

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente.... Excmo. Sr. D. Eduardo López Navarro, Inspector general del Cuerpo.
Redactores..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Antonio Sonier, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Enrique Latre, Ingeniero de Caminos (Sección de Información).
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

PROBLEMAS COMERCIALES DE LA ELECTRICIDAD

El aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas, cuya importancia es universalmente reconocida, comprende dos partes: 1.ª La construcción de los saltos de agua y producción de la energía eléctrica. 2.ª El transporte de dicha energía y sus aplicaciones.

Cuando la fuerza es relativamente pequeña y los centros de consumo se encuentran próximos, una sola Empresa basta para la producción de la fuerza, su transporte y aplicaciones; pero tratándose de fuerzas considerables, alejadas de los grandes centros de población, se impone la constitución de dos ó más Compañías, una consagrada á la construcción del salto y producción de la fuerza, y las otras al transporte y aplicaciones de la misma á los centros de consumo.

Las Empresas que tengan por objeto la compra de energía en una Central hidráulica para transportarla y venderla en un centro de consumo alejado de la Central, tienen que construir su línea de transporte, que no debe establecerse al azar sino de manera que el capital empleado obtenga el máximo de beneficios.

El elemento principal de una línea de transporte es el cobre de los conductores de energía eléctrica; cuanto más grande sea la sección de los conductores, mayor será la capacidad de la línea, mayor también su rendimiento, pero costará más.

La sección de los conductores más conveniente será la que proporcione mayor interés al capital. Vamos á ver cómo se determina.

Los datos del problema serán: una Compañía, que llamaremos *B*, compra unidades de energía (watts) en la Central eléctrica de un salto de agua, á un precio de *p* pesetas al año, y vende la misma unidad de energía, después de transportada á un centro de consumo, con un sobreprecio de *P* pesetas.

Para realizar ese comercio de electricidad construirá una línea, procurando que el capital invertido sea tal, que los beneficios del negocio proporcionen el máximo de interés anual posible.

El coste de la línea á igualdad de voltaje tiene una parte fija, que corresponde á los apoyos y accesorios, y otra, esencialmente variable, que son los hilos conductores, y cuya sección vamos á determinar con la condición de que el interés del capital sea un máximo.

Llamaremos *c*₁ el coste total de la línea despojada de los hilos conductores.

Sea *q* el precio del kilómetro de conductor de un milímetro cuadrado de sección; *n* el número de conductores de que constará la línea y *L* la longitud, en kilómetros, de la misma, *M* el coste por kilómetro del montaje de los conductores que admitimos constante, pues efectivamente así lo es para pequeñas variaciones de la sección del conductor (alrededor de la que buscamos.)

El coste de la línea (capital necesario), será pues:

$$C = c_1 + nqLs + ML = (nq) Ls + (ML + c_1)$$

y llamando

$$c_1 + ML = C_1 \text{ y } nq = Q$$

será

$$C = C_1 + QLs.$$

Beneficios líquidos.—Supongamos que por la línea en cuestión tratamos de hacer un transporte de fuerza á cuyo efecto compramos en la fábrica *W* watts-año á *p* pesetas.

El transporte por la línea no es gratuito, puesto que una parte de los watts comprados en la fábrica tienen que emplearse en la tracción de los restantes, y claro es que cuanto mayor sea la sección de los conductores menos watts se consumirán para realizar el transporte, más nos quedarán disponibles para la venta al extremo de la línea, y mayor será el interés del capital.

Así es, efectivamente, pero para que los conductores sean más gruesos es preciso invertir más capital, y esto tiende á disminuir el interés. Se comprende, pues, que entre las distintas dimensiones que puedan tener los conductores habrá una que haga un máximo el interés del capital, y esa dimensión, como hemos dicho, es la que vamos á buscar.

