aquest esquema:



- Un electroimant fixat a un eix central que gira lliurement.
- Aquest electroimant *rotor* està situat entre dos imants permanents fixos, amb pols diferents encarats.
- Si se sap com canviar el sentit del corrent de l'electroimant en els moments i en els posicions adequades, les forces d'atracció i de repulsió entre els pols dels imants i els de l'electroimant produiran un **parell de forces** de sentit contrari que faran **girar el rotor**.

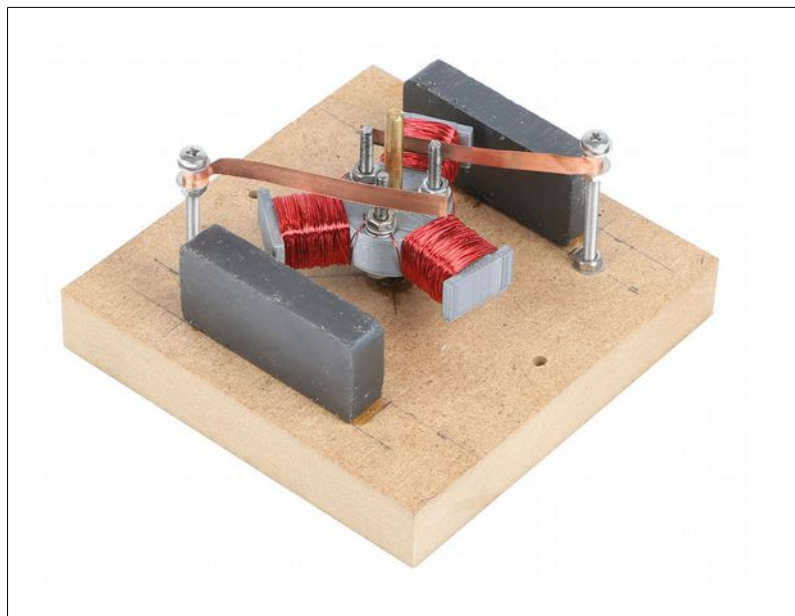
Una observació didàctica cal fer abans de continuar. El prototip és, certament, molt intuïtiu i només resoldrà parcialment el problema inicial, però això ho sap qui coneix bé l'electromecànica, que no és el cas del nostre alumnat. De manera que, una vegada construït el prototip n'emergiran errors, l'eliminació dels quals ens conduirà a un nou prototip. Ens trobem, doncs, davant la típica estratègia de resolució de problemes que hem esmentat al començament de la guia: Problema inicial \Rightarrow Temptativa de solució \Rightarrow Emergència d'errors \Rightarrow Nou problema \Rightarrow Temptativa de solució \Rightarrow Emergència d'errors \Rightarrow etc.

La construcció d'aquest prototip és un primer projecte per abordar un segon projecte més elaborat i eficient:



Si s'és curós en la construcció, aquest motor funcionarà, però sovint necessitarà d'una **empenta inicial** per arrencar, la qual cosa farà emergir els errors del prototip. Caldrà avaluar el prototip tot **identificant** la causa de què sovint no arrenqui tot sol és que les escombretes no fan contacte amb els borns de l'electroimant.

La nova temptativa passarà per desmuntar un motor de cc convencional i observar que té tres braços. La qual cosa soluciona el problema que acabem d'apuntar. Hi haurà tres borns de contacte i dues escombretes, de manera que aquestes sempre tocaran dos borns, i els tres braços produiran tres forces en acció.



Tot i que el prototip de tres braços arrencarà bé, comprendre'n la dinàmica de forces que s'hi

produeix no és gens intuïtiva. Per això és proposa una simulació de com s'activen i es desactiven els electroimants del rotor i la seva interacció amb els imants permanents.

6. El generador de corrent altern



La unitat s'obre amb la **pregunta** amb la qual hem tancat la unitat dedicada al descobriment d'Ørsted: pot el magnetisme crear corrent elèctric? Després d'una petita introducció històrica es planteja la següent experiència, usant l'electroimant que hem dissenyat amb uns quants imants de neodimi de diàmetre adequat i un voltímetre (millor analògic). Després de comprovar que en introduir o treure l'imant de l'interior de la bobina es produeixen polsos elèctrics de signe contrari, es plantegen diverses **preguntes** i es descriuen els resultats que s'**observen**.

