

EL SISTEMA D'IL·LUMINACIÓ DURANT L'EXCAVACIÓ DEL TÚNEL FERROVIARI DE L'ARGENTERA

JOAN CARLES ALAYO MANUBENS;¹

JOSEP SURIOL CASTELLVÍ²

¹ GRUP D'HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA I DE LA TÈCNICA, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

jc.alayo@eic.ictnet.es

² ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS DE CAMINS, CANALS I PORTS, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

jose.suriol@upc.es

Paraules clau: *túnel, enllumenat elèctric, arc voltaic, dinamo*

The lighting system during the excavation of the railway tunnel of the Argentera

Summary: The tunnel has a length of 4.044 m, the excavation was done between April, 1887 and March, 1890 being at the time that of more Spain length. The construction was directed by Eduard Maristany i Gibert. The length made necessary the utilization of electrical system of illumination and there were in use lamps of voltaic arch of the type Puydt connected to two dynamos of the type Gramme L5. The present communication tries to show the innovation that supposed applying this system to a tunnel with the characteristics of that of the Argentera.

Key words: *tunnel, electric lighting system, voltaic arch, dynamo*

1. Introducció: aspectes relacionats amb la il·luminació de túnels

Des de l'antigor se sap que la combustió de diversos materials proporciona llum. Aquest ha estat un procediment habitualment usat a les

galeries subterrànies per tal de veure-s'hi. Els materials cremats tradicionalment han estat: l'oli vegetal, els materials tipus betum procedents del carbó i del petroli, les resines vegetals i també diversos greixos i olis de procedència animal. D'altra banda, l'ús de la combustió dins de les galeries d'excavació comporta la necessitat d'oxigen per a la combustió i el consegüent perill d'exhauriment i, per tant, possible pèrdua de vides humanes, i també el perill d'explosió dels gasos combustibles presents al subsòl, especialment en explotacions mineres en jaciments carbonífers. Aquesta darrera possibilitat és més aviat minsa als túnels dedicats a vies de comunicació, atès que habitualment es fan en zones muntanyoses on és poc probable la presència de bosses de gasos combustibles. Fins l'aparició de la llum de procedència elèctrica, els perills anteriors han estat presents en totes les obres subterrànies al llarg de molts segles; de tota manera, amb l'electricitat no desapareixen del tot, però sí que són més controlables.

Cal assenyalar que Maristany (1891: II, 255) fa una descripció acurada de la tècnica tradicional d'il·luminació dins de l'experiència minera i la trasllada a l'aplicació que se'n pot fer en l'excavació de túnels. Es fa un repàs als tipus de làmpades disponibles, així com dels combustibles habituals. Quant a les làmpades, considera que les més primitives no són apropiades atès que són molt vulnerables als cops i a les caigudes; cal un disseny apropiat al tipus de treball; al llarg del temps s'han aconseguit làmpades més robustes i segures. Pel que fa al combustible emprat, considera que aquells que necessiten una sortida d'aire forçada no són apropiats per al treball al túnel; entre ells hi ha els derivats dels quitrans de carbó o de petroli. Es considera que els més apropiats són els olis lleugers d'origen vegetal, siguin d'oliva o de colza.

Un dels problemes que es presenta en l'excavació de túnels és, segons Maristany, el control del consum d'oli per a les làmpades. Considera que si no hi ha un control per part de la direcció de l'obra, aleshores el consum es dispara i, en conseqüència, el cost de l'obra. Aquest problema es pot resoldre, segons ell, calculant la quantitat d'oli que el minaire necessita i llavors incrementar-li el seu en la quantitat equivalent; si en gasta més, llavors és a càrrec seu. Aquest sistema pot evitar aleshores un consum desmesurat de combustible. En el cas que ens ocupa, la quantitat era de 0,25 ptes. per dia, amb les quals l'obrer podia comprar l'oli que necessitava per a 10 hores de treball. Als moments de màxima activitat podia haver-hi un total de 150 làmpades d'oli enceses. També considera que cal fer responsable l'obrer del possible deteriorament injustificat de la làmpada, així com d'una pèrdua eventual. Tots aquests aspectes contribueixen a posar de manifest la importància que té el sistema d'il·luminació per a les obres subterrànies.

En el cas del túnel de l'Argentera, a banda de l'ús de làmpades tradicionals, que Maristany descriu amb detall, es van tenir en compte els recents avenços pel que fa a l'ús del corrent elèctric en la producció de llum. A l'època hi havia dues possibilitats: la làmpada d'incandescència i la d'arc voltaic: el filament de carbó es desgastava amb molta celeritat i la làmpada d'arc voltaic necessitava un sistema de regulació força complex. Tot i aquests problemes tècnics, hi havia hagut algunes experiències positives amb aquest sistema i això va fer que Maristany es decantés pel seu ús al túnel de l'Argentera.

