

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 15 DE OCTUBRE DE 1892.

4.ª Serie.

Tomo 10.

Número 19.

AÑO XL DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

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

SUMARIO DEL BOLETÍN.—Nuevos diques secos de carena del puerto de Nápoles.—Puente sobre el Misisipi en Menfis.—Noticias.—Bibliografía.—Parte oficial.—Subastas.—Adjudicaciones.—Movimiento del personal de Obras públicas.

EL TÚNEL DE LA ARGENTERA

TRATADO DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES (1)

(Continuación.)

En toda máquina de vapor, así como en toda dinamo, se consideran los elementos siguientes:

EN UNA DINAMO.

El trabajo eléctrico producido es proporcional:

- 1.º A la velocidad de rotación.
- 2.º A la masa de cobre útil del inducido.
- 3.º A la cantidad de electricidad que circula durante la unidad de tiempo.
- 4.º A la intensidad del campo magnético en el cual se mueve el inducido.

EN UN MOTOR DE VAPOR

El trabajo mecánico producido es proporcional:

- 1.º A la velocidad de rotación.
- 2.º A la capacidad del cilindro.
- 3.º Al grado de admisión, por el cual se mide la cantidad de vapor que circula durante 1" (en el ciclo).

(1) Véase la REVISTA del 30 de Septiembre de este año, pág. 273.

4.° A la presión del vapor á su entrada en el cilindro.

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 del campo magnético en que se mueve.

El inducido en la dinamo Gramme que estudiamos está formado por un anillo que hemos descrito someramente en el artículo primero del presente capítulo. Las dimensiones de este anillo son, por consiguiente, las que debemos buscar.

Determinación del inducido.—En el pozo 4 del túnel de Argentera estaban acopladas en serie dos dinamos que originaban una corriente, cuya fuerza electromotriz debía ser

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

En el potencial 50 volts² incluimos la resistencia del conductor. El valor de E será, por lo tanto, la fuerza electromotriz que ha de salir de las dinamos acopladas en serie; y como las correspondientes á cada dinamo se suman algebraicamente para conocer la $f. e.$ total, la de una sola será de

$$\frac{500}{2} = 250.$$

El cálculo completo de una dinamo, ó sea el establecimiento de la serie de fórmulas indispensables para la determinación de su potencia en función de sus dimensiones y de cierto número de datos, tales como la velocidad, el rendimiento y el coeficiente, para tener en cuenta la elevación de la temperatura de la máquina, no es en manera alguna posible, pues existen una infinidad de factores que varían según el fin que nos proponamos; factores de que en manera alguna es posible prescindir. Desde este punto de vista no puede ser la dinamo más semejante á la máquina de vapor. Sin embargo, aquí como allí, podemos valer de cierto número de relaciones conocidas y que han de existir entre las cantidades que caracterizan las funciones de una máquina y sus dimensiones principales. Estas relaciones son: el número n de vueltas del inducido por minuto; la velocidad lineal v de los hilos, en metros por segundo; la densidad d de la corriente en los distintos hilos, en amperes por milímetro cuadrado de sección; los valores B_1 y B_2 de la inducción específica en los hierros de inductores é inducido respectivamente; el campo magnético medio H , y por último, una constante A , relativa á la elevación de temperatura del inducido y de la máquina, ó sea

la relación entre la superficie de enfriamiento y el trabajo gastado durante la unidad de tiempo; esta relación ha de venir expresada en watts.

Las dimensiones y datos principales de construcción son los referentes á los núcleos ó almas del inducido é inductores, al arrollamiento del hilo en las bobinas y al diámetro y longitud del mismo. Sin embargo, al proyectarse una dinamo se ha escogido ya el tipo deseado, y por consiguiente, con él, algunos datos especiales.

En este caso se halla la velocidad angular ó el número de vueltas n . En general, las máquinas Gramme de cinco luces exigen una velocidad de 1.400 revoluciones por minuto, y en las de la Argentera era de 1.414; á este número de vueltas suele corresponder una velocidad lineal v de 8 á 20 metros, según el diámetro del anillo. Además conocemos la intensidad de la corriente, pues siendo en serie la distribución en nuestro caso, vale 12 amperes; la diferencia de potenciales en los bornes es de 230 volts.

La potencia eléctrica útil expresada en kilográmetros será:

$$P_u = \frac{250 \times 12}{736}$$

La potencia eléctrica total dependerá del coeficiente de rendimiento que aceptemos para la máquina; lo supondremos igual á 0,70.

