

Nicola Tesla i la guerra dels corrents

Paco Savall

Professor de Física i Química · IES Ausiàs March · Gandia

A finals del segle XIX va tindre lloc el que es coneix com a segona revolució industrial. Si la primera s'havia caracteritzat per la introducció de la màquina de vapor i l'ús del carbó com a principal font energètica, la segona anava a caracteritzar-se per l'ús de la electricitat com a font d'energia per fer funcionar tant els motors com altres aparells elèctrics que s'inventarien en aquella època. Entre ells, cal destacar-ne la bombeta incandescent, patentada per **Joseph Wilson Swan** el 1879 al Regne Unit i per **Thomas Alva Edison** als Estats Units només un any després. Aquests desenvolupaments tecnològics exigien que «la llum» arribara fins a les indústries i les cases per alimentar-los. Així va ser que es van començar a establir els primers sistemes de transmissió d'energia elèctrica als països industrialitzats, on les empreses elèctriques emergents no tardaren a veure la possibilitat d'obtenir grans beneficis econòmics a partir del subministrament d'electricitat.

Són dues les grans companyies que van pugnar per dominar el mercat del subministrament d'electricitat als Estats Units, país pioner en aquest camp. D'una banda, la companyia de Thomas Alva Edison, fundada el 1882, apostava per l'ús del corrent continu, mentre que la companyia rival, fundada per **George Westinghouse**, defenia l'ús del corrent altern. Tot i que l'empresa rival d'Edison era propietat de Westinghouse, el nom que destaca com a principal rival de l'inventor de la bombeta incandescent és el de **Nikola Tesla**. Aquest enginyer ha ressorgit de l'oblit per situar-se entre els més destacats investigadors de la història gràcies, en gran mesura, a l'impacte d'internet i més concretament de les xarxes socials, on massa sovint se'l sol presentar com una mena d'heroi romàntic silenciats per la història. Valga com a exemple una dada curiosa: el conegut divulgador i *youtuber*, **Javier Santaolalla**, va promoure una enquesta en la qual els seus seguidors podien votar pel científic més estimat: Tesla hi va ser el més votat, just per davant d'**Einstein** (i d'altres científics amb molt més renom).

Abans de centrar-nos en els aspectes relatius als corrents elèctrics, veritable objectiu de l'article, farem una presentació breu de la figura de Nikola Tesla. Tesla nasqué a l'actual Croàcia, va rebre formació universitària d'enginyeria (inacabada) a Viena; va treballar a París per a una fillal de la companyia americana d'Edison i posteriorment a Estrasburg per a una companyia de tren. Va ser en aquesta companyia on va presentar

un nou model de motor, inventat per ell, que funcionava amb corrent altern (temps abans, com a estudiant d'enginyeria a Viena, un professor li havia dit que fer funcionar un motor amb corrent altern no era possible, i que els motors de corrent continu eren els únics viables). Vist que el motor no despertà l'interés que ell esperava, va viatjar als Estats Units amb una carta de recomanació per a treballar a l'empresa d'Edison. I així ho fa fins que un impagament per part d'Edison el va portar a abandonar la companyia i muntar una empresa pel seu compte. Després de quedar econòmicament arruïnat va muntar, amb altres dos enginyers, una empresa a la qual més endavant s'uniria George Westinghouse, un empresari ric que podia aportar el capital necessari per a apostar pel generador de corrent altern. És en aquella època que es presenta un concurs per adjudicar la construcció d'una instal·lació de producció d'energia elèctrica en les cascades del Niàgara. I és llavors quan l'empresa de Westinghouse, a la qual pertanyia Tesla, guanya la mà a Edison.

Tot i que les històries d'enfrontaments personals de personatges històrics poden ser morbosament atractives, no anem a aprofundir en el tema. El lector interessat en pot trobar molts de més detalls a la xarxa. Centrem la resta de l'article a analitzar bona part dels conceptes físics i aparells tecnològics que s'han anat esmentant fins ací i que són, al capdavall, els motius de pes que van inclinar la balança a favor del corrent altern, el que des de llavors i fins l'actualitat estem usant en les nostres cases.