- Què passa si invertim l'imant i l'introduïm dins la bobina?
- I si l'anem ficant i traient contínuament?
- I si l'anem ficant i traient a poc a poc?
- I si l'anem ficant i traient molt de pressa?
- I si el fem rodar a l'interior de la bobina?

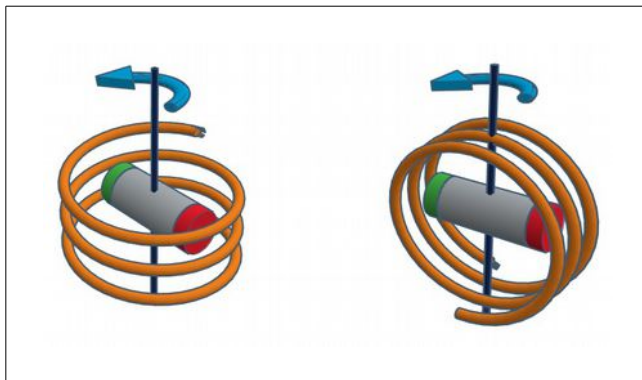
L'objectiu d'aquestes **exploracions** és arribar a la conclusió de què el corrent altern és genera quan:

- El camp magnètic creua verticalment les espiras de la bobina, de manera que es produeix una **variació** del flux magnètic en el temps.
- Que quan més **ràpida** sigui la variació del flux magnètic, més tensió elèctrica es genera.

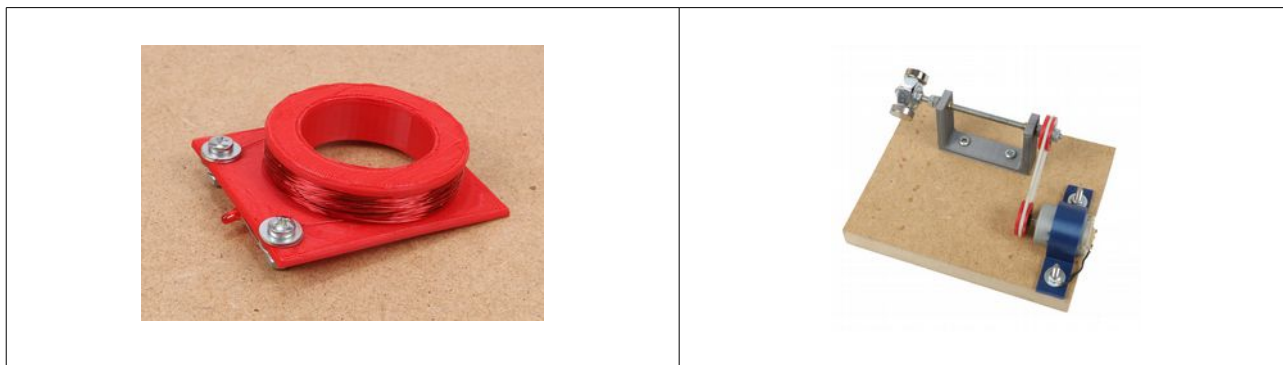
Un simulador del [Phet](#) ens ajudarà a consolidar aquests dos principis del generador de corrent altern.

Tot seguit, es planteja el **problema** de dissenyar un generador eficient.

