

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 15 DE SEPTIEMBRE DE 1892.

4.ª Serie.

Tomo 10.

Número 17.

AÑO XL DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

El túnel de la Argentera. Tratado de construcción de túneles.—Muros de acompañamiento, por D. E. Boix.—Lámina 131: *Muros de acompañamiento*.

SUMARIO DEL BOLETIN.—Instrucción para el abono de indemnizaciones y gratificaciones al personal facultativo de Obras públicas —Parte oficial.—Subastas.—Movimiento del personal de Obras públicas.

EL TÚNEL DE LA ARGENTERA

TRATADO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES (1)

(Continuación.)

No es propio de la presente obra analizar estas nuevas ideas, indispensables, sin embargo, para seguir los desarrollos de la ciencia, sobre todo en lo que se refiere á la electricidad; las admitiremos, empero, y daremos en forma de nota, para aquellos de nuestros lectores que no estén familiarizados ya con ellas, los elementos necesarios, siquiera sea el único fin de hacer comprensibles las nuevas denominaciones usadas (2).

(1) Véase la REVISTA del 30 de Agosto de este año, pág. 241.

(2) No pudiendo prescindir, como hemos dicho, de una explicación de la teoría de las unidades, por lo mismo que su empleo, de fecha recentísima, en todas las cuestiones referentes á la ciencia eléctrica es lo que dificulta más su estudio, y no queriendo tampoco traspasar los límites del cuadro marcado por el carácter de este libro, creemos que lo más práctico y más en armonía con lo que acerca de electricidad hemos aún de hablar, es exponer aquí con toda sencillez el sistema de unidades en uso, ya que el conocimiento de una teoría general de las mismas solo 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 á indicar todo lo que del sistema C. G. S. pueda convenir á un Ingeniero en su práctica diaria, en forma de nota, para no distraer la atención de los primeros, tomándolo de la excelente obra de electricidad industrial publicada por los Sres. Cadiat y Dubost.

Siempre es posible reducir el estudio de los fenómenos físicos al de los tres elementos siguientes: longitud, masa y tiempo; y éstos pueden expresarse en función de tres unidades, llamadas *fundamentales*, que en teoría podrían ser cualesquiera, pero que han sido ya fijadas por el Congreso de electricistas celebrado en París el año de 1881 á propuesta de la *British Association*. Dichas

Instalación general del alumbrado eléctrico en el túnel de Argentera.—
 En el edificio que hemos llamado de instalaciones generales, situado cerca del pozo 4, estaban montadas las cuatro dinamos que suministraban el

unidades son, respectivamente, el centímetro, el gramo-masa y el segundo; de aquí el nombre de sistema centímetro-gramo-segundo, ó abreviando la expresión, sistema C. G. S.

La unidad de longitud se indica por L, la de tiempo por T y la de masa por M; siendo de advertir que no se adoptó el peso, sino la masa de un gramo, esto es, la de un centímetro cúbico de agua destilada á la temperatura de 4 grados, porque aquél es variable con la latitud del lugar en que se opera, mientras que la masa es constante. Estas tres unidades se llaman unidades fundamentales y constituyen la base del sistema; para determinar las demás magnitudes se usan otras, conocidas con el nombre de derivadas, referidas á las primeras por medio de una ecuación ó fórmula llamada *dimensión* de la unidad derivada.

Como sucede con frecuencia que estas unidades son demasiado grandes ó muy pequeñas, con respecto á las magnitudes con que han de compararse, lo cual originaría fracciones ó números excesivamente grandes, como resultado de la medición, se ha recurrido al empleo de múltiplos y submúltiplos, que unidos en forma de afijos al nombre de la unidad correspondiente, la harán igual número de veces mayor ó menor que la unidad simple. Estos múltiplos y submúltiplos se expresan con las partículas siguientes.

