

# Análisis y síntesis de las vocales castellanas y aplicación a la telefonía secreta

por

Antonio García de Gúdal

PRESENTADO POR EL ACADÉMICO NUMERARIO D. JOSÉ BALTÁ

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las primeras necesidades del hombre es la comunicación con sus semejantes, y aún según algunos autores, esta necesidad sigue inmediatamente a la de la alimentación y a la del vestido. Desde muy antiguo el hombre ha buscado los medios de comunicarse a distancia con sus semejantes, primero por medio de señales convenidas, realizadas con distintos artificios, hasta que en el siglo pasado, con el adelanto de la técnica, consiguió nacer oír su propia voz a distancias que hoy prácticamente son ilimitadas.

Entre todos los medios de comunicación a distancia destaca muy particularmente la comunicación telefónica que permite, si es de buena calidad, que los interlocutores aprecien el timbre de voces conocidas y muchas veces queridas, así como sus inflexiones, acentos y demás particularidades que distinguen la conversación entre dos seres. Toda comunicación a distancia y aún la personal, algunas veces puede ser interceptada por aquellos que no desearían los interlocutores tuvieran conocimiento de la misma. Esto ocurre para todos los medios de comunicación: la correspondencia, la telegrafía, la telefonía, y para todos ellos se han ideado medios que conducen a que sólo sean conocedores de la información transmitida en la comunicación, aquellos corresponsales a quienes está destinada. Estos son los llamados medios

de comunicación secretos. El cifrado de los mensajes es bien conocido y utilizado, no sólo por aquellos organismos que se cuidan de la seguridad nacional en sus variantes militares, diplomáticas, etc., sino que también es necesario muchas veces en comunicaciones de menor entidad, comerciales, publicitarias, etc.

Una gran parte de las actividades profesionales del autor han estado dedicadas al desarrollo de sistemas telefónicos de distintos tipos y dentro de ellos a los sistemas de telefonía secreta.

Los sistemas de telefonía secreta tienen unas exigencias específicas que no son necesarias para otros medios en los que el intervalo de tiempo entre la creación del mensaje y la interpretación puede ser considerablemente grande, sin embargo, la telefonía requiere como condición imprescindible la simultaneidad. Desde el punto de vista técnico de las comunicaciones telefónicas, casi siempre se requiere también que el mensaje telefónico secreto pueda transmitirse utilizando las mismas líneas de comunicación que se emplean para la transmisión normal —en claro—. Es decir, si se trata de una red telefónica o radiatelefónica, que puedan utilizarse los mismos canales para la conversación en secreto que en claro.

Uno de los sistemas que se suele emplear, no sólo para la telefonía secreta sino para la telefonía múltiple, es la traslación de la banda natural de las frecuencias vocales comprendida entre los 300 y 3.000 ciclos por segundo aproximadamente, a otra banda de frecuencias mediante la modulación de frecuencias portadoras con la banda producida por la voz. Uno de los sistemas más sencillos de telefonía secreta es el llamado inversión de banda, que consiste en limitar la banda vocal en un espectro determinado, por ejemplo, entre los 300 y los 3.000 ciclos y modular una frecuencia portadora de 3.000 ciclos. De las dos bandas que resultan de la modulación, una de 300 a 3.000 y otra de 3.000 a 5.700 ciclos por segundo, se toma la banda inferior, es decir, la de 300 a 3.000 ciclos. Esta banda se llama invertida, porque las frecuencias originales quedan convertidas después de la modulación en el complemento a 3.000 ciclos, es decir, una frecuencia emitida por la voz a 400 ciclos, por ejemplo, se convertirá en  $3.000 - 400 = 2.600$  c/s; otra emitida a 2.600 se convertirá en 400 c/s, o sea que las frecuencias graves se convierten en agudas y las agudas en graves, haciendo en general ininteligible la conversación y siendo preciso para comprenderla realizar en el terminal opuesto la operación inversa, que en este caso se denomina demodulación.

Nótese que con este sistema se utiliza el mismo canal de 3.000 c/s para transmitir la conversación en claro que la secreta, y ahí reside su principal ventaja, por poder utilizar cualquier red telefónica ya existente.

Más adelante discutiremos la eficacia de los distintos sistemas de telefonía secreta, pero apuntaremos aquí y precisamente como uno de los casos que han determinado este trabajo, el que se le ha planteado al autor en su ejercicio profesional. En un organismo oficial, en que se utilizaba este sistema que se llama inversión de banda para conseguir el secreto de la conversación telefónica, se encontró que era más ininteligible en la línea para interlocutores cuyo tono de voz era grave que para aquellos otros cuyo tono de voz era agudo, llegando a darse el caso de ser casi completamente inteligible la conversación cuando hablaba una determinada persona de voz atiplada. Analizando el sistema electrónico que producía la inversión de banda, se encontró en perfectas condiciones; esto indujo a pensar que la inteligibilidad en este sistema dependía de la misma calidad de la voz que hablaba.

Otro caso práctico encontrado en nuestro trabajo que también nos indujo a pensar que dependía el grado de secreto de las condiciones de la voz, es el siguiente: Un cierto organismo oficial disponía de banda, con frecuencia portadora de 3.000 ciclos. Se nos propuso el establecimiento de un segundo sistema de inversión de banda que no fuera intercambiable con el primero, por ejemplo, utilizando frecuencias portadoras más altas o más bajas de 3.000 ciclos.

El sorprendente resultado fue que, utilizando frecuencias portadoras distintas de 3.000 ciclos, la banda invertida de la modulación era siempre inteligible. Se examinaron y analizaron los sistemas realizados y se encontró que funcionaban físicamente con exactitud, es decir, la frecuencia resultante de una frecuencia determinada de la voz, siempre daba una frecuencia que era la diferencia entre la portadora y la frecuencia vocal emitida.

Y por fin, otro caso que se nos ha presentado en el curso de nuestro ejercicio profesional, es el de un sistema de telefonía secreta un poco más complicado que el de inversión de banda, y que consiste en dividir la banda vocal en varios intervalos, cinco o seis, y modular con cada uno de ellos distintas frecuencias portadoras, mezclando las bandas útiles resultantes entre sí. Este sistema da la posibilidad de una serie de permutaciones de las bandas, algunas de las cuales dan

como resultado una conversación con un grado de secreto mayor que el simple inversor, ya que para restituirla al lenguaje «claro» hay que conocer la permutación o la secuencia de permutaciones utilizadas en la mezcla de las bandas. No todas las permutaciones dan una conversación suficientemente secreta, pero sí algún número de ellas, que suelen ser especificadas por el fabricante.

En este sistema, de procedencia extranjera, se indicaban por su constructor aquellas combinaciones que hacían ininteligible la conversación en el idioma inglés. La experiencia de su uso con el idioma castellano nos demostró que no todas las claves quedaban ininteligibles en inglés, eran aptas para el castellano, ya que algunas de ellas no daban conversación ininteligible.

Aquí, como en los casos anteriores, se vio que influía grandemente en el grado de inteligibilidad la calidad y composición de los sonidos del idioma empleado. Esto nos ha movido a realizar el estudio del análisis y síntesis de las vocales castellanas, aquél para prever el comportamiento que podía esperarse en los mencionados sistemas y la síntesis para comprobar los resultados.

## II. SISTEMAS DE MODULACIÓN EN AMPLITUD EMPLEADOS EN TELEFONÍA

Casi todos los sistemas de telefonía secreta descritos anteriormente, así como muchos de telefonía múltiple, se basan en la comunicación con frecuencias moduladas.

El principio general que utilizan las comunicaciones múltiples consiste en modular una frecuencia portadora con la banda de frecuencias que se desea transmitir, y aprovechar una de las bandas laterales de dicha modulación, separada mediante un adecuado filtrado, para transmitirla simultáneamente con otras; de esta manera las señales de varias comunicaciones que se producen en la misma banda de frecuencias son trasladadas a regiones convenientes del espectro y transmitidas conjuntamente, de tal forma que, en el terminal de llegada, puedan separarse cada una de ellas de las demás, y, demoduladas convenientemente, reproduzcan exactamente las frecuencias en que originalmente fueron producidas.

Es bien sabido que si una corriente de frecuencia  $f_p$  se modula linealmente en amplitud con otra frecuencia  $f_m$ , se produce una corriente que es la suma de tres, de frecuencias  $f_p$ ,  $(f_p + f_m)$  y  $(f_p - f_m)$ ,

en el caso de ser  $f_p - f_m$  perfectamente sinusoidales; mediante filtros adecuados, puede conseguirse aislar una cualquiera de las dos frecuencias ( $f_p - f_m$ ) o ( $f_p + f_m$ ), que son las que, por lo general, interesa transmitir. Supongamos que sólo se transmite la frecuencia ( $f_p - f_m$ ); si en el terminal de recepción modulamos una corriente de frecuencia igual a  $f_p$ , con la frecuencia recibida ( $f_p - f_m$ ), las frecuencias en que puede descomponerse el resultado de la modulación son  $f_p$ ,  $f_p + (f_p - f_m)$  y  $f_p - (f_p - f_m) = f_m$ ; y se ve que este último término reproduce exactamente la frecuencia que sirvió en el terminal

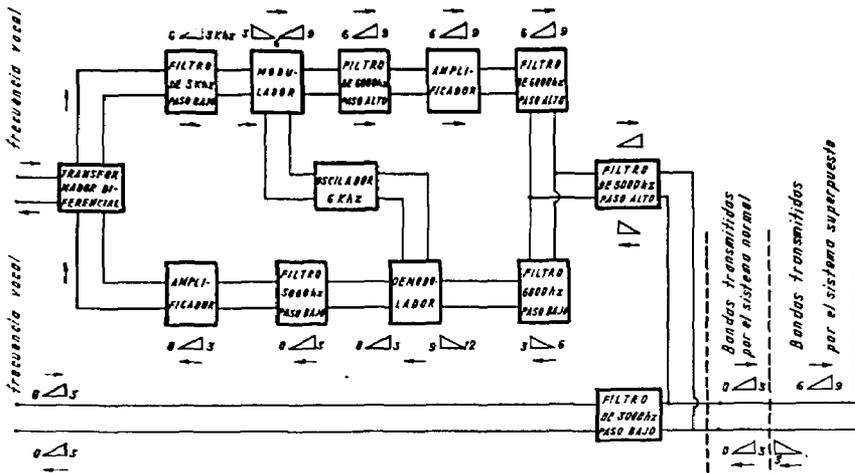


Fig 1.

de transmisión para modular la frecuencia portadora  $f_p$ . Es fácil comprender que, si varía la frecuencia o la duración de la corriente moduladora, se pueden transmitir las palabras en el primer caso, o una señal telegráfica en el segundo. La figura 1 representa, esquematizado, el terminal de transmisión de un sistema que permite superponer en un circuito telefónico explotado a la manera ordinaria, una comunicación más, con la frecuencia portadora de 6 khz, transmitiendo la banda  $f_p + f_m$  y recibiendo la banda  $f_p - f_m$ .

En la figura 2 puede verse cómo quedan situadas en el espectro de frecuencias tres bandas (del mismo margen de frecuencias, producidas por ejemplo, en sendos micrófonos)  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  y  $\omega_3$ , modulando con ellas, respectivamente, las portadoras  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  y  $\Omega_3$ ; en este ejemplo se aprovecha para la transmisión la banda superior de la modulación.

Se ve, pues, que el órgano vital de un sistema de comunicaciones de esta clase es el modulador, aunque otros elementos como los filtros requieren una precisión de cálculo, una realización técnica y una calidad de materiales muy considerables.

Dedicados a esta técnica desde hace varios años, con la misión de realizar prototipos comerciales, algunos ya conseguidos y en fabricación por empresas privadas, nos hemos visto en la necesidad de profundizar en la teoría y en la técnica de todos los elementos que los componen, y muy en particular de los moduladores con semiconductores, que son los que con exclusividad se utilizan hoy día en sustitución de los de lámparas electrónicas, con que se comenzó en los primeros tiempos de estos sistemas de comunicación.

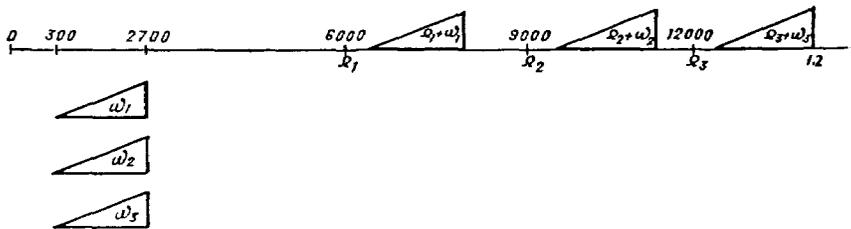


Fig. 2.

### *Formas típicas de modulación en amplitud*

En las realizaciones prácticas de la modulación con semiconductores, suelen utilizarse los dos artificios que vamos a exponer a continuación. Los productos de la modulación no son entonces una simple suma de tres sumandos, como hemos visto antes, sino que constituyen los términos de una serie; sin embargo, gracias a los filtros que se colocan a la salida de los moduladores, puede aprovecharse perfectamente la parte útil de aquellos productos, como veremos más adelante.

Existen dos formas típicas de efectuar la modulación en amplitud, y las llamaremos modulación por cortadura y modulación por inversión.

#### *Modulación por cortadura*

En principio, consiste en interrumpir, al ritmo de la corriente portadora de pulsación  $\Omega$  (alta frecuencia), el circuito recorrido por la

corriente moduladora de pulsación  $\omega$  (baja frecuencia). El esquema mecánico puede verse en la figura 3, mientras que el esquema eléctrico, realizado con rectificadores, se representa en la figura 4.

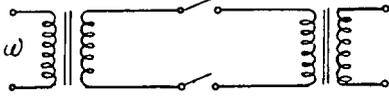


Fig. 3.

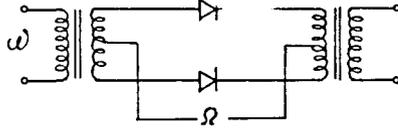


Fig. 4.

### Modulación por inversión

Consiste en invertir la fase de la corriente, en lugar de cortar ésta, en los intervalos en que era suprimida en la modulación anterior. El esquema mecánico más sencillo es intercambiar los hilos, con ayuda de un conmutador dispuesto en el circuito de la baja frecuencia,  $\omega$ , al ritmo de la frecuencia de la corriente portadora de pulsación  $\Omega$ .

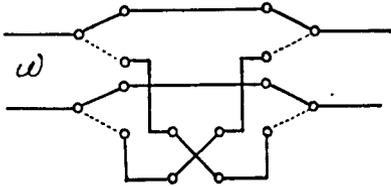


Fig. 5.

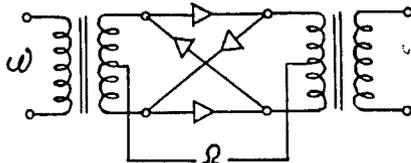


Fig. 6.

Puede verse este esquema en la figura 5, mientras que una traducción eléctrica con semiconductores se muestra en la figura 6. Este último modulador es el llamado en anillo, o doblemente equilibrado, y es el que más se usa y sobre el que más hemos trabajado experimentalmente.

Las tres curvas de la figura 7 representan: A, una corriente moduladora de pulsación  $\omega$ ; B, la corriente portadora de pulsación  $\Omega$  modula por cortadura por la corriente anterior, y C, las mismas corrientes portadora y moduladora, en la modulación por inversión.

