

LAS GRANDES VELOCIDADES DE  
LA TRANSMISION TELEGRAFICA

Conferencia pronunciada el 19 de febrero  
en el Salón de Actos del Palacio de Co-  
municaciones por el Ingeniero-Director  
del Comité de Estudios y Laboratorio de  
Telégrafos D. Ramón Miguel y Nieto.





L profundo cambio que viene operándose en la telegrafía tiende a obtener de las líneas un rendimiento sumamente elevado, si ha de sostener la competencia de su formidable enemiga la telefonía. Construir una línea de grandes condiciones de seguridad es una obra costosa; pero una vez construída hay que alcanzar por ella el máximo de tráfico. Por fortuna, una vía telegráfica no se gasta *con el uso*, como una carretera o una vía férrea. No sufre desgaste alguno porque al día circule una docena o muchos millares de telegramas. Es, pues, conveniente y económico atraer esa circulación aumentando constantemente la velocidad de tráfico más allá del límite de las necesidades.

La dificultad no está ciertamente en la rapidez de la emisión. Con los transmisores automáticos con cinta perforadora, la velocidad que puede alcanzarse sobrepasa con mucho a la que permiten la línea y el receptor. Son éstos los elementos que principalmente influyen en la velocidad de una transmisión telegráfica.

Cuando se trata de establecer una comunicación rápida por un hilo aéreo, se puede llegar fácilmente a las condiciones óptimas eléctricas, aun en líneas muy largas, para alcanzar las velocidades límites, que en este caso vienen impuestas por el aparato receptor. Pero una línea aérea no tiene las garantías de seguri-

## ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIEROS Y TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIÓN

---

dad suficientes para resistir los violentos temporales; está continuamente expuesta a pequeñas averías, como cruces, roturas, derivaciones que se oponen a la "permanencia" de la comunicación, primera condición que puede exigirse a la telegrafía con alambres; pero, aun contando con esta permanencia en la comunicación, falta la permanencia de sus características primarias (que, por eso, no llamaré "constantes")  $R$ ,  $G$  y  $C$ , variables con la temperatura y humedad del ambiente, y que, aun en una línea perfectamente construída, su variación puede dar lugar al desequilibrio de una comunicación en duplex. Finalmente, una línea aérea es como una gran antena que recoge toda variación del campo eléctrico o magnético del espacio que atraviesa, llevando

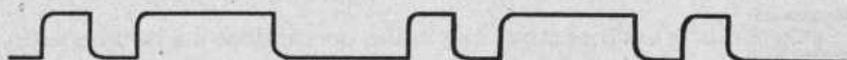


Fig. 1

a los receptores corrientes parásitas que se suman, deformándolas, a las corrientes de trabajo.

A la importancia de los parásitos naturales se añade la influencia, cada día mayor, de las líneas de transporte de energía eléctrica a tensiones que ya se cuentan por centenas de miles de voltios, y, sobre todo, la influencia de la electrificación de los ferrocarriles, de trazado forzosamente paralelo al de las líneas de telecomunicación.

Esto obligará a un cambio radical en la estructura de la red telegráfica y telefónica, por costosa que sea. Solamente una red de cables subterráneos y submarinos puede asegurar de un modo permanente la comunicación entre los distintos pueblos de la tierra.

Por esto, a la comunicación por cable voy a referirme preferentemente en el resto de mi conferencia.

Si se trata de la unión de dos aparatos "en local" o unidos por una línea muy corta y con un relevador de llegada sin autoinducción sensible, la corriente producida por el relevador seguirá exactamente el ritmo del dispositivo emisor, pero con el retardo

CICLO DE CONFERENCIAS ~ ~ ~  
 ~ ~ ~ AÑO DE MCMXX ~ ~ ~

---

correspondiente al tiempo  $t'$ , empleado por la aleta del relevador en pasar de un tope a otro. La forma de la corriente será *almenada* (fig. 1.<sup>a</sup>). En este caso la velocidad límite estará dada por la condición de que el impulso más corto del aparato emisor (un punto en el sistema Morse) sea por lo menos igual al tiempo  $t'$ . Este tiempo es de seis milésimas de segundo en los relevadores Baudot y Siemens, y de cuatro milésimas en el Creed. Con el código de cinco señales cada letra necesitaría  $5 \times 0,006 = 0,03$  segundos, tiempo equivalente a 2.000 letras por minuto, y en el rápido Creed, en el que los signos de un número variable de impulsos (código Morse) con un valor medio de 3,5 impulsos por signo, el número de letras por minuto que podría recibir su relevador sería de  $\frac{60}{3,5 \times 0,004} = 4000$ , números muy superiores a las posibilidades mecánicas de unos y otros sistemas.

Las dificultades para alcanzar grandes velocidades en la recepción estriban en las propiedades eléctricas de la línea, o, más exactamente, de las propiedades eléctricas y dispositivos unidos a ésta, incluso el relevador receptor. Cuando en el extremo emisor se pasa bruscamente del potencial  $-V$  a  $+V$ , en una línea de alguna longitud, o en un cable, la corriente no pasa bruscamente, en el extremo receptor, de un valor  $-I$  a otro valor  $+I$ , correspondientes, según la ley de Ohm, a aquellas tensiones aplicadas. La corriente, a la llegada en un cable sin *carga* tiene una forma definida por la curva de Thomson (fig. 2.<sup>a</sup>). Si se toma como origen de los tiempos el instante en que se produce la inversión, ésta no se manifiesta en la llegada sino al cabo de un tiempo  $\theta'$ , que es el período de propagación, y alcanza el valor de saturación cuando ha transcurrido un tiempo que depende de la expresión  $CRl^2$ , llamada "constante de tiempo" del cable, en la que  $C$  y  $R$  representan la capacidad y resistencia del cable por kilómetro o milla de longitud, y  $l$  la longitud, expresada en kilómetros o en millas, respectivamente.

