

LA TECNOLOGIA ELÈCTRICA ABANS DE L'ANY 1881

EVOLUCIÓ DE LA INDÚSTRIA ELÈCTRICA A PARTIR DE L'ENLLUMENAT

Joan Carles Alayo

Parlar de l'evolució de la indústria elèctrica es fer-ho de les màquines i dels sistemes elèctrics que hi van col·laborar, però també de com van anar variant els costos que van facilitar el seu ús, al mateix temps que van suposar l'adaptació entre les prestacions que oferia i la qualitat que es desitjava. En enginyeria, tecnologia i cost van aparellats, i aquest és l'aspecte que mostra la comunicació, i que amb les proves i els assaigs que es van fer es va documentar un dels usos inicials de les aplicacions elèctriques, el de l'enllumenat.

1.- Antecedents.

Un any després del descobriment de la inducció magnètica per M. Faraday, H. Pixii construïa el primer generador electromagnètic. En aquella primitiva màquina, queden establertes les tres parts principals de les màquines elèctriques, l'inductor, l'induït i l'òrgan de recollida del corrent o col·lector. L'evolució tecnològica de la màquina posteriorment va tenir dues línies d'actuació principal:

- Canviar de posició entre l'inductor i l'induït.
- Multiplicar el conjunt elemental format per un imant permanent i les dues bobines.

Poc després, l'any 1835 F. Watkins construeix un motor elèctric basat en el generador, després d'haver reconegut que motors i generadors serien màquines similars, i per tant s'hauria situat en el camí de la reversibilitat de les màquines elèctriques de corrent continu, no obstant encara quedava camí per fer.

L'any 1836 J. F. Daniell dissenya la primera pila amb efecte despolaritzant, que superarà amb escreix a les piles simples derivades de la construïda per A. Volta. Aquest aparell va ser una aplicació industrial de la disposició de dos líquids (nitrat de coure i nitrat de zinc en dissolució i actuant sobre làmines de coure i zinc respectivament), que havia utilitzat Becquerel l'any 1829. Aquesta disposició no va tardar gaire en ser modificada i perfeccionada, tant pel mateix Daniell com per altres constructors, per millorar els defectes que presentava la pila, car amb les màquines elèctriques encara en la seva etapa de perfeccionament, les piles es trobaven en la seva etapa més productiva.

L'any 1838 el director del Museu industrial de Brussel·les experimenta amb la llum produïda per la incandescència, construint les primeres làmpades elèctriques que tindran poca durada de funcionament. L'arc elèctric ja feia anys que es coneixia.

L'any 1846 s'utilitza per primera vegada l'enllumenat elèctric amb finalitat comercial, per mitjà d'un arc elèctric regulat manualment. De fet, mantenir d'una forma controlada la distància entre els elèctrodes de carbó va ser la principal problemàtica a resoldre per arribar a considerar aquest sistema d'utilitat en l'enllumenat artificial. Aquest control va començar a perfilar-se amb els reguladors des de 1840.

Pel que fa a màquines, W. Siemens dissenyava l'any 1854 un sistema d'armadura de l'induït de les màquines magnetoelèctriques. Consistia en encabir el bobinat de forma longitudinal dins un cilindre que tenia buides dues generatrius, presentava la forma de doble T, i l'induït era construït en forma de làmines apilades.

A les piles els hi arriba l'any 1860 una modificació efectuada per G. Planté, el qual investigant sobre els corrents secundaris produïts per diverses combinacions de metalls, desenvolupa un acumulador amb plaques de plom dins d'àcid sulfúric dissolt. Aquest dispositiu l'anomenà "pila secundària" i permetia ser recarregada. Des de la seva aparició, aquest element –que ben aviat s'anomenaria "acumulador"– va jugar un paper destacat dins les aplicacions elèctriques. Primer era "carregat" amb piles Bunsen, però més endavant, amb la introducció de les màquines elèctriques, la seva autonomia i la seva potència van ser elements clau per ser utilitzat abastament en la distribució d'energia elèctrica.

En aquell mateix moment, s'introdueix el cautxú per l'aïllament de cables elèctrics que havien d'anar junts dins de canalitzacions. La telegrafia ja s'havia avançat amb l'aïllament de conductors, però les instal·lacions elèctriques industrials van esperar la introducció de nous materials.

L'any 1866 és un any cabdal per l'electricitat. Per una banda, s'amplia la potència de la màquina elèctrica amb l'eliminació dels imants permanents i la introducció d'una segona màquina "excitatriu" incorporada a la carcassa de la mateixa màquina. Per l'altra, s'anuncia i aplica el sistema d'autoexcitació del debanat inductor principal de les màquines elèctriques amb l'ajut del magnetisme que es va demostrar quedava sempre romanent al nucli de ferro de l'inductor. Neix la màquina "Dinamoelèctrica", nom que va ser emprat per E. W. Siemens atenent la propietat que tenia.