En las figuras 8 y 9 se desarrolla el proceso de la modulación y desmodulación por inversión en sus distintas etapas. La gráfica A de la primera representa la corriente moduladora  $\omega$ ; la B, la portadora  $\Omega$  modulada por inversión; la C, es la imagen de la corriente

resultado de la modulación, una vez suprimida la portadora, esto es, el batido de las dos bandas laterales de modulación, y, por último. la D, representa la banda lateral inferior  $\Omega - \omega$ , separada de la anterior mediante el conveniente filtrado.

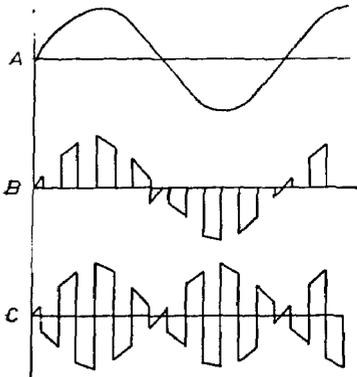


Fig. 7.

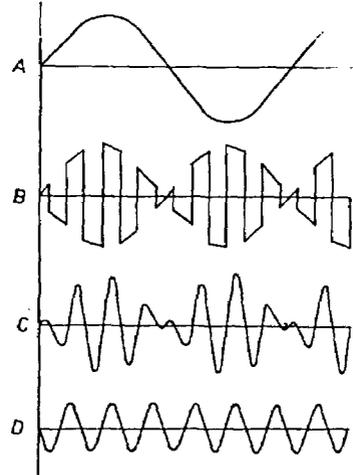


Fig. 8.

Análogamente, en la figura 9 se representa el proceso de la demodulación de la banda lateral obtenida anteriormente. A es dicha banda ; B representa las inversiones que experimenta la portadora ; C, la gráfica de la corriente de salida del modulador, aún sin filtrar, y, por

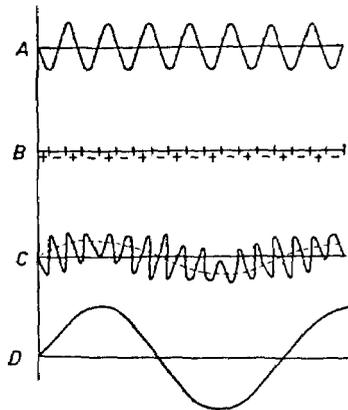


Fig. 9.

último, la gráfica D representa la primitiva corriente moduladora, separada, mediante un filtro, de los productos completos de la demodulación.

### *Modulación con elementos ideales*

Componentes y rendimiento de la modulación por cortadura.

En la modulación por cortadura, la expresión de la corriente que recorre un receptor de impedancia  $Z$ , cuando la entrada está alimentada por un generador de fuerza electromotriz  $E$ , pulsación  $\Omega$  e impedancia también  $Z$ , se obtiene fácilmente, representando por  $f(t)$  la función de  $t$ , que es igual a

$$\begin{aligned} &+ 1, \text{ cuando } \cos \Omega t \text{ es positivo, y} \\ &0, \text{ cuando } \cos \Omega t \text{ es negativo.} \end{aligned}$$

El desarrollo en serie de Fourier de esta función es, como se sabe,

$$f(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left( \cos \Omega t - \frac{1}{3} \cos 3 \Omega t + \frac{1}{5} \cos 5 \Omega t \dots \right),$$

y si es  $\omega$ , la pulsación de la corriente moduladora, puede representarse la corriente modulada por la expresión

$$i = \frac{E}{2Z} \cos \omega t \times f(t).$$

Los productos de la modulación tienen, pues, en este caso, las frecuencias y amplitudes que se indican en el cuadro I, si nos limitamos a los primeros términos del desarrollo, ya que la amplitud de los mismos decrece rápidamente.

El rendimiento o eficacia de la modulación, en cuanto a volumen, se expresa como una ganancia o una pérdida; y como toda variación de corriente puede representarse en forma exponencial, la medida natural de este rendimiento es el exponente al cual hay que elevar la base de los logaritmos neperianos para obtener aquella relación. Si, en vez de intensidades, se toman potencias, el exponente debe venir dividido por 2. De aquí que, si el generador de la pulsación  $\omega$  tiene la fuerza electromotriz  $E$  y la impedancia  $Z_1$ , y llamamos  $I$  a la inten-

sidad de la corriente modulada de pulsación  $\Omega + \omega$  u  $\Omega - \omega$  que atraviesa el receptor de impedancia  $Z_2$ , el rendimiento de la banda

C U A D R O I

Pulsación	$\frac{2Z}{E} \times \text{Amplitud}$
$\omega$	$\frac{1}{2}$
$\Omega$	0
$\Omega + \omega$	$\frac{1}{\pi}$
$\Omega - \omega$	$\frac{1}{\pi}$
$3\Omega + \omega$	$\frac{1}{3\pi}$
$3\Omega - \omega$	$\frac{1}{3\pi}$

útil, esto es, la pérdida que se experimenta en la modulación, pueda representarse, en unidades naturales o nepers, por la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\frac{E^2}{4Z_1}}{Z_2 I^2} \right|$$

En el caso particular de un modulador por cortadura ideal (resistencia directa nula e inversa infinita), con impedancia  $Z_1 = Z_2 = Z$ , la fórmula se convierte en

$$\rho_0 = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\frac{E^2}{4Z}}{Z \frac{E^2}{4Z^2} \left(\frac{1}{\pi}\right)^2} \right| = \ln \frac{1}{\pi} = 1,15 \text{ nepers.}$$

*Componentes y rendimiento de la modulación por inversión*

La función  $f(t)$  del caso anterior toma ahora, alternativamente, los valores  $+1$  y  $-1$ . Llamándola  $\varphi(t)$ , su desarrollo es:

$$\varphi(t) = \frac{4}{\pi} \left( \text{sen } \Omega t + \frac{1}{3} \text{sen } 3 \Omega t + \frac{1}{5} \text{sen } 5 \Omega t + \dots \right)$$

La corriente en el receptor será, pues,

$$i = \frac{E}{2Z} \cos \omega t \times \varphi(t).$$

Y se ve que los productos de la modulación, limitándonos, como en el caso anterior, a los primeros términos de la serie, son los que se expresan en el cuadro II.

C U A D R O I I

Pulsación	$\frac{2Z}{E} \times \text{Amplitud}$
$\omega$	0
$\Omega$	0
$\Omega + \omega$	$\frac{2}{\pi}$
$\Omega - \omega$	$\frac{2}{\pi}$
$3\Omega + \omega$	$\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{\pi}$
$3\Omega - \omega$	$\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{\pi}$

En cuanto al rendimiento, haciendo uso de la misma expresión anterior, resulta

$$\rho_0 = \ln \frac{2}{\pi} = -0,45 \text{ nepers.}$$

de suerte que, en un modulador por inversión ideal, se pierde un nivel de  $0,45 \text{ neper} = 3,85 \text{ dB}$ .

En los cuadros I y II se observa que los productos indeseados de la modulación quedan fuera de la banda utilizable, bien sea la

CUADRO III

Tensiones de entrada			d B m	Decibelios por debajo de la banda útil					
Portadora 6 khz	Audio 1 khz		Bandas útiles 5 y 7 khz	Resto audio	Resto portadora	Productos no deseados de más alto nivel			
	m V	d B m				9 khz	11 khz	12 khz	13 khz
250	100	-18	-24	32,5	30	46	33	41	33
500	200	-12	-17,5	38	41	39	31	58	38
750	300	-8,5	-14	31,5	35,5	20,5	29,5	51,5	29,5
1.000	400	-5,5	-12	33	45	12	31	53	31
1.250	500	-4	-11	34	47	13	32	56	32
1.500	600	-2	-10	34,5	50,5	15,5	31,5	50,5	31,5

CUADRO IV

Tensiones de entrada			d B m	Decibelios por debajo de la banda útil					
Portadora 6 khz	Audio 1 khz		Bandas útiles 5 y 7 khz	Resto audio	Resto portadora	Productos no deseados de más alto nivel			
	m V	d B m				9 khz	11 khz	12 khz	13 khz
500	25	-30	-35,5	30	16	50	31	18	31
500	50	-24	-30	30,5	21,5	50	30,5	23,5	30,5
500	75	-20,25	-25,25	31,5	26	50	31	29	31
500	100	-18	-23,5	29,5	28	47	31	34	31
500	200	-12	-17,5	38	44	39	31	58	38
500	300	-8,5	-14	34,5	46	15	33	58	33
500	400	-5,5	-12,5	33	51	12	31	50	31
500	500	-4	-14	31	50	10	30	50	30

banda directa o bien la banda invertida, lo cual nos indica que estos productos indeseados de la modulación no intervendrán en la inteligibilidad o ininteligibilidad de la conversación. Es decir, estamos seguros que en un sistema de telefonía secreta que emplee este sistema de modulación, esto no afecta para nada el grado de secreto conseguido.

En los cuadros III y IV, que resumen las medidas obtenidas experimentalmente, se observa que eligiendo convenientemente los niveles (línea del cuadro IV, recuadrada) los productos indeseados de la modulación quedan efectivamente a un nivel tal que con los 60 dB, aproximadamente, que aún los ha de atenuar el filtro, son despreciables frente al nivel de la banda útil.

### III. SISTEMAS DE TELEFONÍA RESERVADA

#### 1. *General*

En multitud de circunstancias de la vida de relación, es conveniente que quede reservado a los dos interlocutores el contenido de una conversación telefónica entre ellos.

Llamamos en general telefonía reservada al conjunto de todos los sistemas destinados a este fin.

En ocasiones bastará librarse de las indiscreciones eventuales de escuchas fortuitos, o que oyen en razón de su misión en el trabajo, como son: telefonistas, centralistas, etc., que tienen que manejar las interconexiones de las distintas líneas.

Otras veces habrá que cuidar de reservar la conversación contra escuchas no eventuales, sino intencionados, cuyo fin es precisamente enterarse de la conversación, para lo cual disponen de ciertos medios técnicos.

Y por fin, en alguna ocasión será necesario utilizar un sistema tal, que sea teóricamente imposible enterarse de la conversación, para un escucha intercalado en la línea, sean cualesquiera los medios de que disponga o que puedan ser utilizados.

Estos distintos grados de necesidad de reserva que se dan en la vida práctica nos van a servir también para clasificar en tres grandes grupos los sistemas de telefonía reservada.

## 2. Clasificación

Según lo dicho anteriormente, podemos distinguir en la telefonía reservada tres grandes grupos de sistemas, como lo muestra el cuadro siguiente:

Telefonía reservada	{	Telefonía discreta
		Telefonía confidencial
		Telefonía secreta o criptofonía

Describimos a continuación las principales características de cada uno de estos grupos.

### a) *Telefonía discreta.*

Se caracterizan estos sistemas por proporcionar un «enmascaramiento» de la conversación que la hace completamente ininteligible para un escucha colgado con un teléfono en la línea, pero que puede ser entendida, simultáneamente, en el momento en que se está celebrando, si el escucha dispone de otro sistema análogo al empleado por los interlocutores; no hay posibilidad además de que éstos puedan hacer nada por impedirlo, como pudiera ser el cambio de «clave interna», que estos sistemas no poseen.

Su principio técnico suele ser el de inversión o mezcla estática de bandas.

Protegen contra escuchas que no dispongan de medios técnicos, es decir, solamente contra indiscreciones.

Sus características son las de sencillez, baratura, tamaño y peso reducidos y banda de transmisión estrecha, la misma que la de un teléfono ordinario.

### b) *Telefonía confidencial.*

Estos sistemas, aunque no son absolutamente secretos en sentido estricto, sí lo son en cuanto que permiten asegurar el secreto de una conversación durante un cierto tiempo, cuya duración depende de varias circunstancias.

Estos sistemas disponen ya de «clave interna», es decir, existe un dispositivo donde pueden fijarse un cierto número de combinaciones de fichas, teclas o botones, de tal manera que la conversación no será inteligible sino en el caso de que dos interlocutores tengan fijada en sus respectivos aparatos la misma clave. Lo mismo ocurre para el eventual escucha colgado de la línea, el cual si no dispone de la clave utilizada, no puede entender la conversación, teniéndose que limitar a registrarla para un posterior análisis. El tiempo de secreto que asegura el sistema, es precisamente el que media entre el registro y el descifrado en el gabinete técnico, y depende, como es fácil de comprender, de la complejidad de las claves del sistema.

En realidad, lo que suele ocurrir al fijar la clave sobre el aparato, es que lo que se determina no es una operación estática, sino una secuencia de operaciones de secreto que se reproducen a intervalos determinados. Un ejemplo aclarará la cuestión.

Supongamos que se divide la banda de audio en cinco secciones; su sistema de cifrado puede consistir en trasponer estas cinco secciones de alguna manera. Si esta trasposición fuera fija, es decir, que no cambiara secuencialmente, estaríamos en el caso a) de telefonía discreta, porque un escucha intercalado podría descifrar la conversación sin más que disponer de un aparato semejante aunque no dispusiera de la clave, pues hay que tener en cuenta que en este caso concreto de división de la banda en sólo cinco partes, el número de claves eficaces para el secreto es muy reducido. Pero si el sistema es tal que la clave lo que fija no es la trasposición inicial solamente, sino que determina una secuencia de transposiciones eficaces para el secreto, del orden de mil o dos mil, cuyo período de duración sea por ejemplo, de un segundo para cada una, es evidente que no se puede descifrar la conversación en el acto de producirse y que el descifrado ha de realizarse en el laboratorio sobre la conversión registrada. Es también evidente que el tiempo necesario para volverla a su estado inicial, depende de la partición de la banda y de la duración secuencial de las permutaciones, y es este el tiempo en que está asegurado el secreto.

Estos sistemas de telefonía confidencial protegen, pues, contra todo escucha que no disponga de una cantidad relativamente importante de medios técnicos y, en todo caso, hay un cierto tiempo de seguridad que depende de la complejidad del sistema.

Sus características principales son: relativa sencillez técnica, coste

medio, banda de transmisión estrecha (igual que la de un teléfono normal), poca atención de conservación, peso y volumen reducidos.

c) *Telefonía secreta o criptofonía.*

Estos sistemas son estadísticamente indescifrables por la complejidad de la clave y por la indiscriminación en la línea de la situación de reposo o trabajo.

Se suelen basar en la modulación por impulsos, del orden de 50.000 ó 60.000 por segundo, lo que da un número de permutaciones del orden de  $10^{27}$  y una posibilidad de claves decuenciales muy elevada.

Protegen con seguridad teórica la conversación aún contra escuchas dotados de todos los medios técnicos necesarios, es decir, que son estadísticamente secretos.

Sus características principales son: Gran complejidad técnica, coste elevado, transmisión que *necesariamente* requiere una banda ancha (cinco o más canales de radio), cuidadosa conservación y tamaño y peso relativamente grandes (dos o tres racks del estándar internacional).

Este estudio está destinado principalmente a encontrar las bases para obtener el máximo rendimiento de los dos primeros sistemas que son los más sencillos, los más baratos, y los que por utilizar el mismo canal de transmisión que las comunicaciones ordinarias pueden tener—y de hecho la tienen—una mayor utilidad práctica por poder ser empleados en un momento determinado en una línea ya existente sin más que colocar en sus extremos, con suma sencillez, los correspondientes aparatos.

