

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE SEPTIEMBRE DE 1892.

4.ª Serie.

Tomo 10.

Número 18.

AÑO XL DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

El túnel de la Argentera. Tratado de construcción de túneles.—Alumbrado eléctrico del puerto de Barcelona.

SUMARIO DEL BOLETIN.—La grua eléctrica del puerto de Hamburgo.—Noticias.—Bibliografía.—Parte oficial.—Subastas.—Movimiento del personal de Obras públicas.

EL TÚNEL DE LA ARGENTERA

TRATADO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES (1)

(Continuación.)

La energía eléctrica se distribuía como sigue en el túnel de Argentera. Del lado de entrada, pozo núm. 3, había:

En la sala de máquinas una lámpara Puydt de 100 carcel.

Otra al aire libre colocada cerca de la boca del pozo, de modo que ésta recibiese mucha luz.

Otra en el fondo del mismo, para alumbrar las maniobras de extracción de escombros.

Otra que alumbraba los trabajos del Stross, y por último, una más en la sección del revestimiento.

La boca de salida correspondía al pozo núm. 4, que era en donde estaban instaladas las dinamos y desde donde había que conducir la energía por ellas transformada hasta el pozo núm. 3, como se ha dicho ya. En dicho lado las lámparas ocupaban posiciones enteramente análogas á las que les hemos señalado en el de entrada; existían, pues, 10 lámparas de arco voltaico alumbrando los diferentes servicios.

Naturaleza de las superficies á iluminar en el túnel de Argentera y cantidad de luz indispensable á cada una.—Evidentemente cambia la na-

(1) Véase la REVISTA del 15 de Septiembre de este año, pág. 257.

turalidad de la superficie, según el sitio que ocupa la sección considerada del túnel; pero puede decirse que por lo general el color negro absorbente que dominó en la mayor parte de la longitud del túnel, propio de las areniscas y granitos que constituían sus paredes, hacia que, á pesar del exceso de energía eléctrica gastado, no pudiera considerarse el espacio que ocupaban los trabajos como suficientemente alumbrado.

Esto fué causa de que hubiese que combinar entre sí los focos, estrechando las distancias normales á que debían abrirse las distintas secciones de trabajo del túnel. Desde este punto de vista hubiera podido considerarse como insuficiente el alumbrado medio de una bujía-metro; pero como antes demostramos que este mismo alumbrado medio era defectuoso por exceso y ocasionaba, por lo tanto, pérdidas en la intensidad de la luz, pudimos compensar aquel defecto con este exceso combinando, como veremos, los focos, aunque en perjuicio de la distancia fija y normal que entre sí deben guardar las distintas secciones de trabajo. Esta distancia se fijó en 60 metros aproximadamente, y se situaron las lámparas á tresbolillo con respecto al eje del túnel. La parte central comprendida entre ambas recibía, por consiguiente, un alumbrado medio de cerca de dos bujías-metro.

A las secciones de trabajo situadas fuera del túnel pertenece la sala de máquinas; pero su alumbrado no ofrece ninguna particularidad, si bien la importancia del servicio de extracción, cuya máquina debe ser objeto de especial atención, exigía tomar cuantas precauciones son conocidas, á fin de asegurar por todos conceptos su buena marcha é impedir la interrupción del servicio.

Por esta razón fué que, además de las lámparas de arco voltaico, se instalaron en la misma sala de máquinas varias lámparas de petróleo que aseguraban la continuidad del alumbrado, por lo menos en el departamento del motor de extracción. En cuanto á la boca de los pozos, clasificados ya de *pasos concurridos* en el artículo 1.º del presente capítulo, necesitaban un alumbrado cuya intensidad fuese de dos bujías-metro; por consiguiente, conocido este número falta solo buscar la altura á que deberá suspenderse la lámpara encima de la boca y la distancia máxima á que de la misma podrá colocarse, con el fin de aprovechar su luz para alumbrar el sitio de descarga de las vagonetas de extracción en el terraplén de escombros.

Emplearemos siempre la fórmula conocida á la que damos valores desde luego, y tendremos:

$$x = \sqrt{\frac{0,845 \times 100}{0,2}} = 20,55 \text{ é } y = \frac{20,55}{\sqrt{2}} = 14,50.$$

Por lo tanto, la lámpara Puydt, de 100 carcels, podrá colocarse en la circunferencia del círculo de 20,50 metros radio, trazado desde el eje del pozo como centro y en el punto que más convenga á los fines anteriormente citados. Su altura sobre el suelo podría ser hasta de 14,50 metros. En la Argentera solo se disponía de una altura de 8,75. Para alumbrar mejor el terraplén de escombros, se procuró aumentar el radio de acción de las lámparas proveyéndolas de reflectores.