Les piles tindran una nova incorporació l'any 1868 amb la pila de G. Leclanché, amb despolaritzant sòlid, una combinació de materials per formar piles més còmodes i eficients. Aquesta pila tindria un ús extens, i a més a l'ésser construïda amb un sol líquid i no dos, com la pila Daniell o altres, quedaria simplificat el seu ús.

La ràpida assimilació dels resultats de les experiències de la màquina dinamoelèctrica van provocar l'aparició de les màquines auto-excidades. L'any 1870 T. Z. Gramme dissenya un tipus de dinamo en el que hi incorpora un electroimant per l'induït en forma d'anell. La màquina va ser construïda per la casa "Bréguet et Cie" de París. La seva principal innovació era la utilització de l'induït en forma d'anell amb bobines en sèrie, que a diferència d'altres màquines, proporcionava un corrent constant i sense fluctuacions. També el tipus d'induït, de forma toroidal i construït amb fil de ferro enrotllat circularment, reduïa les pèrdues degudes als corrents paràsits (corrents de Foucault). Contraposada amb l'induït de Gramme es dissenya el de F. H. Alteneck, en forma de tambor, que seria l'evolució natural de l'armadura del tipus "llançadora" –o doble T– utilitzada fins aleshores per "Siemens". Els conductors se situaven bobinats con les generatrius d'un cilindre i les connexions al col·lector-commutador es feien per un dels extrems.

Poc després J. C. Maxwell aportava la seva teoria sobre l'electromagnetisme, que aniria a desenvolupar amb un grup de vuit equacions conegudes amb el nom de "equacions de Maxwell" que descrivien el camp electromagnètic i la seva propagació en forma d'ones transversals. Amb aquesta aportació serviria a la tecnologia elèctrica per desenvolupar un altre camp, el de la transmissió d'ones electromagnètiques, origen de les telecomunicacions.

L'evolució entre 1832 i 1870 va quedar emmarcada per un procés d'investigació científica, que va anar ampliant coneixements sobre la electricitat, mentre, anava aplicant-la a diverses facetes, i es milloraven els enginyers elèctrics preexistents.

2.- L'electricitat en el període 1870-1881.

El període que va entre els anys 1870 -1881 és un dels més interessants per l'estudi del desenvolupament de la tecnologia elèctrica. A l'any 1870 la màquina dinamoelèctrica ja és un aparell conegut, i es quan es comença a desenvolupar industrialment.

La primera aplicació de l'electricitat amb màquines elèctriques i llums d'arc voltaic, va ser l'enllumenat de posició dels fars. Des de l' any 1857 fins l'any 1872 es van fer diverses proves e instal·lacions fixes, que van aportar els coneixements suficients que van permetre la introducció de unes màquines elèctriques més ben dissenyades i d'uns reguladors d'arc més fiables. Aquest seria el punt d'arrencada de les màquines Gramme, Siemens, Brush, Wallace-Farmer i altres, encetant-se un procés que va permetre millorar la seva eficàcia i el seu rendiment, reduint progressivament el cost de la generació de l'electricitat i facilitant que, poc a poc, aquest sistema energètic s'estengués per tot arreu.

Les àrees d'aplicació de l'electricitat industrial que van dominar més en aquest període entre 1870 i 1881 van ser bàsicament:

- 1 Enllumenat públic i de fàbriques o establiments
- 2 Senyalització en els mitjans de transport
- 3 Força motriu a les fàbriques
- 4 Tracció elèctrica als ferrocarrils
- 5 Processos d'Electroquímica
- 6 Processos de Galvanoplàstia o electrodeposició de metalls.

L'ús de l'electricitat en els seus inicis, principalment abans de 1881, va ser efectuat sota uns paràmetres que anaven des de l'interès en posseir i gaudir d'una novetat tecnològica al preu que fos, fins a la instal·lació en prova d'un sistema energètic que havia de competir amb l'existent.

Els primers usos de l'electricitat industrial van ser aplicats a la galvanoplàstia; els sistemes d'aplicació de capes de metall a objectes diversos era una conseqüència directa de les lleis de l'electroquímica. Amb l'ajut de les piles primer, i posteriorment de les màquines elèctriques, va ser una branca industrial de l'electricitat molt estesa. Quan l'enllumenat elèctric començava a ser una aplicació útil, la galvanoplàstia era ja una indústria madura que no oferia cap novetat destriable.

La segona utilització va ser la senyalització marítima i del transport ferroviari. En el cas de la senyalització marítima, com hem indicat, els fars van ser uns dels primers receptors de l'enllumenat elèctric, després vindria l'aplicació de les llums elèctriques als vaixells per poder senyalitzar la seva posició. En el cas del ferrocarril, va adoptar-se l'electricitat als sistemes de senyalització de la circulació viària, així com també la instal·lació de focus a la màquina per enllumenar la via i a la vegada poder veure el tren.