El número de watts precisos para realizar por unos conductores eléctricos el transporte de otro cierto número de ellos es lo que se llama técnicamente pérdida de la línea, cuyo valor es, teniendo en cuenta nada más que los elementos principales (el error que se cometa al despreciar la impedancia de la línea es pequeño en general).

$$T = r I^2$$

para las corrientes continuas y

$$T = \frac{r}{\cos \varphi} I^2 = \frac{\rho L I^2}{S \cos \varphi}$$

para las alternativas; = Siendo $\rho = 16,60$ para el cobre duro de conductibilidad 98 % y temperatura = 30°; *L* kilómetros; *S* = milímetros cuadrados; *I* amperes. Sustituyendo resultará

$$T_n = \frac{16,60}{\cos \varphi} \frac{L I^2}{S} \times n,$$

siendo *n*, como ya dijimos, el número de conductores ó de circuito (que tienen que ser lo mismo).

Los gastos de tracción en la línea se traducen, pues, en dos partidas.

1.º Valor de la tracción, que cuesta á *p* pesetas.

2.º Valor de esos mismos watts, que no se venden y que se venderían ganando *P* pesetas; por consiguiente los ingresos por la venta de fuerza serán solamente:

$$WP - T(P + p). \text{—Ingresos brutos.}$$

Los gastos de explotación no variarán porque los conductores tengan un milímetro cuadrado más ó menos de sección, por tanto, debemos admitir que son constantes en los alrededores del máximo que buscamos.

Designando por *G* el total de esos gastos, los beneficios líquidos serán $WP - T(P + p) - G$, y el interés del capital estará representado por la expresión

$$[f] (\%) = \frac{WP - T(P + p) - G}{C_1 + QLs} = \frac{N}{D} \text{ (para abreviar).}$$

El máximo de esta expresión se realiza para el valor de la variable s , que hace nula la derivada

$$(i)' \frac{N' D - D' N}{D^2} = 0,$$

para lo cual basta que sea cero la expresión $N' D - D' N$, que sustituido da:

$$\begin{aligned} & \left[(P + p) \frac{16,60}{\cos \varphi} L n \left(\frac{I}{s} \right)^2 \times (G_1 + Q L s) \right] \\ & - \left[Q L (WP - \frac{16,60}{\cos \varphi} L n \frac{I^2}{s} (P + p) - G \right] \\ & + G_1 (P + p) \frac{16,60}{\cos \varphi} L n \left(\frac{I}{s} \right)^2 + (P + p) \frac{16,60}{\cos \varphi} L^2 n I Q \left(\frac{I}{s} \right) \\ & - Q L WP + Q L^2 \frac{16,60}{\cos \varphi} n I \left(\frac{I}{s} \right) (P + p) + Q L G = 0, \end{aligned}$$

y poniendo $\frac{I}{s} = x$

$$G_1 (P + p) \frac{16,60}{\cos \varphi} L n = \alpha$$

$$Q (P + p) \frac{16,60}{\cos \varphi} L^2 n I = \beta$$

$$Q (L WP - L G) = \gamma,$$

la ecuación se reducirá a

$$\alpha x^2 + 2 \beta x - \gamma = 0;$$

ó bien

$$x^2 + 2 \frac{\beta}{\alpha} x - \gamma = 0,$$

siendo

$$\frac{B}{\alpha} = \frac{Q L I}{C_1} y \frac{r}{\alpha} = q \frac{(WP - G)}{C_1 (P + p) \delta}$$

designando el coeficiente de resistencia $\frac{16,60}{\cos \delta}$ por la letra δ . Sustituyendo tendremos la ecuación del máximo reducida a:

$$x^2 + 2 n q \frac{L I}{C_1} x - q \frac{(WP - G)}{C_1 (P + p) \delta} = 0$$

de donde

$$x = -n q \frac{L I}{C_1} + \sqrt{\left(n q \frac{L I}{C_1} \right)^2 + q \frac{(WP - G)}{C_1 (P + p) \delta}}$$

que nos da la solución del problema planteado.

Segundo problema.

El problema estudiado da efectivamente el tamaño de los conductores que proporciona el máximo interés al capital, pero determina a su vez ese capital, y la cifra que resulta pudiera exceder del dinero disponible que tiene la empresa. Esta pudiera, sin embargo, ser factible, en tanto que el interés del capital no baja de cierto valor.