Con relación al inversor de banda, trataremos de determinar qué resultados pueden esperarse en relación con la composición de las vocales castellanas, ya que el sistema no es susceptible de modificación.

En cambio con respecto al sistema más complejo de telefonía confidencial, que consiste en dividir la banda en varios intervalos, modulando cada uno de ellos con portadoras distintas, habrá que tratar de determinar el mejor modo de partición y el más adecuado sistema de modulación y transposición, así como las distintas secuencias de las mismas para el caso que sea de transposición secuencial.

Es de advertir que estando limitado el número de partición de

intervalos de la banda vocal a cinco o seis por la dificultad técnica de la respuesta real de los filtros, ya que siempre tiene que quedar entre dos de ellos un espacio muerto no aprovechado, es muy importante determinar cuáles han de ser estos intervalos en anchura y posición relativa de la banda, conjugando esta partición con los inevitables espacios muertos que resulten, con el fin de obtener el máximo enmascaramiento y la mínima pérdida de la información transmitida.

#### IV. TEORÍA DE LOS SONIDOS VOCALES

Del análisis experimental de los sonidos vocales se deduce que son vibraciones periódicas cuyas características dependen de la vocal emitida y de la persona que la emite. Las figuras 14 muestran los oscilogramas de las vocales castellanas pronunciadas por una cierta persona determinada.

Realizando el análisis armónico por desarrollo en serie de Fourier, bien sea por el método matemático de C. Runge, o bien con un analizador de ondas, método que puede realizarse con algún cuidado grabando en un dispositivo continuo, cerrado sobre sí mismo, el sonido objeto de análisis, se puede encontrar el tono fundamental y la intensidad relativa de éste y de todos los armónicos presentes.

Helmholtz estudió qué es lo que caracteriza un sonido vocal para que éste conserve sus cualidades de identificación cualquiera que sea el tono en que se emita o el sujeto que lo pronuncie.

Como resultado de sus investigaciones llegó a la conclusión de que observando los distintos términos de la serie o «formantes», hay algunos que para cada vocal determinada permanecen invariables y otros que varían según el sujeto que los emita y que dan al sonido su carácter individual. A los primeros puede llamárseles formantes principales y a los últimos formantes secundarios.

El profesor alemán K. W. Wagner, a quien puede considerarse como el descubridor de los filtros eléctricos, fue el primero que abordó el estudio de los sonidos vocales alemanes por este procedimiento (Bibl., núm. 30), y, según este autor, las formantes principales de los sonidos vocales alemanes son los que se muestran en la tabla I:

u	o	a	e	i
350	450	700	450	300
		1.100		
2.500	2.800	1.400	2.600	2.200
		1.800	3.000	3.300

Del examen de este cuadro pueden deducirse consecuencias importantes para el objeto de este estudio ; por ejemplo, se ve que la *e* se convierte en *o* si se le suprimen los formantes superiores.

Las frecuencias formantes están expresadas en ciclos por segundo, y las que aparecen en cursiva son las que Wagner considera como principales ; las otras son las secundarias.

Este mismo autor estudió muy detalladamente la síntesis de los sonidos vocales, y no sólo de los que pudiéramos llamar genéricos, sino que vio la manera de reproducir un sonido vocal característico de un determinado sujeto.

Para abordar este estudio y determinar qué es lo que nos interesa a nosotros en relación con la telefonía secreta, es preciso analizar el mecanismo de producción de los sonidos vocales en el órgano humano de la palabra.

El órgano humano generador de la palabra está constituido por la laringe, en la cual el aire que sale de los pulmones produce oscilaciones y, en segundo lugar, por las cavidades que recorre, tubo respiratorio, garganta, boca y nariz, de los cuales la boca es la más importante por la facilidad con que puede modificar su configuración y, por lo tanto, su frecuencia propia de resonancia.

El mecanismo de producción de las oscilaciones del aire es el siguiente : la laringe se encuentra cerrada por la tensión de las cuerdas vocales y sobre ella actúa el aire a presión existente en los pulmones, que cuando prepondera sobre la tensión de las cuerdas abre la laringe y sale. Al disminuir la presión, vuelve a cerrarse la laringe y se repite el proceso, produciéndose una sucesión de impulsos cuya frecuencia es el tono fundamental.

Claramente se ve que lo que determina este tono es la tensión de las cuerdas vocales, y esta tensión es la que regula automática e instintivamente la persona que habla cuando quiere emitir un tono determinado.

El modelo mecánico que puede representar este mecanismo es el que se indica en la figura 10, ideado por Ewald. La presión del aire separa las almohadillas C, las cuales dejan escapar cortos impulsos de aire según el mecanismo descrito, produciendo un ronquido semejante al de la laringe humana.

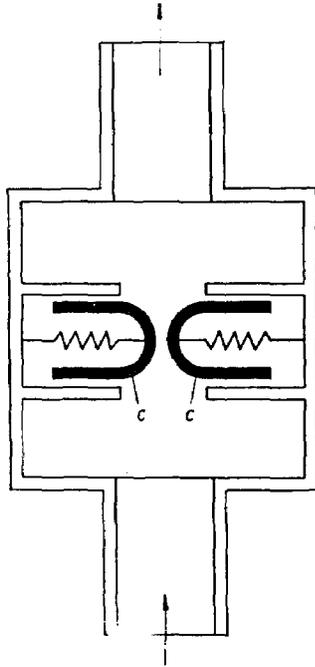


Fig. 10.

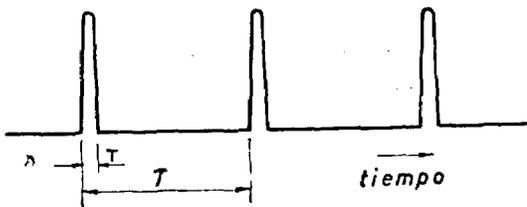


Fig. 11.

La figura 11 representa la forma de los impulsos salidos de la laringe (según Wagner). Estos impulsos que están compuestos por una serie de ondas sinusoidales, atraviesan las distintas cavidades del aparato humano productor de sonidos, y son amplificados aquellos

armónicos cuya frecuencia coincide con la frecuencia propia de las distintas cavidades que atraviesan y atenuados los restantes. Es por lo tanto útil estudiar el espectro de las frecuencias que componen los impulsos de la figura 11. El mismo autor, Wagner, ha hecho el

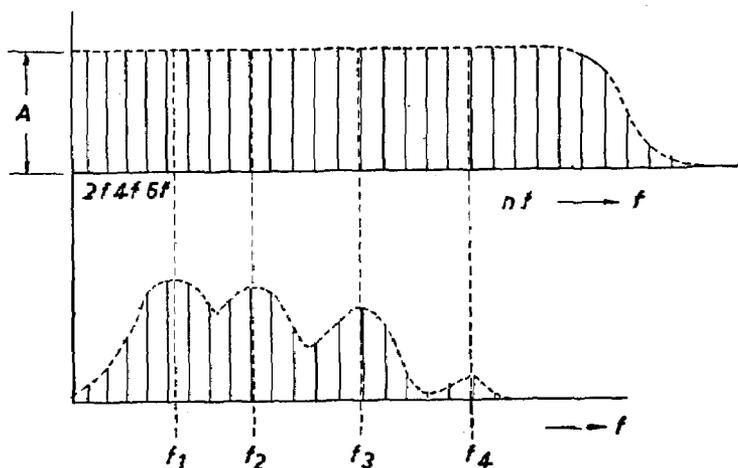


Fig. 12.

estudio de estos impulsos, que es el que se reproduce en la parte superior de la figura 12, y que en síntesis, es como sigue:

La frecuencia fundamental es

$$f = \frac{1}{T}$$

si llamamos T al intervalo entre dos impulsos.

El desarrollo en serie de Fourier de esta función periódica demuestra que la intensidad de todos los términos de orden inferior a  $n$  es prácticamente constante, viniendo  $n$  determinado por la relación

$$nf = \frac{1}{T}$$

Por el contrario, la amplitud de los armónicos de frecuencia superior a  $nf$  decrece muy rápidamente, como puede verse por el razonamiento siguiente.

El desarrollo en serie de Fourier tiene por expresión

$$\Phi(t) = \sum_n \left[ A_n \cos 2\pi n \frac{t}{T} + B_n \operatorname{sen} 2\pi n \frac{t}{T} \right]$$

Como es sabido, los coeficientes vienen dados por las fórmulas:

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T \Phi(X) \cos 2\pi n \frac{X}{T} dX$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T \Phi(X) \operatorname{sen} 2\pi n \frac{X}{T} dX$$

siendo X la variable.

La amplitud y la fase del armónico de orden  $n$  vienen dadas, respectivamente por

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}, \quad y$$

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{A_n}{B_n}$$

Utilizando estas dos expresiones, puede escribirse el armónico de orden  $n$ , de la siguiente forma

$$C_n \operatorname{sen} \left( 2\pi n \frac{t}{T} + \varphi_n \right)$$

Si ponemos esta expresión en forma compleja

$$C_n e^{i\varphi_n} = A_n + i B_n = \frac{2}{T} \int_0^T \Phi(Z) e^{2\pi i n \frac{t}{T}} dz$$

se ve que para valores bajos de  $n$ , en los que  $n \frac{T}{t}$  la función exponencial bajo el signo integral se puede sustituir por la unidad y queda la expresión aproximada

$$C_n \approx \frac{2}{T} \int_0^T \Phi(Z) dZ = \frac{2F}{T}$$

en la que  $F = \int_0^T \Phi(Z) dZ$  es la intensidad del impulso.

Se observa en la expresión anterior que la intensidad de los armónicos inferiores es proporcional a la intensidad del impulso, siendo independiente del número de orden del armónico y de la forma del impulso.

Cuando esta sucesión de impulsos actúa sobre una serie de resonadores acoplados, su amplitud se modifica, según se ve en la parte inferior de la figura 12. Los armónicos de la sucesión de impulsos cuyas frecuencias están en las proximidades de las frecuencias de resonancia  $f_1, f_2, f_3 \dots$  son amplificados, mientras que los restantes se atenúan, de suerte que  $f_1, f_2, f_3 \dots$  no son otra cosa que las frecuencias de resonancia de las cavidades del órgano de la palabra, adoptadas para una vocal determinada.

Desde 1779 (Kratzenstein, profesor ruso) se ha intentado la construcción de dispositivos que reprodujesen los sonidos vocales de un sujeto determinado. Con los medios que suministra la electrónica se han realizado dispositivos más perfectos y sobre más cómodos que los primeros ideados, los cuales eran de índole acústica. El construido por el profesor Wagner es como sigue.

En la figura 13 aparece el esquema del mencionado aparato, que está compuesto por los siguientes elementos: Un oscilador  $O$ , produce una sucesión de impulsos semejantes a los representados en la figura 11, y que son la analogía eléctrica de los producidos mecánicamente sobre el aire en la laringe humana. La salida de este oscilador es llevada a cinco canales, cuyas entradas son las rejillas de sendos tubos amplificadores que tienen por objeto que la mezcla final que se realice a la salida de los canales, no influya sobre el generador de los impulsos, ya que de esta manera la influencia que pueda existir de uno sobre otro en sentido inverso al deseado no tiene acceso al generador, muriendo la energía en la placa de los referidos tubos. El impulso amplificador por cada uno de los tubos mencionados se lleva a los circuitos  $T_1 S_1, \dots S_4$ , los cuales están sintonizados a la frecuencia fundamental y a las frecuencias de las distintas formantes.

La salida de los circuitos resonantes se conecta a los filtros  $G_1 F_2 \dots F_4$ . Estos filtros tienen por misión no dejar pasar más que los armónicos deseados.  $G$  es un filtro de paso bajo, que no deja pasar oscilaciones de mayor frecuencia que la fundamental.  $F_1 \dots F_4$  son filtros de banda que eliminan la frecuencia fundamental y las frecuencias de las otras formantes, no dejando pasar más que la frecuencia deseada. Por último, en cada canal existen los divisores de

tensión  $A_0, A_1, \dots, A_4$  que sirven para ajustar adecuadamente la intensidad de la frecuencia fundamental y de cada una de las formantes.

Finalmente, la salida en paralelo de todos los canales se lleva a un amplificador de dos pasos, 134 y 604, siendo este último de poten-

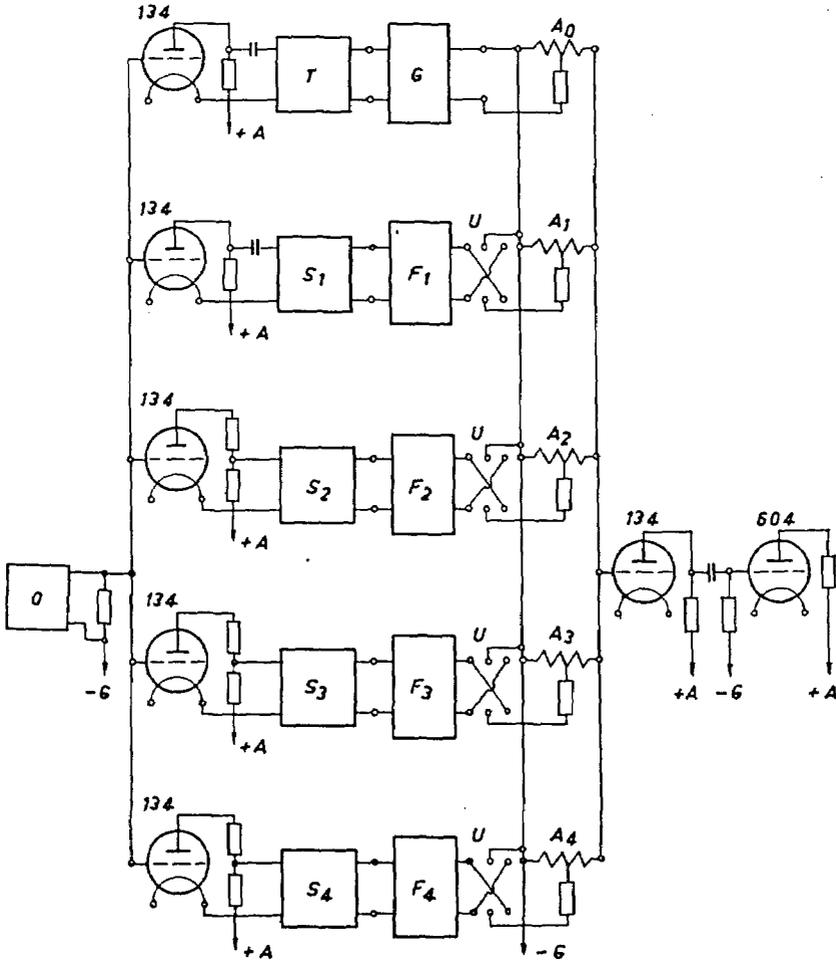


Fig. 13.

cia, para excitar con el suficiente volumen un altavoz que reproducirá la vocal deseada.

Es de advertir que este altavoz, así como el amplificador final, deben ser de respuesta plana en los límites convenientes y no introducir en su banda de paso distorsión alguna en cuantía que pueda en-

mascarar o modificar la amplitud que se les ha dado a las restantes formantes, o bien introducir alguna frecuencia indeseada.

Este aparato está destinado principalmente a reproducir las vocales características de un determinado sujeto. En nuestro caso y según hemos explicado anteriormente, no nos interesaba esta aplicación, que limitaría el empleo del aparato de telefonía secreta construido sobre esta base, al uso de la persona determinada, de la cual fueran los espectros de las vocales reproducidas. Por el contrario, nos interesaba analizar el uso del aparato correspondiente en el máximo de casos posible, es decir, con lo que pudiéramos llamar las vocales típicas castellanas en sus formas medias y extremas.

