

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS. CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

Sobre la comparación de diferentes modos de transporte de la energía eléctrica.

Comunicación dirigida al Congreso de Electricidad de Marsella por M. Boissonnas, Ingeniero, director general de la Sociedad Franco-Suiza de la Industria Eléctrica.

La superioridad de las corrientes trifásicas para el transporte de la energía eléctrica viene afirmándose cada vez más desde que se realizó el primer transporte, hace apenas un cuarto de siglo. Sorprende asimismo, cuando se consideran los varios y decisivos progresos llevados á cabo en todos los dominios de la electricidad, que no haya surgido un hecho nuevo, capaz de hacer entrever al fértil cerebro de los inventores un modo distinto de transmisión, susceptible de una aplicación tan general.

No nos detengamos en los transportes de energía á corta distancia y sus aplicaciones al alumbrado.

Ya se haga la distribución por corriente continua ó por corriente alternativa, los métodos han llegado á precisarse en múltiples ejemplos que han dado reglas unánimemente reconocidas y aplicadas. La tensión siempre creciente, debida al perfeccionamiento de las lámparas, podrá reportar aún mayores facilidades; pero las disposiciones hasta ahora empleadas son bastante perfectas para resolver de manera satisfactoria cuantos problemas puedan ocurrir en las distribuciones más complejas.

La corriente continua, con sus baterías de acumuladores y sus elevadores de tensión, conserva aún sus partidarios, y se ha demostrado también que la corriente alternativa trifásica ó monofásica da un servicio perfecto en instalaciones potentes.

Todo es cuestión de cálculo para cada caso particular, cuyas condiciones especiales determinan la elección del sistema conforme á leyes perfectamente definidas, que no permiten esperar importantes mejoramientos en tanto que la producción de luz siga haciéndose por los métodos actuales.

El problema es más complejo en el transporte de energía á gran distancia, y su solución depende esencialmente del grado de intensidad correspondiente á la distribución secundaria de energía, ó de las necesidades de la clientela.

No es esta la ocasión de insistir respecto á los factores que gobiernan el establecimiento de una línea de transporte aérea ó subterránea, puesto que los trabajos de especialis-

tas eminentes han hecho accesibles á todo electricista la comprensión y el cálculo de los efectos de la inducción y de la capacidad, ó de las diferentes pérdidas por defecto de aislamiento. Atendamos únicamente á las consecuencias de la aplicación de estas reglas, y notemos que la distancia de transporte de 200 kilómetro con tensión de 60.000 voltios y frecuencia de cincuenta períodos por segundo con corriente trifásica puede ya considerarse como industrial.

No pueden rebasarse estos límites sin disminuir la periodicidad, y una Memoria reciente, muy notable desde diversos puntos de vista, habla de un transporte del *Alto Ródano á París* en una distancia de 450 kilómetros, con tensión de 120.000 voltios y veinticinco períodos por segundo. Verdad que en este caso se trata de una amplificación de condiciones que la práctica ha sancionado; pero teóricamente, nada parece oponerse á su realización.

Una cuestión queda, sin embargo, pendiente: la de la importancia de las variaciones de tensión á la llegada, no sólo en relación con la carga de la línea, sino, sobre todo, con respecto á las perturbaciones que pueden provocar los fenómenos atmosféricos. Ya á la distancia de 200 kilómetros, el reglaje á la llegada da lugar, si no á dificultades que todas pueden resolverse cuando la cuestión de gasto no entra en juego, por lo menos á un gran encarecimiento del coste de transporte, supuestas las disposiciones especiales necesarias, principalmente, para la producción de la luz.

Solamente el hecho de adoptar una frecuencia de veinticinco períodos por segundo, trae consigo la necesidad de elevarla para ciertos usos. Desgraciadamente, no existe todavía un medio de transformar la frecuencia sin que también se transforme la energía misma, asunto que se presta aún á las más fructuosas investigaciones.

Esta preocupación del reglaje á gran distancia fué la que influyó en favor de las corrientes bifásicas antes de la generalización de las trifásicas, con la idea de reglar independientemente cada una de las fases. Surgió luego la idea de reglar especialmente una fase de las corrientes trifásicas, haciendo que todos los transformadores de luz funcionen sobre aquella misma fase.