Utilizando la fórmula (f)

$$(i) = \frac{WP - n \delta \frac{L I}{s} (P + p) G}{C_1 + Q L s}$$

podemos deducir la sección s , que corresponde a un valor prefijado para i , y suponiendo sea i_1 , resultará

$$C_1 i_1 + Q L s i_1 = WP - n \delta \frac{L^2}{s} (P + p - G)$$

multiplicando por s y ordenando

$$Q L i_1 s^2 + [C_1 i_1 - (WP - G)] s + n \delta L I^2 (P + p) = 0$$

$$s^2 - \frac{(WP - G - C_1 i_1)}{Q L i_1} s + \frac{n \delta I^2 (P + p)}{Q i_1} = 0$$

por tanto

$$s = \frac{WP - G - C_1 i_1}{2 Q L i_1} \pm \sqrt{\frac{(WP - G - C_1 i_1)^2}{4 Q^2 L^2 i_1^2} - \frac{n \delta I^2 (P + p)}{Q i_1}}$$

conocida s por esta fórmula comprobaremos si el capital resultante queda dentro de los límites del dinero disponible.

Tercer problema.

Pudiera suceder que una Empresa explotadora de las aplicaciones de la electricidad quisiera comprar fuerza de un salto distante y construir la línea de transporte, para lo cual emite obligaciones a un interés fijo i_2 . Se presentará como siempre el problema de elección de la sección de los conductores que recargue en la menor cantidad posible el precio de coste de la energía en el salto de agua indicado; es decir, que haga en la fórmula

$$(i) = \frac{WP - n \delta \frac{L I^2}{s} (P + p) - G}{C_1 + Q L s}$$

que P sea un mínimo para un valor de $i = i_2$. Despejando a P tendremos:

$$WP - n \delta \frac{L I^2}{s} P = n \delta \frac{L I^2}{s} p + G + C_1 i_2 + Q L s i_2$$

$$P = \frac{n \delta \frac{L I^2}{s} p + G + C_1 i_2 + Q L s i_2}{W - n \delta \frac{L I^2}{s}}$$

$$P = \frac{n \delta L I^2 p + (G + C_1 i_2) s + Q L i_2 s^2}{W s - n \delta L I^2} = \frac{N^2}{D_2}$$

La condición del mínimo es que la derivada

$$\left(\frac{N_2}{D_2} \right)' = \frac{N'_2 D_2 - D'_2 N_2}{D_2^2}$$

sea cero; es decir que $N'_2 D_2 = D'_2 N_2$, y sustituyendo

$$\begin{aligned} & (G + C_1 i_2 + 2 Q L i_2 s) (W s - n \delta L I^2) \\ & = W (n \delta L I^2 p + (G + C_1 i_2) s + Q L i_2 s^2) \\ & + Q L i_2 W s^2 - (G + C_1 i_2) n \delta L I^2 - 2 Q L i_2 n \delta I^2 s = n \delta L I^2 p W \\ & + s^2 - 2 i_2 n \delta I^2 s - [(G + C_1 i_2) n \delta L I^2 + p W n \delta L I^2] = 0 \\ & s^2 - 2 \frac{n \delta I^2}{W} s - \frac{n \delta (G + C_1 i_2 + p W)}{W Q i_2} = 0 \end{aligned}$$

$$s = \frac{n \delta I^2}{W} + \sqrt{\left(\frac{n \delta I^2}{W} \right)^2 + \frac{n \delta I^2}{W} \left(\frac{p + W G + C_1 i_2}{Q i_2} \right)}$$

que da la solución buscada.