Distribución de la energía eléctrica. Condiciones en las cuales debían funcionar las lámparas.—Hemos visto que á fin de conocer el número de caballos necesarios para la producción de la energía eléctrica correspondiente al total de intensidad luminoso requerida, bastaba multiplicar por 7,50 ó por 6, según que el tipo de lámpara adoptado sea de 50 ó 100 carcels el total de éstos, y dividir por 736 el producto. Por consiguiente, correspondiéndoles á las 10 lámparas de arco voltaico que funcionaban simultáneamente en el interior del túnel de Argentera un total de carcels igual á $10 \times 100 \text{ carcels} = 1.000 \text{ carcels}$, la energía eléctrica que las alimentaba equivale á

$$\frac{1.000 \times 6 \text{ wats}}{736} = \frac{6.000 \text{ wats}}{736} = 8,15 \text{ caballos de vapor.}$$

Así, pues, la fuerza teórica que se necesitaba para engendrar exclusivamente la corriente eléctrica que alimentaba el total de lámparas, era 8,15 caballos de vapor.

Sistema de distribución adoptado en el túnel de Argentera.—Al hablar de la distribución, en el artículo 1.º del presente capítulo, no dimos la preferencia á ninguno de los sistemas conocidos: no repetiremos aquí las causas que motivaron aquella determinación; sin embargo, hicimos constar que la citada elección debía resultar de los cálculos efectuados en ambos sistemas y como consecuencia de la comparación establecida entre ellos. En la perforación del túnel de Argentera debían alumbrarse diez secciones distintas, seis de ellas de una manera permanente ó sea día y noche. De estas últimas cinco eran susceptibles de ser colocadas á gran distancia del foco central. Veamos, pues, las condiciones resultantes del sistema de distribución que se adopte. En la distribución en serie sabemos que la fuerza electromotriz necesaria exige una diferencia de potenciales E en los bornes de la máquina representada por la ecuación $E = ne$, más la pérdida de nivel eléctrico debida á la resistencia del conductor. En nuestro caso, n es igual 10 y e vale 50 volts; por consiguiente:

$$E = 10 \times 50 = 500 \text{ volts.}$$

A la ventaja de tan pequeña fuerza electromotriz total debemos añadir la que resulta de la economía en los conductores, que en nuestro caso resultan larguísimo, sobre todo si se tiene en cuenta el número relativamente pequeño de lámparas.

Por el contrario, en la distribución en cantidad, aun cuando los circuitos que transmitían la energía eléctrica á las lámparas situadas en la galería de avance correspondiente al pozo 3 se colocasen en derivación del circuito destinado á las lámparas de las instalaciones de dicho pozo, se originaba siempre un gran gasto de hilo para el conductor que debía unir los pozos 3 y 4, por la gran distancia que los separaba. Además, la resistencia debía absorber una energía considerable, pues sabido es que para lograr un rendimiento algo regular no deben admitirse distancias mayores de 500 á 600 metros desde las dinamos, siendo así que el hilo conductor entre los pozos medía por sí solo 5.000 metros. Estas consideraciones hicieron adoptar en el túnel de Argentera la distribución en serie ó tensión, sobre todo teniendo en cuenta que la variación de la fuerza electromotriz, resultante de la supresión ó aumento del número de lámparas que entraban en el circuito, puesto que de día debían aislarse las lámparas de las instalaciones y las de las bocas de los pozos, podía obtenerse modificando simplemente el ángulo de fijación de las escobillas de las dinamos.

Conductores.—El circuito en tensión que alimentaba las diez lámparas de arco, tenía una longitud que puede descomponerse como sigue:

Desde el cuadro de distribución al fondo del pozo 4.	150 metros.
La última lámpara en el interior del túnel podía hallarse situada á.	1.500 —
El hilo de vuelta debía tener.	2.650 —
Desde la salida del pozo 4 al pozo 3.	2.500 —
La altura del pozo núm. 3.	130 —
Desde el fondo de éste al punto en donde problemáticamente debía colocarse la última lámpara.	500 —
Y para el cierre del circuito desde este último punto.	3.120 —

Por consiguiente, la longitud total del conductor era de 10.550 metros, digamos 11 kilómetros.

