

APÉNDICE

IDEAS SOBRE OTROS MEDIOS PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE LAS LINEAS

PUPINIZACIÓN.—En el capítulo I, que nos sirvió como introducción a la telefonía y resumen de las fórmulas eléctricas que habían de sernos necesarias, vimos que la propagación o transporte de una corriente de cierta frecuencia a lo largo de un conductor se hacía en tanto mejores condiciones cuanto que la impedancia de la línea era más reducida. También vimos que dicha impedancia se componía de tres partes: resistencia óhmica—dependiente exclusivamente de las dimensiones y naturaleza del conductor—, inductancia y capacitancia—que, por el contrario, dependen, además, de la frecuencia de la corriente a transmitir—, y podemos recordar ahora cómo, siendo éstas de diferente signo, la reactancia (o resultado de su suma algebraica) puede ser cero para determinados valores de la frecuencia, capacidad y autoinducción. Dicese entonces que hay *resonancia*, y la transmisión se efectuará con el mínimo de pérdidas, pues sólo quedarán entonces las inevitables, debidas a la resistencia óhmica.

Se comprende entonces que, en telefonía, se haya buscado reunir estas condiciones óptimas, permitiendo un menor amortiguamiento; pero cabe, desde el principio, objetar que, no siendo posible obtener la condición de resonancia en cada caso más que para un valor concreto de la frecuencia, en el caso de las corrientes telefónicas (que por su naturaleza especial lo son de muy diversos) no será posible conseguirlo por completo. Y así ocurre en efecto: ha sido preciso determinar un valor medio de las frecuencias telefónicas más interesantes (o sea de aquéllas que afectan en mayor grado a la inteligibilidad de las palabras, prescindiendo de los armónicos que definen el tono) y concretar a él los valores de L y C , necesarios para conseguir la resonancia. De este modo conseguiremos que una cierta banda de frecuencias (tanto más ancha cuando menos aguda sea la resonancia) de uno y otro lado de dicha frecuencia tipo—nor-

malmente se elige el de 350 ciclos por segundo—se transmitan relativamente cerca de las condiciones ideales de resonancia.

En general, las líneas telefónicas—algo las aéreas y exageradamente los cables—tienen para dichas frecuencias unas capacidades demasiado grandes (los dos hilos paralelos a lo largo del trayecto forman las armaduras de un condensador cuyo dieléctrico es el aire) frente a una muy escasa autoinducción—dependiente del campo magnético creado, que, como sabemos, es grande en los electroimanes, pequeño en los selenoides y muy reducido en el caso de un conductor recto—, y por esta razón se recurre artificialmente al aumento de este valor, ya que el primero no es posible disminuirlo, mediante el empleo de bobinas *pupinizadoras* o carretes de autoinducción formados por un arrollamiento en espiral sobre un núcleo de hierro dulce en limaduras.

La pupinación de una línea mejora, pues, hasta tal extremo las condiciones de propagación, que incluso se emplean en campaña entre las diferentes secciones de las líneas tendidas con cable pesado de goma alemán, según adelantamos. En líneas aéreas no se siente tanto la necesidad de su empleo.

DEBILITAMIENTO.—No obstante estas mejoras obtenidas en la transmisión, se comprende que, en líneas excesivamente largas, el amortiguamiento llegue a ser tan grande que la audición no sea posible. Con objeto de expresar numéricamente los valores de dicha circunstancia, se han ideado ciertas unidades de medida, de las que la más aceptada ha sido el *decibelio*, definido por diez veces el logaritmo de la relación de potencias.

Parece a primera vista que, para medir el amortiguamiento de una línea, bastaría enviar por un extremo cierta potencia—de la frecuencia tipo—y hallar en el otro el valor de la que llega, y, mediante la simple relación de ambos, obtener un número o fracción que nos indicase el debilitamiento sufrido. Esto presenta, sin embargo, varios inconvenientes, de los que son principales y de más fácil comprensión los dos siguientes:

1.º El oído no relaciona las intensidades de los sonidos con la fuerza de la recepción, en una escala proporcional. Quiere ello decir que un sonido de intensidad igual a 20, el oído no lo recibe con doble fuerza que otro de intensidad 10, sino menor, pues en términos generales, para que un sonido produzca doble sensación auditiva que otro de 10, es preciso que su intensidad sea de 100, y de 1.000 si queremos que sea triple intenso, y de 10.000 si cuádruplo, etc. Es decir, que a medida que la intensidad de los sonidos pasa por los valores 10., $100 = 10^2$, $1.000 = 10^3$, $10.000 = 10^4$, $100.000 = 10^5$, la de recepción lo hace por 1, 2, 3, 4, 5, ..., números que representan el exponente respectivo de 10 y, por tanto, lo que llamamos logaritmo decimal.