Las abscisas de esta curva representan partes alicuotas de  $CRl^2$ , que se toma como unidad de tiempo. La curva de Thomson nos enseña que mientras la abscisa  $\tau$  es menor que 0,02, esto es,

mientras el tiempo no llega a las dos centésimas de  $CRl^2$ , la corriente no es perceptible (este tiempo es el "período de propagación"); pero en cuanto el tiempo llega a 0,14 de  $CRl^2$  ya tenemos en el extremo del cable una corriente de intensidad mitad de la final  $\frac{E}{Rl}$ , y al 90 por 100 de esta intensidad final cuando el tiempo llega sólo a las tres décimas de la constante de tiempo  $CRl^2$ . Nótese bien que entre  $\tau = 0,1$  y  $\tau = 0,2$  es máxima la in-

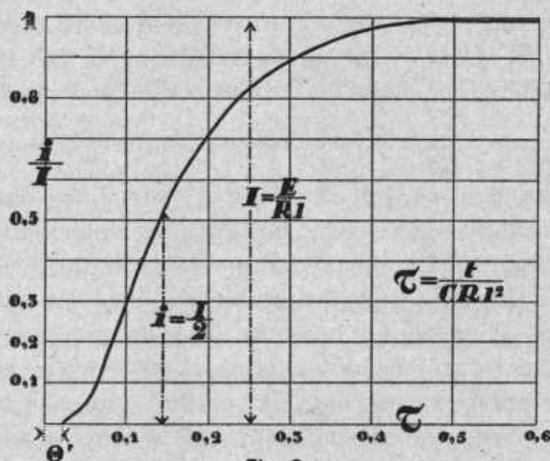


Fig. 2

clinación de la curva, confundándose sensiblemente con una línea recta, y es por esta región, como veremos, donde nos conviene colocar el punto de funcionamiento del relevador receptor.

Para simplificar los razonamientos, vamos a sustituir la curva de llegada por la recta  $AB$  (fig. 3.<sup>a</sup>) resultante de la prolongación media de la misma. La velocidad de la transmisión dependerá ahora de la inclinación de la recta  $AB$  y, por tanto, del tiempo  $T$ .

La velocidad de la transmisión vendrá definida por el número de elementos de corriente, constitutivos de cada signo, que pueden ser transmitidos por segundo. En el sistema Morse un elemento será la duración de un punto; en el código Baudot será

el paso de la escobilla por un contacto de la segunda conorona. Llamemos  $t$  a este tiempo elemental; la velocidad vendrá expresada por el número  $n = \frac{1}{t}$  de *bauds* por segundo. Cuando se emplee una transmisión con doble corriente, ésta tendrá la forma de una corriente alterna, no sinusoidal, en la que cada alternancia puede ir, o no, seguida de otra de signo contrario. La corriente

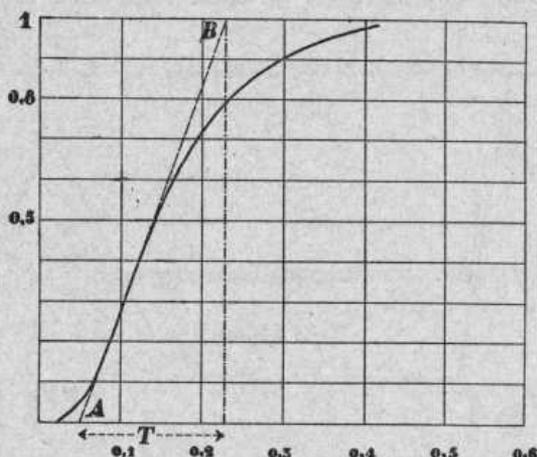


Fig. 3

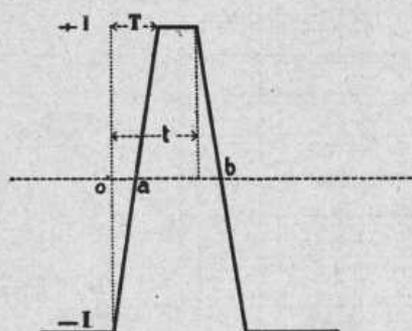
producida por un alternador de frecuencia  $F$  sería equivalente a la de una corriente telegráfica de  $2F$  bauds por segundo.

Admitamos, primeramente, que la corriente se recibe en un relevador polarizado de sensibilidad extrema de modo que el simple cambio de signo de la corriente haga pasar a su aleta de un tope a otro en un tiempo despreciable. Empecemos a contar el tiempo en el momento de la llegada de una corriente positiva de duración  $t$  (fig. 4.<sup>a</sup>), que ha sido precedida de otra larga emisión negativa, y que a la emisión positiva sigue otra negativa de duración indefinida. Si la duración de la corriente positiva  $t$  es igual o mayor que  $T$ , la forma de la corriente de llegada será la de la figura, y el tiempo  $ab$  de la duración de la alternancia de la aleta del relevador será exactamente igual a la duración de

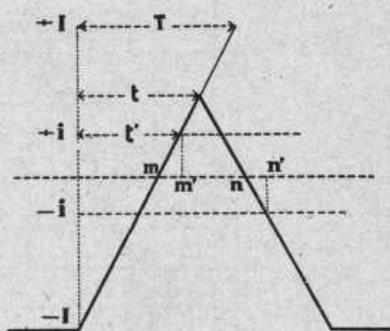
la emisión. El relevador seguirá entonces fielmente la "modulación" de las corrientes emitidas.

Si el período elemental fuese menor que  $T$ , la forma de la corriente de llegada sería la de la figura 5.<sup>a</sup> La duración de la corriente positiva sería  $mn$ , y, si la corriente capaz de accionar el relevador es  $oi$ , la corriente positiva "relevada" por éste duraría el tiempo  $m'n' = mn$ .

Partiendo del momento en el que en la línea existe una co-



**Fig. 4**



**Fig. 5**

rriente de saturación negativa  $-I$ , vemos que el tiempo necesario para que se produzca una inversión positiva (de negativa a positiva) será, a lo menos,  $\frac{T}{2}$ , y si se tiene en cuenta la corriente necesaria para accionar el relevador, que representaremos por la ordenada correspondiente a la horizontal  $ij$ , el tiempo límite será  $t'$ .