Corrent continu i corrent altern, què són?

No cal que expliquem ací què entenem per «material conductor de l'electricitat». Sabem que els cables elèctrics són de coure perquè aquest material és un bon conductor de l'electricitat. Això s'explica pel fet que part dels electrons que formen els àtoms de coure del cable es poden moure amb gran facilitat en l'interior del cable. És a dir, cal aportar poca energia perquè els electrons s'hi moguen. És per això que quan connectem un dels extrems d'un cable de coure al terminal positiu d'una pila (d'1,5 V, per exemple, com les que s'usen en els comandaments a distància del televisor) i l'altre extrem del cable al terminal negatiu es produeix un moviment dels electrons que es troben a l'interior del cable. Mentre que els electrons tinguen càrrega



negativa, viatjaran cap al terminal positiu de la pila. Tenim així un corrent d'electrons, milions de partícules movent-se pel cable en una única direcció, com es pot observar a la **figura 1**. Això és el que anomenem corrent continu. Si aquests electrons travessen algun dispositiu elèctric, com per exemple una bombeta, hi cediran part de la seua energia i la bombeta lluirà.

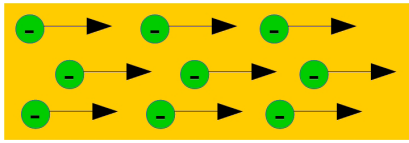


Fig. 1. Corrent continu. Els electrons es mouen en una única direcció i sentit.

Hi ha una altra possibilitat per a passar energia elèctrica a través d'un cable: fer-ho mitjançant ones. En lloc de moure els electrons en un únic sentit, es pot passar energia elèctrica a través d'un cable fent oscil·lar els electrons. És a dir, fent que tinguin un moviment cíclic d'avanç i retrocés, com es mostra a la **figura 2**. En un procés que recorda a la propagació del so en l'aire o a l'avanç de les ones de la mar (abans que trenquen), els electrons del cable avancen i retrocedeixen però l'energia es propaga a través del cable en una determinada direcció i és consumida pels dispositius elèctrics que s'hi troben connectats. Això és el que anomenem corrent altern.

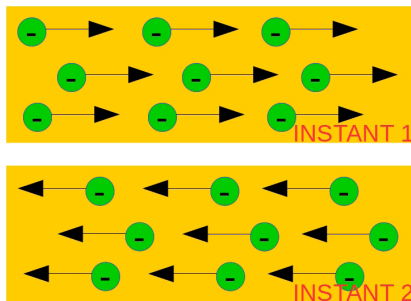


Fig. 2. Corrent altern. Els electrons oscil·len, movent-se durant un temps en un sentit i posteriorment en l'oposat.

Podem imaginar, per tant, electrons movent-se a gran velocitat a través dels cables elèctrics. Així hauria de ser ja que observem que una bombeta il·lumina de forma instantània tan bon punt connectem un interruptor situat a diversos metres: els electrons hauran passat per l'interruptor en obrir-lo i en un interval de temps gairebé imperceptible hauran arribat a la bombeta. Però res més lluny de la realitat! La velocitat dels electrons és molt baixa, molt menor que la de qualsevol objecte quotidià. El que ocorre és que el cable està format per una quantitat enorme d'electrons que es posen en moviment pràcticament alhora, ja siga avançant (en el cas del corrent continu) com oscil·lant (en el cas del corrent altern), i aconsegueixen així una propagació de l'energia realment ràpida.

El corrent continu d'Edison versus el corrent altern de Tesla

Tot i el títol, ni Edison va inventar el corrent continu ni Tesla va inventar el corrent altern. De fet, ningú no va inventar el corrent. Que la matèria està formada per càrregues elèctriques i que aquestes es mouen és un fet que es coneixia des de feia temps. L'enfrontament apareix en el moment en què es desenvolupa una tecnologia, o més ben dit, dues tecnologies que sols funcionen amb un o amb l'altre.