De las experiencias realizadas, como se verá en los capítulos siguientes, se deduce que las formantes principales de cada vocal son dos, que varían entre límites determinados y precisos, y para poder experimentar con ellas de una manera sencilla y rápida hemos realizado un dispositivo con dos osciladores, que describimos también más adelante y que con gran facilidad nos ha permitido obtener las que pudiéramos llamar vocales genéricas, para introducirlas en los aparatos objeto de ensayo y analizar los resultados.

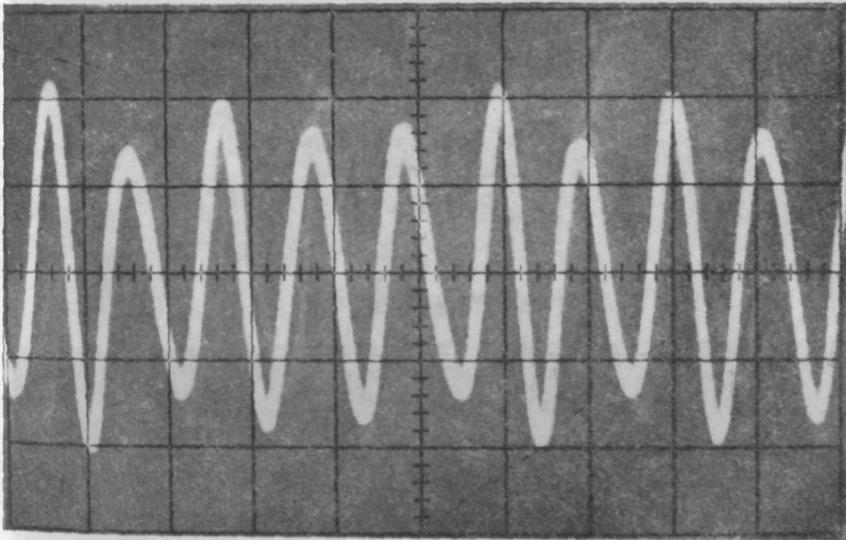
## V. LAS VOCALES CASTELLANAS

De todo lo visto anteriormente se deduce que, si se piensa en la realización de un sistema de telefonía secreta sobre bases que permitan prever cierta eficacia, habrá que analizar el lenguaje que vaya a cifrarse para asegurarse que las operaciones de cifra lo van a convertir realmente en ininteligible. Un estudio profundo llevaría a realizar no sólo el estudio de los sonidos vocales, sino también de los sonidos consonantes. Sin embargo, la experiencia de trabajo nos ha enseñado que para el castellano, un sistema que enmascare los sonidos vocales, enmascara en la misma proporción el lenguaje completo, dando un grado de secreto prácticamente proporcional al enmascaramiento de los sonidos vocales.

Aún queda la consideración de que un sistema de telefonía secreta que fuera apto para su uso en varios idiomas, exigiría el estudio comparativo de los sonidos en todos los idiomas en que fuera a emplearse. Nosotros nos limitamos al estudio en el castellano porque es para este idioma para el que realizamos los sistemas de telefonía secreta.

Ya hemos indicado anteriormente que el análisis de los sonidos vocales puede hacerse de dos maneras: haciendo la descomposición en serie de Fourier, sobre las funciones periódicas registradas por el método osciloscópico, tales como las que se muestran en las figuras 14, obtenidas en nuestro laboratorio, método que resulta laborioso y lento, sobre todo cuando no se trata simplemente de obtener los sonidos de un determinado sujeto, sino que lo que se precisa es un

Vocal *a*  
Pronunciada por J. G. A.

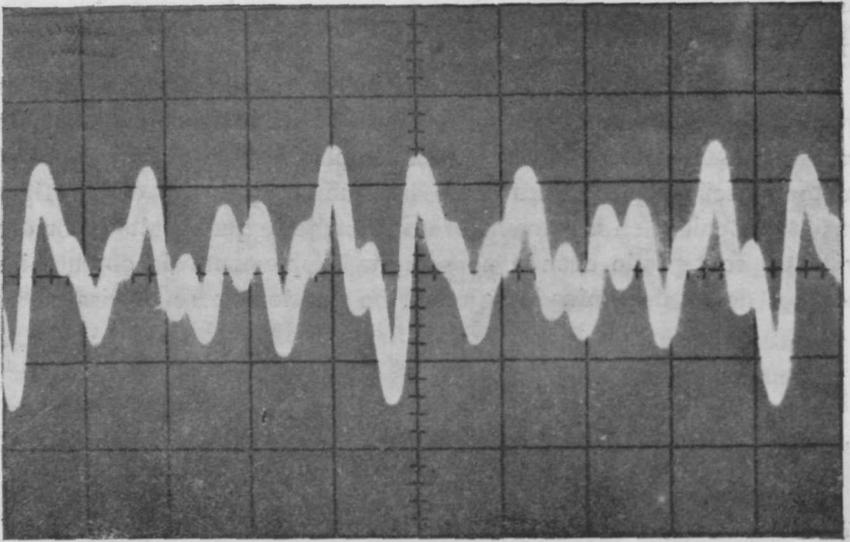


abscisas: 10 ms/unidad  
Ordenadas: 0.2 V/unidad  
Fig. 14 a

gran número de datos, como ocurre en nuestro caso, ya que se desea que los sistemas construidos sirvan prácticamente para todos los individuos que hablen el mismo idioma para el cual especialmente están realizados.

Otro método también ensayado por nosotros, consiste en la grabación del sonido en un sistema cerrado, por ejemplo, un trozo de cinta magnética cerrado sobre sí mismo que luego permite la reproducción durante el tiempo que se precise, con lo que se dispone del sonido real o de su analogía eléctrica en forma de tensión para un análisis.

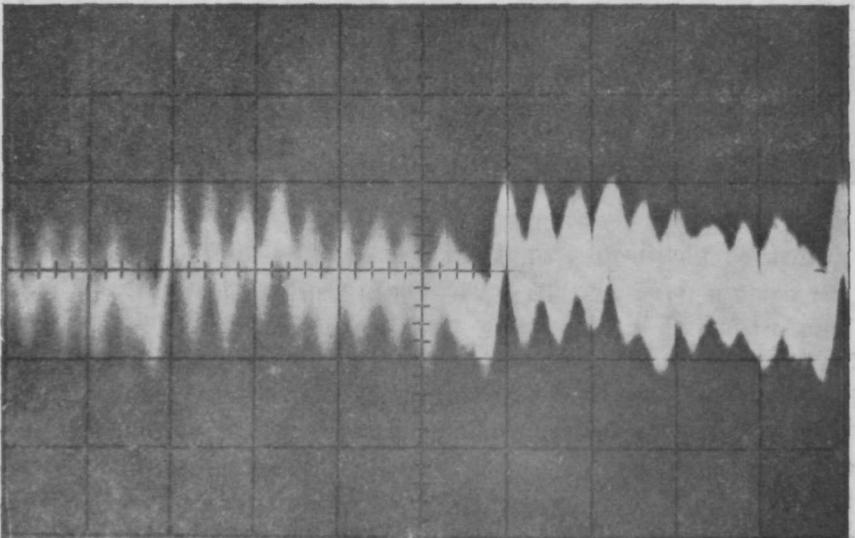
Vocal *e*  
Pronunciada por J. G. A.



Ordenadas: 0.1 V/unidad  
abscisas: 10 ms/unidad

Fig. 14 e

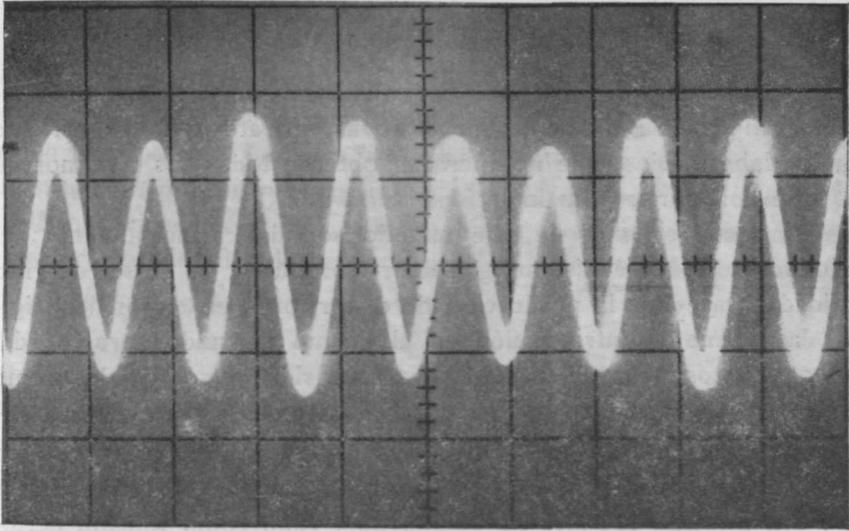
Vocal *i*  
Pronunciada por J. G. A.



Ordenadas: 0.05 V/unidad  
abscisas: 10 ms/unidad

Fig. 14 i

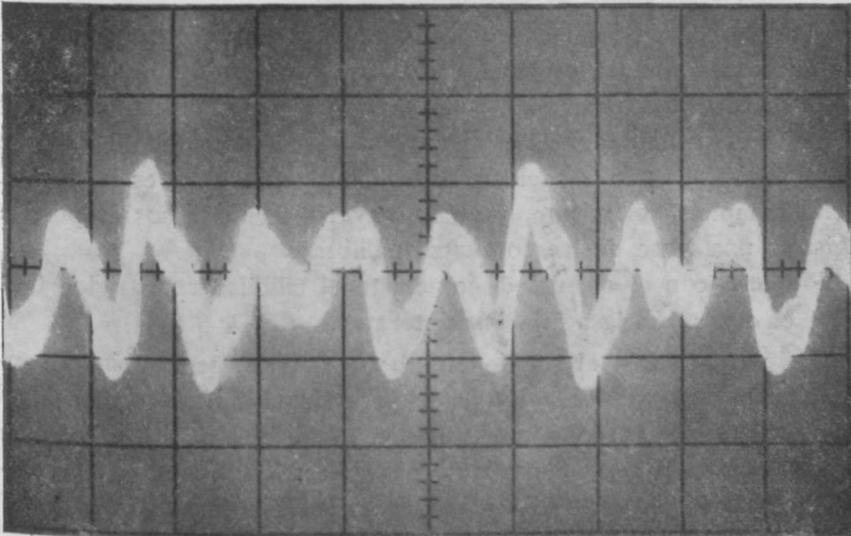
Vocal o  
Pronunciada por J. G. A.



Ordenadas: 0.2 V/unidad  
abscisas: 10 ms/unidad

Fig. 14 o

Vocal u  
Pronunciada por J. G. A.



Ordenadas: 0.1 V/unidad  
abscisas: 10 ns/unidad

Fig. 14 u

La manera mejor de realizar este análisis es llevar la tensión equivalente al sonido a un analizador de ondas, aparato bastante corriente en los laboratorios, que nos permite obtener todos los términos de la serie de Fourier y su intensidad relativa.

Los inconvenientes de este método son dos principalmente; el primero, que todo el sistema grabador-reproductor ha de ser de gran calidad para evitar la producción de distorsiones en el sonido original, así como la introducción en el mismo de ruidos propios del aparato; estos inconvenientes objetivos son siempre soslayables, como es lógico, utilizando aparatos de la calidad precisa.

Sin embargo, el segundo inconveniente resulta del propio sujeto de quien se analiza la voz, el cual si no está muy entrenado y posee una voz musical, produce un sonido que, visto como función periódica, da como resultado que los ciclos de esta función no son completamente iguales, con diferencias que pueden ser tan grandes que imposibiliten la descomposición con el analizador de ondas.

Un método derivado del anterior es el espectrográfico, que consiste en grabar un trozo de lenguaje corriente del sujeto emisor sin obligarlo a sostener un sonido, analizando después, sucesiva y reiteradamente, cada punto de la frase grabada.

Este método de análisis se consigue con el espectrógrafo de sonidos que está expuesto esquemáticamente en la figura 15.

El sonido objeto de análisis es recogido por el micrófono M y mediante el conmutador C es llevado al disco magnético D, donde queda registrado; la capacidad de registro o memoria es la de una vuelta completa del mismo, y en la mayoría de los casos es posible registrar una frase de tres o cuatro palabras.

Solidario con el eje del disco, existe el cilindro registrador CR sobre el que actúa la aguja inscriptora A.

Una vez grabado el sonido objeto de análisis, se cambia el conmutador C de la posición *b* a la *c*, pasando también el sistema del disco magnético D de la posición de «grabado» a la posición de «reproducción» y enviándose la tensión eléctrica reproducida analógica del sonido al filtro eléctrico F de frecuencia variable.

El filtro F es de paso de banda y no es de frecuencia fija sino variable, y su dispositivo de variación está ligado mecánicamente al eje común del disco magnético D y del cilindro CR de tal forma que, sincrónicamente con el movimiento del cilindro CR varía la frecuencia seleccionada en el filtro, con lo que se consigue una explo-

ración de cada una de las frecuencias seleccionadas en todos los puntos de la banda sonora grabada y en cada una de las vueltas. La aguja inscriptora A también está ligada al mecanismo del aparato, de tal suerte que, al mismo tiempo que varí la frecuencia seleccionada en el filtro, asciende la aguja a lo largo de la generatriz del cilindro C R ; es decir, que después de hecho el análisis completo, si desarrollamos

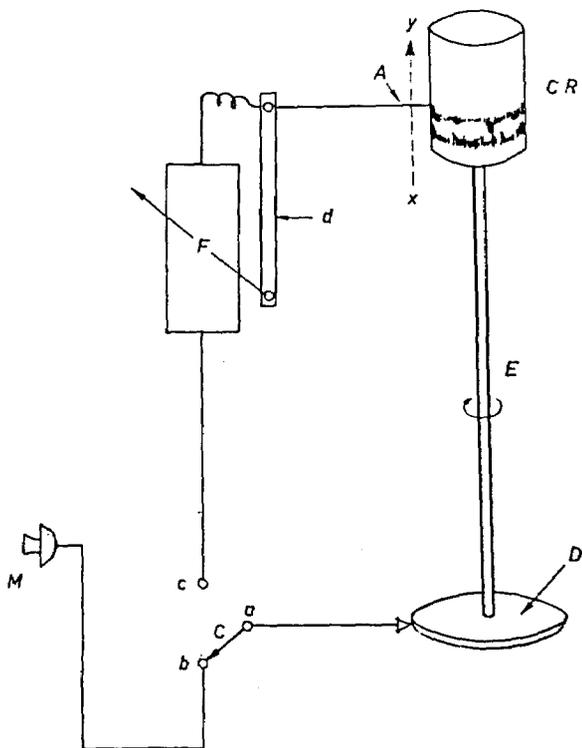


Fig. 15.

la superficie del cilindro, quedan dispuestas a lo largo del eje de abscisas (igual al desarrollo de la circunferencia de la base) las distintas letras de la frase grabada y a lo largo del eje de ordenadas, que es la generatriz del cilindro, las distintas frecuencias seleccionadas por el filtro F, con lo que podemos observar las frecuencias presentes en cada letra.