Para que la recepción de una inversión se produzca será, pues, forzoso que la intensidad en el relevador pase del valor  $oi$  (sensibilidad del receptor) en un tiempo  $t > t'$ .

Este tiempo  $t$  depende principalmente de las características eléctricas de la línea y aparatos unidos a ella, y será tanto menor cuanto mayor sea la inclinación de la curva de llegada.

El cálculo exacto de  $t$ , inverso de la velocidad de tráfico, de decisiva importancia en un proyecto de telegrafía, es sumamente

complejo y ha sido necesario acudir a fórmulas empíricas aproximadas. Wollin, en 1921, dió para los cables tipo Thomson la fórmula  $t = x \cdot CRl^2 + y$ . Para los sistemas Baudot y rápido Siemens, diversas experiencias dieron para  $x$  el valor  $x = 0,144$ . El valor de  $y$  depende de las condiciones del relevador (tiempo de translación de un tope a otro, acción de rebote, etc.), y su valor más probable es  $y = 0,002$ . El valor de  $y$  es muy pequeño al lado

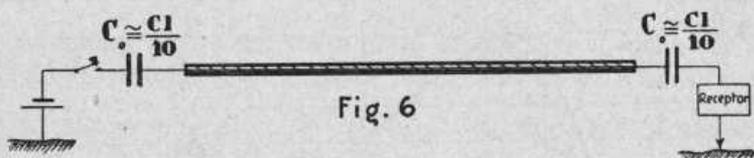


Fig. 6

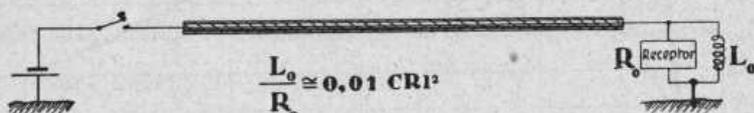


Fig. 7

de  $x CRl^2$ ; por esto es más frecuente expresar la velocidad en bauds por segundo por la fórmula

$$n = \frac{A}{CRl^2}$$

Según Herbert, el valor de  $A$  es de 10 a 12 para los hilos aéreos, y de 15 para un cable aislado con guta. Wagner más tarde (*Elektr. Nachr. Techn.* 1, 1924), dice que el valor de  $A$  puede llegar a 34 en los cables Thomson y a 125 como límite máximo de la velocidad.

Estas fórmulas se refieren al caso corriente de que el relevador del aparato receptor tiene una resistencia pequeña con relación a la de la línea. El límite de aplicación es el caso de que la línea tenga una resistencia a lo menos 20 veces mayor que la del relevador receptor.

Para disminuir el valor de  $t$ , la primera preocupación de los telegrafistas fué adoptar disposiciones que hicieran elevarse a la curva de llegada bruscamente. El primer procedimiento puede decirse que fué hallado involuntariamente. Con objeto de evitar la circulación por los cables submarinos de las corrientes permanentes de tierra se ideó el bloquear el cable en cada extremo por medio de un condensador  $C_0$  (fig. 6.<sup>a</sup>). Se logró el objeto pro-

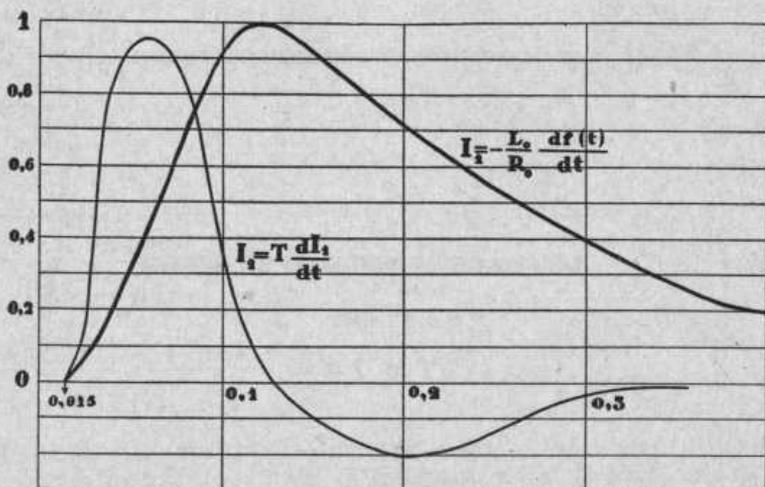


Fig. 8

puesto a costa de una disminución de la intensidad de las señales; pero en la recepción en sifón las curvas eran más acusadas, la lectura más fácil, y, por tanto, pudo lograrse una mayor velocidad de tráfico. Otro procedimiento es el empleo del *shunt magnético* (fig. 7.<sup>a</sup>), consistente en una autoinducción  $L_1$  montada en paralelo con el receptor, de una resistencia óhmica muy pequeña. En ambos casos la intensidad de la corriente de llegada tiene la forma de la derivada de la curva de Thomson, esto es, que el máximo de intensidad se verifica en el momento en que la curva citada tiene la mayor inclinación. Si llamamos  $i = f(t)$  al valor de la corriente en la curva de Thomson, con las disposi-

CICLO DE CONFERENCIAS ~ ~ ~  
 ~ ~ ~ AÑO DE MCMXX ~

---

ciones citadas, la corriente será, con los condensadores de bloqueo,

$$I_1 = \frac{C_0}{Cl} \left( CRl^2 \frac{df(t)}{dt} \right)$$

y con el shunt magnético,

$$I_1 = - \frac{L_0}{R_0} \frac{df(t)}{dt}$$

La capacidad de los condensadores de bloqueo  $C_0$  debe ser la décima parte, próximamente, de la capacidad  $Cl$  del cable, y en el caso del shunt magnético, la relación  $\frac{L_0}{R_0}$  debe ser próxima a la centésima de la constante de tiempo del cable  $CRl^2$ . El valor máximo de la corriente de llegada es sólo de  $0,035 \frac{E}{Rl}$  de la corriente de saturación. En la figura 8.<sup>a</sup> se representa esta curva  $I_1$  tomando como ordenadas la relación  $\frac{I_1}{I_1 \text{ max}}$ .