En la determinación de las dimensiones del inducido debe tenerse en cuenta una pérdida de carga que depende del destino de la máquina, y suele variar entre 2 y 10 por 100 de la potencia útil; además, debe tenerse en cuenta que la única porción del hilo utilizado es la parte comprendida entre el anillo y las piezas polares de los inductores: desde este punto de vista conviene, pues, hacer muy delgado el anillo y alargarlo paralelamente al eje. De otra parte, si se desea producir un número de watts determinado, se deberá aceptar una resistencia tanto más débil cuanto mayor sea el número de líneas de fuerza cortadas por el conductor del inducido.

De una manera general puede decirse que un inducido será tanto mejor cuanto más grande es el par desarrollado en el eje y menor la diferencia de potenciales magnéticos. Este par es proporcional al número total de líneas de fuerzas que atraviesa el anillo, lo que indica la conveniencia de admitir pocas capas ó arrollamientos alrededor de éste, y también á su diámetro (1).

Admitamos que los elementos del inducido sean, en cuanto á potencia eléctrica,

$$\frac{250 \times 12}{0,70} = 4.286 \text{ watts,}$$

(1) Véase el Diccionario de Dumont.

esto es, 5 caballos y fracción, próximamente 6 caballos, girando con la velocidad de 1.400 vueltas por minuto; 1,75 ohms de resistencia máxima interior y 3,5 amperes para valor máximo de la densidad de la corriente por milímetro cuadrado (1).

Busquemos desde luego el volumen de cobre. Desde el punto de vista de los fenómenos caloríficos se puede asimilar el conductor arrollado á una capa continua de metal del mismo espesor, en la cual se desarrolle, durante la unidad de tiempo, la misma cantidad de calor.

Por ser la resistencia del inducido á lo más de 1,75 ohms, se desarrollará durante la unidad de tiempo y bajo la influencia de una corriente de 12 amperes, la cantidad de calor dada por la expresión siguiente:

$$12^2 \times 1,75 \times \frac{1}{9,81} \times \frac{1}{425} = 0,0604 \text{ calorías.}$$

Pero un centímetro cúbico de cobre recorrido por una corriente de 3,5 amperes por milímetro cuadrado, ó sea 350 por centímetro cuadrado, desarrolla en 1'', suponiendo la resistencia específica del cobre = 1,65 microhm,

$$350^2 \times \frac{1,65}{1.000.000} \times \frac{1}{9,81} \times \frac{1}{425} = 0,0000485 \text{ calorías.}$$

El volumen de cobre será, pues, de

$$\frac{0,0604}{0,0000485} = 1.245 \text{ centímetros cúbicos.}$$

Esta masa, que ha de girar con la velocidad de 1.400 vueltas por minuto, absorberá por revolución $428,6 \times \frac{60}{1.400} = 18,37$ kilogrametros.

El par desarrollado será igual al que desarrollaría un peso de 18,37 kilogramos aplicados tangencialmente á una circunferencia de un metro de longitud. Pero sabemos que un conductor de 0,01 metros de largo, recorrido por una corriente de intensidad igual á uno (sistema C. G. S.), y situado en un campo magnético de intensidad igual á la unidad C. G. S. de intensidad magnética; en otros términos, un hilo de aquellas condiciones colocado en un campo en que pase una línea de fuerza por centímetro cuadrado de sección normal á la dirección de las mismas, es solicitado por la fuerza de una dina, mientras se mantenga perpendicular á las líneas de fuerza mencionadas.

(1) Llamamos densidad de la corriente á la relación entre la intensidad de la misma y la sección del hilo inducido.

Por otra parte, si una dina vale $\frac{1}{g} = \frac{1}{9,81} = \frac{1\text{gr.}}{981}$, y 1 ampere = 10^{-1} unidades C. G. S., el esfuerzo tangencial desarrollado sobre un centímetro cúbico de cobre situado en el campo magnético de n unidades magnéticas y recorrido por una corriente de 350 amperes, será:

$$\frac{1}{10} \frac{350}{9'81} n \text{ gramos.}$$

Si se supone que sólo la tercera parte del conductor está sometida á la acción del campo y designamos por L la longitud de la circunferencia exterior del anillo metálico, expresada en metros la magnitud del par desarrollado sobre el inducido, será:

$$\frac{1.245}{3} \times \frac{35}{981} \times n \times L = 14,80 nL.$$

Suponiendo siempre aplicado el esfuerzo resistente tangencialmente á la circunferencia de un metro de longitud, obtendremos

$$14,80 n L = 18.370$$

ó sea

$$n L = 1.241 \dots \quad [1]$$

Si se admite que el anillo está saturado y que el coeficiente B_s de inducción que especifica es 13.500, pasarán 13.500 líneas de fuerza por cada centímetro cuadrado de sección hecha en el plano de conmutación. Ahora bien, el total de líneas de fuerza que atraviesan esta sección, es de

$$\frac{1}{4} \times \frac{1.425}{3} \times n,$$

puesto que cada línea de fuerza atraviesa dos veces el conductor y además están separadas en dos grupos que pasan cada uno por una de las secciones diametralmente opuestas.