El término $\frac{n \delta I^2}{W}$ es, en general, del orden de las centésimas, y por lo tanto puede despreciarse en la práctica, quedando, pues, reducida la fórmula para su aplicación a

$$s = I \sqrt{\frac{n \delta (W p + G + C_1 i_2)}{W Q i_2}} \quad \text{ó bien}$$

$$s = \lambda I \sqrt{p + \frac{G}{W i_2} + \frac{C_1}{W}} \quad \text{llamando } \lambda \text{ a la } \sqrt{\frac{n \delta}{Q}}$$

Como aplicación de estas fórmulas a un caso práctico, presentamos a continuación dos anteproyectos de una línea de transporte de 110 kilómetros en longitud, para lo cual empezaremos por establecer los presupuestos como sigue:

PRESUPUESTO A

de una línea de transporte de fuerza desde el Salto de «El Porvenir de Zamora» a Valladolid.—3.000 caballos a 110 kilómetros (30.000 volts).

	Pesetas.
Constitución Compañía, derechos a la Hacienda, etc.	25.000
Estudios y concesión, a 100 pesetas por kilómetro...	11.000
330 kilómetros hilo de cobre desnudo (a determinar):	
2.200 postes metálicos protegidos, a 300 pesetas.....	660.000
6.700 aisladores de alta tensión, con sus ganchos, a 10 id.	67.000
8.900 aisladores telefónicos para dos líneas, con sus ganchos, a 1 id.....	8.900
440 kilómetros de hilo telefónico, a 40 id.....	17.600
9 casillas de guarda para la línea, a 3.000 id.....	27.000
9 interruptores de la línea colocados en los postes más próximos a las casillas, con su instalación, a 1.250 idem.....	11.250
11 aparatos telefónicos con accesorios, a 500 id.....	5.500
Material menudo para la instalación telefónica.....	2.000
2 Estaciones terminales de pararrayos modelo «Alioth»	1.200
9 Estaciones de pararrayos «Siemens» para la línea, a 500 idem.....	4.500
Montaje de la línea a 300 pesetas kilómetro.....	33.000
Estación de transformadores, reductores en Valladolid para una potencia máxima de 200 kvts. a 50 idem.....	100.000
Imprevistos.....	26.050
Valor de $C_1 =$	1.000.000

Valor de $n = 3$ (Corrientes trifásicas, tres hilos.)

Valor de $g = 35$ valor para el cobre duro a pié de obra. Cambio 36 %

Valor de $L = 110$ kilómetros.

Valor de $I = 42,5$ amperes (para 30.000 volts compuesto)

$$I = \frac{1}{3} \times \frac{3 \times 736.000 \times \sqrt{3}}{90.090}$$

tendremos pues:

$$\frac{B}{\alpha} = Q \frac{LI}{C} = 105 \frac{110 \times 42,5}{1.000.000} = 1,05 \times 1,10 \times 0,425 = 0,49$$

Valor de G .

Para calcular los gastos de conservación, calcularemos la duración de un poste metálico en 60 años, de modo que habrá que retirar anualmente para el fondo de reserva

una cantidad igual a $\frac{3.300}{60} \times 300$ pesetas.....	16.500
Pintura anual y reparaciones, a 1,60 por poste.....	3.300
Supondremos que se rompen anualmente 500 aisladores, a 10 idem.....	5.000
y 400 telefónicos, a 1 idem.....	400
Supondremos también que desaparecen anualmente tres kilómetros de hilo telefónico a 40 idem.....	120
Estimaremos también que el cobre de la línea principal experimenta una depreciación anual de 50 idem por kilómetro.....	5.500
Herramienta de conservación, etc.....	1.180
Conservación.—Material.....	32.000

No contamos la mano de obra, porque había de llevarse a cabo por los empleados-guardas de la línea.

Para estimar los gastos de personal supondremos dividida la conservación de la línea en diez trozos con nueve empleados, viviendo en las casillas, y dos en los extremos de la línea.—Total 11, más un jefe técnico.

Admitiremos después que los gastos anuales de administración de la Compañía sean 12.000 pesetas, y agregaremos 6.000 más de gastos imprevistos, en los que se contará la contribución del transporte de la fuerza, si es que existe.