Aun es posible aumentar la inclinación de la curva de llegada transmitiendo impulsos de corriente de duración del orden de intervalo de silencio con las disposiciones de las figuras 6.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup> Entonces la forma de la corriente de llegada es la de la segunda derivada de la curva de Thomson

$$I_2 = T \frac{dI_1}{dt}$$

haciendo la duración de la emisión  $T = 0,015 CRl^2$ ; la forma de la corriente de llegada se ha hecho más escarpada, pero su amplitud no llega a la centésima de la corriente,  $I_1$ . La curva de llegada  $I^2$  de la figura 8.<sup>a</sup> se ha tomado a una escala de intensidades cien veces mayor que para  $I_1$ .

Otras disposiciones semejantes a los filtros de "paso superior" pueden emplearse, que permiten elevar aún más la inclinación de la curva de llegada, dando a ésta la forma de las derivadas 3.<sup>a</sup>, 4.<sup>a</sup>, 5.<sup>a</sup>, etc., de la curva de Thomson; pero a medida que el principio de la corriente crece más bruscamente, la intensidad a

## ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIEROS Y TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIÓN

la llegada decrece, hasta un límite al que no podía llegar la sensibilidad de los aparatos receptores cuando no se disponía más que de los amplificadores mecánicos como el de Heurtley.

Los amplificadores de lámparas vinieron a resolver el problema de una amplificación casi sin límites; pero entonces surgió una nueva dificultad: al mismo tiempo que se amplifican las corrientes telegráficas se amplifican igualmente las corrientes telúricas o corrientes "parásitas". Es el mismo problema de la amplificación en T. S. H., limitada también por las mismas causas.

Existen dos clases de "parásitos". Unos, de origen artificial, producidos por la inducción de circuitos de telecomunicación próximos; otros por la difusión por tierra de las corrientes de tracción eléctrica y de las centrales situadas cerca del origen del cable. Estos parásitos, por su carácter periódico, se distinguen fácilmente en el oscilógrafo. Otros parásitos tienen su origen en las tempestades magnéticas, fenómenos eléctricos de la atmósfera y las auroras polares.

La sacudida eléctrica que produce el rayo en el punto de la tierra donde cae, produce una oscilación que se propaga por la superficie del suelo y del mar, penetrando las frecuencias inferiores hasta cierta profundidad y atenuándose rápidamente, en el sentido de la profundidad, las altas frecuencias. Por tanto, si el cable es profundo estos parásitos no tienen importancia y pueden ser casi totalmente eliminados por filtros que detengan las bajas frecuencias.

Si el cable es superficial, como ocurre en los cables que parten de Nueva York, tendidos sobre bajos fondos, puede remediarse la acción de los parásitos con el empleo de un cable de tierra que acompañe al principal hasta que éste alcance cierta profundidad. Las corrientes inducidas sobre ambos llegarán en sentido contrario a los aparatos receptores, anulándose.

Un estudio más acabado del problema de la propagación en los cables, partiendo de las ideas de Heaviside, ha permitido llegar a otra solución del problema de la rapidez del tráfico en telegrafía. Las disposiciones que hemos mencionado, que utilizan el levantamiento de las derivadas sucesivas de la curva de Thom-

son, tienen su aplicación en los primeros cables, construidos elementalmente con un conductor de cobre, aislado con un tubo de gutapercha con las envolturas necesarias para su protección mecánica. Cuanto mayor fuera el diámetro del conductor y de su aislante menor sería su resistencia y su capacidad, los dos enemigos de la velocidad del tráfico; estaban sometidos aquellos cables a la *ley del KR* en donde las condiciones económicas encastraban al ingeniero. El fenómeno de la propagación estaba escrito en las ecuaciones

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = IR \qquad -\frac{\partial I}{\partial x} = C \frac{\partial V}{\partial t}$$

de las que se deduce

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = CR \frac{\partial I}{\partial t}$$

los valores de  $G$  y  $L$  (perditancia y autoinducción por kilómetro) eran, "afortunadamente", cantidades despreciables (afortunadamente para la resolución de la ecuación) y siendo cantidades que consideradas por sí solas podían constituir otro nuevo obstáculo a la propagación, parecía una fortuna que a medida que se aumentaba el espesor del aislante para hacer bajar el valor de  $C$  se hiciera bajar hasta límites despreciables el valor de  $G$ , y el de la autoinducción  $L$  tampoco mereciera tomarla en consideración al lado de sus hermanas mayores  $R$  y  $C$ .

La soberana intuición de Heaviside le llevó a una clara visión del papel que la autoinducción del conductor debía de desempeñar en la propagación de la corriente y pudo pensar que si esta propagación es estorbada por los remansos que la corriente forma al cargar los condensadores elementales, que podemos considerar existentes en cada pequeño trozo de cable, dando a la corriente una cierta energía cinética, con mayor inercia, aquellos "remansos" serían salvados más fácilmente por la corriente; a la desaparición de aquellos remansos perturbadores podría también

# ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIEROS Y TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIÓN

contribuir la pérdida de corriente por el aislante. Era, pues, preciso estudiar "enteras" las ecuaciones de la propagación:

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = RI + L \frac{\partial I}{\partial t} \qquad -\frac{\partial I}{\partial x} = GV + C \frac{\partial V}{\partial t}$$

ecuaciones de tan capital importancia en todo problema de telecomunicación, que, dejándome llevar de la fantasía, me parece haber llegado el día en que hemos de celebrar la inauguración del nuevo edificio escuela de Telecomunicación en cuyo frontis campeen estas ecuaciones, que, a la manera que en la escuela de Platón se leía "nadie pase que no sepa Geometría", digan a nuestros escolares "nadie pase sin saber utilizarlas".