2.º Si la unidad de debilitamiento fuera la simple relación de las potencias de entrada y salida, al tener dos líneas en serie habría, no que sumar las de cada una para obtener el total, sino multiplicarlas, pues es

claro que si una línea tiene un amortiguamiento de $\frac{1}{10}$ en potencia y

se une a otra de igual valor, el resultado será de $\frac{1}{10} \times \frac{1}{10}$, como es

fácil comprobar imaginando que si por el primer trozo tienen entrada 100 vatios, salen sólo 10 que, al recorrer el segundo, terminarán finalmente

por quedar reducidos a 1, con un amortiguamiento total de $\frac{1}{100}$ sobre la entrada. Si, por el contrario, adoptamos como unidad de amortiguamiento los logaritmos de dichas relaciones, no habrá más que sumarlos para obtener el logaritmo del producto, o sea el amortiguamiento resultante.

Por otra parte, la razón de adoptar, no el logaritmo de la relación de potencia, que sería el *belio*, sino la décima parte del mismo o *decibelio*, no tiene otra explicación que la de ser aquella una unidad algo grande para las necesidades prácticas.

En definitiva, $10 \lg. \frac{P}{P'}$ expresa en decibelios el amortigua-

miento, siendo P y P' las potencias de entrada y salida; con la doble ventaja de que si en una línea existe un amortiguamiento de 10 decibelios y de 5 en otra, podemos afirmar que en ésta la audición sería doble que en aquella, y que si tenemos dos líneas de 15 y 3 decibelios de amortiguamiento, el del total valdrá 18.

En sentido inverso del amortiguamiento, el decibelio mide también la relación de potencia de entrada y salida de un amplificador, o sea la *ganancia*.

Como datos prácticos que nos orienten, a fin de darnos idea de lo que dichas magnitudes representan, digamos que en las líneas generales civiles el amortiguamiento no llega a 10 decibelios, con lo que la recepción es siempre muy buena; con un debilitamiento de 20 decibelios, se sigue oyendo, aunque muy débilmente, y con 30 decibelios, la recepción es casi imposible. Como es lógico, los valores entre ellos representan índices medios de funcionamiento, que sería fácil clasificar.

Con auxilio de estos datos y de los valores que daremos a continuación como tipos de las diferentes líneas y aparatos, es posible determinar

de antemano las condiciones en que ha de funcionar una instalación o bien acusar una irregularidad, si no llegan a realizarse de acuerdo con lo previsto:

Debilitamiento de 100 Km., línea cobre de 3 m/m.	2.5 dbl.
Debilitamiento de 100 Km., línea cobre de 2 m/m.	2.7 dbl.
Debilitamiento por paso a través de una central	1.2 dbl.
Debilitamiento por paso a través de una bobina fantasma.	0.4 dbl.

En cuanto al cable de campaña, se comprende la imposibilidad de dar, no ya un valor de amortiguamiento por kilómetro, ni siquiera unos límites amplios, a causa de la infinidad de factores que intervienen, tales como la clase del cable, humedad, empalmes, altura sobre el suelo (a los efectos de capacidad con tierra), distancia entre hilos (capacidad de la línea), etc., de los que el de menor importancia acaso sea el primero, y los demás son, por añadidura, variabilísimos y casi imposibles de fijar en un caso determinado.

No obstante, en nuestro deseo de concretar, vamos a fijar, para los cálculos que hacemos a continuación, el valor de 1,5 decibelios por kilómetro, aclarando, sin embargo, que en la práctica podría ocurrir hallar valores tanto dobles como mitad, a causa de las posibilidades tan amplias de variación de los factores que lo determinan.

Con auxilio de estos datos nos es posible, en líneas permanentes, determinar las condiciones de buena audición y buscar las causas de la anormalidad, cuando el rendimiento disminuye en mucho de los cálculos teóricos. Claro es que cuando intervengan tendidos, por pequeños que sean, de cable de campaña, toda previa determinación es imposible.