Por consiguiente, si llamamos s la sección de anillo de hierro, en centímetro cuadrado se tendrá:

$$13.500 s = \frac{1}{4} \times \frac{1.243}{3} \times n = 103,75 n;$$

de donde

$$s = 0,0076 n \dots \quad [2]$$

Despejando á sL entre las ecuaciones [1] y [2], tendremos: puesto que

$$L = \frac{1.241}{n}$$

$$sL = 0.0076 \times 1.244 = 9,43;$$

el valor de L ha de expresarse en metros y el de s en centímetros.

El problema es, por consiguiente, indeterminado; pero generalmente se puede recurrir á consideraciones mecánicas que hagan desaparecer la indeterminación. Supongamos, por ejemplo, que el anillo de hierro no pueda tener más de 0,12 metros de ancho, esto es, de longitud en sentido del eje de rotación, y que para facilitar el arrollamiento del hilo inducido, su diámetro interior sea igual á $\frac{5}{6}$ del exterior que llamaremos d' . La sección s del anillo vendrá dada por la ecuación:

$$s = \frac{1}{2} \left(d - \frac{5}{6} d \right) 12.$$

Pero sabemos que la longitud L de la circunferencia, expresada en metros, es $\frac{\pi d}{100}$; y como $sL = 9,43$, según acabamos de ver, tendremos:

$$sL = \frac{1}{2} \left(d - \frac{5}{6} d \right) 12 \times \frac{\pi d}{100} = 9,43,$$

de donde

$$\pi d^2 = 943$$

y despejando á d

$$d = 17,4 \text{ centímetros.}$$

El diámetro interior $d' = \frac{5}{6} \times 17,40 = 14,5$; por consiguiente, el espesor e del anillo será de 2,9 centímetros; números que, como veremos, no se diferencian mucho de los valores que tenían en las dinamos empleadas.

Algunos autores proceden de un modo distinto. Si bien aceptan ciertas relaciones entre las dimensiones del anillo, emplean una fórmula, hasta cierto punto empírica, que luego verifican calculando, con los valores que resultan para las incógnitas, la velocidad periférica de aquél. Dicha fórmula es, en el caso de las máquinas de anillo, como la que estudiamos:

$$r_a i^2 = \frac{\pi d l + \pi d e}{\Lambda} \dots \dots [3]$$

r_a es la resistencia del hilo inducido, ó i la intensidad de la corriente. Pero sabemos que el producto de estas dos cantidades, tal como se encuentran en el primer miembro de la ecuación anterior, representa la energía eléctrica perdida en el inducido á causa de la resistencia que opone su hilo al paso de la corriente; energía que, según dijimos, dependía del destino de la máquina y solía variar entre 2 y 10 por 100. Su valor medio, 6 por 100, es el que aceptaremos; y puesto que la potencia eléctrica total es en nuestro caso de 4.286 watts, $r_a i^2$ vale 258 watts, cantidad que también habría podido deducirse directamente, porque $i = 12$ amperes y $r_a = 1,75$ ohms, de donde $r_a i^2 = 252$.

En la ecuación [3] l representa el ancho del anillo, ó sea su longitud en sentido del eje; d el diámetro exterior; e el espesor del anillo, esto es, la mitad de la diferencia entre sus diámetros (l , d y e en centímetros), y Λ un factor de proporcionalidad, expresado en centímetros cuadrados por watts, que introduce en la fórmula la condición de que en marcha normal, el aumento de temperatura de la máquina no traspase el límite de seguridad aceptado. Esto se consigue dando al inducido una superficie de enfriamiento proporcional á la pérdida tolerada en el mismo, á pesar de que en parte también contribuyen al enfriamiento otras causas relacionadas con la construcción de la dinamo; y á este propósito hemos de hacer notar una modificación importante introducida por los Sres. Xifrá y C.^ª, constructores de las que se instalaron en el túnel de Argentera.

Las causas de enfriamiento provienen del movimiento de rotación, y claro es que, variando el número de vueltas, aumentará ó disminuirá la ventilación del inducido, originada por la fuerza centrífuga que aquél desarrolla. En las máquinas Gramme, por lo menos en los modelos antiguos, existe un tarugo de madera, introducido entre el anillo y el eje mediante enérgica presión, el cual tiene por objeto apretar con mayor fuerza los hilos de las bobinas. Este tarugo cierra por completo el paso del aire por el interior del anillo, así es que el coeficiente Λ se toma en general de 4 á 10 centímetros cuadrados por watt (5 propone Mr. Kapp), según el modo de contar la superficie de enfriamiento. La supresión de este tarugo constituye, pues, una modificación que permite añadir á aquellas superficies de enfriamiento las interiores del anillo.

(Se continuará.)