Estas son como el esquema o esqueleto del fenómeno de la propagación. Una primera inexactitud se aprecia en ellas: al escribir en la primera el valor de la variación elemental de la tensión a lo largo del hilo,  $RI$  es la caída debida a la resistencia; pero en este producto  $I$  figura como constante cuando en el término siguiente figura como variable en el tiempo y en la ecuación siguiente variable con la distancia. Otro tanto ocurre con el producto  $GV$  que supone la constancia de  $V$ , variable en el término siguiente y en el primer miembro de la ecuación primera.

En conductores bien aislados puede despreciarse el valor de  $G$ , y la ecuación resultante de aquéllas es entonces

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = CL \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} + CR \frac{\partial I}{\partial t}$$

que, resuelta, da para valor de la corriente a la llegada

$$I = E \sqrt{\frac{C}{L}} e^{-\frac{R}{2L}t} J_0 \left( \sqrt{t^2 - \frac{x^2}{v^2}} \right)$$

en la que  $J_0$  es una función de Bessel, de argumento imaginario, que puede calcularse por medio de tablas apropiadas. La velocidad de propagación del frente de onda es

$$v = \frac{1}{\sqrt{CL}}$$

En un punto de la línea, a la distancia  $x$  del origen, antes del tiempo  $t = \frac{x}{v}$  no hay corriente alguna, y, cuando el tiempo llega a este número, la intensidad pasa bruscamente al valor

$$i = E \sqrt{\frac{C}{L}} e^{-\frac{R}{2L} t}$$

en el momento de llegada del "frente de la onda". Después del levantamiento inicial, la forma de la curva de llegada se aproxima a la de la curva Thomson, según muestra la figura 9.<sup>a</sup> A

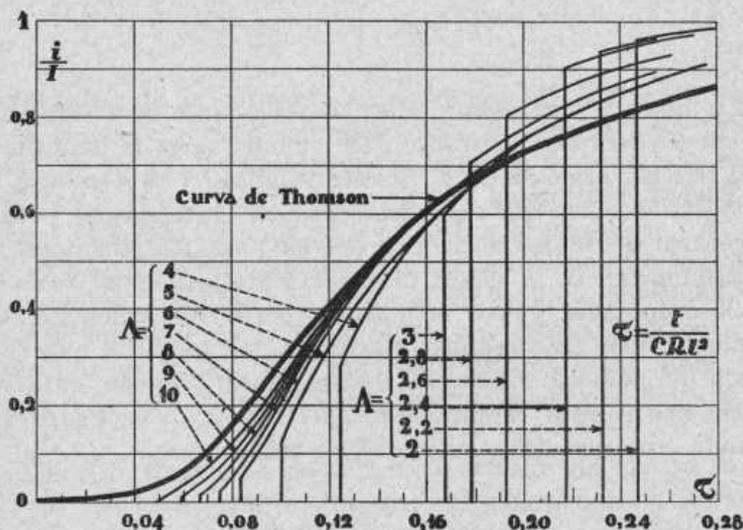


Fig. 9

medida que la autoinducción decrece (todas las demás características iguales) la intensidad del frente de onda se reduce y la curva tiende a confundirse con la curva Thomson. El problema del aumento de la velocidad estribaba, pues, en un aumento de la inductancia unitaria del cable, lograda por dos procedimientos: o con la intercalación en serie de bobinas que, de un modo dis-

## ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIEROS Y TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIONES

continuo, aumentarán el valor de  $L$  en el circuito (procedimiento Pupin), o aumentando este valor por medio de un alambre o cinta magnética rodeando el conductor (procedimiento Krarup). Unos y otros son los que se llaman cables *cargados*. A la constante de tiempo  $CRl^2$  que caracterizaba las propiedades eléctricas del cable ha sustituido otra nueva cantidad, llamada "longitud eléctrica" (numéricamente muy próxima al coeficiente de debilitación  $\beta l$ )

$$\Lambda = \frac{1}{2} \frac{R}{Z} l$$

siendo la impedancia

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

La figura 9.<sup>a</sup> representa, además de la curva de Thomson, cuatro curvas de valor constante  $CRl^2$  cuando varía la longitud eléctrica por la variación de  $L$ . Si este valor de  $\Lambda$  descendiera hasta 4 ó 5, la velocidad que se podría alcanzar en telegrafía podría ya sobrepasar del límite consentido por los aparatos receptores; pero la disminución de  $\Lambda$  no es fácilmente realizable por razones de índole económica, y, por otra parte, puede ser suficiente, en los grandes cables trasoceánicos, alcanzar una longitud que no descienda del número 10, como ha demostrado Wagner. Para cables en los que  $\Lambda$  está comprendido entre 10 y 13 se puede dar la fórmula empírica de la velocidad de tráfico:

$$n = \frac{800}{(\Lambda - 9)CRl^2} \text{ bauds.}$$

Obsérvese bien que las curvas de la figura 9.<sup>a</sup> se refieren a circuitos en los que  $C$  y  $R$  permanecen invariables. En ella se ve que el frente de onda se retrasa a medida que disminuye su longitud eléctrica. En los cables cortos y líneas aéreas el período de propagación será mucho más corto y más brusca la elevación. Por ejemplo: una línea aérea de 550 Km., como de Madrid a Irún, de hilo de cobre de 3 mm. que, redondeando las cifras,

## CICLO DE CONFERENCIAS ~ ~ ~ ~ ~ ~ AÑO DE MCMXXX ~

---

---

puede tener  $R = 3$ ,  $C = 0,006 \cdot 10^{-6}$ ,  $L = 0,004$  y  $l = 550$  Km., su longitud eléctrica sería

$$\Lambda = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{6}{4} 10^{-6} \cdot 550} \cong 1$$

la velocidad de propagación sería

$$v = \frac{1}{\sqrt{CL}} = \frac{1}{\sqrt{24 \cdot 10^{-12}}} = 204000 \text{ km/s}$$

el período de propagación

$$\frac{550}{v} = 0,0024 \text{ seg} \quad ; \quad Z = 818 \text{ ohmios}$$

y la intensidad de la corriente a la llegada del frente de onda será 0,68 de la corriente de saturación, que se alcanza cuando  $t$  sea  $\infty$ . En tal línea, aunque los ramales de población sean subterráneos y de una longitud que alcance hasta unas decenas de kilómetros, el frente de onda se levanta tan bruscamente que solamente el relevador receptor, las condiciones del mismo receptor y las corrientes parásitas nos darán el límite de la velocidad. El concepto de longitud eléctrica no tiene, por esto, aplicación a la determinación de la velocidad de tráfico en una línea aérea, dependiendo más bien de otras consideraciones, de que trataré en seguida.