Múltiplos.—Mega ó meg.....	designa	1.000.000 unidades.
Miria.....	—	10.000 —
Kilo.....	—	1.000 —
Hecto.....	—	100 —
Deca.....	—	10 —
Submúltiplos.—Deci.....	designa	$\frac{1}{10}$ de la unidad.
Centi.....	—	$\frac{1}{100}$ —
Mili.....	—	$\frac{1}{1.000}$ —
Micro ó micr.....	—	$\frac{1}{1.000.000}$ —

Las unidades derivadas pueden ser geométricas, mecánicas, magnéticas y eléctricas. De algunas otras no comprendidas en éstas, aun que de frecuente uso en la ciencia, nada diremos.

Las unidades geométricas, prescindiendo de la de longitud, ya definida, son las de superficie y de volumen.

La primera en el sistema C. G. S., es el centímetro cuadrado, y puesto que L. expresa la de longitud, su dimensión es L.²

El centímetro cúbico es la unidad C. G. S. de volumen y su dimensión es igual á L.³

En mecánica se estudian velocidades y aceleraciones debidas á éstas, y también fuerzas y trabajos que las mismas desarrollan. Requiere, pues, cuatro unidades distintas para medir estas cantidades.

La unidad C. G. S. de velocidad es la de un móvil que en línea recta y con movimiento uniforme recorre un centímetro por segundo; por lo tanto, su dimensión es LT⁻¹, puesto que la ecuación del movimiento uniforme es $e = vt$, de donde $v = \frac{e}{t} = et^{-1}$. Para que haya aceleración es

preciso que el móvil esté animado de un movimiento variado. Cuando ésta es tal, que la velocidad aumenta un centímetro por segundo, la aceleración que le corresponde es la unidad C. G. S. de aceleración; pero entonces el movimiento de que se trata es uniformemente acelerado, y su ecuación, cuando la velocidad es cero, se expresa por $e = \frac{1}{2} gt^2$, de donde

$$de = gtdt; \frac{de}{dt} = gt = v,$$

fluido para el alumbrado eléctrico de todos los servicios. En planta ocupaban las cuatro dinamos los sendos vértices de un paralelogramo, cuyos lados mayores eran paralelos al de fachada principal del edificio; esto es,

luego $g = \frac{v}{t} = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$, valor de la dimensión de la unidad á que nos referimos.

A la unidad de fuerza en el sistema mencionado se la llama dina y se define diciendo que es la que puede comunicar á la unidad de masa en un segundo la unidad de aceleración. Es sabido que $f = Mg$, cuando M y g sean iguales á la unidad, f vale una dina; así, pues, su dimensión se expresará por MLT^{-2} .

La unidad de trabajo en el sistema C. G. S. se llama erg; es el trabajo producido por una dina cuando su punto de aplicación recorre, en el sentido en que ella obra, un centímetro de longitud; su dimensión es $MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$.

Siendo el kilogrametro trabajo producido por un peso de un kilogramo cuando el camino que recorre es de un metro, la unidad habitual de trabajo en mecánica conviene saber reducir los ergs á kilogrametros y recíprocamente. Ahora bien, puesto que las fuerzas son proporcionales á las aceleraciones que imprimen á un mismo cuerpo, y la de una dina es igual á un centímetro y á 981 centímetros, la correspondiente á un peso de un gramo en París, tendremos:

$$1 \text{ dina} : 1 \text{ gramo} = 1 \text{ cent.} : 981 \text{ cents.}$$

de donde se deduce,

$$1 \text{ dina} = \frac{1 \text{ gramo}}{981 \text{ cents.}} \times 1 \text{ cent.} = \frac{1}{981} \text{ gramo.}$$

Sabemos además que

$$1 \text{ erg.} = 1 \text{ dina} \times 1 \text{ centímetro,}$$

luego

$$1 \text{ erg.} = \frac{1}{981} \text{ gramo} \times 1 \text{ cent.} = \frac{0,001 \text{ kg.}}{981} \times 0,01 = \frac{1 \text{ kgm.}}{98.100.000}$$

y recíprocamente 1 kilogrametro = 98.100.000 ergs. Dividiendo por 75.