Los gastos totales de explotación, serán, pues:

	Peseta s.
Personal técnico.....	
Material.....	32.000
1 Jefe, a 4.000.....	4.000
11 Guardas, a 1.000.....	11.000
Administración e imprevistos.....	18.000
Total valor de G	65.000

Valores de P y p .—Supondremos que se compra la fuerza en el salto a 200 pesetas el caballo-año, y se vende en Valladolid a 360. El sobreprecio aparente es de 160 pesetas; pero teniendo en cuenta la pérdida de los transformadores, que estimaremos en un 3 por 100; el precio efectivo será $0,97 \times 360 = 349,20$.

$$(P + p) = \frac{349,20}{736} = 0,473.$$

Valor de $\cos x$.—Admitiendo que la fuerza se aplicará simultáneamente a luz y motores, tomaremos un valor medio

$$\cos x = 0,80; y$$

resultará $\delta = \frac{16,60}{0,80} = 20,75$, con estos datos calcularemos el valor

$$\text{de } \frac{\gamma}{\alpha} = 35 \frac{447600 - 65000}{9815000} = 35 \frac{383}{9815} = 1,40.$$

$$\frac{I}{S} = \sqrt{1,40 + 0,49 - 0,49}; \text{ de donde } s = 48 \text{ m/m}^2.$$

Valor del cobre, $11,550 \times 48 = 554400$.

Por tanto: Capital necesario, 1.555.000.

Gastos de explotación.....	65.000
Gastos de tracción — $T \times 200 = \frac{62,25}{736} \times \frac{110 \times 1806}{48}$	
$= 350 \times 200$	70.000
Gastos totales.....	135.000
Ingresos $(3.000 - 350) \times 149,20 =$	392.000
Beneficios líquidos.....	257.000

que representan un interés de $\frac{1.555.000}{257.000} = 16,4$ al capital.

PRESUPUESTO B

para una línea de transporte de fuerza desde el salto de «El Porvenir de Zamora» a Valladolid; 3.000 caballos a 110 kilómetros (30.000 volts).

	Pesetas.
Gastos de constitución de la Compañía, derechos a la Hacienda, etc.....	20.000
Estudios y concesión a 100 pesetas el kilómetro.....	11.000
330 kilómetros de hilo de cobre (a determinar).....	"
2.300 postes de madera colocados en sus respectivos sitios, a 54 pesetas.....	124.000
6.700 aisladores alta tensión, con sus ganchos, a 10 pesetas.	67.000
9.000 aisladores telefónicos, con sus ganchos, a una peseta.	9.000
460 kilómetros de hilo telefónico, a 40 pesetas.....	18.400
11 aparatos telefónicos, con accesorios, a 500.....	5.500
Material menudo para las instalaciones.....	2.200
9 interruptores de línea, colocados en los postes más próximos a los pueblos ó caseríos donde vivan los guardas.....	11.250
2 estaciones terminales de pararrayos.....	1.200
9 estaciones de pararrayos Siemens para la línea.....	4.500
Montaje de la línea, a 300 pesetas kilómetro.....	33.000
Estación de transformadores reductores.....	100.000
Cuadro receptor é imprevistos.....	22.950
Valor de $G_1 V$	430.000

Los valores de n , δ , Q , I , p y V son los mismos que en el presupuesto A.

Esta línea económica vamos a suponer que la construye una Compañía, emitiendo para ello obligaciones amortizables en veinticinco años, para lo cual si el interés de dichas obligaciones es del 5 por 100 anual, la anualidad amortizadora tendrá que ser el 7,1 por 100, y este valor $i_2 = 0,071$ es el que entrará en la fórmula.

Gastos (valor de G):

Los gastos de material supondremos son iguales todos a los del presupuesto A, menos la partida destinada a fondo de reserva.

Los postes supondremos duran 15 años, y por tanto debe retirarse

anualmente $\frac{2.300}{15} \times 54 =$	8.278
Demás gastos.....	15.712
Total.....	24.000

En la partida de gastos del personal del presupuesto A, debemos aumentar 150 pesetas, más el sueldo de cada guarda, por no tener casilla, y los nueve aumentarán...