2. L'enllumenat elèctric l'any 1887

La primera conseqüència del descobriment de Faraday va ser la màquina elèctrica generadora de corrent, i a partir d'aquella màquina es va iniciar una etapa d'innovacions fins que la potència de les màquines va superar amb escreix la de les piles elèctriques, i llavors es van considerar aptes per a determinats processos industrials, com és el cas de l'enllumenat, encara que les piles no van desaparèixer amb el perfeccionament de les màquines elèctriques.

El primer enllumenat elèctric públic utilitzant piles elèctriques i reguladors d'arc es va realitzar a París l'any 1844. Anys després, amb la influència de les necessitats de la navegació marítima, les màquines elèctriques junt amb reguladors d'arc més perfeccionats van prendre el relleu. En els anys previs a la construcció del túnel, les màquines que es consideraven més útils van ser, a Europa, les Siemens i les Gramme.

Màquina	Any	Pes de la màquina	Volum de la màquina	Potència
Gramme	1873	1.300 kg	0,8 m ³	5,3 CV
Siemens	1876	590 kg	0,5 m ³	9,8 CV

No obstant això, abans de les obres del túnel de l'Argentera ja es va utilitzar l'electricitat per a la perforació del túnel del Guadarrama. Es van utilitzar piles, més incòmodes d'usar però possiblement l'única solució pràctica que es va trobar a la Península en aquells anys:

Lloc	Enllumenat	Màquina	Llum
Guadarrama	octubre 1862 - juny 1863	Piles Bunsen	20 llums d'arc
Argentera	abril 1887 - març 1890	Dinamo Gramme L5	10 llums d'arc Puydt

Maristany coneixia les aplicacions de l'electricitat perquè des de 1875 a Espanya s'estaven utilitzant sistemes d'enllumenat elèctric a diverses instal·lacions, principalment industrials, i sobretot a Catalunya. A més, des de 1881, la Sociedad Española de Electricidad era la que impulsava l'electrificació amb central elèctrica pròpia a la ciutat de Barcelona. Tant és així que l'any 1887, quan es reprenen els treballs de perforació del túnel de l'Argentera, a Espanya ja hi havia cinc empreses elèctriques que estaven produint i comercialitzant l'energia elèctrica a cinc poblacions, i per tant les solucions tècniques eren conegudes. Les de Catalunya eren: Barcelona, amb una central tèrmica de la Sociedad Española de Electricidad i màquines Gramme, i Girona, amb una central hidràulica de l'Ajuntament de Girona i amb alternadors

Ganz. Les màquines Gramme, de procedència francesa, s'estaven utilitzant a Espanya i eren prou conegudes, motiu pel qual Maristany les va escollir, a més que eren de les millors d'Europa quant a rendiment i durabilitat, dues de les característiques que eren molt preuades.

3. El sistema d'enllumenat del túnel de l'Argentera

Una bona il·luminació era la condició necessària per a un treball eficient, i a més calia tenir en compte el tipus de treball i les condicions externes, com ara el color de les parets. Al túnel de l'Argentera es va fer servir la làmpada Puydt, un regulador d'arc similar als utilitzats usualment que disposava d'un mecanisme apropiat per tal de mantenir la distància entre els carbons. Aquests tenien un diàmetre de 10 mm i estaven fabricats tot tractant de minimitzar el desgast; no obstant això, calia fer-los reposar amb certa freqüència. Habitualment es fabricaven amb carbó de coc barrejat amb negre de fum. Els que van ser usats al túnel havien estat fabricats per la casa Siemens i es desgastaven a raó de 50 mm/hora, incloent-hi el positiu i el negatiu. Cal assenyalar que el carbó corresponent al pol positiu estava format de dues capes concèntriques de densitats diferents per tal de mantenir el cràter a la seva punta i afavorir, així, el funcionament i estabilitat de l'arc.

Per tal de mantenir la distància entre els carbons s'havien dissenyat diversos mecanismes. Maristany (1891: II, 318) mostra una taula on pren en consideració diverses solucions donades al problema. Però el més important era conservar la tensió a la làmpada per tal que no s'apagués i poder mantenir el ritme de treball. Les làmpades d'arc voltaic usades al túnel de l'Argentera mantenien una intensitat lluminosa de 100 carcel. Cal assenyalar que un carcel fa referència a la brillantor d'una làmpada d'oli de colza refinat quan consumeix 42 grams d'oli per hora i que en l'actualitat equivaldria a 9,74 candeles. La làmpada usada al túnel funcionava amb un corrent de 15 A i una tensió d'arc de 50 V, que en conseqüència mobilitza una potència de 750 W (aproximadament, 1 CV).

