

Hasta seis años después, el 22 de mayo de 1849, dicho proyecto estuvo olvidado por completo, resolviéndose en esta fecha que las obras correspondientes se construyeran con fondos del Estado y directamente por los organismos de éste, como así se hizo, iniciándose aquéllas por el sistema de administración en septiembre de 1855, disponiéndose al poco tiempo, fines de diciembre siguiente, que se subastaran; en 29 de febrero de 1856 fueron adjudicadas y se terminaron a fines de 1860, con un gasto de 144 929,60 pesetas.

Abierto al servicio público el muelle de Vega Terrón se observó inmediatamente que las embarcaciones únicamente le utilizaban para la carga, o para la descarga, de mercancías de peso grande; en los demás casos atracaban en la margen derecha del Agueda para hacer sus operaciones en la misma forma que las hacían anteriormente, obligadas a ello por ser muy intensa la corriente del Duero en el sitio en que se construyó el muelle.

Se reconoció además la necesidad imprescindible de construir obras que permitieran el atraque simultáneo de siete u ocho embarcaciones, tanto porque el régimen de aquel río no permite que la navegación se haga por él todos los días del año, como porque era de gran interés que fuera lo más pequeño posible el tiempo que las embarcaciones empleasen en esperar que les llegase su turno para acercarse al muelle a cargar o a descargar.

La experiencia demostró que la superficie de la explanada o terraplén del muelle era pequeña; con frecuencia se reunían en ella cincuenta, sesenta y más carros, casi todos tirados por bueyes; era preciso soltarlos, darles alimento, llevarles al abrevadero del Agueda, etc., con las consiguientes confusiones, discusiones y conflictos, cuyo resultado final era perder tiempo y hacer gastos inútiles.

Se comprobó, durante la explotación del muelle, que era muy necesario instalar grúas, construir almacenes y establecer medios especiales para llevar a las embarcaciones las pipas de vino, porque esta operación había que realizarla en épocas determinadas del año y de corta duración, que en aquellos tiempos fijaba el Gobierno portugués.

Por todo ello la Dirección general de Obras públicas ordenó la redacción de un proyecto de obras para mejorar las condiciones de las que existían en Vega Terrón y para aumentar su capacidad en relación con la carga y descarga de mercancías; tal proyecto fué trabajo que realizó el ingeniero García San Pedro y que suscribió en 15 de septiembre de 1862. Las obras correspondientes no se construyeron.

#### D) Carretera de Salamanca al muelle de Fregeneda

Con fecha 28 de diciembre de 1846 acordó el Gobierno que se construyera la carretera de Salamanca al muelle de Fregeneda, cuya importancia, en aquella época, radicaba en constituir el acceso más directo al Duero para utilizarle como vía fluvial de transporte entre la provincia de Salamanca y el mar.

Tal carretera, cuya longitud se aproxima a los 120 km y se encuentra actualmente en perfecto estado de conservación, se construyó casi por completo por el sistema de contrata y con fondos del Estado y de la Diputación, por partes iguales, en cumplimiento de lo dispuesto en la Real orden de 19 de noviembre de 1855, de aprobación del primitivo proyecto, cuyo presupuesto era 1 248 127,71 pesetas.

Las obras se empezaron por administración en febrero de 1857 y quedaron completamente terminadas en el año 1869.

B. OLIVER  
Ingeniero de Caminos

## RADIOFAROS <sup>(1)</sup>

### EMISIONES DIRIGIDAS

#### IV. Desarrollo de las emisiones dirigidas

La realización de emisiones dirigidas data de los comienzos de la Radiotecnica, y aun la precede, pues los sabios que continuaron las experiencias de Hertz, con el mismo propósito de comprobar la identidad de los fenómenos electromagnéticos y los luminosos, emplearon ya toda clase de medios direccionales: reflectores parabólicos, pantallas planas, prismas, etcétera.

Las aplicaciones a la Telecomunicación empezaron con Marconi, empleando reflectores parabólicos, y todas las experiencias que después se realizaron con ondas cortas utilizaron emisiones dirigidas, pues precisamente la directibilidad fué la propiedad que las mantuvo a flote, defendiéndolas contra la avasalladora superioridad circunstancial de las ondas largas.

La directividad en la emisión no es privativa de las ondas cortas, pero únicamente con éstas puede llevarse a cabo de un modo eficaz, pues se precisan dispositivos de radiación (antenas, reflectores, pantallas...) cuyas dimensiones sean del orden de la longitud de onda utilizada.

