Ing. Julio del Río B.

Sistemas de radiocomunicaciones por relevos sucesivos y sus posibilidades en Chile (*)

El objeto de la presente charla es dar a conocer las posibilidades que tienen en el país los sistemas de comunicaciones múltiples empleando frecuencias ultra-elevadas, llamados radio-links o comunicaciones por relevos sucesivos, y dar a conocer también las experiencias que se han hecho ya en el sentido de poder establecer comunicaciones entre Santiago y Valparaíso y entre Santiago y San Antonio en esta banda de frecuencias sin necesidad de usar retransmisiones intermedias a pesar de los muchos cerros que existen entre estas ciudades.

Las ondas ultracortas se propagan en línea recta no siguiendo la curvatura de la tierra, pero hay siempre que tomar en cuenta fenómenos de refracción en la atmósfera y fenómenos de difracción, los que permiten comunicación segura más allá de los límites de visión directa. Afortunadamente todos estos fenómenos son bien conocidos hoy día y podemos predecir exactamente las condiciones de propagación para cada caso determinado, igualmente que podemos estudiar cuáles son las ubicaciones más favorables de los transmisores y receptores y las frecuencias más convenientes a usar en cada caso.

Empleando el método de retransmisiones sucesivas es posible lograr comunicaciones seguras en todas condiciones de tiempo y en cualquiera época del año u hora del día, entre dos puntos distintos, con costos de instalación mucho más bajos en muchos casos que el costo de un cable telefónico y permite, al igual que el cable, hacer servicio de muchas conversaciones telefónicas, telegráficas o de teleprint simultáneamente y en ambos sentidos.

Sobre que es lo que resulta más económico, si el cable con todo el costo de postación, instalaciones adicionales, etc., o el sistema de ondas ultracortas, dependerá del número de conversaciones simultáneas que se desee mantener, de las distancias y de la topología del terreno. A veces resulta más conveniente la línea telefónica y otras el radio-link. En el caso de la zona central de Chile,

---

(*) Resumen de la conferencia dictada en el Laboratorio de Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile.

cuando no se necesita un gran número de conversaciones simultáneas, digamos 20 o menos y sabiendo aprovechar la ubicación de ciertos cerros y escogiendo la frecuencia se puede llegar a soluciones muy económicas y 100% seguras haciendo uso de las ondas ultracortas. Será entonces nuestro objeto dar a conocer en forma recopilada los datos que han sido publicados diseminadamente en distintos libros y revistas sobre las condiciones de propagación más convenientes. Es interesante, antes de seguir adelante, hacer una pequeña reseña histórica sobre la comunicación mediante relevos (radio-links) para poder entender así mejor el estado moderno de este arte.

Una de las primeras comunicaciones empleando relevos sucesivos fué hecha por la RCA en 1923, pero empleando en aquella época frecuencias mucho más bajas. La estación mencionada estaba en Belfast, Maine, y su objeto era interceptar las transmisiones telegráficas transoceánicas en onda larga en un lugar en donde la recepción direccional reduciría la interferencia de las tempestades eléctricas de verano y retransmitir estas señales en otra frecuencia a la estación receptora de Riverhead en Nueva York.

Posteriormente en 1924 también se usó en Belfast otra estación retransmisora con el objeto de retransmitir programas de broadcasting y se usó la frecuencia de 3 megaciclos y una potencia de 250 Watts.

Posteriormente, tanto en América como en Europa se usó el sistema de retransmisiones en gran escala y con muchos objetos diversos. En muchas de estas instalaciones se usó también frecuencias ultraelevadas, pero sólo con carácter experimental. Sólo después de 1931 se han comenzado a usar las retransmisiones con motivos comerciales y así tenemos instalaciones hechas en 1932 por General Electric, Westinghouse, Laboratorios Bell y RCA. Hoy en día su uso se ha generalizado enormemente tanto en pequeñas como en grandes instalaciones.