Els aparells patentats per la companyia d'Edison funcionaven amb 110 V de corrent continu que es generaven amb aparells similars a una dinamo de bicicleta (dels quals en parlarem més endavant). Comercialitzar-los exigia distribuir aquest corrent a les vivendes, recorrent tots els carrers, de vegades a llargues distàncies. I ací és on el corrent continu topa amb una gran dificultat: és tècnicament impossible transportar-lo a grans distàncies, la qual cosa exigeix instal·lar un gran nombre de generadors separats per menys d'1 km. De fet, fins i tot, per a transportar-lo a distàncies de menys d'un quilòmetre requereix l'ús de cables especialment grossos. El corrent altern no presenta aquest problema. Es pot transportar amb facilitat a gran distància de l'estació de producció.

I no només el transport era un problema. Els motors, generadors i transformadors de corrent altern són més eficients que no els de corrent continu. Vegem-ho.

Els motors de corrent altern i els de corrent continu

El dispositiu que es mostra a la **figura 3** és un motor de corrent continu. Bàsicament, està format per un imant del qual es mostren pintats amb colors diferents el pol nord i el sud. Davall d'ell hi ha una bobina (un cable enrotllat diverses vegades sobre si mateix) que es pot connectar per cada extrem als terminals d'una pila (s'observen en roig i negre els terminals per a la connexió de la pila). La pila produeix un corrent que travessa la bobina. Quan es connecta el motor en la posició en què es mostra a la figura, la bobina comença a girar fins posar-se en vertical. Ara bé, quan supera la posició vertical comença a frenar fins parar-se i posteriorment posar-se en moviment en sentit oposat. Aquest efecte «d'anada i tornada» es deu al fet que el corrent passa de girar en sentit horari a girar en sentit antihorari quan la bobina fa mitja volta, produint una força en sentit oposat que frena la bobina i després la posa en moviment en sentit oposat. Si no es modifica res, en un principi oscil·larà cap a un costat i després cap a l'altre.

Perquè funcione com a motor, el corrent ha de circular sempre en el mateix sentit. En fer mitja volta, l'extrem de l'espira que estava connectat al terminal negatiu ha de quedar connectat al positiu i l'altre extrem ha de quedar connectat al terminal negatiu. Tècnicament, això requereix un sistema d'escombretes, que es poden apreciar





Fig. 3. Motor escolar de corrent continu.

en la figura, fent contacte en el cilindre metàl·lic que travessa la bobina de part a part. S'hi pot apreciar que aquest cilindre metàl·lic està partit en dos, de manera que en girar cada costat fa contacte amb el terminal positiu o negatiu i que aquest s'intercanvien a cada mitja volta. El problema amb les escombretes és que salten espurnes quan es produeix l'esmentat canvi. I aquestes espurnes deterioraven els motors, reduïen la seua vida útil i, fins i tot, podien produir incendis.

El motor que inventa Tesla es mostra en la **figura 4**. No hi ha imants, sols bobines. Les bobines que es troben en la part més externa del motor actuen com a imants, concretament, com a electroimants: en fer passar un corrent elèctric a través d'elles produeixen un camp magnètic que actua de la mateixa manera que el camp magnètic generat per un imant. El camp magnètic generat pels electroimants actua sobre les bobines de l'interior (per les quals circula un corrent altern) fent-les girar. Aquestes traslladen el moviment rotatori a un eix que passa pel centre. L'ús de corrent altern fa que les escombretes siguin innecessàries, ja que el sentit en què es mouen els electrons canvia per la pròpia naturalesa del corrent, no és necessari canviar les connexions a la pila. Alhora, la possibilitat de controlar el camp magnètic que generen els electroimants (gràcies també al corrent altern) permet ajustar l'acció que exerceixen sobre les bobines centrals, optimitzant-la per augmentar el rendiment del motor.