Por consiguiente, el desarrollo de las emisiones dirigidas va parejo al de las ondas cortas, y podemos considerar las mismas fases que para éste indicaba en el artículo anterior: período *precientífico* (o de fracasos) jalonado por los siguientes nombres y fechas: Marconi, 1896; Brawn, 1899-1901; De Forest, 1902; Blondel, 1902-12-13 (estas últimas son muy dignas de notar, pues nos representan el primer intento de establecimiento de radiofaros del tercer tipo); período de *experimentación racional*, en el que destacan las experiencias de Marconi y Franklin en Poldho (reflector parabólico y onda de 97 m), en Carnavon y en He don, que cristalizaron en el radiofaro de Inchkeith (reflector parabólico doble, onda amortiguada 6,09 m y 100 millas de alcance), y período de realizaciones, inaugurado con el referido

(1) Véase REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de 1.º de junio de 1927, página 219.

radiofaro de Marconi, quien luego establece otro en South Foreland de tipo distinto (pantallas planas de hilos verticales); además, en todas las comunicaciones comerciales establecidas se emplean sistemas de radiación concentrada, que están dando un resultado magnífico.

**V. Posibilidades directivas de los sistemas de radiación ordinarios**

Antes de considerar los dispositivos de radiación especialmente estudiados para realizar la concentración de la energía electromagnética, veamos las posibilidades directivas de los sistemas empleados ordinariamente en Radiotecnía.

Habíamos establecido una distinción entre circuitos oscilantes abiertos y cerrados; es decir, entre antenas y cuadros, que vamos a examinar sucesivamente.

*Antenas.*—Toda antena que no es de revolución alrededor de un eje vertical irradia desigualmente en los diferentes azimutes, si está situada en un terreno que no es perfectamente conductor.

En efecto, toda antena puede descomponerse en una componente horizontal y otra vertical (proyecciones de los diversos elementos sobre la vertical y el plano horizontal del punto), siendo el campo crea-

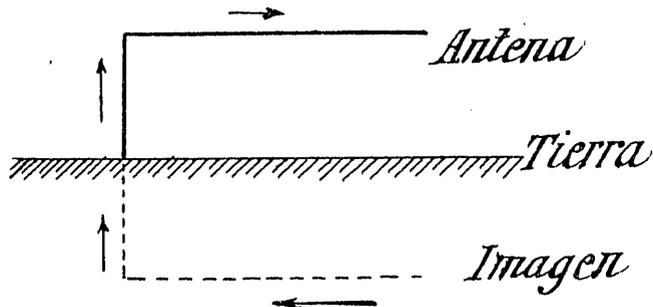


Fig. 8.<sup>a</sup> Imagen de una antena en el caso de suelo perfectamente conductor

do en un receptor lejano equivalente a la suma de los creados por cada una de las partes consideradas aisladamente, más los producidos por la imagen virtual de la antena, que, como vimos, era el artificio de que nos valíamos para tener en cuenta la influencia de la tierra cuando las antenas están unidas a ella. Esta imagen, en el caso de suelo perfectamente conductor (fig. 8.<sup>a</sup>), debe tomarse con respecto al plano horizontal del punto, y como las corrientes que le recorren tienen sentidos contrarios a los que se obtendrían por rebatimiento y superposición de los de la antena real, resulta que los campos creados por un elemento y su imagen se suman (es decir, se duplican) en cuanto a las componentes verticales y se restan (es decir, se equilibran) en cuanto a las horizontales.

Pero en el caso de suelo medianamente conductor ya no es válido este artificio y parece que entonces debiera tomarse la imagen de la antena, no con respecto al plano horizontal y, por consiguiente, único, sino con relación a los planos tangentes a un cono de revolución alrededor de la vertical y cuyo ángulo en el vértice es tanto menor cuanto menor sea la conductibilidad del terreno. Entonces, como puede verse en la figura 9.<sup>a</sup>, la imagen de la antena cambia de situación con el azimut, y el efecto global antena-imagen varía entre límites tanto más dispa-

res cuanto que el coeficiente de conductibilidad del suelo sea menor.