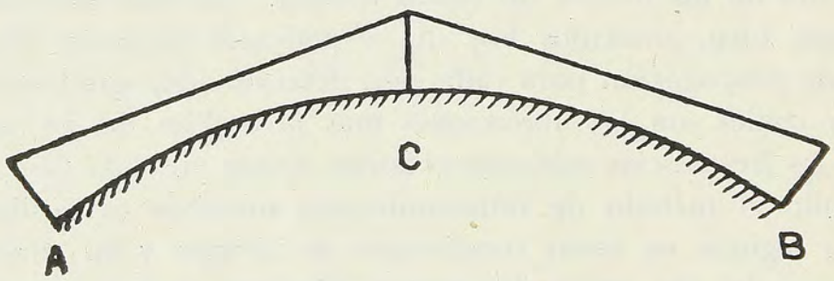


FIG. 1

Básicamente la transmisión por relevos sucesivos consiste en hacer uso de la propiedad que tiene la onda electro-magnética de frecuencia ultraelevada de propagarse en línea recta. En el caso de la fig. 1, para tener comunicación entre punto A y punto B es necesario colocar un transmisor en A, colocar un receptor en C, retransmitir en C lo captado por ese receptor y colocar otro receptor en B. En esta forma es posible tener comunicación entre A y B con las siguientes ventajas: Como se emplean ondas ultraelevadas es posible colocar una gran cantidad de conversaciones simultáneas en ambos sentidos, em-

pleando equipos transmisores de muy baja potencia; también como el alcance de estas ondas es limitado, es posible emplear un gran número de estaciones transmisoras usando la misma frecuencia sin que se interfieran debiendo tomar como única precaución el que estén algo distantes entre sí. De más está decir que como las dimensiones físicas de las antenas a estas frecuencias elevadas son pequeñas, podemos emplear antenas de alta direccionabilidad, lo que contribuye aún más a reducir la potencia. Es realmente sorprendente observar que en un sistema de relevos convenientemente bien diseñados y operando en frecuencias superiores a 500 megaciclos, es posible que se necesite mucha menos amplificación y potencia para un caso dado, que usando un cable co-axial para igual distancia.

Otra ventaja del empleo de las ondas ultracortas es que sus variaciones de propagación de una estación a la otra del año se pueden predecir con bastante precisión. Como ya habíamos dicho anteriormente, si bien es cierto que estas ondas se propagan en línea recta, también es cierto que algo se difracta en la curvatura de la tierra, pudiendo llegar un poco más allá del horizonte.

Como el índice de refracción de la atmósfera no es constante debido a que la cantidad de vapor de agua varía con la altura, también existe un fenómeno de refracción el que nos permite llegar también un poco más lejos que el horizonte.

La presencia de un cerro es cierto que es un obstáculo para la propagación de una onda, pero el fenómeno de difracción producido por el efecto de filo de cuchilla del mismo nos permite tener comunicación entre dos puntos separados por él.

Si queremos hacer un cálculo de la intensidad con que recibiremos una transmisión dada, el método a seguir será el siguiente. Se calculará la intensidad del campo recibido supuesto de que la propagación se hace en el espacio libre sin obstáculo de ninguna especie, luego se calculan y se van agregando las pérdidas producidas por la curvatura de la tierra u otros obstáculos que haya en el camino.

Describiremos entonces primeramente cada uno de estos pasos separadamente, y expresaremos todas las pérdidas en decibeles, de modo que podamos restarlas y obtener el resultado final. Todos los cálculos los reduciremos a gráficos, los que dan aproximación más que suficiente para los fines del caso. El gráfico Nº 1 nos da la intensidad del campo en decibeles sobre un microvolt por metro en el espacio libre y para varias distancias. Este gráfico está hecho a base de un watt de energía radiada y empleando una antena Dipolo sencilla. Por ejemplo, en el espacio libre a una distancia de 14 millas, la intensidad de campo es 50 decibeles sobre un microvolt por metro. La escala del lado derecho indica el máximo de potencia que puede ser captada por otro dipolo usado como receptor. En nuestro ejemplo usando la frecuencia de 100 megaciclos, la intensidad de campo sería de 50 decibeles sobre un microvolt por metro y la potencia captada en el receptor serían 95 decibeles debajo de un watt. Si en el caso práctico se usa más de un watt de potencia en el transmisor, habría que