Por ingeniosas que hayan sido las aplicaciones de estas disposiciones, no han llegado á generalizarse, puesto que el empleo directo de las corrientes trifásicas da una solución suficientemente satisfactoria, siempre que no se trate de distancias demasiado grandes.

Se adopta con frecuencia la distribución con hilo neutro en las redes secundarias, lo que proporciona todas las ventajas de la corriente monofásica, insertando las lámparas entre los hilos extremos y neutro.

En cuanto á la distribución por corriente monofásica, ha recibido las más felices aplicaciones en la tracción eléctrica. Débelo, particularmente, á la posibilidad de instalar un solo contacto resbaladizo con línea aérea única, utilizando la tierra como complemento de línea.

Los perfeccionamientos realizados en los motores monofásicos han dado á esta aplicación una extensión considerable y han realizado la tracción eléctrica á largas distancias, merced á simples transformadores de tensión colocados en todo el trayecto.

En otras aplicaciones, la corriente transmitida por dos conductores aéreos es recibida por transformadores colocados, bien en los vehículos mismos, bien en los tractores. Por esta toma de corrientes resbaladizas ha podido emplearse con éxito la tensión de 15.000 voltios. Resulta, pues, posible proceder á las combinaciones más diversas por vía de acoplamiento entre los transformadores y los motores, sin excluir la transformación completa de la corriente de alta tensión monofásica en corriente continua por la transmisión directa á los motores colocados en cada vehículo.

Á pesar de las ventajas decisivas que ofrecen las corrientes trifásicas, hay que reconocer que su aplicación está contenida dentro de los límites que le marcan los aisladores de que dispone la industria eléctrica.

Desde tal punto de vista, ensayos recientes muy notables efectuados con cables subterráneos han permitido elevar la tensión de prueba á 300.000 voltios en corriente continua, mientras que en corrientes alternativas, y cualesquiera que sean las disposiciones adoptadas, resultan dificultísimas las experiencias en cuanto se excede de los 100.000 voltios.

Así, pues, la corriente continua se presta muy particularmente al transporte á grandes distancias y con su empleo no habrá ya que excluir los cables subterráneos. He aquí un nuevo campo de aplicaciones que se abre. No solamente se evitarán los gastos enormes de la vigilancia de líneas y entretenimiento de soportes, sino que habrá posibilidad de penetrar en las localidades habitadas, no importa por dónde, sin necesidad de transformar previamente la energía.

Desgraciadamente, y por más que hayan podido construirse dinamos de ensayo que dan hasta 25.000 voltios por colector, la producción de altas tensiones con corriente continua no ha permitido pasar hasta ahora en modo alguno de unatensión práctica de 4.000 voltios por unidad aproximadamente. Resulta de aquí la necesidad de la marcha en serie de un número considerable de dinamos para producir tensiones elevadas, y como corolario un coste de instalación muy elevado y grandes gastos de explotación.

Á reserva de que este punto quede en su día debidamente resuelto, no puede prescindirse de admirar los resultados obtenidos en recientes aplicaciones del sistema, é interesa insistir todavía sobre sus ventajas, puesto que si las dinamos traen grandes complicaciones, en cambio la línea, los cuadros y las maniobras de servicio son muy sencillas.

Merece llamar la atención un caso reciente, en el cual se ha logrado la combinación del transporte en corriente continua, empleando generatrices y motores en serie con un transporte en corriente trifásica. Parece que se han obteni-

do resultados prácticos muy interesantes, como lo prueba una aplicación en la cual la tensión de la corriente continua se hizo llegar á 80.000 voltios (1).

Para apreciar debidamente el carácter de esta combinación, es necesario recordar las condiciones en que se presenta frecuentemente el problema de la transmisión á gran distancia.

Es verdaderamente excepcional que una distribución de energía pueda realizarse conforme al programa concebido en un principio. Casi todos los ejemplos conocidos muestran que el desevolvemento completo no se consigue sino gradualmente, no tratándose en el origen sino de una fuerza relativamente restringida, producida por una primera fábrica generatriz, á la que después se añaden otras varias.

Las redes mismas siguieron el mismo desevolvemento sucesivo, y por las extensiones ulteriores, numerosas localidades se encuentran suministradas por alimentadores especiales, procedentes de fábricas especiales también, excluyendo la marcha general en paralelo de todas las fábricas generatrices. Viene después la necesidad práctica en las redes de líneas aéreas de evitar la solidaridad de todo el sistema y hacer independientes las diferentes secciones, para evitar una suspensión general del servicio en caso de avería en cualquiera de las líneas.