$$1 \text{ erg.} = \frac{1}{7.357.500.000} \text{ caballo de vapor,}$$

y en números redondos

$$1 \text{ caballo de vapor} = 7.350 \text{ meg - ergs. por segundo.}$$

Dos sistemas de unidades derivadas del fundamental C. G. S. se conocen para medir magnitudes eléctricas: se funda uno, conocido con el nombre de sistema *electroestático*, en las atracciones y repulsiones que entre sí ejercen dos cantidades de electricidad; el otro es el llamado *electromagnético*, al cual sirve de base la intensidad, definida por la acción de una corriente sobre un polo magnético; el primero no ofrece ningún interés práctico; fué el segundo elegido por la *British Association*, el que adoptó definitivamente el Congreso internacional de Electricistas, celebrado en París en Septiembre de 1881. De él, pues, solo trataremos aquí.

Para relacionar con las unidades geométricas y mecánicas ya conocidas las del sistema electromagnético, hay que definir antes la unidad de *polo magnético*; y puesto que de unidades magnéticas se trata, definiremos también la de *intensidad de campo magnético*, si bien advertiremos que una y otra son poco empleadas en la práctica y no tienen más objeto que establecer la expresada relación entre las tres clases de unidades derivadas susodichas.

Se llama *unidad de polo magnético* en el sistema C. G. S., á la intensidad de un polo que, obran-

una disposición análoga á la llamada á tresbolillo, para facilitar la vigilancia, lubricación y maniobra de las mismas, y su unión ó acoplamiento se efectuaba en serie. La corriente, al salir de las dinamos, atravesaba el

do sobre el otro polo idéntico, situado á un centímetro de distancia, lo repele con una fuerza igual á una dina.

Sean m y m' dos masas magnéticas situadas á la distancia d ; la fuerza que entre sí ejercen es, ley de Coulomb,

$$f = \frac{mm'}{d^2}.$$

Para que m represente la unidad de polo, se necesita, por definición, que sea igual á m' , y que d y f sean respectivamente las unidades de longitud y de fuerza; por consiguiente, puesto que la dimensión de la dina es MLT^{-2}

$$m^2 = ML^3T^{-2};$$

de donde se deduce,

$$m = \sqrt{ML^3T^{-2}} = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}$$

como dimensión de la unidad de polo.

La de *intensidad de campo magnético* se mide por la fuerza que éste ejerce sobre la unidad de intensidad de polo magnético, y se la define, en el sistema C. G. S., diciendo que es la de un campo en el cual la fuerza que obra sobre la unidad de polo magnético vale una dina; por consiguiente, dividiendo por L^2 la dimensión anterior, tendremos la de la unidad que definimos igual á

$$M^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} T^{-1}$$

Podemos ahora definir las unidades eléctricas y determinar sus dimensiones en el sistema C. G. S., para lo cual nos bastará conocer una, si logramos establecer fórmulas que relacionen entre sí á las distintas magnitudes de esta clase. Estas fórmulas existen, y nos dan otras tantas relaciones entre la intensidad, la fuerza electromotriz, la resistencia, la cantidad, la capacidad y la energía eléctricas, que llamaremos respectivamente i , v , r , q , c y w .

Determinaremos, pues, la unidad de intensidad eléctrica en el sistema C. G. S.; se la define diciendo que es la de una corriente que al atravesar un conductor de un centímetro de longitud, encurvado en arco de círculo de un centímetro de radio, ejerce una fuerza de una dina sobre la unidad de polo magnético colocada en el centro de dicho círculo.

Según la ley de Ampere, si f es la fuerza que ejerce una corriente circular de intensidad i , s la longitud del arco, d el radio del círculo y m la intensidad del polo magnético colocado en el centro, tendremos:

$$f = \frac{m \cdot i \cdot s}{d^2}$$

de donde se deduce,

$$i = \frac{fd^2}{m \cdot s}.$$

Reemplazando las letras por las dimensiones de las unidades correspondientes, el valor de i será la dimensión de la unidad de intensidad eléctrica. Así, pues,

$$i = \frac{M \cdot L \cdot T^{-2} \times L^2}{M^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} T^{-1} \times L} = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$

La unidad C. G. S. de cantidad, es la cantidad de electricidad que produce en un segundo una

cuadro de resistencia, el regulador de intensidad y se dirigía inmediatamente por el mismo pozo 4 al interior del túnel, donde alimentaba las lámparas de arco voltaico.