El sistema de inscripción puede ser de tal forma que la mancha formada por la aguja sobre el papel sea proporcional a la tensión que actúa en cada momento, con lo que el ennegrecimiento nos indica

relativamente la intensidad presente en cada una de las frecuencias de cada letra.

Un espectrógrafo de este tipo existe en el Laboratorio de Fonética del Instituto «Miguel de Cervantes», del C. S. I. C., a la amabilidad de cuyo Director y del Jefe del Laboratorio debemos los datos que citamos en el presente capítulo.

El aparato mencionado es un espectrógrafo de sonido de la casa Kay Electric Company, que tiene las particularidades siguientes:

La capacidad de registro del disco magnético es de 2,4 segundos.

El sistema de filtrado es de dos posibilidades: banda estrecha, de 45 c. de anchura de banda, y banda ancha, de 300 c. de anchura.

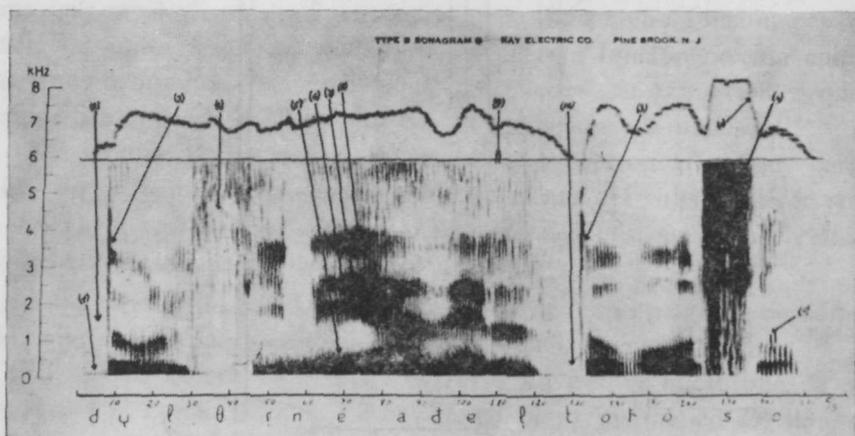


Fig. 16.

El registro se realiza en un papel especial, que es activado por la chispa que salta a su través entre la punta de la aguja y el cuerpo del cilindro sobre el que se adosa, que es metálico.

Las figuras 16 y 17 tomadas de un artículo publicado por el Jefe del Laboratorio de Fonética citado (Bibl., núm. 42) muestran el análisis espectrográfico de la misma frase, realizado el primero con la banda de 300 c. de anchura y el segundo con la de 45 c. de anchura.

La curva de la parte superior de la figura 16 es la intensidad total en cada punto del sonograma. El ennegrecimiento que se observa en las proximidades del cero de frecuencia, es decir, cerca del eje de abscisas, es debido a la vibración de las cuerdas vocales, o sea que es la frecuencia de repetición de los impulsos de aire que salen de la

laringe, algunos de cuyos armónicos son las formantes amplificadas en las distintas cavidades del órgano de la palabra, y que son los que se observan a las distintas frecuencias encima de las letras correspondientes.

En la parte superior de la figura 17 están representadas las intensidades de las formantes de las distintas frecuencias, en las secciones del sonograma que corresponden a la *u*, a la *e* y a la *o*.

Los resultados experimentales de la labor de análisis realizada hasta ahora en el mencionado Laboratorio de Fonética, conduce a las siguientes conclusiones:

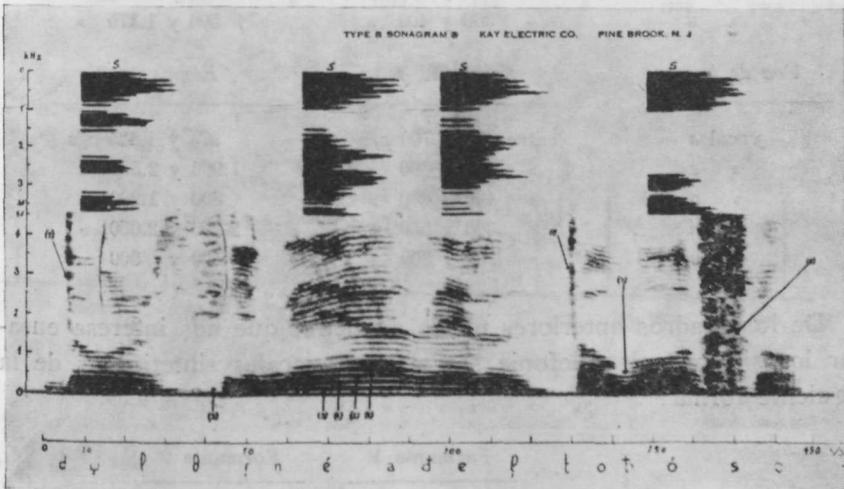


Fig. 17.

En los sonidos vocales las dos primeras formantes son suficientes para caracterizar su timbre, lo que coincide con la opinión del profesor Wagner; en las vocales *a*, *e*, *i* son aproximadamente iguales las intensidades de las dos primeras formantes.

En las vocales *o*, *u* la intensidad de la segunda formante es menor aproximadamente en un 25 %.

Es de advertir aquí que en realidad las formantes no son frecuencias puras, sino zonas de frecuencias de las que se toma como característica la frecuencia central; esto es debido a que son armónicos de la frecuencia fundamental o de repetición de los impulsos de aire producidos a través de la laringe, que resuenan en cavidades cuyo

factor de magnificación, empleando la analogía de nomenclatura con los circuitos resonantes eléctricos, no es muy alto y resuenan también los armónicos de frecuencias próximas a la frecuencia propia de la cavidad correspondiente del órgano de la palabra.

He aquí ahora, a continuación, los resultados obtenidos hasta la fecha con un número bastante elevado de sujetos analizados.

<i>Voz de mujer</i>	<i>Formante 1</i>	<i>Formante 2</i>
vocal <i>a</i>	entre 600 y 700 c/s	1.150 y 1.800 c/s
» <i>e</i>	» 400 y 675 »	1.500 y 2.600 »
» <i>o</i>	» 400 y 650 »	600 y 1.325 »
» <i>i</i>	» 250 y 400 »	1.800 y 2.800 »
» <i>u</i>	» 300 y 400 »	500 y 1.175 »
<i>Voz de hombre</i>	<i>Formante 1</i>	<i>Formante 2</i>
vocal <i>a</i>	entre 650 y 700 c/s	975 y 1.425 c/s
» <i>e</i>	» 400 y 600 »	1.900 y 2.550 »
» <i>o</i>	» 400 y 600 »	800 y 1.200 »
» <i>i</i>	» 300 y 550 »	2.200 y 2.650 »
» <i>u</i>	» 250 y 300 »	450 y 600 »

De los cuadros anteriores puede deducirse que nos interesa ensayar los sistemas de telefonía secreta con vocales sintetizadas de la siguiente forma:

	<i>Formante 1</i>	<i>Formante 2</i>
<i>a</i> baja	600 c/s	1.150 c/s
<i>a</i> alta	900 c/s	1.800 c/s
<i>a</i> media	750 c/s	1.500 c/s
<i>e</i> baja	400 c/s	1.500 c/s
<i>e</i> alta	675 c/s	2.600 c/s
<i>e</i> media	550 c/s	2.050 c/s
<i>o</i> baja	400 c/s	600 c/s
<i>o</i> alta	650 c/s	1.325 c/s
<i>o</i> media	550 c/s	1.000 c/s
<i>i</i> baja	350 c/s	1.800 c/s
<i>i</i> alta	550 c/s	2.650 c/s
<i>i</i> media	400 c/s	2.200 c/s
<i>u</i> baja	250 c/s	450 c/s
<i>u</i> alta	400 c/s	1.175 c/s
<i>u</i> media	300 c/s	650 c/s

Vocal a

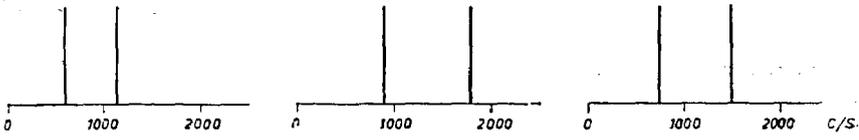


Fig. 18

Vocal e

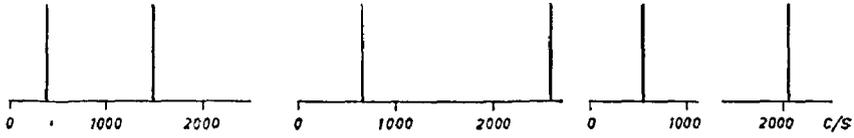


Fig. 19.

Vocal i

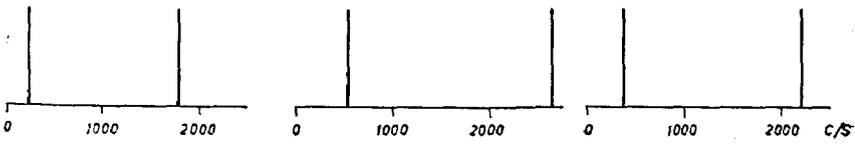


Fig. 20.

Vocal o

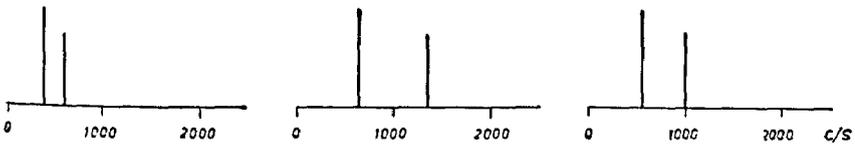


Fig. 21.

Vocal u

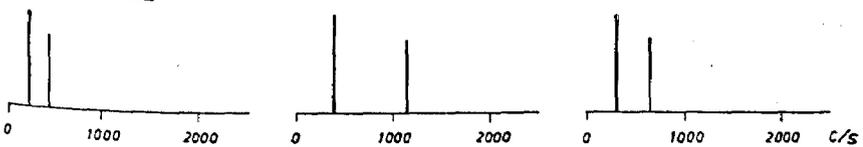


Fig. 22.

que son aproximadamente los extremos altos y bajos, y las medias entre ambos.

En las figuras 18 a 22 pueden verse los espectros de estas vocales sintéticas.

La sencilla disposición empleada para sintetizar estos sonidos ha sido la que se muestra en la figura 23.

La salida de los dos osciladores se lleva a sendos tubos amplificadores con objeto de evitar influencias recíprocas, y a la salida de éstos se lleva cada formante a cada una de las dos mitades del

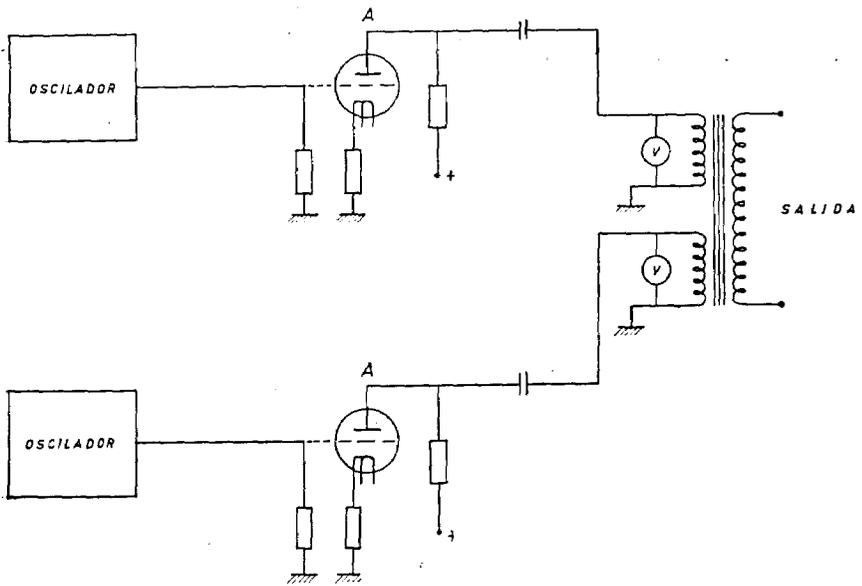


Fig. 23.

primario del transformador T, obteniéndose la mezcla en el secundario.

Como es lógico, los osciladores son de frecuencia y tensión de salida variable. Las intensidades de cada una de las formantes (que son tensiones eléctricas) se ajustan separadamente por medio de los voltímetros V.

De esta forma hemos podido introducir la vocal formada en un dispositivo a ensayar o bien llevarla a un altavoz.

## VI. APLICACIÓN A LA TELEFONÍA SECRETA

El más simple de los dispositivos de telefonía secreta es el llamado «inversor de banda», cuyo fundamento consiste en acotar la banda vocal entre dos límites de frecuencia, modular con esta banda la frecuencia extrema del módulo, que en esta clase de modulación se llama frecuencia portadora, y de los tres productos de la modulación tomar la banda invertida.

En el sistema S. 2-2, realizado por nosotros para el castellano, sistema completamente transistorizado, la banda vocal se ha acotado en el intervalo de 300 c/s a 2.700 c/s (módulo de 0 a 3.000 c/s). Esta anchura de banda es suficiente para que la conversación realizada a través del doble proceso necesario de inversión y reinversión no sólo sea inteligible, sino que conserve las peculiaridades del sujeto que la emite, de tal forma que pueda ser reconocido por el interlocutor. La limitación inferior de 300 c/s viene impuesta por consideraciones técnicas, ya que algunos de los elementos que componen el dispositivo, sobre todo los filtros, serían mucho más complejos, más voluminosos y más caros, empleando un umbral más bajo.

El objeto y funcionamiento de este sistema es como sigue, y su esquema puede verse en la figura 24.

### *Objeto*

Intercalado este aparato en serie, entre el teléfono y la línea, hace ininteligible la conversación en cualquier punto de la misma. Si el correspondiente dispone de otro «S-22» instalado de la misma manera, ambos interlocutores se entenderán perfectamente, mientras que para cualquier escucha situado en un punto intermedio la conversación es totalmente ininteligible.