Al calcular la sección de un conductor tendremos presentes tres circunstancias:

- 1.^a La pérdida de carga ocasionada por la corriente en los conductores.
- 2.^a La temperatura determinada por el paso de la corriente en los mismos.
- 3.^a Los gastos de instalación.

La pérdida de carga debe darse, mejor aún, establecerse *a priori*. Su valor cambia en razón inversa de los gastos de instalación y del coste de producción, ocasionado este último por los motores, y por consiguiente es

factor muy importante, cuando no se dispone de un salto de agua que suministre con exceso la fuerza.

De la combinación entre ambos gastos, ó de la mayor ó menor latitud que se tolere ó pueda consentirse en la determinación de éstos, depende el tanto por ciento de pérdida previsto. Generalmente varía entre 5 y 15 por 100.

En nuestro caso debemos estudiar además una circunstancia impuesta por la naturaleza del trabajo que nos ocupa, fortuita hasta cierto punto, por lo cual no la tuvimos en cuenta en la determinación general de la pérdida de carga; nos referimos á la humedad del ambiente que rodea los conductores, pues ya hemos visto en el capítulo XV, al tratar de los agotamientos, la abundancia de aguas con que se tropezó en la perforación del túnel. Desde este punto de vista observaremos que un hilo suspendido en una atmósfera tranquila se enfría por radiación y por conductibilidad. La radiación sigue la ley de Dulong y Petit: varía con la naturaleza de la superficie del hilo y en rigor con la naturaleza de las superficies de los cuerpos adyacentes, si bien en la práctica se desprecia esta causa. La pérdida por conductibilidad puede tomarse igual á 0,00175 wats por centímetro de longitud y grado centígrado de elevación de temperatura en todos los hilos. El enfriamiento por conductibilidad en una atmósfera libre se modifica en grandes proporciones con el estado de la atmósfera; cuando esto ocurre, el aumento de enfriamiento es proporcional al diámetro y su valor se considera igual á $0,13d$ wats por centímetro de longitud y por grado centígrado de elevación de temperatura, siendo d el diámetro expresado en centímetros. Una envolvente de algodón ennegrecido se opone á la elevación de temperatura, mientras que otra envolvente de algodón blanco la favorece por ser de menor diámetro. De todas estas consideraciones deduciremos que la situación del conductor en la atmósfera interior del túnel puede ser causa de rápidos deterioros, y más si tenemos en cuenta la poca estabilidad de las lámparas por el continuo avance de las secciones de trabajo en que servían. Este accidente ocurrió, en efecto, repetidas veces y nos decidió á aceptar un diámetro para el hilo, algo grueso, fijando en cambio un tanto por ciento moderado, 12 por 100 para valor de la pérdida de carga. Para una lámpara de 45 volts en régimen normal, como exigían en realidad las empleadas en el túnel de Argentera, corresponderá un aumento de 5,40 volts, lo cual equivale á colocar lámparas de 50 volts.

La pérdida de fuerza electromotriz se calcula por la fórmula de Ohm,

$$I = \frac{E}{R}$$

Dada la longitud del hilo l , y sabiendo que un Ohm es la resistencia que opone un hilo de cobre de un milímetro cuadrado de sección y de 48 metros de longitud, conocemos la sección del hilo por la fórmula:

$$s = \frac{l}{48R}$$

deducida de la anterior poniendo en lugar de R su valor $\frac{l}{48s}$, calculado según la definición de Ohm, ó bien,

$$s = \frac{11.000 \times 12}{48 \times 500} = 5,5 \text{ milímetros cuadrados de sección.}$$

Debemos examinar, antes de aceptar definitivamente este resultado, si la elevación de temperatura, producida por el paso de la corriente, puede perjudicar á la conservación del conductor.

Sabemos que la energía eléctrica consumida por un conductor atravesado por una corriente, es (ley de Joule) proporcional á la resistencia R de aquél, al cuadrado de la intensidad I de ésta y al tiempo durante el cual se realiza el fenómeno; expresándola, pues, por W , tendremos

$$W = RI^2t,$$

ó bien

$$W = RI^2$$

si nos referimos á un segundo de tiempo.