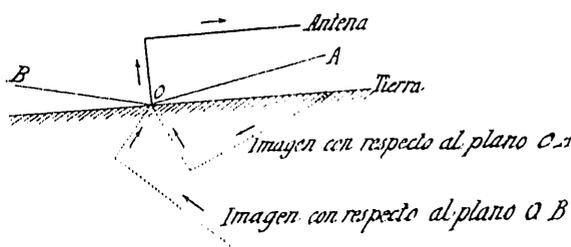


Fig. 9.<sup>a</sup> Imágenes de la antena en el caso de suelo medianamente conductor. BOA, ángulo en el vértice del cono de tangencia.

El problema ha sido estudiado teóricamente por varios investigadores; pero las hipótesis que hay que establecer para ordenar la irregularidad de los fenó-

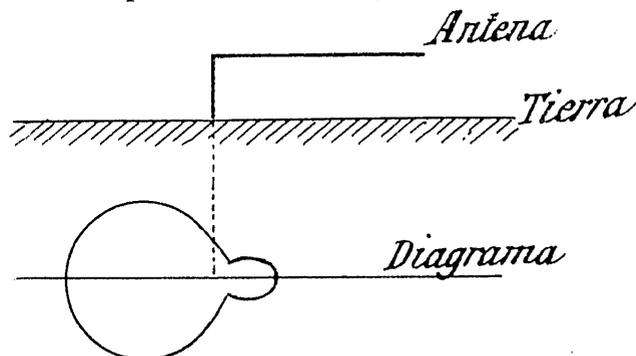


Fig. 10. Diagrama teórico de directividad de una antena en L invertida.

menos son de tal naturaleza que los resultados no son satisfactorios para su utilización en aplicaciones prácticas.

Más interesantes son las experiencias llevadas a cabo por Bion, en las proximidades de Brest, utilizando las antenas indicadas en la figura 11, donde

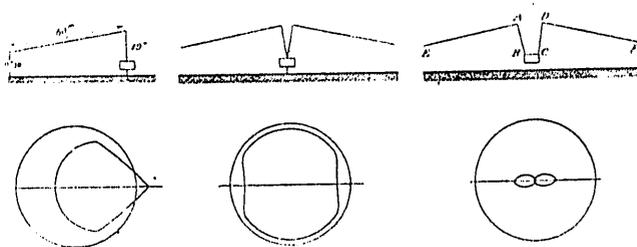


Fig. 11. Diagramas de directividad obtenidos por Bion.

también se representan los resultados obtenidos, comparando los efectos de la emisión dirigida con los de una emisión constante que servía de patrón. La distancia a que se situaba el receptor era, aproximadamente, 20 km. En el caso de la tercera experiencia, mejor que como una antena puede considerarse el dispositivo formado por un cuadro cerrado ABCD y una antena horizontal EABF; el diagrama de directividad realiza la síntesis de los efectos de ambos.

Estas ideas se han llevado a la práctica en el radiofaro de Clèves, que funcionó durante la guerra. El dispositivo de radiación estaba constituido por un sistema de sesenta antenas en rosácea de forma ABC (fig. 12), que se excitaban sucesivamente, emitiendo al mismo tiempo las cifras 1, 2, 3, ..., a partir del azimut Norte. En realidad, las sesenta antenas vibraban siempre, pero la excitación se ve-

rificaba de modo que cada una de ellas estuviera sucesivamente privilegiada; la máxima energía radiada correspondía a su dirección, y el barco deducía el azimut a consecuencia del número que oía con mayor intensidad. Como la separación angular

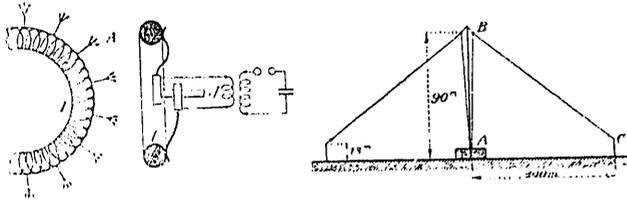


Fig. 12. Antena y disposición de las conexiones del aparato emisor en el radiofaro de Cléves.

de cada dos contiguas era de  $6^\circ$ , la exactitud que podía obtenerse no era muy grande.

**Cuadros.**—Ya vimos que, en cuanto a la recepción, el cuadro era un medio direccional, y lo mismo sucede en cuanto a la emisión, pues fácilmente se comprende que al establecer las ecuaciones de acción a distancia, como el flujo magnético está polarizado en la dirección normal al plano de las espiras, en esta dirección se obtendrá un efecto máximo.