A partir de l'experiència que tenim caldria construir un enginy que produís un moviment lineal i alternatiu de l'imant a l'interior de la bobina. Però, des del punt de vista mecànic, és més simple i eficient un enginy que el fes rotar. I aquí se'ns planteja un **nou problema**, perquè s'obren dues possibilitats per explorar:

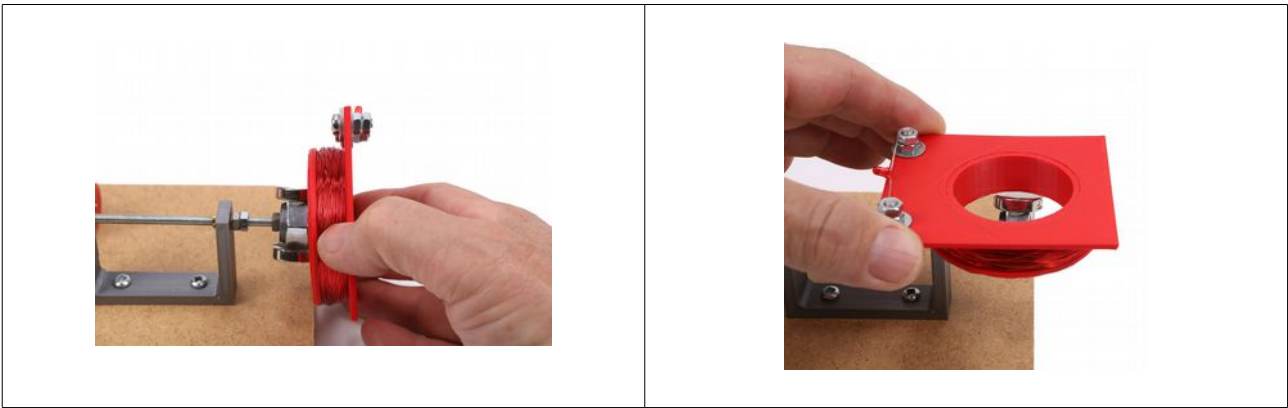


Ens cal una bobina més ample per **explorar** les dues possibilitats, ja que ambdues semblen, aparentment, complir amb les dues condicions que hem apuntat anteriorment. Dissenyem un carret adequat per fer l'exploració, bobinarem i connectem un LED a la bobina per tal de detectar si es genera corrent. A més, per fer voltar ràpidament l'imant, l'acoblarem a un eix motor. L'acoblament de l'imant ha de permetre que volti de manera longitudinal o transversal.

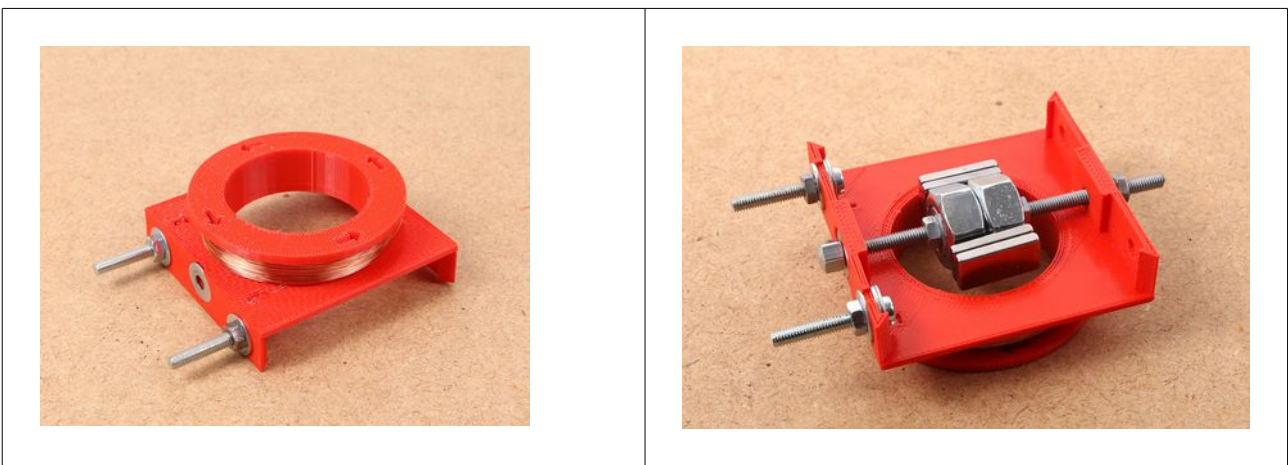


Descobrirem que la posició correcta de l'imant respecte de la bobina és la indicada a la fotografia B.