Es de advertir que este valor de W resulta expresado en joules, y puesto que

$$1 \text{ joule} = \frac{1}{9,85} \text{ kilográmetro,}$$

para obtenerlo reducido á esta última unidad deberemos multiplicar por

$\frac{1}{9,81}$ el segundo miembro de la fórmula, que se convierte entonces en:

$$W = \frac{RI^2}{9,81}$$

Por otra parte, la ley de Ohm, $I = \frac{E}{R}$, nos permite transformar el nu-

merador RI^2 en EI , si sustituimos la letra R por su valor deducido de ella. Tendremos, pues,

$$W = \frac{EI}{9,81} \text{ kilogrametros.}$$

Dividiendo este número por A , equivalente mecánico del calor, tendremos el número de calorías absorbidas por el conductor en un segundo cuando lo atraviesa una corriente de intensidad I y fuerza electromotriz E . Llamándola C , tendremos:

$$C = \frac{EI}{9,81A} = \frac{EI}{9,81 \times 425}.$$

Efectuando las operaciones después de poner en vez de E é I sus valores, tendremos:

$$C = \frac{500 \times 12}{4,169} = 1,4.$$

El conductor absorberá, pues, 1,4 calorías por segundo.

Por otra parte, hemos visto que la conductibilidad lo enfriaría de $0,013 \times d$ wats. Siendo $5,5 \text{ mm}^2$ la sección que encontramos para el conductor, el valor correspondiente de d es de 2,6 milímetros; por consiguiente, si consideramos todo el conductor en idénticas condiciones, el enfriamiento será equivalente á $0,013 \times 0,26 \times 1.100.000$ wats.

El diámetro del hilo, así como su longitud, se ha expresado en centímetros, y, como quiera que el wat vale un joule por 1", resulta:

$$0,013 \times 0,24 \times 1.100.000 = 3.718 \text{ joules.}$$

Estos corresponden á $\frac{3.718}{9,81} = 379$ kilogrametros, como hemos visto,

y por consiguiente, á $\frac{379}{425} = 0,891$ calorías térmicas.

El exceso de la elevación de temperatura sobre el enfriamiento nos obliga, por consiguiente, á aumentar el diámetro del conductor, el cual se fijó, para la distribución general de la energía eléctrica, en 3 milímetros, admitiéndose un exceso de 5° sobre la temperatura de la atmósfera ambiente, diferencia que permite perfectamente una corriente de 15 amperes.

Los conductores en el túnel de Argentera se emplearon estañados y recubiertos por tres envoltentes distintas: la primera estaba formada por fi-

lamentos de algodón; la segunda por una trenza de caucho aislada del hilo por dichos filamentos, y la tercera la constituía otra trenza de algodón recubierta de asfalto. Como quiera que la rotura del conductor se repetía á menudo, en el interior del túnel se hacía una unión provisional con hilos de un diámetro algo menor.

Dado el escaso número de lámparas, no hay que preocuparse con el exceso de gastos de instalación correspondientes á las pérdidas de cargas admitidas. En cuanto á la fuerza disponible podía ser susceptible de alguna variación, puesto que el motor de 30 caballos bastaba suficientemente para este servicio y el de ventilación, dado el caso que los agotamientos no hubiesen traspasado el tipo normal que al principiar los trabajos se creyó prudente fijar.

Máquinas dinamoeléctricas.—Hemos indicado las diferentes condiciones á que están sujetas las instalaciones de las dinamos. Siendo muy conocida la máquina Gramme tipo, llamado de cinco luces, adoptada para el alumbrado eléctrico del túnel de Argentera, podremos prescindir también de su descripción y pasar á ocuparnos en el cálculo de sus diversos elementos.

En términos generales puede decirse que sólo desde el punto de vista del número de wats que ella puede desarrollar, ha de preocuparnos el cálculo de una dinamo, puesto que con cambiar únicamente el diámetro del hilo varía ya la fuerza electromotriz disponible.

Así como en las máquinas de vapor, el problema es determinado solo en ciertas circunstancias. Sabemos, en efecto, que en el cálculo de los motores, por ejemplo, nos valemos, ó bien de la velocidad del émbolo para fijar las dimensiones del cilindro, en vista de la fuerza, ó bien determinaremos la velocidad en función de la fuerza y del volumen del cilindro; de la misma manera en las dinamos atendemos á la velocidad de rotación dada la masa de cobre útil, del inducido ó viceversa. Para hacer más patente la paridad existente entre ambos casos, estableceremos la comparación siguiente que encontramos en el Diccionario de Electricidad y Magnetismo, de Dumont.

(Se continuará.)

Para el establecimiento del alumbrado eléctrico del puerto de Barcelona se ha hecho un detenido estudio, del cual, nuestro compañero el distinguido Ingeniero D. Julio Valdés, ha tenido la bondad de remitirnos algunos datos, que empezamos á publicar en el presente número, creyendo que podrán ser de utilidad á los Ingenieros que se hayan de ocupar en trabajos análogos.