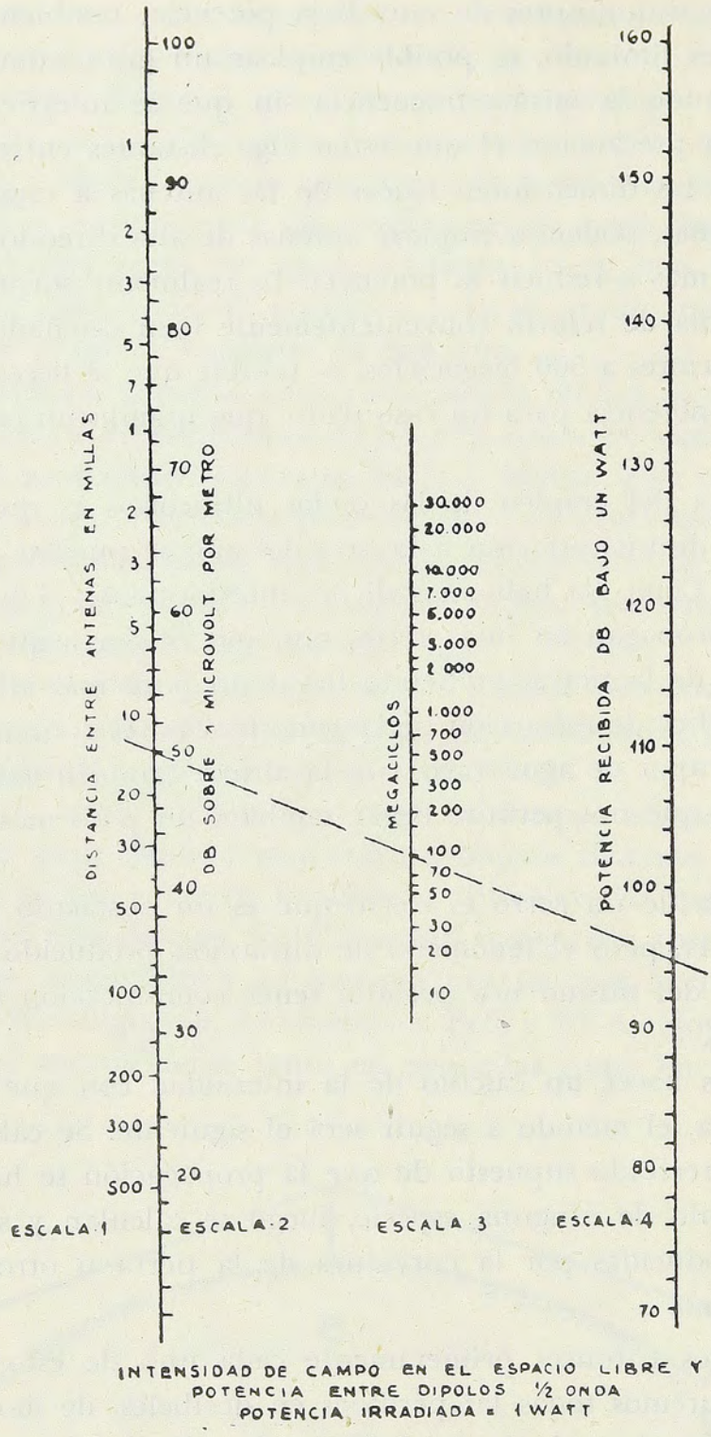


Gráfico N.º 1

corregir el resultado que nos da el gráfico que es para un watt por el factor correspondiente. Este gráfico es muy útil para su uso en las frecuencias muy elevadas; pero, para frecuencias ultraelevadas, el gráfico segundo es más conveniente, en donde hace mención al área efectiva de antena. Las pérdidas que se indican aquí son las que hay que esperar en la mayor parte del tiempo cuando hay una buena línea de visibilidad entre el transmisor y el receptor. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que un fading de varios decibeles hacia arriba y de unos 15 decibeles hacia abajo puede esperarse por cortos períodos de tiempo. El paso siguiente es considerar el efecto de una tierra per-