Cuando la unión de las galerías no se había verificado aún, se alimenta-

corriente cuya intensidad es igual á s ; y puesto que q é i están ligadas por la ecuación $q = it$, tendremos para dimensión de la unidad de cantidad la expresión

$$M \frac{1}{2} L \frac{1}{2} T^{-1} \times T = M \frac{1}{2} L \frac{1}{2}$$

Entre la fuerza electromotriz, la cantidad de electricidad y el trabajo desarrollado ó gastado por la corriente, hay una relación sencilla, que se formula así:

$$w = qe,$$

de la cual se deduce,

$$e = \frac{w}{q}.$$

Poniendo en lugar de w y q las dimensiones de la unidad correspondiente, deduciremos la dimensión de la *unidad de fuerza electromotriz* igual á $M \frac{1}{2} L \frac{3}{2} T^{-2}$ en el sistema C. G. S., y dividiendo ésta por la de la unidad de intensidad $M \frac{1}{2} L \frac{1}{2} T^{-2}$ obtendremos la de la *unidad de resistencia*, LT^{-1} en el mismo sistema, puesto que la ley de Ohm puede escribirse así: $r = \frac{e}{i}$; y la definición de dicha unidad es: *resistencia de un circuito atravesado por una corriente de intensidad 1, con una fuerza electromotriz también igual á la unidad.*

Finalmente, la unidad C. G. S. de capacidad es la de un condensador que encierra una cantidad de electricidad igual á la unidad con una fuerza electromotriz igual á la unidad también. La fórmula $C = \frac{q}{e}$ nos permitirá calcular su dimensión: $L_1^{-1} T^{-2}$.

Nos parece inútil definir aquí otras unidades; como las de presión, de temperatura, de calor, etc., etc., sobrado conocidas de todos; además dichas unidades, aunque aceptadas por los sabios, no han sido oficialmente reconocidas por el Congreso internacional de electricistas, ni forman parte del sistema C. G. S., aunque, hasta cierto punto, son derivadas de él.

Tampoco ha recaído decisión definitiva acerca de las unidades fotométricas, muchas de las cuales no han llegado á usarse después de propuestas; hasta el día, parece que la que tiene más probabilidades de generalizarse, si bien después de las modificaciones que indique la práctica, es la propuesta por Violle. Las más usadas hoy son: el carcel y la bujía ya definidas en este capítulo.

Para terminar esta nota, ya sobrado extensa, vamos á enumerar las unidades prácticas de electricidad, definiéndolas y consignando su relación con la correspondiente unidad C. G. S. Dichas unidades prácticas han sido determinadas de modo que satisfagan á las fórmulas que enlazan las cinco magnitudes eléctricas ya consideradas, y sus dimensiones son múltiplos ó submúltiplos decimales de las cinco unidades C. G. S.

1.º *Ampere*.—La unidad práctica de intensidad es el *ampere*: es la de una corriente que deposita por segundo 1.11.888 miligramos de plata, según cálculos recientes de Kohlrausch, y su valor es el décimo (10^{-1}) de la unidad C. G. S. correspondiente.

2.º *Ohm*.—La unidad práctica de resistencia es el *ohm*; está representada por la de una columna de mercurio de un milímetro cuadrado de sección y 106 centímetros de longitud á la temperatura del hielo fundente. También suele decirse que es la resistencia de un hilo de cobre de un milímetro de diámetro y 48 metros de longitud ó la de uno de hierro de 4 milímetros de diámetro y

ban las lámparas del pozo núm. 3 por el mismo hilo conductor, el cual pasaba directamente por encima de la montaña, ó sea por el «Collado de Argentera». Explicada en globo la instalación general del alumbrado eléctrico, pasaremos al estudio detallado del mismo.