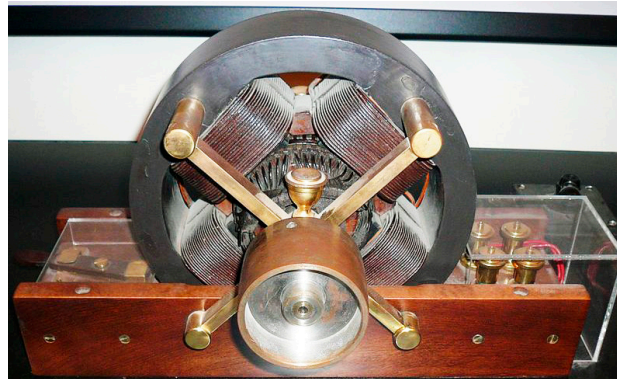


Fig. 4. Motor de corrent altern. Imatge extreta de <https://commons.wikimedia.org>. Autor: Ctac.

Els generadors de corrent altern i els de corrent continu

Durant la primera meitat del segle XIX **Michael Faraday** havia descobert i explicat que el moviment d'un imant en les proximitats d'una bobina produeix un corrent elèctric que recorre la bobina. Pensem en un imant com el de la figura 3, que s'introdueix verticalment en l'interior d'una bobina cilíndrica, també situada en vertical. El moviment periòdic de l'imant amunt i avall, travessant la bobina, produeix un augment i disminució del camp magnètic que travessa la bobina, i això genera en ella un corrent elèctric i un voltatge. El mateix ocorre si l'imant resta parat i és la bobina la que es mou, qualsevol moviment relatiu entre la bobina i l'imant que modifique el camp magnètic que travessa l'espira produeix en ella un corrent elèctric.

Disposant un conjunt d'imants que es mouen en l'interior d'una cambra que conté diverses bobines, com mostra la figura 5, i connectant el bloc d'imants a un eix que fora de la càmera s'uneix a unes pales d'una turbina accionada per l'aigua d'un riu o d'una cascada, s'aconsegueix que els imants giren contínuament, produint en les bobines un corrent altern fruit del successiu augment, disminució i inversió del camp magnètic que les travessa. Així és com funciona un generador de corrent altern.

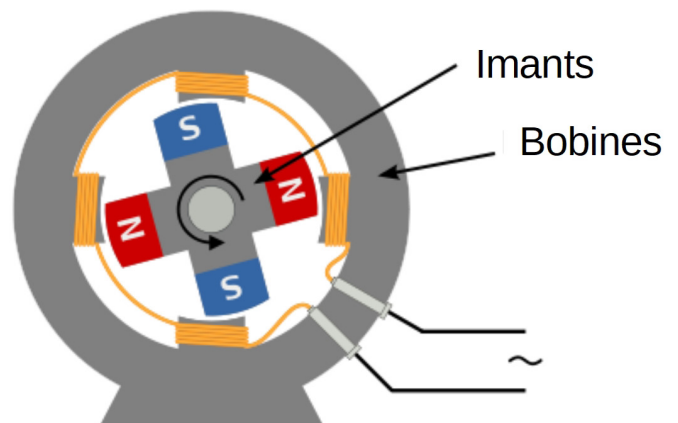


Fig. 5. Diagrama simplificat d'un alternador o generador de corrent altern. Imatge extreta de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alternador.svg> Autor: Edoarado.



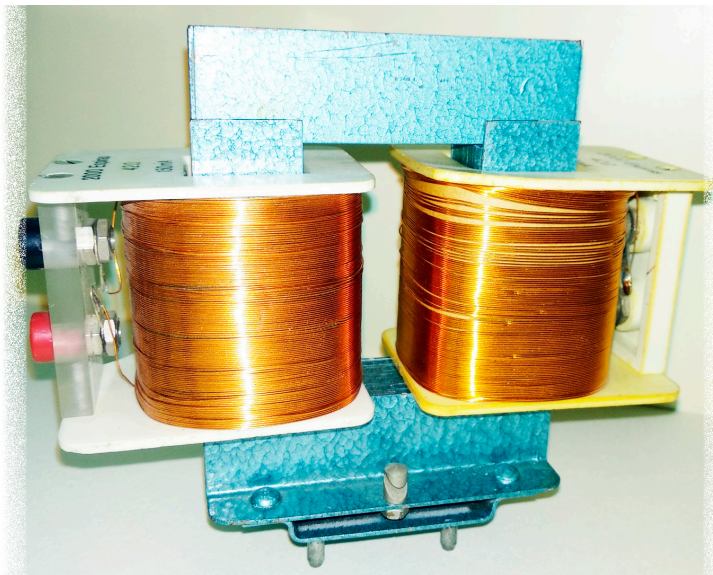


Fig. 6. Transformador escolar de corrent altern.