A	B
----------	----------



Ara només queda integrar l'eix de gir en el carret per completar el disseny:



Si acoblem el generador a un motor i variem la velocitat podrem mesurar les variacions de la tensió. A més, si disposeu d'un oscil·loscopi es poden visualitzar les sinusoides de la tensió generada. També hem dissenyat una mena d'indicador del corrent altern amb un senzill circuit amb dos LED's.

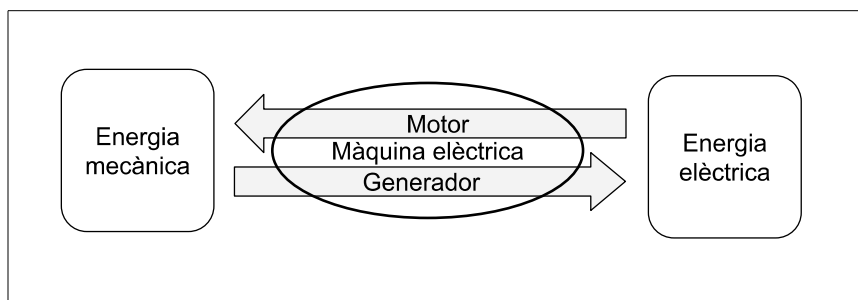


7. La reversibilitat de la màquina elèctrica

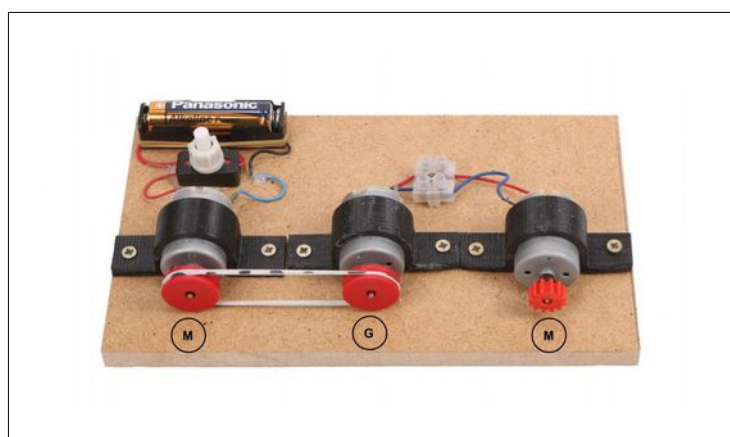
Hem construït un motor i un generador elèctric. El motor transforma energia elèctrica en mecànica i el generador transforma l'energia mecànica en energia elèctrica. Per a construir les dues màquines hem usat imants i bobines, és a dir, els mateixos recursos tecnològics. A partir d'aquesta observació plantejem preguntes:

- Si es gira manualment un motor, produirà electricitat? És a dir, funcionarà com a generador elèctric?
- I si connecto un generador a una font elèctrica, és posarà a voltar? És a dir, funcionarà com a motor?

Es tracta de formular el principi de la reversibilitat de la màquina elèctrica. Són davant la mateixa màquina, l'única diferència és quina mena d'energia hi entra.