100 metros de largo. En unidades C. G. S. puede expresarse por 10^9 , esto es; vale mil millones de unidades del sistema fundamental.

3.º *Volt.*—La unidad práctica de fuerza electromotriz es el volt.; vale 10^8 ó sean cien millones de unidades C. G. S. y se define diciendo que es la que engendra una corriente de un ampere en una resistencia de un ohm; esta es próximamente la f e de un elemento Daniell.

4.º *Coulomb.*—La unidad práctica de cantidad es el coulomb: esto es, la cantidad de electricidad que pasa en un segundo cuando la intensidad de la corriente es de un ampere; por consiguiente, referidas á un segundo de tiempo, las expresiones ampere y coulomb son idénticas. También es de uso frecuente medir las cantidades de electricidad en amperes-horas; el ampere-hora es la cantidad de fluido eléctrico que pasa en una hora por un conductor, cuando es igual á un ampere la intensidad de la corriente; por consiguiente, el ampere-hora vale 3.600 coulomb. En unidades C. G. S. el coulomb es igual á (10^{-4}) , es decir, un coulomb vale un décimo de la unidad correspondiente del sistema C. G. S.

5.º *Farad.*—La unidad práctica de capacidad es el farad: es aquella que encierra un coulomb de electricidad, con una fuerza electromotriz igual á un volt y vale mil millones de veces menos (10^{-9}) que la unidad C. G. S. correspondiente.

Volt-Coulomb.—La unidad práctica que expresa la energía de la corriente eléctrica, esto es, el trabajo transformado en calor, es el volt-coulomb ó Joule, es decir, el trabajo de un coulomb cuando la diferencia de potenciales es igual á un volt. Esto resulta de la ecuación de Joule para expresar el trabajo

$$v = q. e.$$

Su valor expresado en unidades correspondientes del sistema C. G. S., es de:

$$10^{-4} \times 10^8 = 10^7 \text{ ergs;}$$

y como antes hemos visto que un erg vale $\frac{1}{98.100.000}$ kilogrametro, un joule se expresa en kilogrametros por la fracción

$$1 \text{ joule} = \frac{10.000.000}{98.100.000} = \frac{1}{9,81} \text{ kilogrametro} = \frac{1}{736} \text{ caballo de vapor.}$$

Volt-ampere.—Puesto que un ampere es igual á un coulomb por segundo, podremos expresar con el producto *voltis* \times *amperes*, la potencia de la corriente en watts, es decir, su energía en la unidad de tiempo. La unidad práctica de potencia de corriente ó sea del volt-ampere, es el watt, que representa la potencia de una corriente cuando su intensidad es de un ampere y de un volt la diferencia de potenciales. Por consiguiente, la unidad de watt es igual á la unidad de joule durante un segundo.

Aunque antes dijimos que el sistema empleado en la medición de las magnitudes eléctricas era el electromagnético con preferencia al electrostático, daremos aquí la relación entre las unidades de cantidad en cada uno de ellos, por si ocurriese tener que hacer alguna reducción. Dicha relación tiene por dimensión $\left(\frac{L}{T}\right)$, fórmula que expresa una velocidad designada por la letra v . Su valor numérico varía entre $2,825 \times 10^{10}$ y $3,1074 \times 10^{10}$ centímetros; el que se adopta hoy es el determinado por Ayrton y Perry:

$$v = 2,98 \times 10^{10} \text{ centímetros.}$$

Esta cifra es la misma que expresa la velocidad de la luz.

Planteamiento del problema que se ha de resolver.—En toda instalación de alumbrado eléctrico debemos resolver varios problemas, cuya enunciación es la siguiente (1):

Cantidad de luz necesaria para iluminar los trabajos de perforación de un túnel.

Estudio de la distribución de la energía eléctrica.

Lámparas y máquinas generadoras de electricidad.