El inconveniente de que adolecen las instalaciones de este género es la dificultad de obtener en cada momento el rendimiento máximo de cada una de las fábricas cuya producción se halla sometida á las redes especiales que alimentan.

Entonces es cuando ocurre la posibilidad de acoplar las redes secundarias en paralelo por medio de convertidores, motores de corriente continua en serie y generatrices de corriente alternativa, introduciendo en el sistema generatrices sincrónicas que permiten combatir por su sobreexcitación los efectos perjudiciales de la diferencia de fase y solucionar todas las dificultades del reglaje, aliviando la red en los puntos de mayor carga.

El sistema continuo en serie trabaja entonces en las mejores condiciones, puesto que se limita á uno ó dos centros de distribución donde la energía es suministrada á intensidad constante y en que la corriente trifásica, además de proveer quizá á la mayor parte de la distribución, mantiene la reserva necesaria para hacer frente á las variaciones de consumo.

La corriente trifásica daría sin duda el mismo resultado; pero son mayores los títulos de preferencia de la corriente continua; ante todo, la más alta tensión realizable en la línea, después su penetración por cables en el interior de poblados, y por último, una gran simplificación en el establecimiento de la línea aérea, particularmente apreciable en las localidades de densa población, sin hablar de las mayores facilidades de protección contra los fenómenos de las descargas atmosféricas.

Acrece la importancia de la combinación cuando la distribución tiene por objeto el suministro de energía para tranvías por corriente continua á 600 voltios; exige indispensablemente una transformación. Se obtienen así todas las ventajas que proporciona el acoplamiento de una fábrica de vapor con red trifásica hidroeléctrica, manteniéndose la

(1) Refiérese al transporte de energía Montiers Lyon descrito en la *Houille Blanche* de Octubre de 1908.—N. D. L. R.

economía que da la producción de la energía hidroeléctrica, sobre todo cuando se dispone de un depósito hidráulico.

Por más que no se trate sino de un caso especial, hemos creído interesante señalarlo, porque contribuye á poner de relieve las ventajas y los inconvenientes de las corrientes trifásicas, tan maravillosas en todas sus aplicaciones.

Sería salir del cuadro de esta exposición el tratar de una manera más profunda los diferentes sistemas de transmisión de la energía eléctrica. El tema es tan vasto que no nos ha parecido posible entrar en más detalles sin hacer estadística ó dar un verdadero curso de electricidad. Por otra parte, no podía tratarse sino de una iniciación en la materia, puesto que los diversos elementos del transporte de electricidad serán objeto de trabajos especiales que han de presentarse al Congreso (1).

EL PUERTO DE LONDRES (2)

GENERALIDADES

I.—EL TÁMESIS

La asombrosa prosperidad del puerto de Londres proviene, en primer lugar, de las condiciones extraordinariamente favorables del río Támesis. Este río no está sometido á variaciones de nivel considerables, ni bloqueado por los hielos en el invierno. No ha exigido, para dar entrada á los navíos más grandes hasta Londres mismo, ningún trabajo relativamente importante de regularización ó dragado. Su lecho se mantiene sin alteración casi.

El principal obstáculo para la navegación consiste en los altos fondos de Leigh Middle entre Shoeburyness y la punta Carvey, los cuales se extienden por una longitud de 7 millas inglesas. En este trozo del río se proyectan obras de mejoramiento.

Remontando el Támesis, desde Carvey-Point, las profundidades en aguas bajas ordinarias son las siguientes: de Carvey-Point á Broadness-Point, 9,90 m.; de Broadness-Point á Greenhithe, 6,60 m. á 7,92 m., y luego disminuye progresivamente hasta llegar al mínimo de 3,96 m., en el límite del Támesis marítimo, es decir, en los Docks de Santa Catalina. El ancho desciende á 99 m. en algunos parajes, lo que ha dado lugar á colisiones.

Las curvas hasta Margaritness son de radios superiores á 3/4 de milla; en Margaritness existe una curva de 1/2 milla de radio, y aguas arriba de los Victoria-Docks, una curva de 1/4 de milla. Estas condiciones empiezan también á ser insuficientes para la comodidad de la navegación actual.

En resumen, el Támesis ha poseído hasta hace poco tiempo excelentes condiciones naturales para la navegación, pero exigirá trabajos importantes en un porvenir próximo.