Hagámoslo, sin embargo, como aplicación, y veamos en el caso práctico de la figura 129, en que se ha asignado como debilitamiento para el cable el valor tipo dado más arriba; la línea entre C_1 y C_2 es permanente en cobre de 2 m/m, y tanto la que enlaza el terminal A con la central correspondiente, como los entre C_2 y C_3 , y entre éste y el B, son de campaña.

El amortiguamiento total será, por tanto:

De A a C_1 , 1 km., cable de 1.5 dbl., km.	1.5	dbl.
Paso por central C_1	1.2	dbl.
Paso por una bobina fantasma	0.4	dbl.
De C_1 a C_2 , 50 km., cobre de 2 m/m., a razón de 3,2 dbl. los 100 km.	1.85	dbl.
Paso por otra bobina	0.40	dbl.
Paso por la central C_2	1.2	dbl.
De C_2 a C_3 , 5 km. cable	7.5	dbl.
Paso por central C_3	1.2	dbl.
De C_3 a B, 2 km. cable	3.0	dbl.
<i>Total de amortiguamiento.</i>	<i>18,25</i>	<i>dbl.</i>

y la recepción, por tanto, debe ser regular y suficiente para las necesidades militares.

REPETIDORES.—Aunque la recepción sea posible con 20 o más decibelios, ya adelantamos que en líneas civiles no se admitía un debilitamiento mayor de 10 decibelios, a causa de que, entre abonado y abonado, aparte de la línea general, existe un cierto número de centrales, bobinas, líneas secundarias y cables de acometida o bajada cuyos amortiguamientos son aún más considerables; sin embargo, existiendo líneas de longitud superior a 400 km. (que para el hilo de 3 m/m. tienen un amortiguamiento de 10 dbl.), es preciso recurrir a amplificadores de baja frecuencia—análogos a los de radio—, intercalados en las líneas, que en telefonía se conocen con el nombre de *repetidores*.

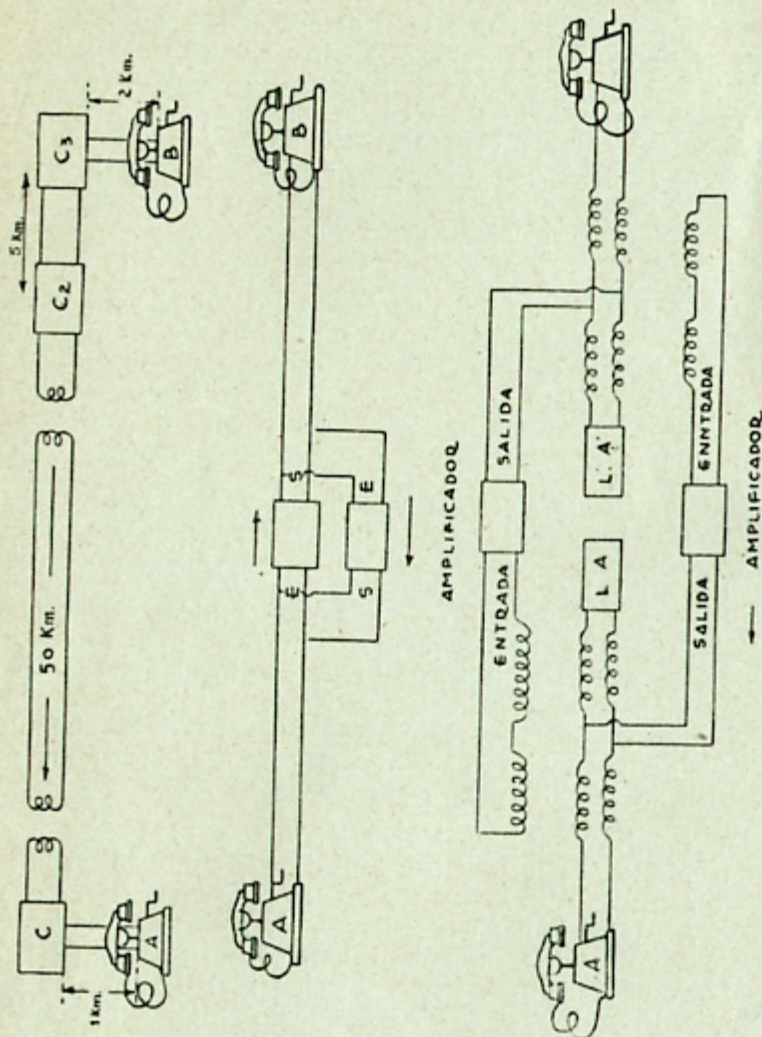
El estudio y esquema de dichos aparatos, a base de válvulas de tres electrodos, queda fuera de los límites de esta lección; sólo hemos de estudiar las llamadas bobinas *híbridas*, ya que, si bien aún no hemos dicho nada de su objeto, se comprende la necesidad de algún dispositivo que permita el funcionamiento simultáneo de dos amplificadores en diferentes sentidos (las corrientes telefónicas circulan tanto en uno como en otro) sobre una misma línea.