### *Descripción general*

Se utiliza el principio de inversión de banda, modulando una portadora de 3.000 c/s con la banda vocal. Existen dos dispositivos fundamentales en el «S-22», el de transformar la conversación en

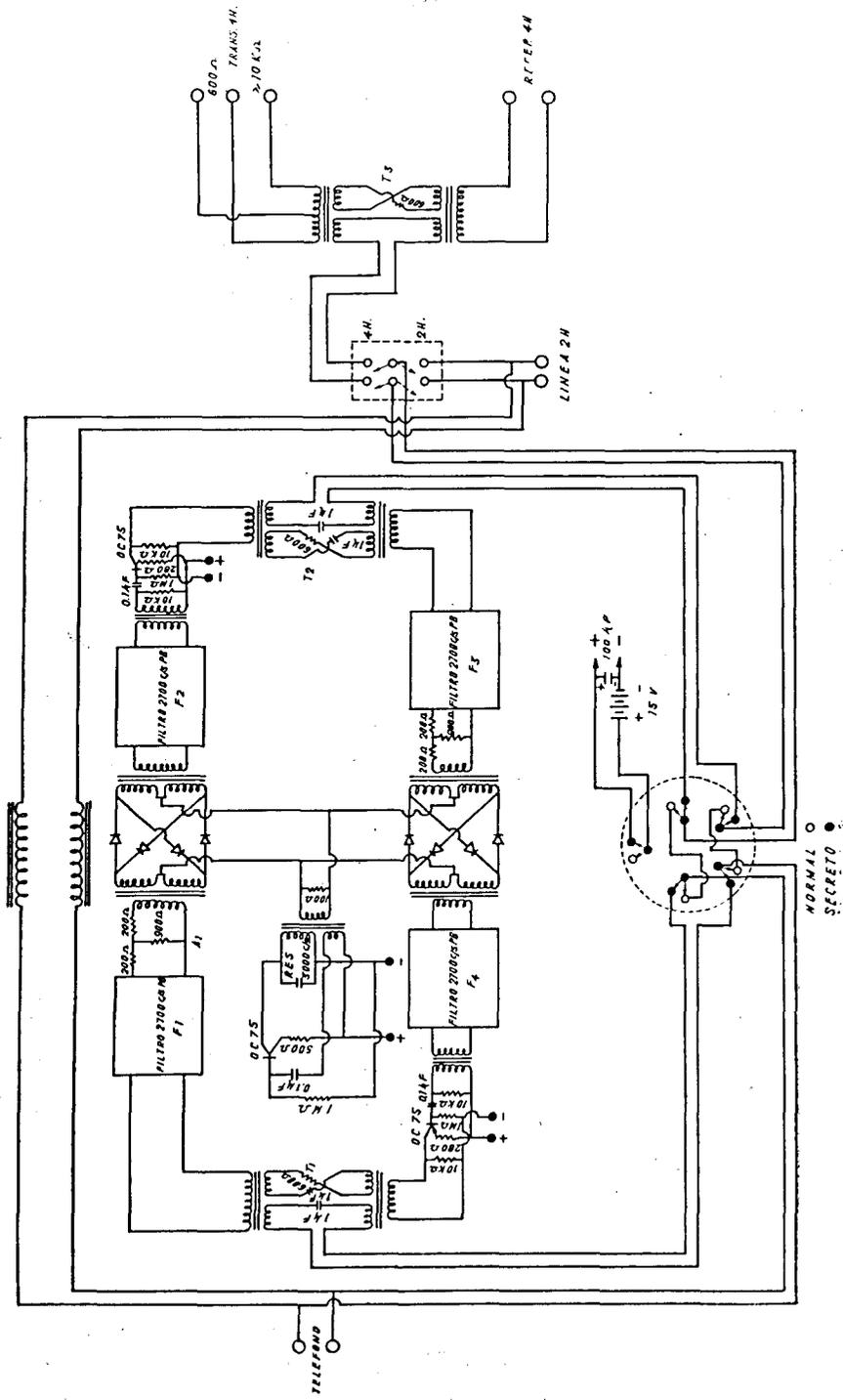


Fig. 24.

«secreto» y el de «conmutación». El dispositivo de «secreto» se logra utilizando la banda inferior de la modulación de la portadora de 3.000 c/s con la banda vocal; una frecuencia cualquiera de esta banda,  $f_v$  queda convertida en la frecuencia invertida  $f_i = 3.000 - f_v$  y el conjunto de esta conversión produce una banda invertida de los mismos límites que la vocal, completamente ininteligible.

Las frecuencias captadas por el micrófono entran en el inversor a través del transformador diferencial  $T_1$ , en el que la energía se divide en dos partes: una de ellas es disipada en el colector del transistor del amplificador de recepción, y la otra, que es la que se utiliza, pasa a través del filtro  $F_1$ , que la limita a 2.700 c/s como límite superior; a la salida de este filtro ataca el modulador después de haber sido atenuada en el atenuador  $A_1$  hasta el nivel conveniente para la modulación. El filtro  $F_2$  excluye la banda alta de la modulación, pasando solamente la banda invertida, que después de amplificada hasta el nivel conveniente en el amplificador de transmisión, sale a la línea a través del transformador diferencial  $T_2$  por las bornas de salida.

El mismo proceso se sigue en la recepción, con la única diferencia de que el filtro  $F_4$  de salida del modulador limita la banda a 2.500 c/s con objeto de proporcionar una fuerte atenuación en los 3.000 c/s y eliminar el efecto molesto de la portadora en el teléfono, ya que el oído humano es particularmente sensible a esta frecuencia.

El dispositivo de «conmutación» consiste en un conmutador de 5 circuitos, 2 posiciones; una llave inversora de dos circuitos y dos posiciones; un transformador diferencial  $T_3$ . Cuatro de los circuitos del conmutador están conectados así: dos a las bornas «TELEF», y dos a los dos circuitos de la llave inversora; en la posición «NORMAL» del conmutador, sendos puentes ponen directamente en conexión la llave inversora con las bornas «TELEF». En la posición «SECRETO» la conexión se hace a través del dispositivo inversor y además el quinto circuito del conmutador se emplea para conectar la alimentación de los transistores, quedando en funcionamiento inmediato. La posición «2H» de la llave inversora conecta la frecuencia vocal, ya sea directa o invertida a las bornas «LINEA H2», y en la posición «4H» la conecta a la entrada de dos hilos del transformador diferencial  $T_3$ , cuyas salidas de cuatro hilos son precisamente las bornas «RECEP.4H» y «TRANS.4H 600  $\Omega$  10 K  $\Omega$ ».

Existen además dos puentes con una bobina de choque y un

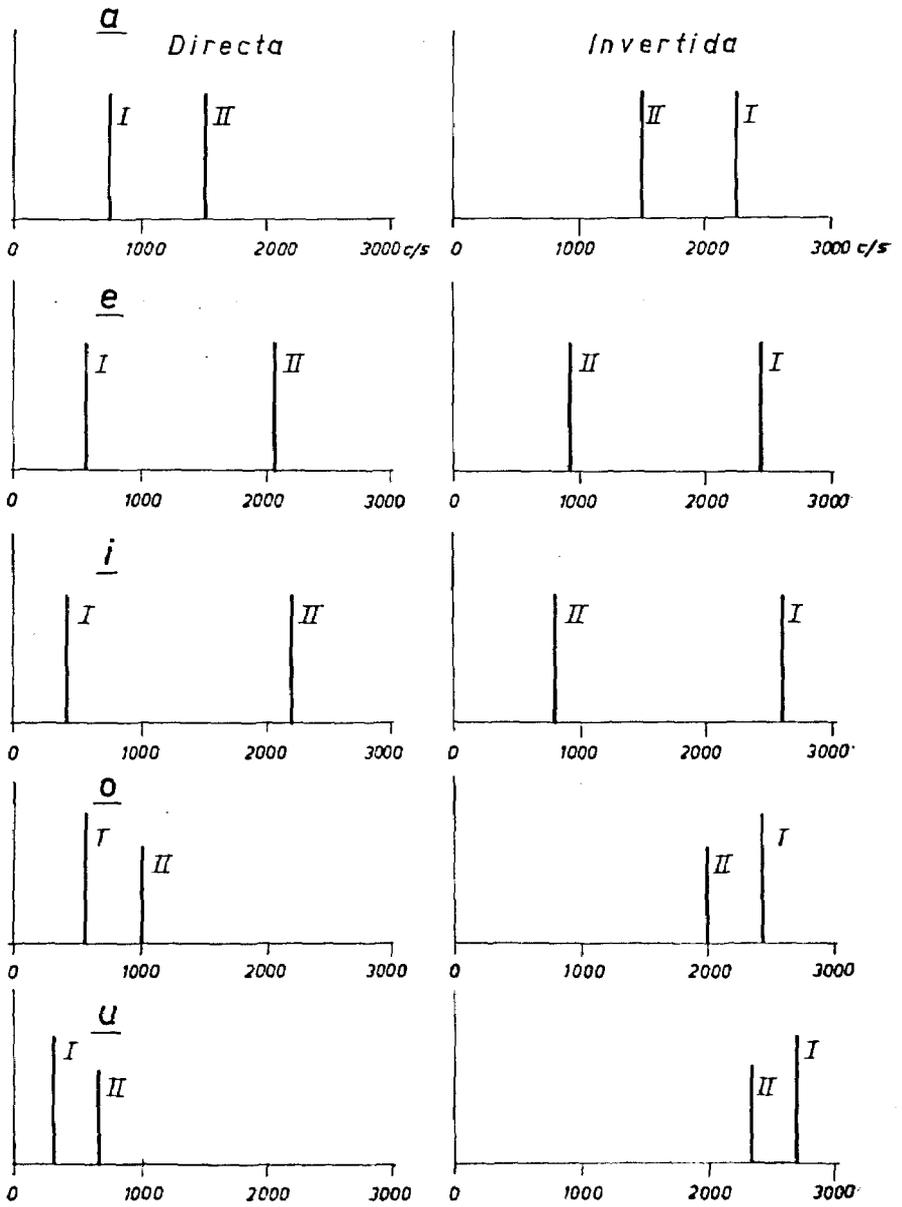


Fig. 25.

varistor en serie cada uno, y dos condensadores en derivación que conectan las bornas «TELEF» con las bornas «LINEA 2H» y que tienen por objeto, cuando el aparato se emplea con dos hilos, dejar pasar libremente las corrientes de llamada y la continua microfónica si fuera preciso, impidiendo el paso de la frecuencia vocal.

La alimentación se realiza mediante una pila, que se aloja en una caja adecuada en el mismo aparato, o mediante un alimentador especialmente construido, que se aloja, también, en la referida caja, con objeto de poder enchufar el aparato a la red de 110 v.c.a.

El aparato utiliza transistores exclusivamente, como elementos de amplificación. La salida a línea puede ser a dos hilos o cuatro hilos.

Las características técnicas son las siguientes:

Impedancia de entrada («TELEFONO») ... ..	600 $\Omega$
Impedancia de salida a dos hilos («LINEA 2H») ... ..	600 $\Omega$
Impedancia de recepción en 4 hilos («RECEP 4H») ... ..	600 $\Omega$
Impedancia de transmisión en cuatro hilos (TRANS. 4H) ... ..	600 $\Omega$ o bien 10 K $\Omega$
Frecuencia portadora ... ..	3.000 c/s
Alimentación ... ..	c. c. 15 v.
Consumo ... ..	15 mA
Dimensiones ... ..	27 x 30 x 12 cm.
Peso aproximado ... ..	6,5 Kg.

La compacidad de la construcción de este aparato y el sistema de mecanización empleado, permiten su transporte sin necesidad de ningún cuidado especial.

Las vocales medias de las figuras 18 a 22 quedan situadas en el espectro de frecuencia, como puede verse en la figura 25.

Un sistema de este tipo proporciona en general una inteligibilidad a la escucha (no nos referimos al grado de secreto, del que ya hemos hablado en el capítulo III) para todo tipo de interlocutores.

Sin embargo todos los sistemas de telefonía de frecuencia portadora lo mismo «secreta» que en «claro» implican una servidumbre de dispositivos accesorios que son imprescindibles para su utilización. Estos dispositivos son a veces más complejos que el propio sistema telefónico, y algunos de ellos ejercen a veces influencia sobre el mismo sistema.

El más importante de todos ellos es el dispositivo de llamada, y

fácilmente se comprende que un sistema telefónico que carezca de él es prácticamente inutilizable.

En nuestro caso la llamada telefónica, que es de 17 a 20 c/s o de 50 c/s, según el teléfono empleado, nos obligó a introducir, en la primera versión del aparato, unos puentes que unieran las bornas de salida con las de entrada, con unas autoinducciones en serie que impidieran el paso de las frecuencias vocales, permitiendo, en cambio, el paso de la corriente continua para la alimentación microfónica, caso este último necesario en las redes telefónicas de alimentación central.

Según hemos dicho, la banda vocal para estos aparatos está limitada entre los 300 y los 2.700 c/s y, por lo tanto, no puede introducirse en ellos las frecuencias de hasta 50 c/s, que son normal-

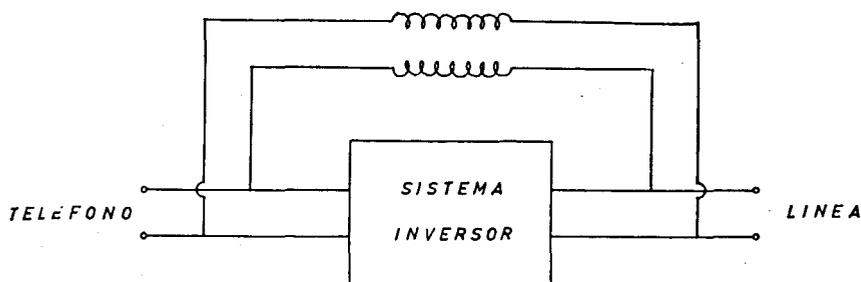


Fig. 26.

mente las de las corrientes de llamada, aparte de que la potencia requerida para el accionamiento del timbre, del orden de 0,3 w, no puede ser suministrada por el sistema inversor, que sólo es capaz de proporcionar una potencia de 2 mW, suficiente para la excitación del auricular telefónico. Se hace, por lo tanto, imprescindible el dispositivo mencionado, que en la primera versión de nuestro aparato es el que aparece en la figura 26, de suma sencillez.

Varios usuarios han utilizado el aparato tal como se esquematiza en la mencionada figura, sin observar ninguna anomalía, hasta que, en cierta ocasión, uno de ellos observó que para cierta persona de timbre de voz muy alto (una señorita) la ininteligibilidad desaparecía casi por completo, entendiéndose la conversación casi por entero para un escucha situado en la línea entre los dos interlocutores. Haciendo ensayos sobre las posibles causas del fenómeno y realmente por azar, se mantuvo una conversación con la mencionada persona

a través del sistema, en ocasión que estaban quitados los puentes de llamada, y se observó que la conversación en la línea volvía a ser ininteligible.

Esto nos demostró que el resto de banda vocal que pasaba a la línea a través de los puentes de llamada, mezclada con la mencionada banda invertida, en la que indudablemente había gran cantidad de componentes no desplazados o poco desplazados, es decir, de frecuencias próximas a los 1.500 c/s, por el particular timbre de voz del interlocutor, era suficiente para proporcionar al oído los elementos necesarios para componer la conversación original.

Con las bobinas de choque solamente se puede llegar a un compromiso entre el paso de las frecuencias bajas y una relativa atenuación para la frecuencia más baja de la banda de audio, es decir, para los 300 c/s.

Con bobinas de 1 H se obtienen los siguientes resultados:

$$Z_{300} = 2 \pi \cdot 300 \quad 1.800 \Omega$$

$$Z_{17} = 2 \pi \cdot 17 \quad 100 \Omega$$

Como la impedancia característica de la línea es de 600  $\Omega$ , igual que la de entrada del aparato, los 1.800  $\Omega$  resultan el triple de la impedancia característica, y realmente las pérdidas que se obtienen por la derivación de los puentes no tienen importancia; sin embargo son suficientes para ser apreciadas al oído con un nivel muy bajo, pero capaz de producir el indeseado efecto anteriormente descrito.

Por otra parte, no es conveniente aumentar la inductancia, ya que los 100  $\Omega$  que representa para los 17 c/s no pueden ser aumentados sin perjudicar la potencia de la llamada.

Pensamos entonces en realizar un filtrado mejor en los puentes con objeto de impedir el paso del resto de frecuencias de la banda vocal a través de ellos.

Aprovechándonos de la notable diferencia de potencias existente entre la corriente vocal y la corriente de llamada, se decidió hacer un filtrado no sólo de frecuencias, sino también de tensiones, empleando un dispositivo, que es el que se aprecia en la figura 27.