Pueden utilizarse los dos sistemas que consideráramos; es decir, cuadro único giratorio o grandes cuadros fijos; en este segundo caso la bobina interior hace de primario y los cuadros amplifican el efecto de orientación obtenido al girar aquélla.

El inconveniente de estos sistemas reside en la pequeñez de la altura efectiva de los cuadros, por lo que el círculo de acción no puede ser muy extenso. Yo he tenido ocasión de asistir a las experiencias que se realizaban por la «Radiotelegraphie Militaire», en Meudon, utilizando para la emisión un cuadro giratorio cuadrado de 1,50 m de lado, ondas del orden de los 300 m, realizándose la recepción a bordo de un avión que partía de Villecoublay. En momentos determinados se hacían observaciones: a bordo, de la intensidad de recepción; en tierra, de la dirección del cuadro, y, además, se determinaba la situación del aparato para poder comparar los resultados. El sistema fracasó por la causa antedicha, y posteriormente se estudiaba la modificación del dispositivo de emisión con objeto de lograr un aumento de la intensidad en el cuadro, compensando de este modo el efecto de la altura efectiva en el coeficiente de acción a distancia, que, como sabemos, viene definido por el producto  $\lambda I$ .

Otros dispositivos de este tipo (cuadro único giratorio) son: el ideado por Murray y Robinson y el realizado por Engel y Dunmore. En el primero el giro del cuadro va acompañado de una variación uniforme en la longitud de onda emitida, según un ciclo que se completa a cada vuelta; por ejemplo, al pasar por la dirección Norte radia con 1 000 m y va aumentando hasta 2 000 m para la dirección Sur. En la recepción se superpondrán los efectos debidos a estas dos causas: variación de la longitud de onda y giro del haz de energía radiada, obteniéndose dos máximos de audición a cada giro de  $180^\circ$  si el receptor está sintonizado para una longitud de onda comprendida entre 1 000 y 2 000 m. Estos dos máximos serán de distinta intensidad en el caso general, lográndose la identidad únicamente si el circuito receptor está acordado para la onda emitida al paso del plano del cuadro por el punto en que

esté situado aquél (momento de extinción), pues de este modo hay simetría de ambos efectos a partir de esta posición. Por consiguiente, de la medida de esta longitud de onda (fácilmente determinable), por una simple proporción se deduce la orientación. El cuadro gira a una velocidad del orden de una vuelta por segundo, los máximos se perciben casi seguidos, evitándose de este modo las perturbaciones exteriores; pero el dispositivo no ha llegado a cumplir un fin práctico.

El sistema Engel y Dunmore emplea dos cuadros idénticos (de 15 por 37 m) e idénticamente excitados (emisor de oscilaciones amortiguadas 5 kw) que emiten alternativamente una señal determinada (el primero la A y el segundo la T). Para obtener recepciones igualmente intensas de ambas señales será preciso situarse en la bisectriz del ángulo que forman ( $135^\circ$ ), de manera que si hacemos girar el dispositivo tendremos un radiofaro giratorio de tipo análogo a los anteriores. Los ensayos realizados han dado excelentes resultados hasta una distancia de 50 km; para distancias del orden de 20 km una separación angular de  $6^\circ$  con respecto a la bisectriz daba una diferencia de sonido perfectamente apreciable.

Del segundo tipo (grandes cuadros fijos y primario giratorio) se emplearon durante la guerra algunos dispositivos, fundados todos ellos en la posibilidad de deducir la orientación (al ser el giro uniforme) por diferencia temporal entre la recepción de determinadas señales que enviaba el emisor al pasar el primario por las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, y el momento de mínima audición (primario en un plano que contiene al receptor). Pero el sistema era muy poco preciso, pues para la determinación del punto de extinción había que contar con una zona de incertidumbre de unos  $12^\circ$ .

## VI. Dispositivos especialmente estudiados para la concentración de la energía radiada

Del mismo modo que un rayo luminoso se refleja al encontrar en su camino la superficie de un espejo, lo verifica un rayo electromagnético al incidir en una superficie conductora. Por consiguiente, son aplicables a nuestro caso todos los dispositivos de reflexión empleados en óptica.

**Reflectores parabólicos.**—Sugerencia inmediata de la teoría electromagnética de la luz fué el empleo de reflectores parabólicos para la concentración en un haz estrecho de la energía radiada por una antena vertical. Esta se situaba en la línea focal del cilindro, que al principio estaba constituido por una chapa de cobre, en la que se reflejaban las ondas emitidas, continuando luego en direcciones paralelas al plano diametral.