El sistema d'enllumenat es recolzava en les màquines Gramme tipus L5, que permetien alimentar fins a 5 làmpades d'arc a la vegada en una connexió sèrie; les màquines giraven a 1.441 rpm i proporcionaven una tensió màxima de 250 V i una intensitat màxima de 15 A cada una, és a dir, 3,75 kW. Acoblades en sèrie, alimentaven 10 làmpades d'arc voltaic Puydt que funcionaven a 45 V i 12 A, i donaven una intensitat lluminosa de 100 carcel cada una, és a dir, 540 W. La central d'energia, que disposava d'una màquina de vapor, tenia quatre màquines Gramme L5, dues en funcionament i dues de reserva per si de cas s'aviaven una o dues de les primeres.

Màquines	Connexió	Tensió/Intensitat	Aplicació
2 Gramme tipus L5	En sèrie	500 V / 15 A	10 llums de 100 carcel
2 Gramme tipus L5	En sèrie	500 V / 15 A	reserva

4. La xarxa de distribució del corrent elèctric

La xarxa usada constava del sistema generador de corrent i d'un sistema de regulació basat en resistències, els cables de distribució i les làmpades d'arc voltaic.

La xarxa de distribució es va dissenyar utilitzant el sistema sèrie, que era l'usual en les connexions de làmpades d'arc. No obstant això, per assegurar la màxima independència possible de funcionament de la xarxa respecte d'una làmpada individual, la distribució es feia a base de tres fils, de forma que a cada làmpada hi havia un commutador que permetia desviar el corrent a la resta si calia canviar els carbons o si eventualment en quedava alguna fora de servei; òbviament, aleshores calia actuar sobre les resistències de regulació del quadre de control de la dinamo per tal de mantenir una mateixa càrrega elèctrica sobre la màquina i treballar de forma estable junt amb la màquina de vapor que la movia.

Els cables usats eren, segons el càlcul que el mateix Maristany mostra, de 3 mm de diàmetre (secció efectiva de 7 mm²). Cal indicar que en el seu càlcul es va tenir en compte un escalfament addicional del cable de 5 °C sobre l'atmosfera i que la densitat de corrent fos apropiada, atesos els 15 A que havien de circular-hi, i que en definitiva s'aproximava a la densitat de corrent pel conductor de 2 A/mm². El corrent emprat va ser del tipus continu, atès que es considerava perillós usar el corrent altern, fonamentalment perquè aleshores els dos cables eren actius respecte del terra i, en conseqüència, es va desestimar aquesta possibilitat, ja que els treballadors havien de moure's entre els cables.

Hi havia, al túnel i entorns, un total de deu làmpades en funcionament associades principalment als pous 3 i 4, atès que era el tram que representava la màxima dificultat en l'obra d'excavació. S'ha esmentat que la làmpada usada necessitava mantenir 50 V a l'arc; en conseqüència, la tensió elèctrica neta havia de ser de 500 V. Òbviament era una tensió elevada, però es va considerar que es donaven totes les garanties de seguretat per als treballadors. Els cables eren de coure estanyat amb una protecció tèxtil feta en tres capes.

El total de cables s'apropava a una longitud d'11 km, i cal ressaltar el fet que per anar del pou núm. 3 al núm. 4 els cables havien de passar per sobre la collada del Peiró. En síntesi: el sistema de distribució era relativament simple però extens, i el mateix Maristany indica que el seu funcionament al llarg de tota l'obra va ser força acceptable.

5. Consideracions sobre l'obra de Maristany

Al text *El túnel de la Argentera. Tratado de construcción de túneles*, al qual s'ha fet referència al llarg del treball, hi ha algunes de les afirmacions que mereixen ser considerades a la llum dels coneixements actuals. De forma breu es poden sintetitzar en els apartats següents:

a) Preocupació pel tema de les unitats. És interessant fer un comentari sobre un paràgraf que s'insereix a peu de pàgina quan es tracta sobre el sistema elèctric per a l'enllumenat del túnel (Maristany, 1891: II, 260):