Se reforzó el filtrado de frecuencias mediante los dos condensadores de 0,25  $\mu$  F, convirtiéndose el dispositivo en la sección de un filtro de paso bajo de tipo convencional. Se añadieron además los varistores V, que están compuestos cada uno de ellos por dos



bloques semiconductores de selenio en serie y colocados los dos bloques en oposición, como puede verse en la figura 28.

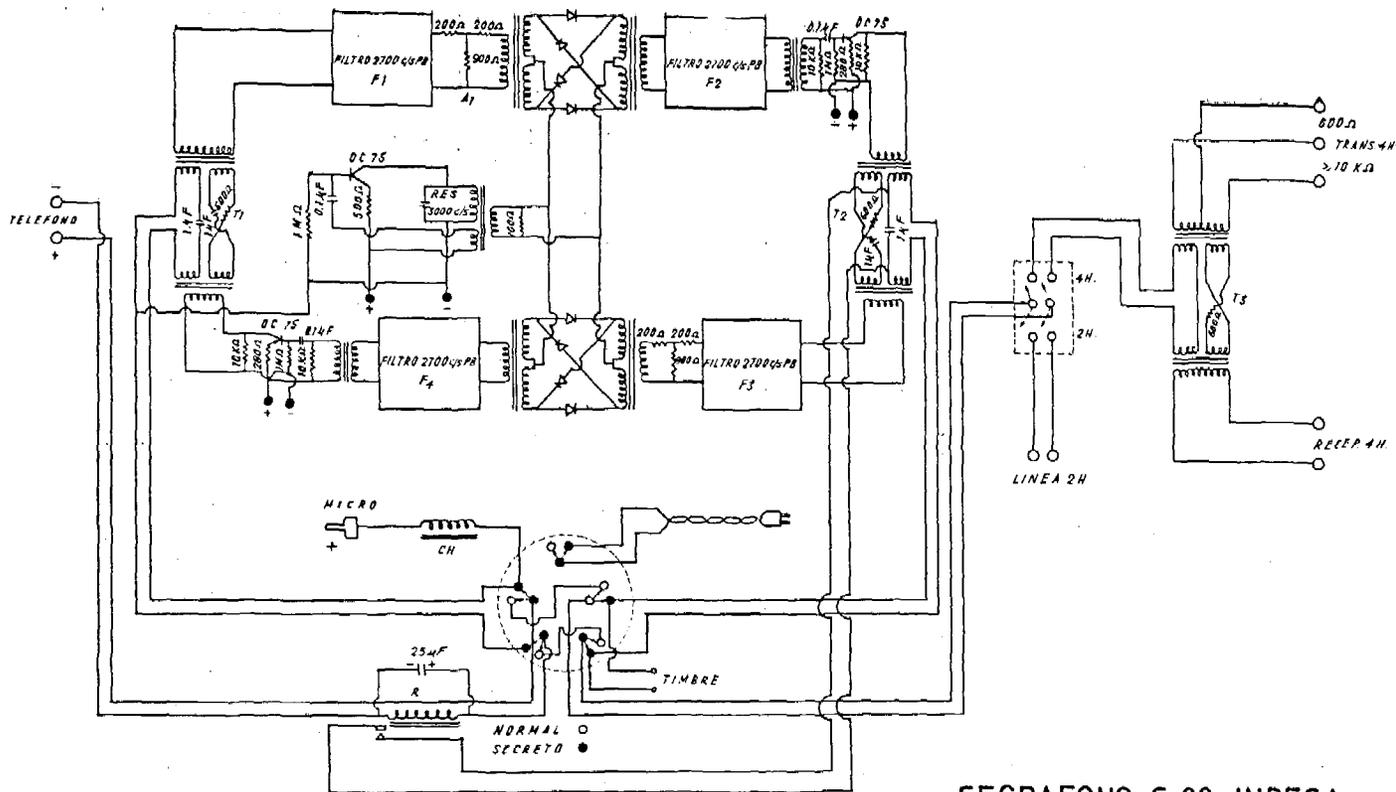
Estos elementos ofrecían una resistencia al paso de la corriente alterna de tensión 0,7 V (que es el nivel telefónico normal a la salida de un microteléfono sobre una impedancia de 600  $\Omega$ ) de algunas decenas de miles de ohmios, mientras que, para el nivel de algunos voltios, la resistencia era solamente de algunas decenas de ohmios. Con este dispositivo completo se logró que el resto de banda vocal que pasaba a través del filtro quedase reducido a un nivel de 60 db por debajo de la banda invertida, sin perjudicar en cambio sensiblemente el paso de la llamada y de la corriente continua para la alimentación del micrófono. Es decir, la conversación normal que podía oírse a través del filtro conectado a un teléfono, quedaba inaudible incluso para un oído muy sensible.

Realizadas las pruebas con este nuevo dispositivo, nos encontramos con que aún era inteligible la conversación para un observador situado en la línea. En consecuencia se decidió suprimir en absoluto los puentes de paso de llamada, realizando ésta por medio de un sistema completamente independiente pero mucho más complejo, como puede verse en la figura 29, y cuyas particularidades se resumen en los siguientes puntos:

- 1.º Supresión de los puentes de paso de llamada y corriente continua.
- 2.º Alimentar con dos salidas de c. c., una para el secráfono y otra para el microteléfono, cuando está en «secreto».

En el alimentador hay además dos hembrillas marcadas con el símbolo de la corriente alterna, que conectadas a la clavija correspondiente del interior del Secráfono, sirven para alimentar el aparato con la corriente de la red por medio del propio conmutador del Secráfono.

- 3.º La borna «Micro» que hay en el interior, conectada a la hembrilla correspondiente del alimentador, proporciona la alimentación microfónica en la posición de «secreto»; lleva en serie una bobina de choque que impide el paso de las frecuencias vocales. En serie con el teléfono hay un relé que, actuado por la corriente microfónica, puentea el condensador del transformador diferencia de línea con objeto de retener la comunicación con el teléfono que llama. Al colgar el microteléfono se deshace el puente, quedando libre el telé-



**SECRAFONO S-22-INDESA**  
**ESQUEMA GENERAL**  
 (MODIFICACION AEM)

Fig. 29.

fono interlocutor. Este dispositivo de retención es absolutamente necesario en las redes automáticas, en las que la comunicación se corta al colgar el teléfono que ha llamado.

- 4.º Hay una salida de un cable que sirve para conectar el timbre que recibe la llamada, caso que ésta se produzca, estando el aparato en la posición de «secreto».

El sistema con esta modificación ha funcionado, como era de esperar, con el mismo grado de ininteligibilidad que antes de ponerle los puentes de llamada.

En resumen, pueden sacarse las siguientes conclusiones con respecto al inversor de banda.

Con las vocales medias castellanas la conversación no es inteligible.

En el uso normal del aparato la conversación es ininteligible en todos los casos observados, aunque puede aumentar el grado de inteligibilidad para ciertos timbres de voces que posean muchas formantes próximas a los 1.500 c/s de frecuencia.

Este sistema no tolera la mezcla de una mínima cantidad de banda vocal directa con la invertida, ya que las condiciones psico-físicas del oído humano hacen inteligible la conversación aún cuando la cantidad de banda directa presente sea inaudible por sí sola. Esto hace preciso necesariamente la introducción de sistemas de llamada físicamente aislados de la línea cuando esté en funcionamiento el dispositivo inversor.

#### *Estudio de un mezclador de bandas*

El objeto de este aparato es poder proporcionar un grado de secreto más elevado que el inversor de banda.

Su fundamento consiste en dividir la banda vocal en varios intervalos, transponiendo éstos en el espectro de frecuencias y con la posibilidad de que esta transposición pueda conmutarse secuencialmente según una clave convenida.

Las condiciones que tiene que cumplir este dispositivo son:

- Que la transposición realizada ocupe el mismo espectro de 300 a 2.700 c/s.
- Que todas las transposiciones sean ininteligibles.

La división de la banda vocal en intervalos parciales se realiza

mediante filtros que aislan cada intervalo, al cual luego se le da el tratamiento adecuado.

En nuestro caso concreto, en que el espectro de que disponemos está limitado entre los 300 c/s y los 2.700 c/s, la experiencia nos enseña que no es conveniente hacer más de cuatro divisiones, ya que como la utilización de los filtros implica necesariamente el que quede entre cada dos de ellos un espacio inutilizado, el hacer más divisiones implicaría una pérdida de información demasiado elevada para una buena inteligibilidad después del doble proceso de cifrado y descifrado.

En la figura 30 puede verse la descomposición del espectro en las cuatro bandas parciales.

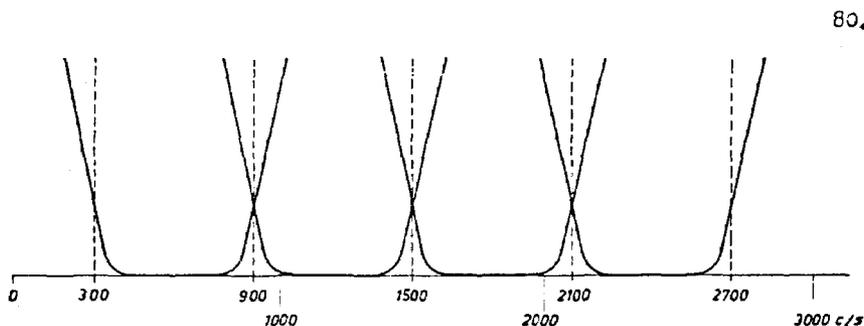


Fig. 30.

Podía pensarse en la simple transposición de estas bandas parciales para conseguir el cifrado, como hay sistemas que lo realizan en otros idiomas. Nosotros hemos desechado este procedimiento por la siguiente razón: el castellano es un idioma de gran redundancia, es decir, contiene una cantidad de información tal que el mecanismo psico-físico de la audición es capaz de reconstruir el mensaje total aunque le falte una gran parte de la información original. Teniendo esto en cuenta, de todas las permutaciones posibles entre las bandas parciales, habría muy pocas que dieran una ininteligibilidad suficiente; hay que prever que simplemente en el caso de que dos bandas no fueran transpuestas sería comprendido gran parte del mensaje.

Por estas razones nos inclinamos por un sistema que al mismo tiempo que permute las bandas parciales haga su inversión.

Aún en este caso imponemos la condición de que las bandas

parciales invertidas no permanezcan en su mismo sitio, por ejemplo que la banda parcial original de 300 c/s a 900 c/s no se convierte en 900 c/s a 300 c/s.

Esto es debido a que, como ya hemos explicado anteriormente, las frecuencias formantes de las vocales no son frecuencias puras, sino realmente bandas formantes que pueden tener una anchura de unos trescientos ciclos; por otra parte, la región del espectro donde

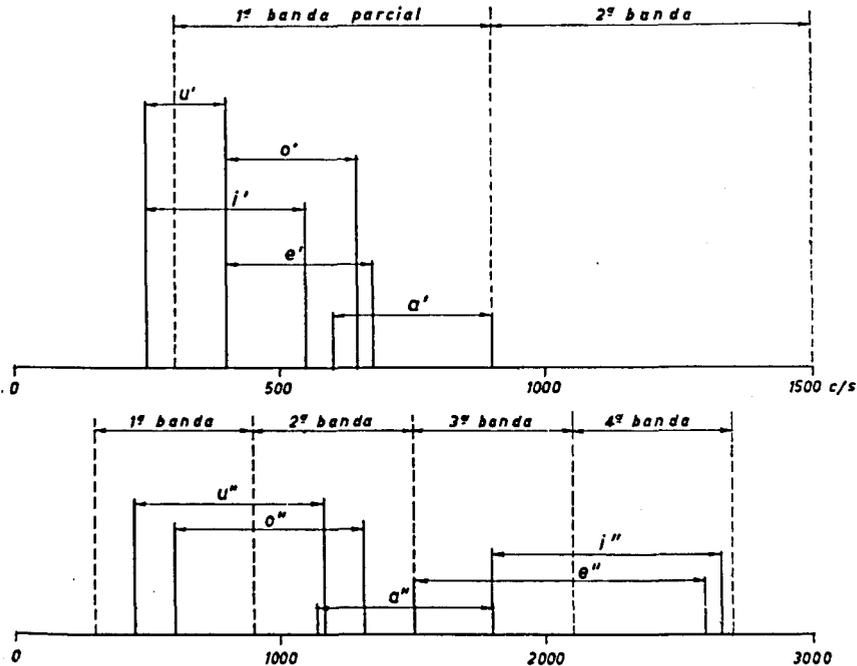


Fig. 31.

se producen estas bandas formantes varía de unas personas a otras, como puede apreciarse en el cuadro correspondiente del capítulo anterior. Sin embargo, para cualquier escucha, son identificables las vocales pronunciadas por cualquier sujeto indeterminado; en la figura 31 pueden apreciarse las zonas de formación de las vocales castellanas según los datos que figuran en el capítulo anterior. En ella, las zonas señaladas con vocal acentuada indican la zona de las primeras formantes de la vocal indicada, y semejantemente las señaladas con doble acento, indican la de las segundas formantes.

En esta figura puede observarse que con la simple inversión de

las bandas parciales, sin la permutación de las mismas, hay muchas formantes que permanecerían en la misma zona del espectro, y muy especialmente las primeras formantes, ya que muchas de ellas quedarían incluidas dentro de una misma banda.

Teniendo en cuenta lo que antecede, exponemos a continuación el cuadro de portadoras conveniente para trasladar cada banda parcial al lugar de otra en el espectro, a la par que simultáneamente queda invertida.

Para la banda 1.<sup>a</sup>, de 300 c/s a 900 c/s:

P12 = 1.800 c/s ;	banda invertida que resulta,	1.500 c/s,	900 c/s
P13 = 2.400 »	»	»	»
P14 = 3.000 »	»	»	»

Para la banda 2.<sup>a</sup>, de 900 c/s a 1.500 c/s:

P23 = 3.000 c/s ;	banda invertida que resulta,	2.100 c/s,	1.500 c/s
P24 = 3.600 »	»	»	»
P21 = 1.800 »	»	»	»

Para la banda 3.<sup>a</sup>, de 1.500 c/s a 2.100 c/s:

P34 = 4.200 c/s ;	banda invertida que resulta,	2.700 c/s,	2.100 c/s
P32 = 2.400 »	»	»	»
P31 = 3.000 »	»	»	»

Para la banda 4.<sup>a</sup>, de 2.100 c/s a 2.700 c/s:

P41 = 3.000 c/s ;	banda invertida que resulta,	900 c/s,	300 c/s
P42 = 3.600 »	»	»	»
P43 = 4.200 »	»	»	»

Como se ve, se necesitan cinco portadoras: 1.800, 2.400, 3.000, 3.600 y 4.200 c/s.

El número de permutaciones que pueden realizarse impuesta la condición de que ninguna banda quede en su mismo lugar del espectro, es de nueve, ya que supuesta una de las bandas colocada en un lugar distinto al suyo, la desplazada puede ser colocada en cualquiera de los tres lugares restantes, pero las otras dos tienen colocación única, ya que al menos una de ellas no podrá colocarse en uno de los dos lugares vacíos, que será el suyo propio.