Els usos de l'electricitat han estat sempre notícia; el pas dels anys ha anat variant la temàtica preferencial. Inicialment van ser les aplicacions de l'electromedicina, després les de l'enllumenat elèctric, les de la instal·lació d'electricitat a fàbriques i establiments, l'adopció de l'enllumenat públic per mitjà de l'electricitat, la instal·lació de centrals elèctriques.

De l'anàlisi de la documentació de publicacions hem analitzat les notícies dels usos de l'electricitat vinculats amb l'enllumenat, efectuats entre els anys 1870 i 1881, sobre una mostra de 352 aplicacions. Mostra que considerem significativa de

la tipologia al que es va adreçar l'ús de l'electricitat. Aquesta posició pot no obstant ser sesgada car les publicacions són bàsicament espanyoles i franceses, encara que recullin tot el que s'instal·la arreu del món; a moltes instal·lacions no s'han precisat els materials emprats.

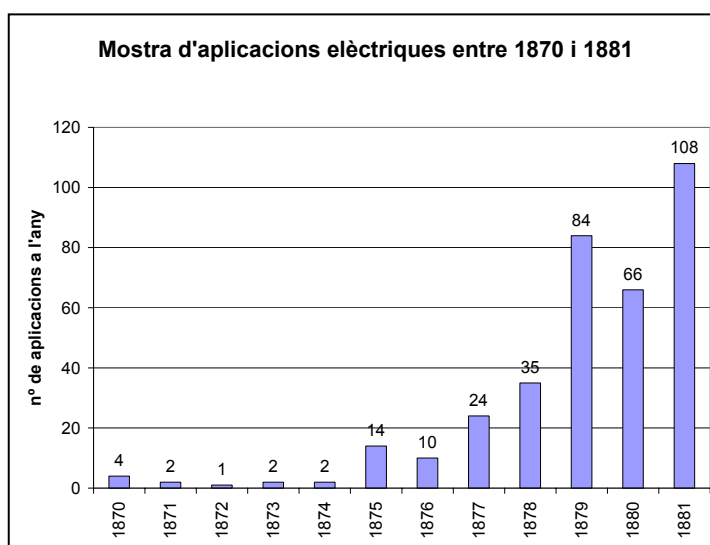
Publicacions Periòdiques consultades	Edició	Anys que compren l'anàlisi que es presenta
<i>El Porvenir de la Industria</i>	Barcelona	1875 – 1881
<i>La Electricidad</i>	Barcelona	1879 – 1882
<i>Annales Industrielles</i>	París	1869 – 1881
<i>La Lumière Électrique</i>		1879- 1881

En aquesta mostra s'observa com la dedicació de l'electricitat al transport, tant el marítim com per ferrocarril, és important en el conjunt, però molt més en els primers anys que en els últims. La causa no és que disminueixi l'aplicació en aquests dos camps en favor d'altres, sinó que les notícies lligades a aquesta aplicació van deixant de ser-ho. D'altra banda l'ús de l'electricitat en la senyalització no queda gaire recollida en els documents.

Es destaquen sempre els assajos d'enllumenat que es van anar efectuant a poblacions, residències, fàbriques, i que sens dubte van possibilitar que en la majoria dels casos la instal·lació acabés amb un enllumenat fix.

La indústria elèctrica europea de màquines d'aquells anys va estar molt desenvolupada a França i Alemanya. A Anglaterra no es destaca l'ús de cap màquina en

especial, mentre que a Alemanya són les màquines construïdes per W. Siemens les més utilitzades. Amb el pas del temps –posteriorment a 1881– la indústria dels Estats Units va entrar al continent europeu, i va limitar sobretot a la fragmentada indústria francesa, que va desaparèixer lentament, absorbida per les grans indústries alemanyes o americanes. Les màquines més emprades són les Gramme (franceses), segueixen les Siemens (alemanyes), i les Brush (angloamericanes).