Imaginemos (figura 130) los abonados A y B unidos por una línea, en la que se han derivado dos repetidores instalados, uno en el sentido de amplificar las corrientes en el sentido de A a B—el superior—y otro de B a A—el inferior—. Este sería el montaje más sencillo; pero es impracticable a causa de que, estando ambos repetidores conectados en círculo (la entrada de uno a la salida del otro), un pequeño ruido que se produjese en la línea daría lugar al *cebado* de los dos, amplificándole una y otra vez hasta el límite de la potencia de las válvulas. A pesar del dispositivo que estudiaremos, por pequeño que sea el desequilibrio de las bobinas, éste ocurre también en algunas ocasiones, dando lugar a un zumbido especial, que inutiliza por completo la línea.

Dicho dispositivo son las *bobinas híbridas* (fig. 131), formadas por tres arrollamientos, de los que los dos primeros tienen tomas intermedia y se conectan por un extremo a la línea real y, por otro, a una artificial. L. A., formada por una serie de resistencias y reactancias, a fin de conseguir que la impedancia de la misma sea precisamente la de la línea real conectada al otro extremo. El montaje es simétrico respecto al otro aparato, B, y línea correspondiente equilibrada por otra artificial, L' A', de análoga impedancia. Los amplificadores se montan como indica la figura, entre el tercer arrollamiento de un transformador o bobina híbrida y los puntos medios de los arrollamientos 1 y 2 de la otra.

Ello basta para explicar su funcionamiento, que es el siguiente: Las corrientes emitidas por el aparato A recorren el arrollamiento 2, la línea artificial y el arrollamiento 1, para cerrar por la línea real el circui-

to completo; por inducción se engendran unas corrientes de análogas características en la bobina 3, que pasan al amplificador superior, saliendo por la derecha considerablemente aumentadas en amplitud, pero con



Figs. 129, 130 y 131

la misma frecuencia, de donde pasan a los puntos medios O, P, en que se bifurcan hacia la derecha o izquierda para cerrar el circuito a través de la línea real y de la artificial. Como dichas líneas tienen iguales sus impedancias, las intensidades que las recorren serán del mismo valor (mitad del de la salida del amplificador) y nula la inducción sobre la bo-

bina 3, producida por las 1' y 2' ya que éstas son recorridas por mitades en diferentes sentidos, con lo que es cero la acción magnética resultante. De este modo se evita que las corrientes emitidas por A pasen al amplificador inferior y sean enviadas en sentido inverso.

Comoquiera que el montaje es idéntico, se comprende que, por el contrario, cuando sea B el que hable, en 3' habrá inducción y será amplificada para pasar a MN y recorrer una parte el circuito mitad derecha del arrollamiento 2, línea artificial y mitad derecha del 1, y otra igual, el teléfono A y las mitades izquierdas de dicho arrollamiento, siendo también nula la inducción sobre 3, con lo que no trabajará el amplificador superior.

La C. T. N. E. emplea repetidores cada 500 km., con ganancias máximas de 6 decibelios. Para líneas de 3,5 milímetros y aún más, como es fácil comprobar; para las de 3 m/m. dicha ganancia es escasa (el debilitamiento teórico es en éstas de 2,5 cada 100 km, o sea de 12,5 cada 500), y como es difícil la instalación de repetidores de mayores ganancias—existe el peligro del *cebado*, por pequeño que sea el desequilibrio entre la línea real y la artificial—, se tiende a instalar dichos aparatos en puntos intermedios de menor separación.

En las redes militares, por sus caracteres de menor permanencia e intervención de líneas de campaña, cuyas características son extremadamente variables, la instalación de repetidores resulta algo circunstancial y difícil. Aunque carecemos de experiencia propia sobre este asunto, en nuestra guerra ha sido empleado en algunos puntos, especialmente por la Legión Cóndor.

Un paso más para un mayor aprovechamiento de las líneas telefónicas lo constituye el sistema de Telefonía de Alta Frecuencia, que permite, en teoría, un número casi infinito de posibles comunicaciones utilizando dos hilos y, en la práctica, un promedio de tres, aparte de la ordinaria de baja frecuencia.