Las ideas de Heaviside, de aumentar el valor de  $L$  para favorecer la velocidad de tráfico, tardaron algún tiempo en llevarse a la práctica, hasta que Pupin propuso la intercalación de bobinas llamadas "de carga" colocadas de trecho en trecho en el conductor. Este procedimiento era fácilmente practicable en cables terrestres colocando las cajas que contienen las bobinas bien en lo alto de un poste o en abrigos subterráneos; pero ¿cómo intercalar estas bobinas en un cable submarino? La intercalación de esta "carga" presentaba enormes dificultades. De aquí que se pensara en aumentar el valor de  $L$  de un modo continuo, que es el método Krarup, rodeando al conductor de una cinta o hilo de

## ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIEROS Y TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIONES

hierro, empleándose primeramente el hierro al silicio; pero con este metal, para lograr un aumento conveniente del valor de  $L$  era necesario aumentar el peso y el coste del cable hasta un límite inaceptable. Por esto, los primeros intentos de krarupización dieron un resultado poco alentador. El hierro tiene, como sabemos, el inconveniente de que para pequeñas intensidades del campo, como las producidas por las débiles corrientes que circulan por el cable, se imanta muy poco. Era necesario buscar un metal que para tan débiles intensidades se imantara más fuertemente, es decir, que tuviera mayor permeabilidad magnética. Casi simultáneamente se logró, de una parte, por Arnold y Elmen, de la Compañía Western Electric, en América, y por otra parte, en Alemania, por Burgess y Aston, una aleación de hierro y níquel que tiene la propiedad de ser un metal de una gran permeabilidad magnética para intensidades débiles, como las corrientes telegráficas, con unas pérdidas por histéresis muy inferiores a las del hierro y una gran resistencia específica, para dificultar la circulación de las corrientes de Foucault. Una medida de la importancia de este descubrimiento la dan estos números: el hierro dulce tiene una permeabilidad inicial (es decir, en campos de intensidad casi nula) medida por el número de 300 aproximadamente. La aleación ferroníquel tiene una permeabilidad que llega al número 12.000, esto es, 40 veces mayor. Este aumento artificial de la inductancia ha producido una nueva complicación en los cálculos, a saber: que esta inductancia no es una constante que podamos representar justamente por la letra  $L$ , sino que varía en función de la intensidad. Si, al lado de esto, recordamos que otra cantidad  $G$ , la resistencia del aislamiento o perditancia que se maneja en los cálculos como constante, y tampoco lo es, puesto que es función de la frecuencia, y, por tanto, hay que contar con esta variación en las grandes velocidades, y que otra "constante", la resistencia específica  $R$ , también es variable por la alteración que introduce la producción de las corrientes de Foucault, calcúlese lo extraordinariamente complejo del problema de la transmisión sólo con ayuda de las Matemáticas. Sin embargo, su utilización es imprescindible, a lo menos en una primera aproximación. Los

resultados de estos cálculos se aplican después, en el laboratorio, a la formación de un cable artificial construido mediante la adición de "células" idénticas, representando cada una un trozo de cable; claro es que cuanto más numerosas sean las células en que se divide un cable artificial de "longitud eléctrica dada" más podrá parecerse a un cable real y los resultados prácticos de la experimentación serán más seguros, dejando todavía un margen

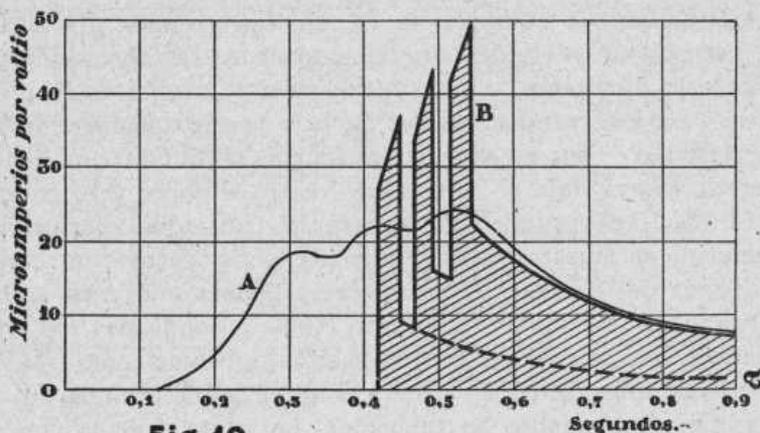


Fig. 10

para otras causas que se presentarán en el cable real, como la presencia de los "parásitos", variaciones de tensión de las pilas, ligeros desajustes, rebotes de los relevadores, etc.

Dos aleaciones de hierro y níquel están en discusión para "krarupizar" los cables: el "invariant" de los alemanes, con 47 por 100 de níquel, y el "permalloy" de la Western, con 78,5 por 100 de níquel y 21,5 por 100 de hierro. El primer metal presenta la ventaja que su gran permeabilidad inicial cambia poco con la intensidad de la corriente. Según Wagner, el "permalloy", aunque tiene una permeabilidad magnética mayor que el "invariant", ésta es muy variable en campos tan poco intensos como los que forman las corrientes telegráficas en los cables. A pesar de esto, el "permalloy" se ha impuesto en la constitución de los cables y

## ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIEROS Y TÉCNICOS DE TELECOMUNICACION

rápidamente se va extendiendo su empleo en otras ramas de la telecomunicación y la electrotecnia.