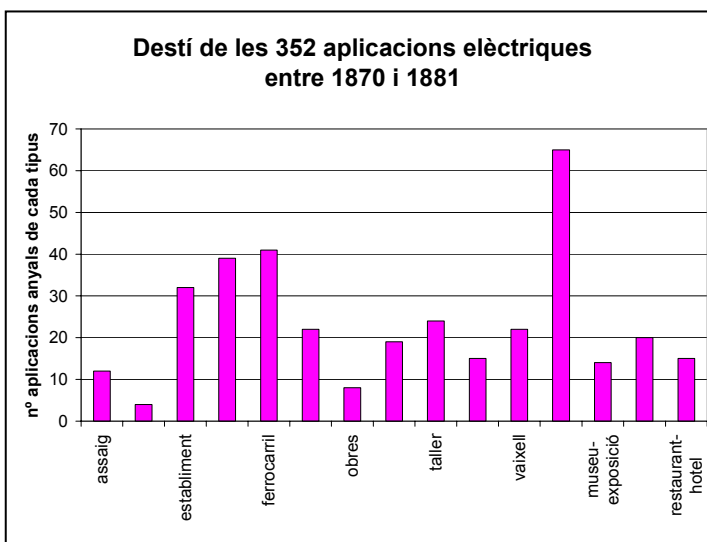
Hi ha una utilització continuada de l'enllumenat en locals d'espectacle, locals d'exposicions, o durant la celebració d'actes socials. Aquest procedir demostraria, per una part, la ja coneguda seguretat que oferia l'electricitat comparada amb el gas¹, i per l'altra l'interès en destacar i fer servir de reclam comercial la novetat de l'enllumenat elèctric, que poc a poc s'anava estenent.

Pel que fa a l'ús de sistemes elèctrics, l'enllumenat

elèctric es denota més quan apareix la bugia Jablockhoff l'any 1878 per les constants referències que van sortint. Aquesta làmpada va estar lligada sovint amb l'ús de la màquina Gramme, sobretot a França i els països d'influència francesa com serien Catalunya, o Espanya. No obstant la bugia Jablockhoff va ser menys utilitzada que els arcs voltaics. Una de les causes va ser el seu cost, l'altre que havia de funcionar obligadament amb corrent altern, un sistema elèctric que al principi no va ser gaire ben vist a causa de la costum de treballar amb el corrent continu de les piles. A la mostra, només el 23 % dels enllumenats van fer servir bugies, i no totes van ser del tipus Jablokhoff.

Es quasi al final del període analitzat que fan aparició les bombetes elèctriques. Es l'any 1879 i també queda reflectida a la mostra, primer les fabricades per J. Swan i després ja l'any 1880 les fabricades per T. A. Edison. A partir d'aquesta aparició s'observa un lògic retrocés en la utilització de les llums d'arc.

L'electricitat va començar a experimentar un creixement petit en les seves aplicacions i va arribar l'any 1881 amb una empenta que va originar un autèntic esclat en tots els camps que s'havia investigat, l'únic que retenia la seva implantació total era el cost que tenia. Aquesta evolució havia estat possible a causa de la reducció de les pèrdues que els sistemes elèctrics van tenir en aquella dècada. L'electricitat havia de competir amb el gas en el tema de l'enllumenat hi ho va fer abastament.



3.- Gas i electricitat, la comparació necessària.

L'any 1882, dins d'una publicació elèctrica, s'afirmava que el cost de l'electricitat era car si se l'havia de generar un mateix i que el gas era un sistema més econòmic en aquest aspecte². Era veritat, el gas va ser introduït a mitjans del segle XIX com una aplicació energètica completa, es podien enllumenar espais grans o petits, es podien fer processos tèrmics, i permetia obtenir treball mecànic per mitjà de motors de gas. La importància que tenia la reducció del cost de l'electricitat per competir amb el cost del gas manufacturat era essencial per optar al canvi de sistema energètic.

¹ En molts països, es va reglamentar l'ús de l'electricitat als teatres per prevenir els incendis que sovint causava l'ús del gas

² ALGLAVE, Émile et BOULARD J. (1882) *La Lumière Electrique*, Paris, Firmin-Didot et Cie, 430.

Una de les primeres anàlisis de cost de l'enllumenat elèctric va ser efectuat a la ciutat de Lyon (França) l'any 1857. Les màquines elèctriques encara no estaven desenvolupades totalment, es van utilitzar dos llums d'arc "Laccassagne et Thiers" i l'electricitat va ser generada per una pila Bunsen de 60 elements³ que van durar 101 hores. Evidentment, a l'inici les llums d'arc proporcionaven una potència lumínica de 75 Carcel, mentre que al final, amb les piles ja gastades, era sols de 30 Carcel. Els costos van ser en total de 356,82 francs francesos⁴.

La pila Bunsen va ser des de la seva introducció la que més es va utilitzar, era la més econòmica en consum de plaques i electròlits. De les dades que ens aporta A. Niaudet els preus pràctics de producció de 1 CV/hora, serien els següents:

- Pila Smée (utilitzada a partir de l'any 1820) 4,40 FF
- Pila Daniell (utilitzada a partir de l'any 1836) 2,50 FF
- Pila Bunsen (utilitzada a partir de l'any 1842) 1,84 FF

Els costos de cada component que s'havia gastat eren:

Substàncies gastades	Consum (101 h)	Preu unitari (en FF)	Preu Total	preu per hora
Zinc	72 kg	1,04	74,88	0,74
Àcid sulfúric	154 kg	0,24	36,96	0,37
Àcid nítric	247 kg	0,7	172,90	1,71
Mercuri	9,5 kg	5,5	52,25	0,52
Carbó purificat	6,61 m	3	19,83	0,20
TOTAL			356,82	3,53

A Lyon, el cost unitari obtingut, amb una lluminositat variable, que podem considerar equivalent a una mitjana de 50 Carcel va resultar de 3,53 FF per hora.