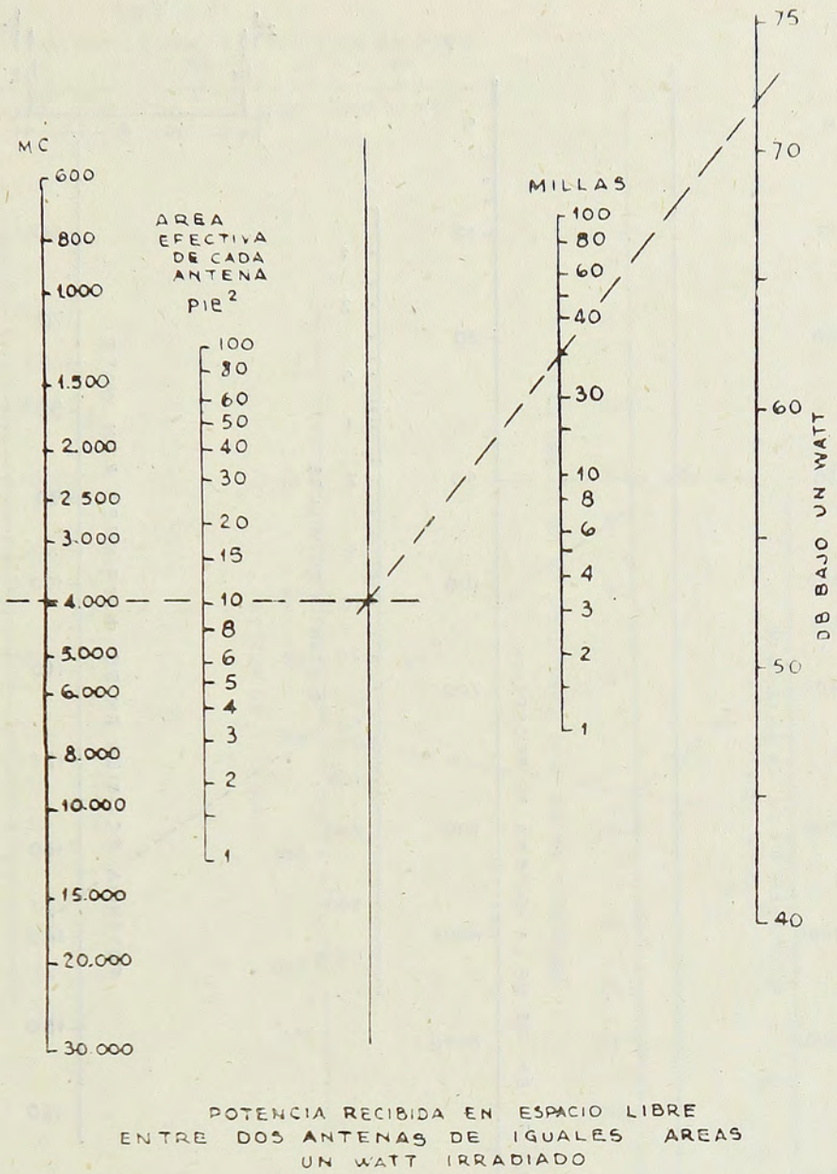


Gráfico N.º 2

fectamente plana. En este caso tendremos que considerar el efecto de la onda reflejada en la tierra como se indica en la figura 2. La onda recibida es la in-