Después el cilindro de superficie continua se sustituyó por una serie de hilos verticales uniformemente espaciados, obteniéndose un efecto idéntico siempre que la separación entre ellos no sea superior a unos 30 cm. De este modo se disminuyó considerablemente el peso del dispositivo, lo que hace posible construir proyectores de mayores dimensiones y su aplicación a los radiofaros de haz giratorio.

Para que la concentración sea eficaz se necesita que las dimensiones del cilindro (altura y abertura) puedan compararse a la longitud de onda. Además, como la onda reflejada se desfasa  $180^\circ$  respecto de

la incidente, para que en la superposición de ambas se sumen aritméticamente los efectos es necesario que la distancia del foco al vértice sea, aproximadamente, igual a la cuarta parte de la longitud de onda. (Esto se ve claramente siguiendo, por ejemplo, el rayo que coincide con la directriz.)

En la figura 14 se indica la curva de directividad de un reflector realizado por *Dunmore* y *Engel* para ondas de 10 m con una abertura de 15 m y altura

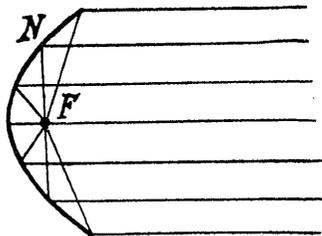


Fig. 13 Reflector parabólico.

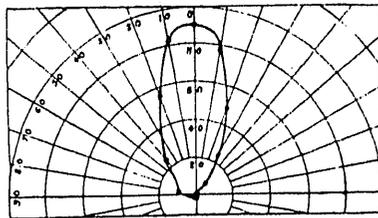


Fig. 14. Diagrama de directividad del reflector parabólico de Dunmore y Engel.

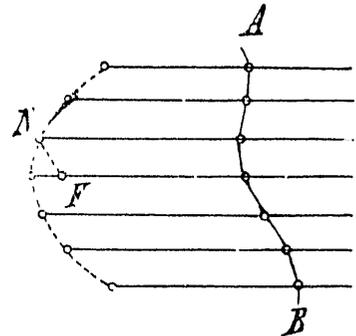


Fig. 15. Antenas múltiples.

deducida prácticamente acordando el dispositivo para la onda de emisión.

En el reflector *Beauvais-Mesny*, que emitía ondas de 3,40 m, estando los hilos separados 15 cm, se ha obtenido una curva de directividad más puntiaguda; el efecto se reduce, para 16° de desviación, a la mitad del máximo, y éste es seis veces mayor que el producido por la emisión sin proyector. La altura de los hilos era de 1,70; es decir, media longitud de onda.

**Antenas múltiples.**—Hemos sustituido el reflector parabólico de superficie continua por un sistema de hilos verticales que excitamos por medio de una antena situada en la línea focal del cilindro; pero podemos prescindir de éste si alimentamos directamente los hilos respetando la diferencia de fase que existía entre las ondas reflejadas por cada uno de ellos. Para que el efecto sea el mismo en el caso de la figura 15, al eliminar la antena excitadora, los hilos restantes han de vibrar con arreglo a la siguiente ley de fases

$$y = 2n \frac{FN}{\lambda}$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda emitida.

Generalizando el procedimiento podemos considerar producido el haz por un sistema de antenas si-

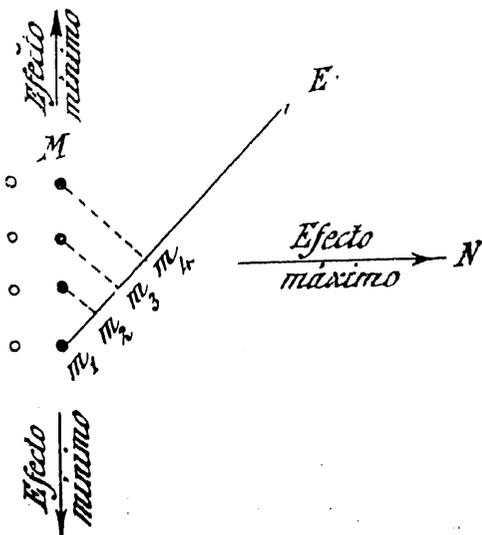


Fig. 16. Antenas múltiples vibrando en fase. Sistema Franklin.

tuadas en puntos de una línea cualquiera *AB* que lo corta (fig. 15), siempre que entre las fases se guarde la ley de prelación conveniente.