De forma similar a aquesta, altres poblacions van fer assaigs per observar el comportament del sistema elèctric i l'economia que podia introduir l'ús de l'electricitat. A la majoria dels casos es tractava de la possible implantació per l'enllumenat públic amb substitució d'algun altre sistema.

A causa del seu alt cost la generació d'energia elèctrica fabricada amb piles no va poder competir amb el gas manufacturat, i sols es va utilitzar en comptades ocasions, quan la seva utilitat era destacada, com per exemple l'enllumenat dels treballs de perforació del túnel del Guadarrama.

La incorporació de les màquines elèctriques va permetre reduir els costos de l'enllumenat elèctric. Els primers usos de les màquines va ser l'enllumenat dels fars, no sense haver fet les conseqüents proves, tant als tallers com a les instal·lacions en funcionament.

Així el cost de l'assaig de l'enllumenat d'un dels dos fars bessons de "La Hève" (L'Havre), efectuat entre els anys 1863 i 1865, comparat amb el de l'oli de colza que s'hagués utilitzat, va ser el següent⁵:

³ NIAUDET, Alfred (1885) *Traité élémentaire de la pile électrique*, París, Baudry et Cie, 328.

⁴ DU MONCEL, Theodore (1880) *L'éclairage Électrique*, París, Hachette et Cie, 273.

⁵ DE ROCHEMONT, Quinette (1870) "Sur les phares électriques de la Hève", *Annales des Ponts et Chaussées*, 4^asérie, T. XIX, 309.

	Intensitat lluminosa de l'enllumenat	Hores d'utilització total	Cost Total (FF)	Cost unitari
Electricitat	5000 Carcel	4135 hores	10.200	0.000493
Oli de colza	630 Carcel	3900 hores	7.743	0.00315

Entre els dos sistemes es va obtenir una diferència realment important en el cost, diferència que va influir en el canvi de cremadors d'oli per llums d'arc voltaic. Tot i que era més lluminós el llum elèctric, la major inversió inicial que necessitava l'electricitat respecte de l'oli, la major experiència de funcionament que hom tenia del sistema d'oli i la senzillesa de funcionament de l'oli en front a l'elèctric, van alentir la introducció de l'enllumenat elèctric.

Les fàbriques que construïen material elèctric van posar molt d'èmfasi en destacar la millora que comportava la instal·lació de l'enllumenat elèctric. La introducció de l'electricitat es va haver de servir-se necessàriament de bastants fets puntuals, que van anar mentalitzant als futurs usuaris –inicialment industrials, però tanmateix els establiments comercials també–, de que l'enllumenat elèctric introduïa una economia sobre l'enllumenat per gas.

Utilitzant les comparacions del cost entre diversos llocs en que l'enllumenat elèctric havia desplaçat al gas, s'anava observant la diferència en cost per unitat de lluminositat que tenia l'enllumenat elèctric respecte al gas. El gran desavantatge de l'electricitat era sempre que la inversió inicial era molt elevada, això era contrarestat per la gran lluminositat i de tonalitat blavosa que s'obtenia amb aquest sistema. Per contra el gas necessitava una menor inversió i tenia un preu més reduït, però tenia el desavantatge de tenir una lluminositat molt petita i de tonalitat groguenca. Al final al triar el tipus d'enllumenat, era qüestió de gust i qüestió de preu.

En conseqüència, les innovacions que la indústria del gas va incorporar per competir en el manteniment de l'enllumenat, van ser en la lluminositat dels metxers. C. Auer von Welsbach ideà l'any 1885 el metxer de camiseta fabricat amb nitrats de tori i de cessi; la lluminositat que proporcionava en relació amb el consum de gas augmentà sensiblement. Amb aquest nou producte, el gas recuperà la competitivitat amb l'electricitat, tot i que aniria perdent la seva capacitat de ser utilitzat en l'enllumenat, per quedar-se limitat als processos lligats amb la seva combustió com la calefacció i altres processos tèrmics.