Demás gastos.....	1.350
	33.000
Total de gastos.—Valor de G.....	58.350

Tendremos, pues, para S el valor

$$(L = \sqrt{0,596} = 0,774)$$

$$S = 0,774 \times 42,5 \sqrt{0,272 + \frac{58.350}{157.000} + \frac{430.000}{3 \times 736.000}} = 30 \text{ m/m}^2$$

El importe del cobre será

$$105 \times 110 \times 30 = 346.500 \text{ pesetas}$$

que sumado al valor de C, = 430.000 idem.

Dan un préstamo necesario de 776.500 idem.

La pérdida de energía es de

$$T = \frac{62,25}{736} \times \frac{110 \times 1806}{30} = 560 \text{ caballos.}$$

Los gastos totales serán:

Explotación.....	58.350
Tracción — 560 × 200.....	112.000
7,1 por 100 sobre 777.000 pesetas.....	55.000
Total.....	225.550

Caballos disponibles (3.000 — 560) = 2.440; resultará, pues, el caballo-año transportado

$$\frac{225.550}{2.440} = 92 \text{ pesetas, y después de los veinticinco años costará solamente}$$

$$\frac{170.350}{2.440} = 69,70 \text{ pesetas.}$$

Obras de El Porvenir de Zamora.—Marzo 1912.

F. C. V.

RUEDAS Y EJES

PARA FERROCARRILES Y TRANVÍAS

Société Belge Griffin.

En los ferrocarriles primitivos, las ruedas empleadas en los vehículos eran de hierro fundido, con zunchos de hierro forjado, en los que se formaba la pestaña, después de colocados en las ruedas, torneando éstas.

El procedimiento no podía ser más tosco, pero en aquella época los Ingenieros se preocupaban, y con razón, más del problema esencial que de los accesorios, uno de los cuales era entonces el de los rodajes.

Sin embargo, algunos constructores, que tropezaban con los inconvenientes de fijar la llanta ó zuncho de hierro forjado al cuerpo de la rueda, idearon el reemplazarle por una parte más resistente, fundida con el mismo cuerpo de la rueda, y que debía presentar más resistencia al desgaste que el hierro fundido ordinario, gracias á un endurecimiento de la superficie de rodadura, logrado por el moldeo de matrices mixtas. Pero estos ensayos no dieron resultados satisfactorios, porque las ruedas fabricadas con hierro ordinario, y los procedimientos de endurecimiento mal ejecutados, las hacían muy quebradizas.

Entonces ocurrió un hecho curioso: mientras que los constructores europeos abandonaban las ruedas de hierro fundido de una pieza por las de hierro y llanta, primero de hierro forjado y después de acero, los Ingenieros americanos, recogiendo el problema y aprovechando las cualidades de los minerales lacustres de su país, obtuvieron un metal especial destinado á la fabricación de ruedas moldeadas en matrices mixtas. La composición y condiciones especiales del metal, juntamente con la perfección en los procedimientos de moldeo, dieron resultados muy ventajosos, tanto bajo el punto de vista de la seguridad, como del de la economía.

Estos resultados produjeron un consumo tan enorme, que la casa Griffin, de Buffalo, una de las más antiguas é importantes, ha necesitado ensanchar de tal modo esta industria, que hoy tiene nueve fábricas en los Estados Unidos y cinco en el Canadá; pues actualmente hay en América muy cerca de 14 millones de ruedas en circulación, ruedas aplicadas lo mismo á las locomotoras y á los grandes vagones de acero

que cargan 50 toneladas, que á los coches de viajeros y á los diferentes vehículos de los tranvías urbanos. Fija la atención de los fabricantes de Europa en el éxito obtenido, se reaccionaron en favor de esta clase de ruedas; creemos de nuestro deber mencionar aquí la casa austriaca Ganz y Compañía, que fué la primera en ocuparse de los procedimientos Griffin, por medio de los cuales ha obtenido resultados muy notables, hasta el punto de tener hoy tres fábricas dedicadas á la producción de ruedas, cilindros de laminadores, mandíbulas de trituradoras, etc., etc., con el metal especial y con arreglo á los procedimientos Griffin; las fábricas están en Budapest (Hungria), Leobersdorf (Austria) y Ratibor (Alemania); después, y aumentando las ventas del material Griffin en toda Europa, ha sido necesario crear centros productores en diferentes Estados; de aquí la constitución de las sociedades francesa, inglesa, italiana, rusa, alemana y belga, estando España dentro de la esfera de acción de esta última.