II.—NATURALEZA É IMPORTANCIA DEL PUERTO DE LONDRES

El puerto de Londres es desde hace dos siglos el más grande del mundo por el tonelaje y el comercio. Su importancia ha ido en aumento de una manera continua desde su fundación. La progresión de ese ha decaído, sin embargo, en estos últimos años. He aquí el aumento del tonelaje en tanto por ciento para las cuatro décadas transcurridas desde 1859 á 1899:

Aumento en % de 1869 sobre 1859.....	39
» » 1879 » 1869.....	43
» » 1889 » 1879.....	37
» » 1899 » 1889.....	26

(1) De *La Energía Eléctrica*.

(2) De la Memoria oficial presentada al Ministerio de Fomento de la República Argentina por el Sr. D. E. García de Zúñiga, comisionado por el Gobierno para estudiar los principales puertos de Europa.

Con relación á otros puertos, el aumento porcentual de 1899 sobre 1890 es superior al de Londres en los siguientes: Glasgow, Southampton, Bristol, Hamburgo, Rotterdam, Marsella, Génova, Trieste; es decir, en casi todos los puertos principales de Europa.

Pero no hay que exagerar las consecuencias de estos resultados. En primer lugar, es natural que un puerto llegado á un punto avanzadísimo de desarrollo no progrese ya con la rapidez creciente de los puertos nuevos, y en segundo lugar, los otros puertos citados son puertos de escala, en tanto que el de Londres es un puerto de desembarco definitivo.

En Londres la cifra de la exportación es muy inferior á la de las importaciones, porque Londres es esencialmente un centro de consumo, sin dejar de ser el más grande mercado europeo de productos coloniales.

Sus importaciones pueden considerarse divididas en tres grandes categorías:

- a) Importaciones para el consumo de Londres.
- b) Importaciones para el consumo del país.
- c) Importaciones provisionales destinadas al consumo extranjero.

La cifra correspondiente á la primera categoría ha aumentado naturalmente con el desarrollo mismo de la ciudad; el aumento del tonelaje del puerto debe atribuirse á esta categoría en gran parte. Pero en lo que concierne á la tercera categoría, Londres parece haber perdido terreno en estos últimos años. Las causas probables de ese retroceso relativo son:

A) Insuficiencia—con respecto á las nuevas condiciones de la navegación—de las profundidades del Támesis y del acceso al puerto en general.

B) Aumento del comercio de otros puertos; apertura del Canal de Suez; creación de líneas trasatlánticas directas.

Estas causas generales del decaimiento del comercio de Londres no podrían evidentemente ser compensadas por modificaciones en la organización técnica ó administrativa del puerto; pero se advierte ya la necesidad de algunos mejoramientos que atenuen al menos los efectos de aquellas causas.

Al dar una idea de las diversas autoridades que intervienen en la administración del puerto de Londres y de la navegación del Támesis, diremos de paso en qué consisten estos mejoramientos necesarios.

III.—AUTORIDADES DEL PUERTO DE LONDRES Y DEL TÁMESIS

Estas autoridades son cinco:

- 1.º «Thames Conservancy».
- 2.º «Trinity House».
- 3.º «Watermen's Company».
- 4.º Autoridad sanitaria del puerto.
- 5.º Policía del puerto.

Vamos á estudiar lo más sumariamente posible estas cinco administraciones.

1.º—«Thames Conservancy.»

La *Thames Conservancy* fué fundada en 1857 con la atribución, en primer término, de conservar y mejorar las condiciones de navegación del río; pero sus poderes son extensísimos, pues en realidad está encargada de todo lo que no ha sido especialmente encomendado á otros servicios.

A) *Zonas de acción*.—Sus poderes se extienden á todo el curso del Támesis fluvial y marítimo y aun al canal exterior para las cuestiones de dragado. Todo lo concerniente á los dragados, la remoción del lodo y la policía de limpieza del río, entra en sus atribuciones.

B) *Constitución*.—La *Thames Conservancy* es un cuerpo compuesto de 38 miembros que representan en general todos los poderes interesados: Almirantazgo, Board of Trade (Ministerio de Comercio), Consejos de los diferentes Condados, etc. Se subdivide en dos *Comités* que tienen su contabilidad separada: el Comité del Alto Támesis y el Comité del Bajo Támesis. Estos Co-