Un assaig efectuat l'any 1875 a Barcelona a la fàbrica Batllò va originar que s'instal·lés l'enllumenat elèctric a la sala de filats. Un cop en funcionament es va comprovar l'estalvi de cost que ocasionava l'enllumenat elèctric⁶:

Sala de 2400 m ² , amb 8 màquines de filar i 4 d'ordir
69 jocs de metxers de gas del nº 3, equivalents a 10 bugies, proporcionen una llum equivalent a 100 carcel.
5 màquines Gramme i 5 llums d'arc Serrin equivalents a 500 Carcel, absorbeixen una potència de 5,33 CV

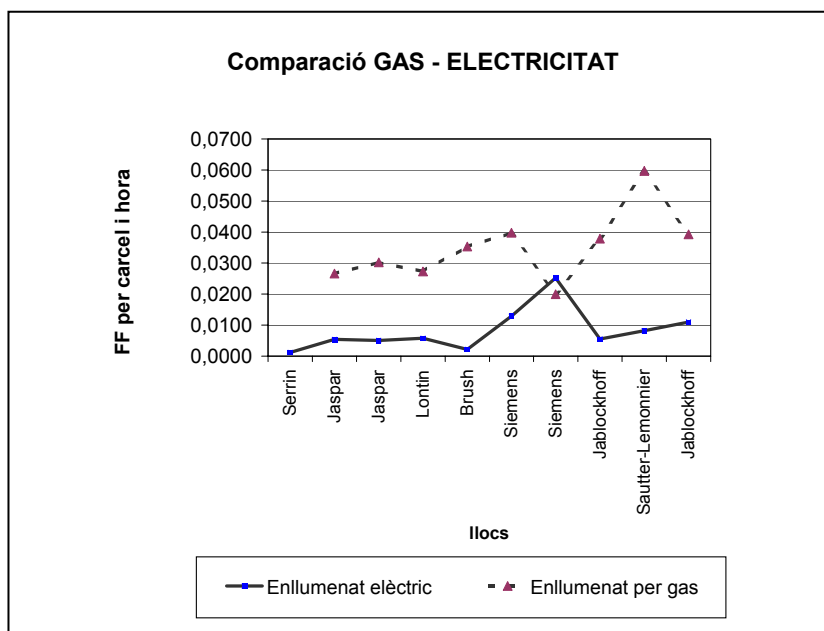
⁶ DALMAU, Francisco (1875) *Máquinas Magneto-Eléctricas*, Barcelona, Francisco Dalmau e Hijo, 46.

	Gas	Electricitat
Preu total	3,6 ptes/h	1,82 ptes/h
Preu per Carcel	0,036 pts/h	0,0036 ptes/h

Varis anàlisis comparatius efectuats entre 1879 i 1882 a vàries ciutats europees van anar demostrant que efectivament l'electricitat tenia un cost relatiu menor si es comparava junt amb la lluminositat que aportava⁷.

Població	Instal·lació	Nº de llums	Carcel	Tipus de Sistem	Cost hora de l'enllumenat	Cost per hora de l'enllumenat
Londres	Galeria Picton	3	600	Serrin	2.16	8.75
Brussel·les	Sala de	3	235	Jaspar	3.82	1.86
Brussel·les	Placa de les	3	235	Jaspar	3.54	1.21
Paris	Estació de	18	64	Lontin	6.62	6.85
Riverside	Fàbrica de	71	75	Brush	11.68	36.8
Berlín	Friedrichstras	10	50	Siemens	6.45	9.14
Amsterdam	Despatx	5	36	Siemens	4.53	2.89
Anvers	Estació	48	40	Jablokh	10.61	4.91
Rouen	Filatura	6	150	Sautter-	7.39	9.55

A la gràfica, amb els costos relatius per unitat de lluminositat (costos per Carcel y hora) es comprova que el factor lluminositat fa decantar l'ús de l'electricitat en comparació amb el gas.



4.- Comparacions entre diferents sistemes elèctrics.

⁷ *La Lumière Électrique* (1882), 427 i *La Lumière Électrique* (1883), 502.

Un altre aspecte que també va haver de considerar-se en el moment de l'adopció de l'electricitat era l'elecció del sistema elèctric més adequat, car si comparar entre gas i electricitat orientava sobre quin era el millor sistema energètic per cada tipus d'ús, amb la proliferació de màquines elèctriques calia també conèixer les millors característiques de cadascuna, i comparar no tan sols el seu cost de adquisició sinó el seu cost d'explotació.