Resumen del Acta redactada el 5 de Agosto de 1901, con motivo de las experiencias efectuadas en los talleres que en San Eustachio (Brescia) posee la «Società Italiana Metallurgica Franchi-Griffin», con ruedas de 965 milímetros de diámetro y 345 kilogramos de peso, destinadas á vagones de 10 toneladas de carga.

Estaban presentes los señores

Giuseppe Monacelli, Inspector general de ferrocarrilos.

Conde de Calini Cesare, Ingeniero-Inspector de tracción de la red del Adriático.

Ferrandi Vincenzo, Ingeniero-Subinspector de los ferrocarriles urbanos de Milán.

Attilio Franchi, Ingeniero-Director de los talleres de la «Società Franchi Griffin».

Ricardo Pastori, Jefe del servicio comercial de la «Società Franchi-Griffin».

Primera experiencia. Acción del freno.—Una de las ruedas se accionó en un eje puesto en movimiento por una máquina de vapor; se aplicó á ella un freno de dos zapatas, fijo con gran solidez. Se puso en movimiento la rueda, cargando la palanca del freno con 70 kilogramos máximo para mantener la velocidad del motor en 150 revoluciones por minuto. La carga correspondiente en las zapatas era de 945 kilogramos, y la velocidad de la rueda de 28 kilómetros por hora, próximamente. A los 20 minutos de marcha, los soportes de las zapatas fundieron el estaño, y su temperatura siguió elevándose hasta la de fusión del plomo; se dejó marchar la máquina en estas condiciones durante una hora y tres minutos, sin ningún incidente. Parada al cabo de este tiempo, se observó que la superficie de la rodadura de la rueda estaba teñida de un azul oscuro y que su temperatura era la suficiente para fundir trozos de estaño y de plomo; lo que prueba que era superior á 325°. Regada la rueda con agua, se vió que ésta hervía en dirección radial hasta cerca de 20 centímetros de la periferia, lo que prueba que, á partir de esta distancia, y hacia el centro, la temperatura era inferior á 100°. Después se sometió la rueda á un enfriamiento brusco, por medio de una fuerte ducha de agua fría, sin que se notase en ella lesión de ninguna clase.

Segunda experiencia. Elevación de temperatura, violenta y parcial. Se tomó una rueda del tipo indicado, cualquiera entre las varias del mismo modelo que había en el taller, y se la colocó de plano en el suelo, con la pestaña hacia abajo; después, con arena de moldear, se formó un depósito de unos 20 centímetros de largo, y en comunicación con otros dos laterales, por medio de una canaleja, moldeada también en arena. Con objeto de poner á la rueda en las peores condiciones posibles, para su equilibrio molecular, por la diferencia de temperatura en sus diversas partes, y para asemejar más el caso al de un calentamiento repentino, por fricción en los carriles, en la época más rigurosa del invierno, se puso sobre la rueda una mezcla frigorífica, y entonces se vertieron en los depósitos unos 100 kilogramos de hierro fundido; esta operación duró cerca de un minuto, y al cabo de este tiempo la mezcla de hielo y sal inmediata se había convertido en agua, y ésta empezado á hervir; la manifestación fué en aumento, y al cabo de cinco minutos hervía la mezcla colocada sobre el segmento inmediato al depósito central, mientras que en el otro extremo del diámetro la mezcla no se había disuelto; á los diez minutos la temperatura en este último sitio era de 10° centígrados. Entonces se retiró el hierro fundido, y se comprobó que la parte que había estado en contacto con él fundía el estaño y el plomo. Enfriada bruscamente la parte en la que se hizo el experimento, por una ducha de agua fría, y examinada atentamente toda la rueda, no se observaron alteraciones ni deterioros en ella.

Después de esta operación, la rueda se reservó para la cuarta experiencia.