Este sistema tiene un principio en todo análogo a la radio, constando de aparatos generadores de corrientes de alta frecuencia (superiores a 10.000 ciclos por segundo) u *osciladores*; otros encargados de hacer variar la amplitud de dichas corrientes, de acuerdo con la corriente microfónica, o bien, para comprenderlo mejor, de mezclar una y otra frecuencia: la de alta o portadora, a la que llamaremos *portadora* y otra de baja o microfónica, de alrededor de 350 ciclos por segundo, que representaremos por *w*, llamados *moduladores*; y, por último, uno o varios sistemas de *filtros* encargados, no sólo de limitar las bandas, sino también de separar las distintas frecuencias que marchan por los hilos.

Esto en cuanto al aparato emisor: el receptor es análogo, si se exceptúa el cambio del modulador por un demodulador o detector, encar-

gado de separar las corrientes de baja frecuencia o microfónica de las de alta o portadora.

El estudio teórico y práctico de la oscilación, modulación y demodulación no encaja en estas lecciones generales. Sólo es posible dar una ligera explicación del funcionamiento de los filtros; recordemos para ello que la reactancia presentada por un arrollamiento o bobina, al paso de una corriente alterna, es tanto mayor cuanto más elevada sea la frecuencia de la misma, y, por el contrario, la reactancia de un condensador es menor a medida que dicha frecuencia crece. Con ello basta para comprender (fig. 132) que si por 1 entran dos corrientes mezcladas de fre-

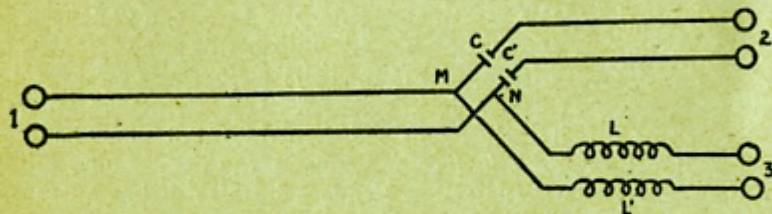


Fig. 132

cuencias distintas, al llegar a MN la más elevada encontrará más facilidad para el paso a través de los condensadores C y C' que la inferior, y, por el contrario, ésta hallará más expedito el camino a través de las inductancias L y L' que la de la frecuencia elevada. Ello es causa de que en gran parte las bajas frecuencias salgan por 3, separadas de las altas.

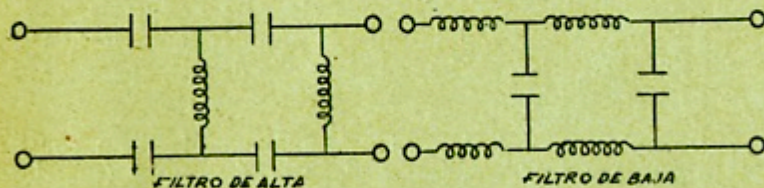


Fig. 133

que lo hacen por 2. Claramente se ve que dicha separación de frecuencias —o filtrado— será tanto más completa cuanto lo sea la diferencia de sus valores; pero incluso para corrientes de no muy desigual frecuencia es posible conseguir separaciones casi totales, mediante otros dispositivos algo más complicados (fig. 134), y, sin embargo, con análogos principios que los explicados de diferenciar unas frecuencias de otras por su mayor o menor facilidad en atravesar reactancias de diferentes naturalezas (capacidad y autoinducción).

Una instalación completa de alta frecuencia debe llevar, además de lo estudiado, una serie de amplificadores y bobinas híbridas, a fin de separar las corrientes de ida y vuelta. En la figura 134 vemos un montaje completo de un terminal (el otro sería idéntico), en el que A es el teléfono ordinario conectado a una línea por intermedio de un filtro de baja, Fb., que bloquea el paso de las corrientes de alta. Por el contrario, Fa es un filtro de alta, con distinto objeto; LA son líneas artificiales que equilibran la exterior y a la del teléfono B, que ha de hablar por la misma línea física valiéndose de la alta frecuencia portadora. Las bobinas híbridas sirven para separar la alta frecuencia emitida (que pasa por el modulador) de la que llega (que ha de hacerlo por el modulador), análogamente a como sucede en los repetidores.