El "Franklin Institute" de Filadèlfia va fer l'any 1878 unes de les primeres experimentacions que ens han arribat documentades entre dos o més màquines elèctriques. Van ser efectuades pels tècnics elèctrics E. J. Houston i E. Thomson, i es van assajar dues màquines Brush, dues màquines Wallace-Farmer i una màquina Gramme, totes de corrent continu i mogudes per una màquina de vapor. Les constants de les màquines queden resumides a la taula. Cal fer notar, que de mesures se n'efectuaren moltes més de les que hem indicat, i un aspecte a destacar es que es mesurà també la intensitat (en Weber) –que no hem indicat–, així com la tensió de la f.e.m. de la màquina, valors que no eren usals a les mesures d'eficiència dels sistemes elèctrics, en aquell moment⁸:

Tipus de màquina	pes (lb)	Pes del coure (lb)	Velocitat (rpm)	Potència consumida (CV)	Força electromotriu (V)	Llum produïda (Candles)	Llum produïda (Candles/CV)
Brush, gran	475	132	1340	3,26	39,28	1230	377,30
Brush, petita	390	104	1400	3,76	64,63	900	239,36
Wallace, gran	600	175	800			823	
Wallace, petita	350	59,75	1000	3,89	91,96	440	113,11
Gramme	366	208	800	1,84	61,71	705	383,15

Les conclusions que va proporcionar aquell assaig van ser que la màquina Gramme era la més econòmica, però les preferències es decantaven per la màquina Brush; només tenia el desavantatge que funcionava a alta velocitat i el seu calentament era superior.

" Després d'una acurada consideració de tots els factors, el Comitè va decidir unànimement que la màquina Brush gran encara que era menys econòmica que la màquina Gramme, era de les màquines provades la més adaptada als varis propòsits de l'Institut, principalment per les següents raons: a) esta adaptada a la producció de corrent d'una extensa gamma amb la variació de la força electromotriu; b) pels detalls de la seva construcció mecànica, especialment del commutador, del qual les parts mòbils de més desgast son fàcils de reparar".

⁸ HIGGS, Paget (1879) *Electric Transmission Of Power*, Londres, E.& F.N.Spon, 72.

L'assaig d'aquestes màquines no va ser el primer. L'any 1865 l'administració dels fars francesa havia analitzat les màquines que tenia a l'abast en aquella època, per determinar quina podia anar millor pels seus muntatges i el resultat fou la màquina de "L'Alliance". Posteriorment durant l'any 1877 una comissió formada dins l'administració de fars anglesa també havia analitzat diferents màquines magnetoelèctriques i dinamoelèctriques com l' "Alliance", Holmes, Gramme i Siemens, decantant-se per la Holmes.

L'any 1880 es realitza a la població de Rouen (França) un assaig per comprovar les diferències entre tres sistemes d'enllumenat possibles en aquell moment. L'assaig implicava a una màquina Gramme que era connectada o bé a reguladors Serrin, o a bugies Jablockhoff o a reguladors d'arc Siemens.

L'assaig va iniciar-se pel gener de 1880 amb la instal·lació de la màquina Gramme tipus "Atelier", de 500 Carcel, i els reguladors Serrin, però posteriorment s'amplià amb els altres dos sistemes⁹.

Referint-se a aquest assaig, E.Alglave i E.Boulard, van demostrar, agafant dades de l'assaig, que el sistema de la bugia Jablockhoff era més car que els altres dos¹⁰:

Sistema	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Jablochhoff	65	16.25	86	6.17	102.97	1.204
Siemens	25	42.25	476	2.50	112.00	0.389
Sautter et Lemonnier	26	40,62	472	1,33	87,75	0,285

- 1) numero de llums d'arc
- 2) superfície enllumenada en Hectàrees
- 3) potència lumínica de cada llum, en Carcel
- 4) consum de carbons de les llums, en m/h
- 5) potència consumida en CV/h
- 6) cost total de funcionament de la llum elèctrica

Aquesta prova confirmava un cop més que l'enllumenat elèctric efectuat amb bugies Jablockhoff sortia car; una bugia que tenia una durada de mitja hora costava 0,50 FF i donava una llum que oscil·laria entre 22 i 40 Carcel, mentre un arc elèctric proporcionava una lluminositat de 500 Carcel, amb una despesa de 0,25 FF en carbons ordinaris; però les bugies eren molt practiques d'utilitzar i això també comptava a l'hora de decidir¹¹. La bugia Jablockhoff no obstant el seu cost, va ser un dels elements que més va ajudar a propagar l'enllumenat elèctric. Aquestes bugies es poden considerar una etapa intermèdia entre les llums d'arc i les bombetes.

Totes aquestes proves que hem triat com exemple –i moltes més que es van fer–, van anar proporcionant un millor coneixement del comportament de les màquines elèctriques i dels sistemes elèctrics, i van ajudar a fer possible poc a poc la transformació tecnològica de tot el sistema elèctric.

⁹ *La Lumière Électrique* (1880), T-2, 40 i 119.

¹⁰ ALGLAVE, Émile et BOULARD, J. (1882), *La Lumière Electrique*, Paris, Firmin-Didot et Cie, 441.

¹¹ FONTAINE, Hippolyte (1877), *L'Éclairage à l'Électricité*, Paris, J.Baudry, 237.

5.- Inici del procés d'electrificació.