El revestimiento de "permalloy" se hace con una cinta de la aleación, arrollada en hélice directamente sobre el conductor de cobre. El espesor de la cinta es sólo de poco más de una décima de milímetro y de dos o tres milímetros de anchura. Es de notar lo extraordinariamente delicado de este metal, que pierde sus propiedades magnéticas en cuanto se le somete al menor esfuerzo de estiramiento o compresión. De ahí las grandes precauciones que necesita un cable de esta clase, tanto en la fabricación como durante la inmersión, y aun, para evitar la acción de la presión exterior en los grandes fondos, ha sido preciso proteger la cinta de "permalloy" por un especial acolchado semifluido que llena los intersticios que deja el "permalloy" entre el cobre y la guta.

El resultado práctico de la carga de un cable subterráneo o submarino se muestra en la figura 10, donde tenemos la corriente de llegada de la letra "S" en un cable Thomson *A* y en un cable "cargado" *B*. En lugar de las tres cimas redondeadas, de altitud creciente, que se registrarían en el sifón, tenemos como tres dientes, mucho más fáciles de leer en el sifón, y que accionarían también más rápidamente un relevador. La ventaja de la carga no es solamente la elevación brusca de la curva de llegada, sino también el aumento de la amplitud de la corriente, o, lo que es lo mismo, que con el aumento de *L* disminuye el amortiguamiento de la propagación dado por la fórmula

$$= \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Si a un cable cargado se le aplican en sus extremos dispositivos para deformar la curva de llegada, con objeto de utilizar las derivadas de la función que representa esta curva, aun se puede llegar a formas en las que el frente de la onda es vertical, como muestran las figuras 11 y 12, correspondientes a la primera y segunda derivada en un cable que tiene por longitud eléctrica el número 10, permitiendo alcanzar velocidades insospechadas en la recepción en sifón (claro que la "traducción" de la cinta ha de

CICLO DE CONFERENCIAS  
 AÑO DE MCMXXX

hacerse por varios operadores); pero cuando se trata de la recepción en aparatos impresores, en donde la recepción de las señales eléctricas se ha de verificar por medio de un relevador que ha de seguir con la mayor exactitud posible el ritmo del mani-

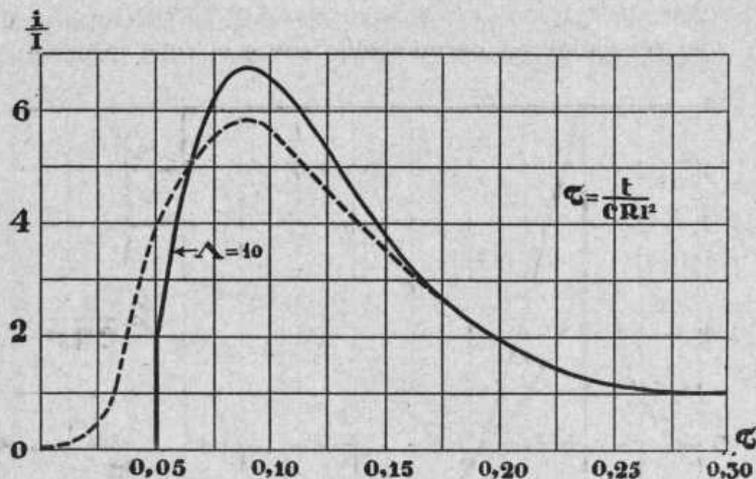


Fig. 11

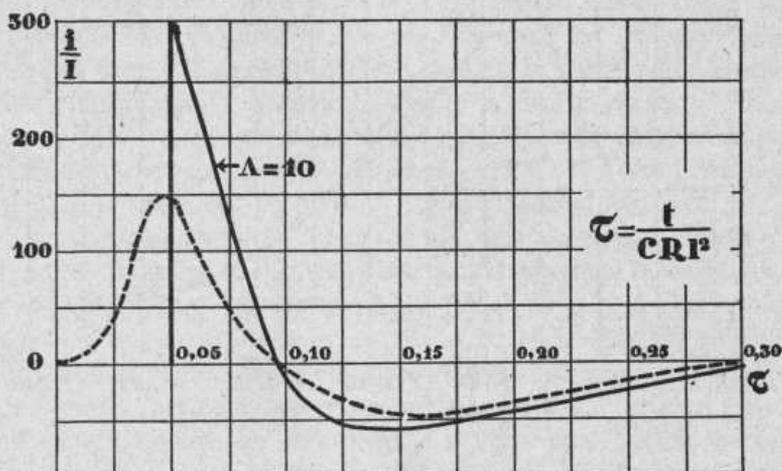
pulador o relevador transmisor, el problema de la velocidad cambia de aspecto.

Es preciso entonces que aquel ritmo o modulación de la corriente (empleando términos de la telefonía) se conserve de modo que la aleta del relé receptor se mantenga sobre cada tope un tiempo igual a la del relé transmisor; pero son varias las causas que impiden la exacta reproducción de la corriente emitida, siendo la principal la siguiente:

Supongamos un relevador infinitamente sensible, esto es, que su aleta cambie de tope en cuanto la corriente pase por cero al pasar de un signo a otro. Imaginemos, además, que hallándose el relevador receptor sobre el tope negativo, por una corriente negativa de duración anterior indefinida llega una corriente positiva, que ha durado el tiempo  $t$ , seguida de otra negativa. Si la curva de llegada, tomando como origen de los tiempos el momento

# ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIEROS Y TÉCNICOS DE TELECOMUNICACIÓN

de la aparición del frente de onda, es  $AB$  (fig. 13) en la alternancia de  $-a+$ , la de la alternancia de  $+a-$  (suponiendo, como en el caso anterior, que la corriente positiva era anteriormente indefinida) será una curva simétrica con la anterior  $A'B'$  desplazada en un tiempo  $t$ . La corriente de llegada vendrá figurada por la adición algebraica de las dos curvas,  $ABC$ . El tiempo en que la aleta del relevador ha permanecido sobre el tope positivo estará