Si en vez de ser una sola frecuencia de alta la que se envía por los hilos de la línea (a más de la de baja), se acopla a ella otro aparato como el descrito, pero trabajando a distinta frecuencia, y también sería posible el funcionamiento simultáneo, a condición de un más detenido estudio del sistema de filtros que ha de separar todas las frecuencias. En la prác-

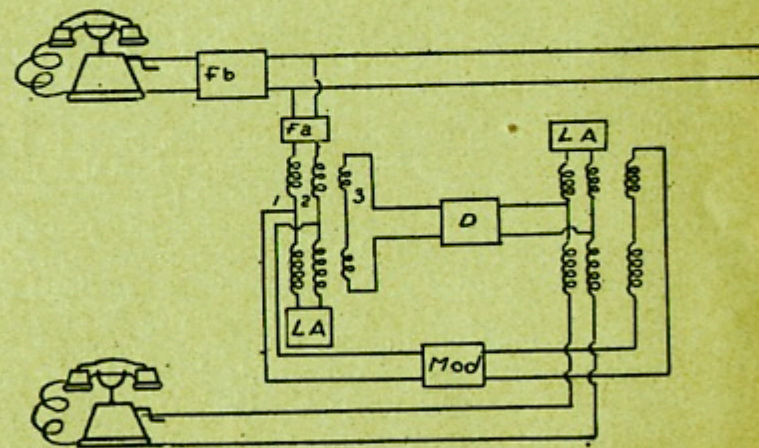


Fig. 134

tica ya adelantamos que, además de la conversación sostenida utilizando la baja frecuencia, se emplean otras tres en alta, con valores que difieren unos 2.000 ciclos por segundo. Concretamente, la C. T. N. E., en las líneas que utiliza como portadoras de alta frecuencia, emplea el sistema de tres canales:

- De 15.000 a 17.000 el primero.
- De 19.000 a 21.000 el segundo.
- De 31.000 a 33.000 el tercero.

En cada uno de estos canales, como resultado de la modulación o superposición de las frecuencias portadora y la de baja, resultan dos bandas: la superior de frecuencia $Q + w$ y $Q - w$ la inferior, y, mediante un sistema de filtros, eliminaremos una u otra, según convenga, reservando la inferior para los terminales A (instalados en Madrid) y la superior para los B (en provincias), con lo que es posible la comunicación en uno y otro sentido.

Las llamadas se producen en cada uno de estos canales por medio de frecuencias intermedias de 5.000, 7.000 y 9.000, respectivamente.

Normalmente, se emplean los hilos 1 y 2 como portadores, reservándose las 3 y 4, en previsión de avería de los primeros, ya que la rotura de un hilo, por ejemplo, inutilizaría cuatro comunicaciones a la vez.

Sobre una misma línea puede montarse aún otro sistema, utilizándose entonces los hilos de la otra banda (7, 8 y el 9, 10 en reserva), con tres canales diferentes en frecuencia superior a los 35.000 ciclos.

REPETIDORES DE ALTA FRECUENCIA.—El amortiguamiento de las corrientes de frecuencia elevada es, en la líneas, mucho mayor que el de las de baja, y por esta razón precisa intercalar cada 120 km. *repetidores de alta*, que son sencillos amplificadores encargados de reforzar—sin necesidad de separar—todas las corrientes que los atraviesan.

Es indudable la economía que se obtiene en cobre, posteo y conservación de líneas reduciendo los hilos necesarios para un determinado número de comunicaciones; pero ello es a cambio de los gastos de instalación del sistema, que pueden llegar a ser desproporcionados en caso de líneas cortas. De todos modos, dadas las facilidades de montaje y traslado rápido de los equipos, aparte de su empleo obligado en líneas generales que precisen ampliación y no sea posible el colgado de nuevos circuitos sin una reforma total del tendido, tendrán ocasión indicada de empleo en casos de una sobrecarga de cierta parte de la red, por causas cuya desaparición se prevea (concentraciones, catástrofes, etc.).

En este último sentido, desde el punto de vista militar, el estudio y aplicación de los sistemas de alta frecuencia es interesantísimo, pues las necesidades de la guerra impondrán pasajeras y extraordinarias actividades a cierta parte de las redes civiles o del Ejército que no estén preparadas y no se puede ni convenga tampoco ampliarlas en el grado necesario. El montaje de equipos transportables de alta frecuencia nos resuelve totalmente el problema a costa de un pequeño gasto de conservación y entretenimiento de las baterías y válvulas necesarias.