No pudiendo prescindir, como hemos dicho, de una explicación de la teoría de las unidades, por lo mismo que su empleo, de fecha recientísima, en todas las cuestiones referentes a la ciencia eléctrica es lo que dificulta más su estudio, y no queriendo tampoco traspasar los límites del cuadro marcado por este libro, creemos que lo más práctico y más en armonía con lo que acerca de la electricidad aún hemos de hablar, es exponer aquí con toda sencillez el sistema de unidades en uso, ya que un conocimiento de la teoría general de las mismas sólo podrá tener interés desde un punto de vista puramente especulativo. Pero como pudiera suceder que alguno de nuestros lectores estuviese ya familiarizado con este estudio, y además, por ser él ajeno, hasta cierto punto, al objeto principal de la obra, vamos a indicar todo lo que el sistema C. G. S. pueda convenir a un Ingeniero en su práctica diaria, en forma de nota, para no distraer la atención de los primeros, tomando de la excelente obra de electricidad industrial publicada por los Sres. Cadiat y Dubost.

L'electricitat no estava en els seus inicis, però pel que fa a les unitats de les magnituds elèctriques i al seu coneixement dins del domini tècnic encara estaven implantant-se. D'altra banda, es percep que Maristany resalta la posició de l'enginyer respecte dels coneixements que ell considera no-associats a la pràctica diària, i la nota esmentada és tan extensa que fa pensar en un interès divulgador del coneixement sobre l'electricitat als seus companys de professió. A més, cal esmentar que al Congrés d'Electricistes realitzat el setembre de l'any 1881 a París, a proposta de la British Association, tractà d'arribar a un acord sobre les unitats que calia emprar per a l'electricitat i vincular-les amb les unitats fonamentals de longitud, massa i temps. Dins del domini de l'electricitat s'havien derivat dos sistemes d'unitats: el sistema electrostàtic, basat en la idea de quantitat d'electricitat, i l'electromagnètic, basat en el moviment de les càrregues. El Congrés va prendre la decisió de recomanar el segon; segons el mateix Maristany, l'electrostàtic no tenia cap aplicació pràctica. També, a la mateixa nota, es fa esment de la precarietat de les unitats fotomètriques a l'ús aleshores al domini de l'enllumenat.

És interessant assenyalar que l'any 1891 es va pensar en un sistema d'enllumenat elèctric al Port de Barcelona. Es pretenia complementar el que ja existia i que funcionava amb gas. El projecte, el va presentar l'enginyer de camins Julio Valdés. La instal·lació elèctrica era superior a la del túnel de l'Argentera, malgrat que utilitzà una dinamo tipus Gramme (fabricada al 1878) que alimentava una sèrie de làmpades d'arc voltaic. L'enginyer de camins i director d'obres del Port, Mauricio Garrán, va dirigir la realització d'un assaig per tal d'optimitzar la instal·lació. Cal esmentar que a l'estudi hi ha una preocupació similar a la de Maristany pel que fa a les unitats i als conceptes elèctrics emprats (Valdés, 1892: 281 i s.).

b) Resulta també força sorprenent la comparació que fa Maristany entre la dinamo i el motor de vapor, que avui ens pot semblar desencertada, però que denota l'interès a fer comprendre al lector la casuística de l'electricitat (Maristany, 1891: II, 301):

En una dinamo el trabajo eléctrico producido es proporcional a:

A la velocidad de rotación.

A la masa de cobre útil del inducido.

A la cantidad de electricidad que circula durante la unidad de tiempo.

A la intensidad de campo magnético en el cual se mueve el inducido.

En un motor de vapor el trabajo mecánico producido es proporcional a:

A velocidad de rotación.

A la capacidad del cilindro.

Al grado de admisión, por el cual se mide la cantidad de vapor que circula en 1" (en 1 ciclo).

A la presión de vapor a su entrada en el cilindro.

I afegeix:

De este paralelo deducimos que los inducidos son en las dinamos lo que el cilindro en los motores de vapor, y que la intensidad del campo puede asimilarse al timbre de la caldera.

La potencia de un cilindro de vapor depende del volumen y de la presión que ha de soportar; la potencia del inducido depende de su masa útil y de la intensidad de campo magnético en que se mueve.

Afirmacions com que la massa de coure que conté l'induït és la responsable directa de la potència mobilitzada a la dinamo eren usuals en l'època i no van ser rebatudes fins a l'última dècada del segle XIX.

c) Finalment, es considera interessant fer un comentari sobre les afirmacions que fa de la ventilació, en vistes a la refrigeració, de l'induït de la dinamo (Maristany, 1991: II, 306).

Las causas de enfriamiento provienen del movimiento de rotación, y claro es que, variando el número de vueltas, aumentará o disminuirá la ventilación del inducido, originada por la fuerza centrífuga que aquél desarrolla.