**Fig. 12**

representado por el tiempo  $mn$ , inferior a  $t$ . Luego la aleta del relevador receptor acortó el tiempo en contacto de la emisión positiva. Este acortamiento fué debido *al estado eléctrico de la línea anterior* al momento de la llegada de la alternancia  $+ -$ . El cambio de la lengüeta del relevador se verificó en el tiempo  $t'$ ; pero si la alternancia  $+ -$  se produce después, no de una emisión positiva de duración  $t$ , sino de una larga emisión positiva, el momento del funcionamiento del relevador hubiera sido  $t''$ . Tenemos aquí un período de tiempo  $t' t''$  de incertidumbre del momento de llegada de una corriente, debida a los "residuos" de emisiones anteriores, a los que tenemos que sumar las corrientes parásitas de diversa índole que antes citamos, a los efectos de rebote de la

palanca del relevador, etc.; de suerte que la curva de una alternancia, en vez de una curva perfectamente definida como la *AB* (figura 14), es una zona limitada por dos curvas resultantes de sumar algébricamente a la intensidad de la corriente *AB* las corrientes residuales, parásitas, de desequilibrio (en el caso del duplex), etc.; resultando que si el relevador receptor funciona con una corriente de ordenada *o i*, el momento del funcionamiento

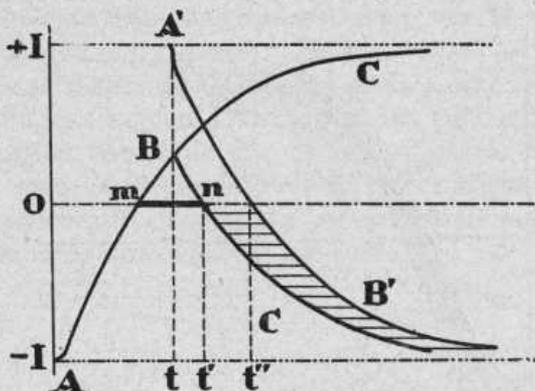


Fig. 13

será incierto en el tiempo *mn*. A esta zona la ha llamado el ingeniero francés M. Collet zona de "empiétement", y al tiempo *mn*, simplemente "empiétement", y que podríamos llamar más justamente "incertidumbre" o "tolerancia", como llama a este tiempo el ingeniero H. J. Josephs, del G. P. O.

Actualmente se verifican interesantes estudios de aplicación de este nuevo concepto a la comunicación por medio de aparatos inscriptores del tipo Baudot y con el código Wheatstone, con tres especies de señales (+, 0 y -), haciendo depender la velocidad de tráfico del valor de este "empiétement", que es un valor característico, del conjunto de los tres elementos: transmisor, línea y receptor, que en las grandes explotaciones tienen que formar como un todo orgánico. Como ejemplo de esto citaré el caso de la construcción del cable, cargado con "permalloy", de Nueva York a Horta. Simultáneamente se estudiaron y construyeron apa-

ratos y cable de tal modo, que una hora después de terminar la colocación del cable se trabajaba por él a la velocidad de 1.500 letras por minuto, y poco más tarde aun se logró un aumento considerable de la velocidad de tráfico, cuando se conocieron exactamente las características eléctricas del cable, por medio de un múltiple impresor de cinco canales ideado simultáneamente por los laboratorios de la Bell y de la Western.

Pero aun son pequeñas estas velocidades. Los cables carga-

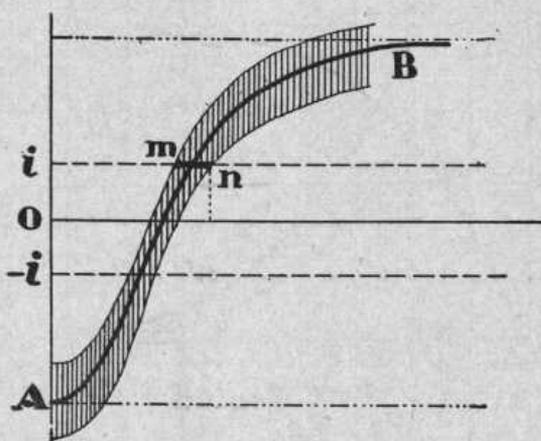


Fig. 14

dos representan un gran avance, pero ha sido preciso abandonar en ellos una gran conquista: la comunicación en duplex, por la gran dificultad de equilibrar la línea artificial con el cable cargado. Esto ha obligado a una rápida alternativa en el tráfico, que representa un mejor aprovechamiento del cable, teniendo en cuenta que, como no es igual el volumen del tráfico en los dos sentidos, uno de los dos canales del duplex puede permanecer inactivo, mientras el de sentido opuesto puede hallarse recargado de servicio. Ha sido una solución análoga a la que ha obligado a realizar la comunicación telefónica a cuatro hilos (un circuito de dos hilos de "ida" y otro "de vuelta") cuando la telefonía a larga distancia obligó al empleo de líneas artificiales para el equilibrio de los relevadores telefónicos.

CICLO DE CONFERENCIAS ~ ~ ~  
~ ~ ~ AÑO DE MCMXXX ~

---

---

Otros rumbos sigue actualmente la telegrafía: la telegrafía múltiple con corrientes alternas a frecuencias "infra-acústicas", a "frecuencias vocales" y en "alta frecuencia", llegando al máximo rendimiento en la ocupación de un cable; permitiendo el empleo simultáneo del mismo circuito para la telefonía y la telegrafía infra-acústica o el aprovechamiento de las frecuencias vocales para lograr hasta doce comunicaciones simultáneas como si fueran doce circuitos diferentes, entre cuyos extremos se colocan aparatos telegráficos cualesquiera, como ocurre en la comunicación establecida entre Zurich y Milán.

Con estas disposiciones hoy es posible, gracias también a los sistemas de transmisión de imágenes, tan perfectamente logradas, la transmisión entera de uno de nuestros grandes diarios entre capitales como Madrid y Barcelona o París, con sus anuncios y su información gráfica completa, en un tiempo no mayor de cuatro o cinco minutos de ocupación del cable.