El caso más sencillo es el de la recta normal a la dirección del haz, y entonces se obtiene una serie de antenas en el mismo plano vertical y vibrando en fase, sistema *Franklin*. Con objeto de que la

directividad sea unidireccional se añade a la primera serie de antenas otra paralela, de modo que los efectos se suman en un sentido y se restan en el otro, obteniéndose diagramas como el de la figura 17.

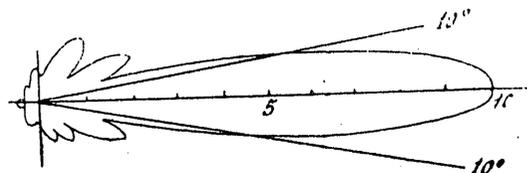


Fig. 17. Diagrama de dirección del radiofaro de South Foreland.

que corresponde al radiofaro de South Foreland, con dos cortinas de ocho antenas espaciadas 2,70 m y emitiendo ondas de 6,09 m; una de las cortinas se alimenta directamente y sirve de excitadora para la otra, siendo la distancia más conveniente entre ellas  $\frac{\lambda}{4}$ .

De un modo rápido y sintético podemos imaginar las propiedades directivas de tal dispositivo, considerando *puntos muy alejados* en direcciones determinadas; para la dirección *E* el decalaje con que llegan las ondas emitidas por las diversas antenas corresponde a las distancias  $m_1 m_2, m_1 m_3, \text{etc.}$ , y éstas toman valores variables desde *cero* para la dirección normal a la alineación *M*, hasta los máximos (distancias entre las diversas antenas) que corresponden al emplazamiento del receptor en dicha alineación. En el primer caso las ondas llegan en fase y se suman (efecto máximo); en el segundo, en oposición y se contrarrestan (efecto mínimo). El papel que desempeña la segunda cortina puede concebirse de idéntica manera.

Otro sistema de antenas múltiples es el imaginado por *Chireix* y que podemos deducir mediante el procedimiento general, en la figura 18, considerando una recta paralela a la dirección del haz y entonces las antenas habrán de excitarse con los desfases correspondientes a las distancias que las separan.

Considerando alineamientos paralelos se robustecen los efectos por superposición y se llega a curvas de directividad teórica como las de la figura 19, deducida por *Chireix* para un sistema de tres corti-

nas separadas  $\frac{2}{3}\lambda$ , constando cada una de cinco antenas espaciadas  $\frac{2}{5}\lambda$ .

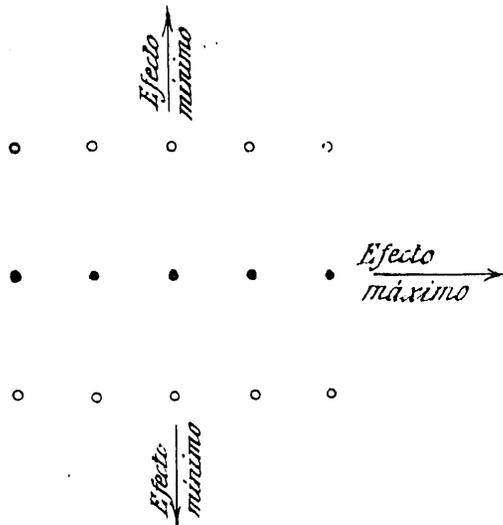


Fig. 18. Antenas múltiples, Sistema Chireix.

La alimentación de las antenas puede llevarse a cabo mediante conductores individuales que parten de un generador común, o bien por medio de un

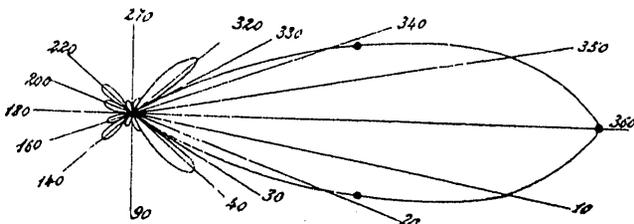
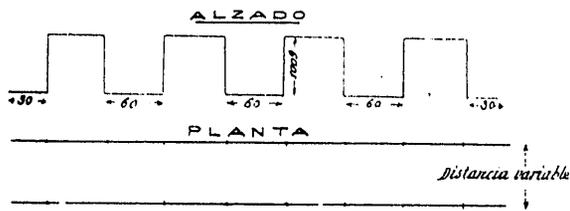