I més endavant afegeix (a peu de pàgina):

La velocidad lineal de un punto de la periferia del anillo, depende, como es sabido, de sus dimensiones y número de vueltas por 1'; y como esta es función del tamaño de la máquina a causa de las resistencias mecánicas que se originan, se deduce que función del tamaño es también la velocidad periférica. En nuestro caso, después de lo que hemos dicho, respecto de la modificación de los Sres. Xifrá i C^a, podemos admitir la de 17,58 metros que resulta, pues al calentamiento producido por el gran número de vueltas se opone en gran parte el enfriamiento que dicha modificación facilita.

Al text no queda clar qui origina la força centrífuga i com aquesta intervé, almenys de forma directa, en la refrigeració de l'induït. Quant a la velocitat lineal a la qual es refereix, hom suposa que és la d'un punt a la perifèria de l'induït, però és difícil lligar-la conceptualment a les resistències mecàniques i al fet originari d'aquestes. La modificació al·ludida consistia a treure de l'induït un reforç de fusta per a les bobines que sembla que impedia la circulació d'aire.

6. Conclusions

Els aspectes considerats en el capítol anterior no invaliden el bon nivell tècnic de l'obra de Maristany, que va esdevenir de consulta obligada pel que fa a la construcció de túnels i que va ser traduïda a diversos idiomes.

L'enllumenat elèctric ja era conegut a Catalunya quan Maristany el va utilitzar, el que no coneixem és qui va assessorar-lo per adquirir la màquina Gramme, i encara més la làmpada d'arc Puydt, perquè aquesta última era una làmpada molt poc coneguda no tan sols a Espanya, sinó a Europa. No obstant això, el tipus de sistema regulador era similar al que sí que s'utilitzava llavors, però tenia la característica d'utilitzar la regulació diferencial molt més innovadora que la utilitzada a les làmpades conegudes tipus Serrin o Gramme. També va utilitzar llums d'incandescència, però aquests eren portàtils i anaven alimentats amb piles. Pel que fa a les màquines, va adquirir les que més s'utilitzaven en aquell moment, que eren les Gramme L5 fabricades als tallers de Barcelona, i que havia «re-dissenyat» Narcís Xifra.

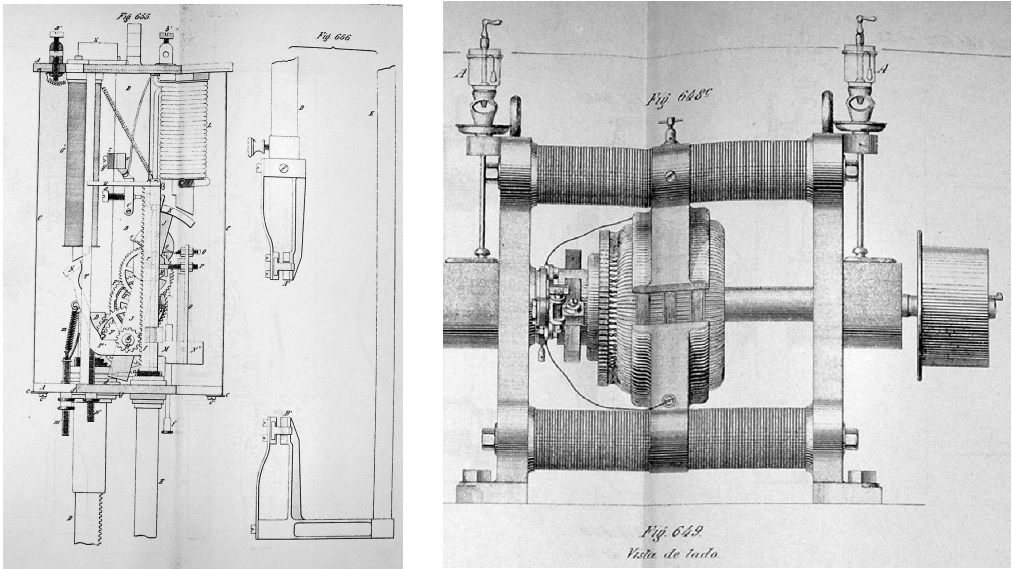


Figura 1. A l'esquerra, la làmpada Puydt i, a la dreta, la màquina Gramme L5.

Bibliografia

MARISTANY, E. (1891), *El túnel de la Argentera. Tratado de construcción de túneles*, Barcelona, Imprenta de Henrich y Cia, 3 v.

VALDÉS, J. (1892), «Alumbrado eléctrico del Puerto de Barcelona», *Revista de Obras Públicas*, **x**, Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