Cada una de estas cuestiones envuelve otras varias, cuya clasificación es como sigue:

En el primer problema, relativo á la determinación de la cantidad de luz necesaria, según la naturaleza del trabajo dado, debe estudiarse de un modo particular la clase de superficie á iluminar, así como la cantidad de luz indispensable á cada una de ellas.

En el problema de la distribución, estudiaremos las condiciones en que deben funcionar las lámparas y el sistema de distribución que en su vista adoptaremos; determinaremos además la densidad de la corriente de distribución, y por último, calcularemos la sección de los conductores.

Al resolver el último problema buscaremos los diversos elementos de las dinamos generadoras de la electricidad; estudiaremos las lámparas adoptadas, y finalmente, describiremos los aparatos accesorios, indispensables en toda instalación.

Naturalmente, en cada caso compararemos los resultados hallados con los obtenidos en la perforación del túnel de Argentera.

Cantidad de luz necesaria para iluminar los trabajos de perforación de un túnel.—En las consideraciones generales relativas á los diversos modos de alumbrado de túneles (2), dijimos que debíamos admitir para las diferentes secciones del túnel la clasificación de trabajos efectuados á cielo abierto, á los cuales corresponde la intensidad de una bujía-metro. Dijimos también que, dado el alumbrado medio adoptado, el empleo de la fórmula

$$e_m = \frac{0,845q}{x^2}$$
 nos daría el radio x del círculo que podía iluminar una lámpara cuya intensidad luminosa representamos por q .

Admitida también la clase de lámpara (3), pues hemos preferido las lámparas de arco voltaico, nos encontramos con que en el comercio solo se hallan focos de 50 á 100 carcelas como tipos menores; por consiguiente, si empleamos el primero, q será igual á 50; con el segundo, q valdrá 100. Despejando á x en la anterior ecuación, después de sustituir las letras por sus valores respectivos, resulta:

(1) Seguimos en estos desarrollos la obra ya mencionada de Vigreux.

(2) Artículo primero del presente capítulo.

(3) Artículo primero del presente capítulo.

$$x = \sqrt{\frac{0,845 \times 50}{0,1}}$$

puesto que una bujía-metro equivale á 0,1 carcel, por definición. Efectuando las operaciones tendremos:

$$\begin{aligned} x &= 20,55 \text{ para la lámpara de 50 carcels, y} \\ x &= 29,07 \text{ para las de 100 carcels.} \end{aligned}$$

Resulta que tanto con uno como con el otro de los valores de q supuestos, hay gasto superfluo de energía eléctrica, puesto que podemos alumbrar en el primer caso un círculo de 20 metros de radio y uno de 29 en el segundo; mientras que el ancho de la sección del túnel no tiene más que 7 metros. A pesar de ello, la posibilidad de alumbrar una longitud de túnel de 58 metros con una sola lámpara, longitud suficiente para los trabajos de las diferentes secciones, hizo que se aceptara en el túnel de Argentera el segundo tipo de lámpara.

Para que el brillo de la luz del arco no molestase á los operarios empleados, sería preciso disponer de una gran altura para colocar las lámparas. La fórmula que nos da esta altura es $y = \frac{x}{\sqrt{2}}$; sustituyendo á x por su valor resulta, en el caso admitido, ó sea para las lámparas de 100 carcels,

$$y = \frac{29,07}{\sqrt{2}} = 20,55 \text{ metros:}$$

resultado completamente inadmisibile en nuestro caso, y que nos obligó al empleo de globos opalinos. Todas estas circunstancias reunidas nos dicen que el alumbrado medio que ha constituido nuestro punto de partida debería modificarse, puesto que las distancias transversales del túnel no permiten, sin pérdida notable de energía, la colocación de las lámparas en la situación que realmente les corresponde. Verdaderamente podría lograrse mejor rendimiento usando lámparas de incandescencia, establecidas según las conclusiones de W. St. Preece; pero, repetimos, el engorro de las traslaciones continuas y el mayor gasto de energía que ocasiona este sistema, nos hizo preferir los reguladores, á pesar de la mala distribución de la intensidad del foco aplicado en este caso.

(Se continuará.)