Un generador de corrent continu funciona d'acord amb els mateixos principis, però amb una eficiència considerablement menor. Conté sols un imant, la qual cosa redueix l'efecte acumulatiu que produeix la presència de diversos imants. Per altra banda, disposa d'un sistema d'escombretes com el del motor de corrent continu.

De fet, el dispositiu de la figura 3 funciona també com a generador de corrent continu: si es fa girar la bobina, es pot mesurar un voltatge entre els terminals roig i negre, i un aparell elèctric de consum molt reduït s'hi podria connectar i funcionaria. El paper de les escombretes consisteix a intercanviar les connexions entre el generador i els cables que estan connectats a ell. Amb això no s'aconsegueix un corrent continu «real» en el qual els electrons avancen de manera regular en una mateixa direcció i sentit pels cables. El que s'aconsegueix quan s'acciona i es posa a girar és que els electrons es desplacen de la posició d'equilibri en una determinada direcció. Quan el generador completa mitja volta els electrons han fet mitja oscil·lació: han avançat fins assolir la màxima separació respecte a la posició que tenien en equilibri i posteriorment han retornat a la posició d'equilibri. És en aquest moment que les escombretes canvien les connexions i això fa que els electrons no facen la meitat de l'oscil·lació que haurien de fer «cap arrere» sinó que repetisquen l'oscil·lació cap avant. Tot i que el moviment dels electrons és d'oscil·lació, el voltatge que es genera en el cable és sempre positiu (o negatiu, depenent de com es mesure) i actua com un corrent continu amb un valor promedi entre 0 i el màxim voltatge assolit durant el gir del motor. Tot plegat fa que aquest tipus de generador siga menys eficient que el de corrent altern.

Els transformadors de corrents

No sols l'eficiència dels motors i els transformadors varen portar a què s'imposara el corrent altern sobre el continu. La facilitat per transportar el corrent altern a grans distàncies i per ajustar

els voltatges als exigits per cada aparell elèctric també va ser un avantatge decisiu.

Des del punt de vista físic, per transportar grans quantitats d'energia a través de cables cal aconseguir corrents de gran intensitat o voltatges molt elevats (o ambdues coses alhora). Fer-ho amb corrent continu és força complicat: el generador de corrent no dóna ni grans voltatges ni grans intensitats, almenys si es compara amb el generador de corrent altern. En canvi, amb corrent altern és força senzill.

En la **figura 6** es mostra un transformador de corrent altern per a ús escolar. Els transformadors industrials tenen bàsicament la mateixa estructura i funcionament. Consisteixen en dues bobines amb un nombre diferent d'espines, connectades com s'observa per una peça massissa de ferro.

Considerem que la bobina de la dreta és travessada per un corrent altern. Com s'ha indicat, això fa que la bobina es comporte com un electroimant, generant un camp magnètic que oscil·la al mateix ritme que ho fan els electrons del corrent altern que alimenta la bobina. Aquest camp magnètic recorre la peça de ferro, passa a través de l'altra bobina i, en tractar-se d'un camp oscil·lant semblant al que produiria un imant en moviment, genera en ella un corrent elèctric altern. La relació entre la intensitat del corrent en la primera i segona bobines depèn de les espines que tinga cadascuna d'elles: si la segona bobina té el doble d'espines que la primera, el corrent que s'hi genera té la meitat d'intensitat; si té el triple d'espines, la intensitat del corrent serà la tercera part. La relació entre els voltatges és la inversa: en una bobina amb el doble d'espines s'hi genera un voltatge doble. És així que amb transformadors de bobines es poden aconseguir grans voltatges en les mateixes plantes de producció d'energia que permeten traslladar l'energia elèctrica a grans distàncies usant corrents d'intensitat moderada. A prop de les zones de consum, usant transformadors de nou, es torna a reduir el voltatge per ajustar-lo a les necessitats de la demanda.