L'any 1881 es pot considerar com l'any en que s'inicia l'etapa de les instal·lacions elèctriques centrals pel servei públic. Les seves bases i referències ja havien estat posades l'any 1880 quan T. A. Edison va projectar un sistema de subministrament elèctric a través de circuits en paral·lel.

Aquesta forma de distribuir i la celebració a París de l'"Exposition Internationale de l'Électricité" de Paris van aportar dins l'any 1881 una empenta important, definitiva per la expansió de l'electricitat. A l'Exposició s'hi va exposar materials antics i materials nous, màquines i moltes novetats per impulsar l'ús de l'electricitat, especialment en l'enllumenat elèctric i la distribució de l'energia elèctrica. La gran màquina "Jumbo" fabricada pels tallers d'Edison als Estats Units, pensada per a la producció de l'energia elèctrica en gran escala, o els cables elèctrics "Berthoud-Borel" fabricats per ser instal·lats dins de canals subterranis, són exemples del gran impuls que s'esperava que tindria l'electricitat en el camp de la distribució.

Són varies les poblacions europees que gràcies a aquesta manifestació tecnològica van pensar en una instal·lació central d'electricitat. Mentre Thomas A. Edison estudiava el seu disseny de xarxa elèctrica pels barris de Pearl Street de Nova York i Holborn Viaduct de Londres, a Barcelona s'iniciava una nova etapa de desenvolupament dels sistemes elèctrics de distribució amb la creació de la "Sociedad Española de Electricidad", i a Rouen (França), l'any 1881 la casa Siemens feia un projecte d'electrificació de la ciutat.

A Rouen es va projectar la central amb una màquina de vapor de 500 CV i màquina elèctrica Siemens per alimentar fins a 1200 llums de 50 Carcel cada un. En aquesta instal·lació es referien a que *"La llum seria distribuïda per abonament i l'encesa i apagada es faria a voluntat del abonat i per ell mateix."* Aquesta frase, ens presenta una concepció que fa temps tenim assumida totalment i que no sabríem pensar amb un altra sistema, però aleshores era una novetat que havia nascut del disseny d'Edison que va constituir un avenç en les distribucions energètiques. Representava tenir la central elèctrica a casa seva, però sense tenir-la, amb els avantatges que això comportava, i és que tenir una central elèctrica particular era llavors l'única forma de tenir electricitat.

A Barcelona la "Sociedad Española de Electricidad" va muntar l'any 1881 una fàbrica que disposava d'energia sobrant de les màquines elèctriques i van encetar la seva xarxa elèctrica per la ciutat, una xarxa que seria molt petita i que malgrat els esforços que va fer li va costar molt en fer créixer.

Poc a poc tothom –particulars i administracions– van anar copsant l'enorme eficàcia que l'electricitat aportava, sobretot en l'enllumenat, aspecte fonamental de la forma de vida que anava imposant-se en la societat de finals del segle XIX. L'enllumenat existent, fet a base de la flama provocada per la combustió d'oli, o de gas manufacturat, o de petroli, resultava escassa en front l'arc voltaic, i fins i tot comparada amb la làmpada incandescent.

Havia estat una progressió tecnològica i econòmica, una ajudava a l'altre i a l'inrevés, un esforç que en molta part corresponia a la indústria de fabricació de material elèctric. Aquesta mateixa indústria va haver d'impulsar –de forma interessada– la implantació de l'electricitat a les poblacions més prosperes. Canviar l'enllumenat públic que tinguessin per l'electricitat era la fita que els promotors esperaven obtenir d'unes administracions que tenien cura de aprofitar les novetats que permetien reduir els costos de funcionament, o augmentar amb el mateix cost la

llum als carrers. Un cop aconseguit això l'enllumenat particular d'habitatges i establiments permetia mantenir la rendibilitat del negoci.

A partir de 1882, el desenvolupament de les màquines elèctriques en sintonia amb els sistemes de generació –turbines hidràuliques o de vapor– van aportar a la generació elèctrica els avantatges de les unitats de grans dimensions, superiors als 1.000 kW que oferien el kWh a un preu més baix. A la vegada el transport d'electricitat a llarga distància, encetat amb les proves que es van efectuar per reduir les pèrdues, i dels quals el més característic i conegut és el de la línia elèctrica entre les poblacions de Lauffen i Frankfurt a la tensió de 15.000 V i a la distància de 175 km, encaixava amb una altra de les peces destacades de la distribució d'energia elèctrica, la unió entre el punt de producció –estigués on estigués– i el punt d'utilització.

A finals del segle XIX, tots els agents que havien de possibilitar la utilització de l'electricitat, es trobaven suficientment desenvolupats per ser els artífexs de la "revolució elèctrica" que s'ha expansionat per tot el segle XX.