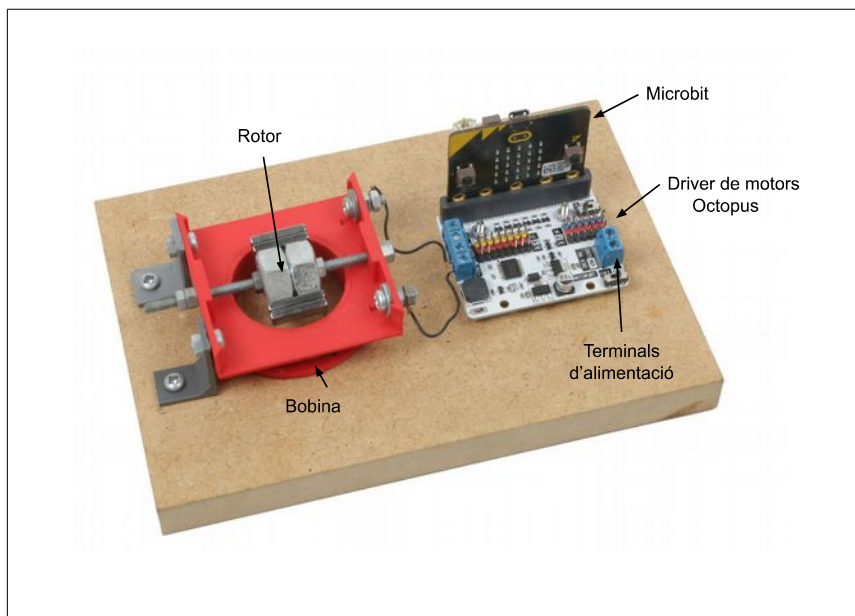


Amb tres motors 1,5 v es fa una maqueta per il·lustrar aquest principi:



8. El control electrònic del rotor. Principi del motor pas a pas.

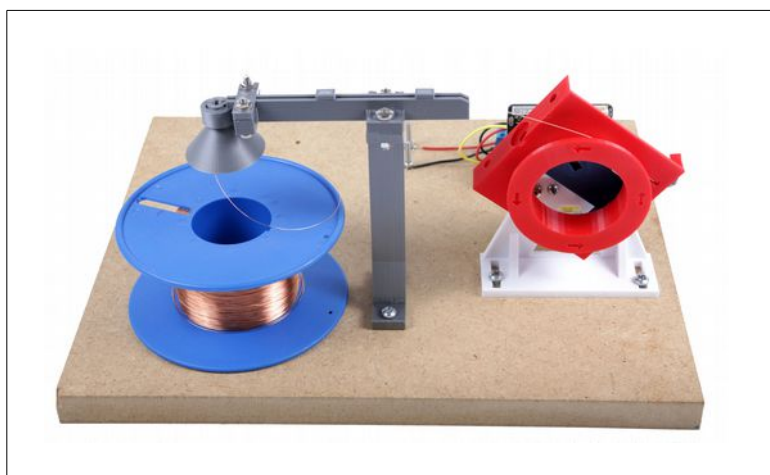
El generador que hem fet ens pot servir també per il·lustrar com controlar electrònicament un rotor d'imants. A tal efecte hem fet servir una placa [Microbit](#) i el driver de motors [Octopus](#). La idea bàsica consisteix en variar la polaritat magnètica de la bobina commutant contínuament el sentit del corrent elèctric. El programa és a l'abast dels nois i noies, si disposen d'uns mínims coneixements de programació.



9. La bobinadora

Disposar d'una màquina de bobinar pot ser molt útil, sobretot si hem de bobinar molts carrets. El projecte que es presenta en aquest unitat és una senzilla bobinadora que controla la quantitat de voltes que fa carret, és a dir, el nombre d'espines de la bobina. En el text de l'alumnat hi ha els enllaços als fitxers stl per imprimir les peces.

La bobinadora la controla una placa [Microbit](#) i el driver de motors [Octopus](#). També hi trobareu una explicació detallada del programa.



10. Aerogeneradors

Els aerogeneradors tripala formen part del nostre paisatge i ens els trobem arreu del territori. Us adonareu que l'interior del carret del nostre generador té un diàmetre de 40 mm, cosa que permet encastar-lo fàcilment en un tub de PVC del mateix diàmetre. Amb un ventilador domèstic generen prou tensió per visualitzar-la amb l'indicador de LED's.



És un projecte ràpid de construir i l'única cosa més minuciosa de fer són les pales, que usem també tub de PVC però de 50 mm.

El mateix generador també ens servirà per construir generadors tipus Savonius, d'eix vertical. El disseny de les turbines eòliques obre un camp fascinant al disseny, i així s'enfoca l'activitat. Se'n proposen quatre models, amb els enllaços corresponents per descarregar els fitxers stl.



11. Generador hidroelèctric

El generador hidràulic amb turbina Pelton completa la sèrie de generadors que presentem. Tots ells usen el mateix generador, un disseny del que n'estem molt satisfets ja que és molt versàtil.