Estas nueve permutaciones son:

lugar	banda	lugar	banda	lugar	banda
1	2	1	4	1	3
2	1	2	1	2	1
3	4	3	2	3	4
4	3	4	3	4	2
1	3	1	4	1	2
2	4	2	3	2	4
3	1	3	1	3	1
4	2	4	2	4	3
1	4	1	3	1	2
2	3	2	4	2	3
3	2	3	2	3	4
4	1	4	1	4	1

Si nos fijamos en el tercer grupo de permutaciones observaremos que la primera de ellas da como resultado la inversión de la banda, tal como se realiza en el «inversor de banda» simple, descrito anteriormente y que las otras dos conservan la mitad de la banda invertida según lo hace este aparato (en la segunda, 32,41, y en la tercera, 23,41).

Por razones de secreto no es aconsejable utilizar estas tres últimas permutaciones, ya que con un inversor de banda aplicado a la línea, o bien a la grabación recogida en ella por un eventual escucha, se descifrarían con gran facilidad los intervalos de conversación en los que estas permutaciones intervinieran.

Utilizando las seis restantes se pueden realizar 720 secuencias distintas, o lo que es lo mismo, 720 claves, para un aparato relativamente poco complicado y de coste no muy elevado.

En general, el número de permutaciones que pueden hacerse con las bandas parciales, cuando el número de subdivisiones es  $n$ , con la condición de que ninguna de las bandas ocupe su primitivo lugar, es la solución del siguiente problema de combinatoria:

«Encontrar todas las permutaciones que se pueden formar con los números 1, 2, 3, ...  $n$ , en las que ningún elemento esté en el lugar que le corresponde por el orden natural.»

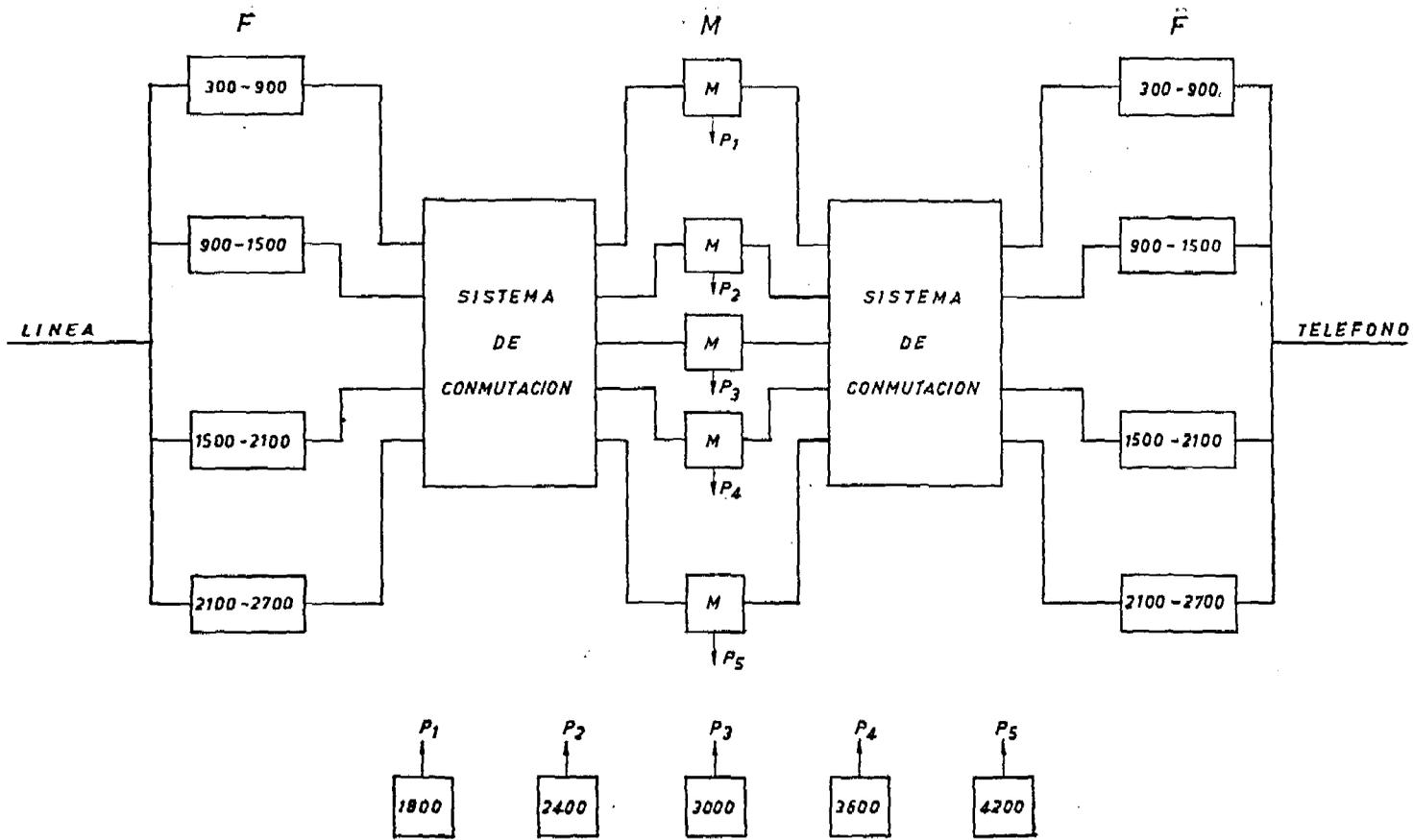


Fig. 32.

La solución de este problema conduce a la expresión:

$$P_0 = \sum_{h=0}^{n-2} (-1)^h \binom{h}{n} (n-h-1)$$

que es la fórmula buscada.

Para  $n = 3$  nos da dos permutaciones que cumplan con la condición requerida.

Para  $n = 4$ , da nueve permutaciones, coincidiendo con el razonamiento particular aplicado anteriormente.

Para  $n = 5$  hay la posibilidad de 44 permutaciones, lo que parece que podría dar lugar a una secuencia de claves de 44. Sin embargo, hay que tener en cuenta que cuanto más se subdivide la banda de audio, tantas más permutaciones hay que no son eficaces para el secreto. Por ejemplo, toda subdivisión y mezcla que se realice dentro de una de las zonas formantes de una vocal determinada, será absolutamente ineficaz para el secreto.

Es aconsejable ensayar cada una de las claves en cada caso particular.

Es esquema funcional del aparato de banda dividida en cuatro intervalos puede verse en la figura 32. En ella se indican los dos sistemas de filtros F y las baterías de moduladores M y de generadores de portadoras P. El sistema de conmutación es único, aunque en la figura, para mayor claridad del dibujo, aparece en dos lugares; este único sistema de conmutación gobierna también otra parte idéntica a la descrita, ya que el sistema implica dos partes iguales: la de transmisión y la de recepción, igual que en el inversor de banda.

En conclusión, para realizar un aparato de telefonía secreta para el castellano, basado en el principio de mezcla de bandas, habrá que utilizar éstas en posición invertida y hacer las permutaciones de manera que en ninguna de ellas conserve cualquiera de las bandas invertidas la primitiva posición que ocupa inicialmente, a causa de la gran redundancia que existe en el idioma castellano y de la gran concentración de formantes de las vocales que existen en la banda primera. Para asegurar un grado mayor de secreto no será conveniente utilizar las permutaciones que conserven parcialmente intervalos de banda invertida que ocupen la misma posición relativa que en el «inversor de banda».

## VII. CONCLUSIONES

— En la ya dilatada experiencia de la utilización por diversos usuarios de los sistemas de telefonía secreta a que hace referencia este trabajo, se han observado anomalías aleatorias, consistentes principalmente en un mayor grado de inteligibilidad que el admisible para un escucha indeseado intercalado en la línea.

— Los dispositivos físicos empleados en los referidos aparatos y en especial los de modulación, no introducen anomalías en relación con el grado de secreto o ininteligibilidad.

— Por el contrario, la voz humana de determinado timbre con muchas frecuencias formantes próximas a la central de la banda invertida puede, en ciertas condiciones, producir una conversación «secreta» con un grado de ininteligibilidad insuficiente.

— Clasificados los sistemas de telefonía reservada, comúnmente llamada «secreta», en

«discreta»,  
«confidencial» y  
«secreta» o «criptofonía»

en el intervalo que ocupa un canal telefónico «standard», sólo son transmisibles las dos primeras clases, ya que la tercera necesita el espacio de 4 ó 5 canales como mínimo.

— La inteligibilidad indeseada viene favorecida en los inversores de banda aún por una mínima cantidad de audio directa que pueda pasar eventualmente a través de los sistemas auxiliares de llamada u otros de diversa índole, que en esta clase de aparatos deben de quedar, por lo tanto, físicamente aislados o fuera de circuito en la posición de conversión secreta.

Este aparato sólo puede ser considerado como de la primera clase: telefonía discreta.

— Para un aparato mezclador de bandas no es más eficaz una partición de más de 4 ó 5 bandas que ésta misma, por dos causas:

Por el aumento de pérdida de información al aumentar el número de filtros.

Porque al subdividir las zonas de gran concentración de formantes hay que excluir de las permutaciones aptas para el

secreto, todas aquéllas en las que queden continuas o próximas algunas de las divisiones que lo estaban antes del proceso del cifrado.

— Se deben invertir las bandas parciales antes de mezclarlas, ya que no se introduce ningún elemento nuevo en el aparato al hacerlo así, bastando con elegir convenientemente las frecuencias portadoras.

— Si de la secuencia de permutaciones se eliminan aquéllas en las que haya bandas parciales que ocupen el mismo lugar que en la banda invertida con el «inversor», este aparato mezclador puede ser considerado de la segunda clase, o «confidencial».

#### VIII. BIBLIOGRAFÍA

- (1) PARMENTIER, M.: *Modulación por cortadura y por inversión*. «Ann. P. T. T.», septiembre 1937.
- (2) — — *Modulación por cortadura y por inversión*. «Ann. P.T.T.», diciembre 1937.
- (3) CARUTHERS, R. S.: *Moduladores de óxido de cobre*. «Bell Syst. Techn.», abril 1939.
- (4) BRANDT, MADOX Y PHILIPS: *Sistema de telefonía portadora de un canal*. «Elect. Comm.», septiembre 1946.
- (5) BELEVITCH, V.: *Teoría lineal de los moduladores de puente y anillo*. «Elect. Comm.», marzo 1948.
- (6) KLEIN, W.: *El convertidor de frecuencia como cuádrupolo casi lineal*. «Archiv. Elek. Uebertr.», enero 1952.
- (7) GARCÍA DE GUDAL, A.: *Modulación con semiconductores*. «Rev. Cien. Apl.», núm. 35, diciembre 1953.
- (8) MAYER, N.: *Sobre la audibilidad de distorsiones lineales en sonidos naturales*. «Funk u. Ton.», vol. 8, núm. 1, 1954.
- (9) DREYFUSS-GRAF, J. y CAALLIER, L.: *El tiposonógrafo fonético o fonetógrafo*. «Onde Electr.», vol. 34, núm. 324, 1954.
- (10) MILLER, G. y NICELY, P.: *Análisis de las confusiones de percepción entre algunas consonantes inglesas*. «J. Acoust. Soc. Am.», vol. 27, núm. 2, 1955.
- (11) DENES, P.: *Efecto de duración en la percepción de voces*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 27, núm. 4, 1955.
- (12) WEIBEL, E.: *Síntesis de vocales por medio de circuitos resonantes*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 27, núm. 5, 1955.
- (13) PLANAGAN, J.: *Diferencia de valores límites para la intensidad de un sonido vocal*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 27, número 6, 1955.

- (14) FLANAGAN, J.: *Extracción automática de frecuencias formantes de lenguaje continuo*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 28, número 1, 1956.
- (15) BOGERT, B.: *El «Vobanc» (voice band compresor). Sistema de reducción de anchura de banda de lenguaje*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 28, núm. 3, 1956.
- (16) KRYTER, Karl D.: *Sobre la predicción de la inteligibilidad de la palabra hablada por medio de medidas acústicas*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 28, núm. 4, 1956.
- (17) PICKETT, J. M.: *Influencias de la fuerza vocal sobre la inteligibilidad de sonidos del lenguaje*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 28, núm. 5, 1956.
- (18) FLANAGAN, J. L.: *Nota sobre los sintetizadores eléctricos de analogía terminal con la palabra hablada*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 29, núm. 2, 1957.
- (20) HOWES, D.: *Sobre la relación entre la inteligibilidad y la frecuencia de empleo de las palabras inglesas*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 29, núm. 2, 1957.
- (21) LADEFOGED, P. y BROADBENT, D.: *Información transmitida por vocales*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 29, núm. 1, 1957.
- (22) HUSSON, R.: *Factores acústicos de las vocales humanas nasalizadas y génesis fisiológica de estos factores*. «Compt. rend.», vol. 244, núm. 20, 1957.
- (23) FAIRBANKS, G. y KODMAN, F.: *Inteligibilidad de las palabras como función de la compresión de tiempo*. «J. Acoust. Soc. Amer.», vol. 29, núm. 5, 1957.
- (25) KÜPFMÜLLER, K. y ANDRICH, W.: *La transmisión de la palabra con cuantización en pocos pasos*. «N. T. Z.», vol. 11, número 8, 1958.
- (26) LOCHNER, J. y BURGER, J.: *Inteligibilidad del lenguaje amplificado*. «Acústica», vol. 9, núm. 1, 1959.
- (27) CHAVASSE, P. y PIMONOV, L.: *Los espectros evolutivos de los fonemas de la lengua francesa*. «Ann. Telecomun.», vol. 14, núm. 11-12, 1959.
- (28) WOOLLONS, D. y GILL, A.: *Sencillo sintetizador del lenguaje*. «Electron. Techn.», vol. 37, núm. 10, 1960.
- (29) DAS, J.: *Compresión de la anchura de banda del lenguaje*. «Electron. Techn.», vol. 38, núm. 8, 1961.
- (30) WAGNER, K.: *Análisis y síntesis de los sonidos articulados*. «Revista de Ciencia Aplicada», año VI, núm. 5, 1952.
- (31) WINCKEL, F.: *Análisis y síntesis de los sonidos del lenguaje. I*. «Funk. u. Ton.», vol. 8, núm. 1, 1954.
- (32) — — *Análisis y síntesis de los sonidos del lenguaje. II*. «Funk. u. Ton.», vol. 8, núm. 2, 1954.
- (33) DAVID, E.: *Reconocimiento de auditorio artificial en telefonía*. «J. Research & Development», vol. 2, núm. 4, 1958.

- (34) DUDLEY, H.: *Fundamentos de la síntesis del lenguaje*. «Audio-Eng. Soc.», vol. 3, núm. 4, 1955.
- (35) STEVENS, K.: *Síntesis de lenguaje por dispositivos analógicos-eléctricos*. «Audio Eng. Soc.», vol. 4, núm. 1, 1956.
- (36) CRABBE, H.: *La electrónica y el fonético*. «Wireless World», vol. 65, núm. 6, 1959.
- (37) POTTER, KOPP y GREEN: *Lenguaje visible*. «D. V. Nostrand», 1947.
- (38) DREYFUS, J.: *Fonetógrafo, presente y futuro*. «Bull. Techn., P. T. T.», núm. 2, 1957.
- (39) UNGERNEUER, G.: *Elementos para una teoría acústica de la articulación de las vocales*. «Springer-Verlag», Berlín, 1962.
- (40) CHIBA, T. y KAJIYAMA, M.: *Las vocales, su naturaleza y estructura*, 1941.
- (41) FAUT, C. G.: *Teoría acústica de la generación del lenguaje*, 1961.
- (42) QUILES MORALES, A.: *El método espectrográfico*. «Rev. Fon.-Esp.», XLIII, 1960.