Fig. 19. Diagrama teórico de directividad de una agrupación. Sistema Chireix.

alimentador general que las recorre sucesivamente. Una solución elegante de este segundo procedimiento es la realizada por Mesny, fundiendo felizmente el alimentador horizontal y las antenas verticales en sus antenas de greca (fig. 20). Yo he asistido a las experiencias realizadas por M. Mesny con su sis-



- Acoplamiento del emisor -

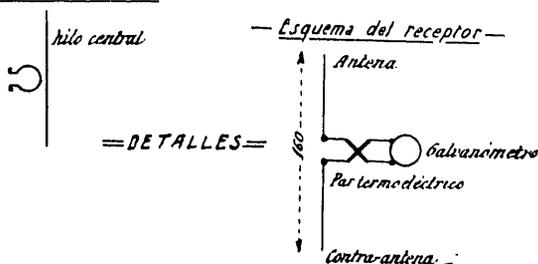


Fig. 20. Antenas de greca. Sistema Mesny.

tema, que estaba formado por dos grecas paralelas, a distancia, pudiendo variar durante la experimentación, constituidas por siete conductores verticales de 1 m de altura unidos por horizontales de 0,60 m.

En los elementos verticales podían intercalarse pequeñas inductancias (aumento de la longitud del hilo) y capacidades, con objeto de variar la distribución de fases, acordando el conjunto para la onda emitida y estudiando en el receptor el efecto obtenido.

Los primeros ensayos se realizaron en Meudon, a distancia relativamente pequeña, unos 50 m. La estación emisora constaba de dos lámparas en montaje simétrico y excitaba la greca posterior por acoplamiento inductivo. El receptor se componía de una antena vertical de tubo, vibrando en semionda, y un par termoelectrico R. M. intercalado en el punto medio en combinación con un galvanómetro Chauvin Arnoux.

La longitud de onda que se emitía era

$$2 \times (1 + 0,00) = 3,20 \text{ m}$$

y variando la distancia entre las grecas y los condensadores e inductancias intercalados, se llegó a obtener un máximo relativo en el receptor. Desplazando éste en una circunferencia alrededor del emisor se pudo levantar la curva de directividad que es la que se indica en la figura.

Los ensayos que más tarde se verificaron en Brest, situando el emisor en tierra y recibiendo en un barco que se movía en arco de circunferencia, no suministraron datos de utilidad, debido, sin duda, a las malas condiciones del emplazamiento, muy próximo al cual existía una red de hilos metálicos para separación de una finca.

Comparando los diferentes sistemas empleados para la concentración de la energía vemos que la desviación necesaria para obtener un efecto equivalente a la mitad del máximo (lo que nos mide su directividad) es

Reflector parabólico.....	16°
Antenas múltiples sistema Chireix.....	18°
Antenas múltiples sistema Franklin....	10°
Antenas de greca, sistema Mesny.....	8°

En uno de los próximos artículos, al ocuparme de los radiofaros ingleses, detallaré los dispositivos realizados en los de Inchkeith y South Foreland, que son del tipo reflector parabólico y Franklin, respectivamente.

Carlos FERNÁNDEZ CASADO  
Ingeniero de Caminos, de Telecomunicación  
y de Radio E. S. E., de París

BIBLIOGRAFIA

R. MESNY: *Usage des cadres et radiogoniométrie.*  
R. MESNY: *Les ondes électriques courtes.*  
VIRILLARD: *Des antennes de T. S. F.*

ARTICULOS DE REVISTAS

MURRAY y ROBINSON: «Emisión de ondas electromagnéticas dirigidas para las necesidades de la navegación».—*Journal Inst. El. Ing.* Marzo de 1922.  
ENGEL y DUNMORE: «Un tipo de radiofaro dirigido y sus aplicaciones a la navegación».—*Scientific Papers Bureau Standards.* 5 de enero de 1924.  
CHIREIX: «Emissions sur ondes courtes par antennes dirigées».—*Radio-electricité.* Julio de 1924.  
«Beam direction finding».—*Electricien.* 11 de septiembre de 1925.  
FRANKLIN: «Radiotelegrafía dirigida en ondas cortas».—*J. I. E. E.* Julio de 1922.  
«Les ondes courtes dirigées et ses applications».—*Génie Civil.* 11 de junio de 1925.  
METZ: «Les ondes courtes».—*Revue Scientifique.* 1926.