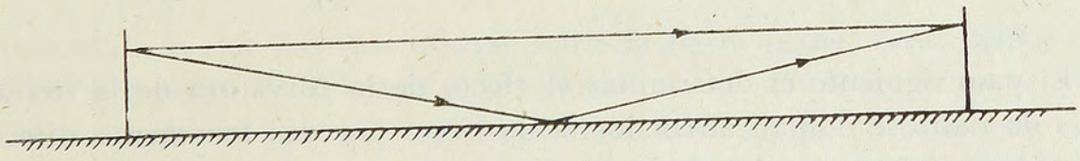
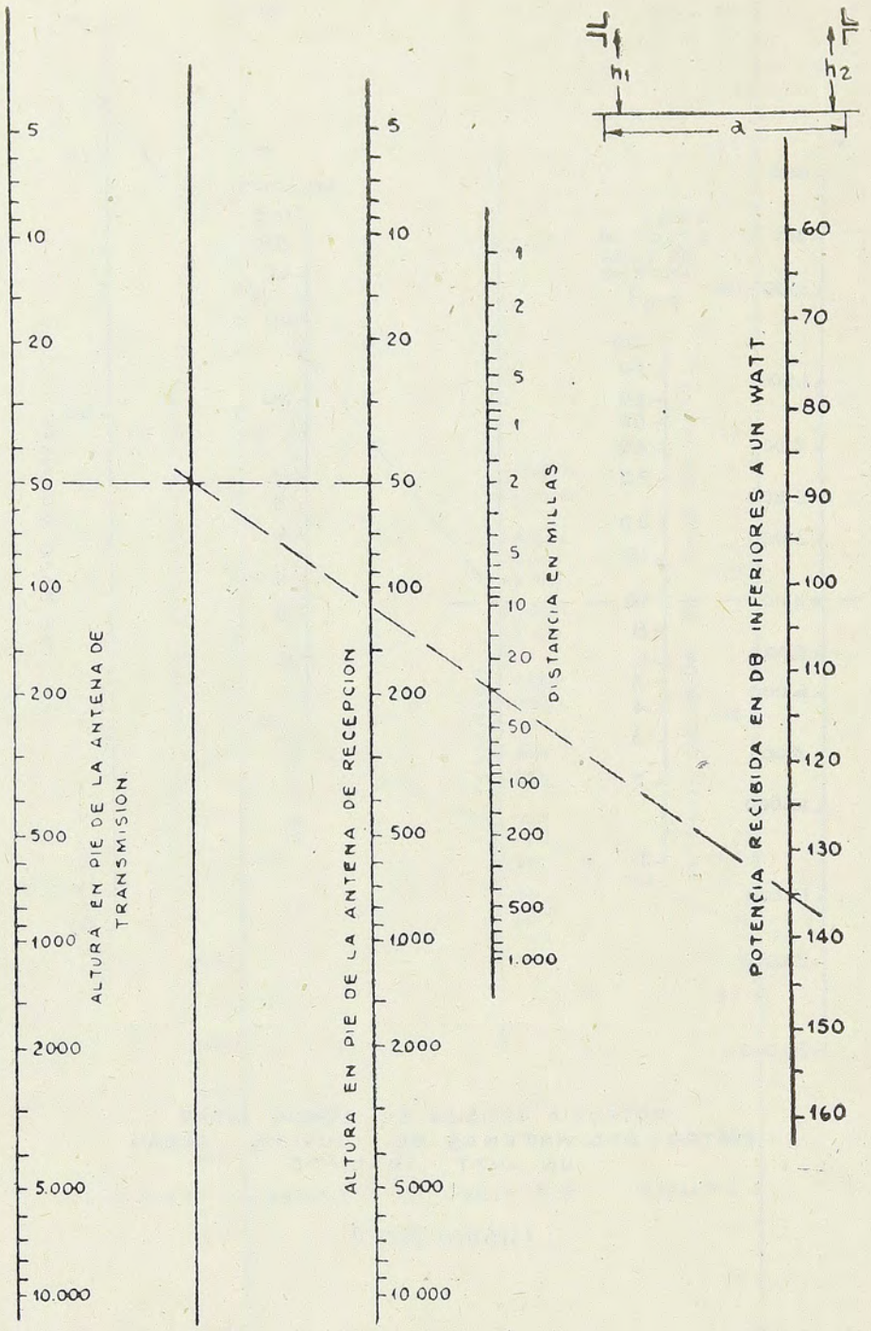


FIG. 2

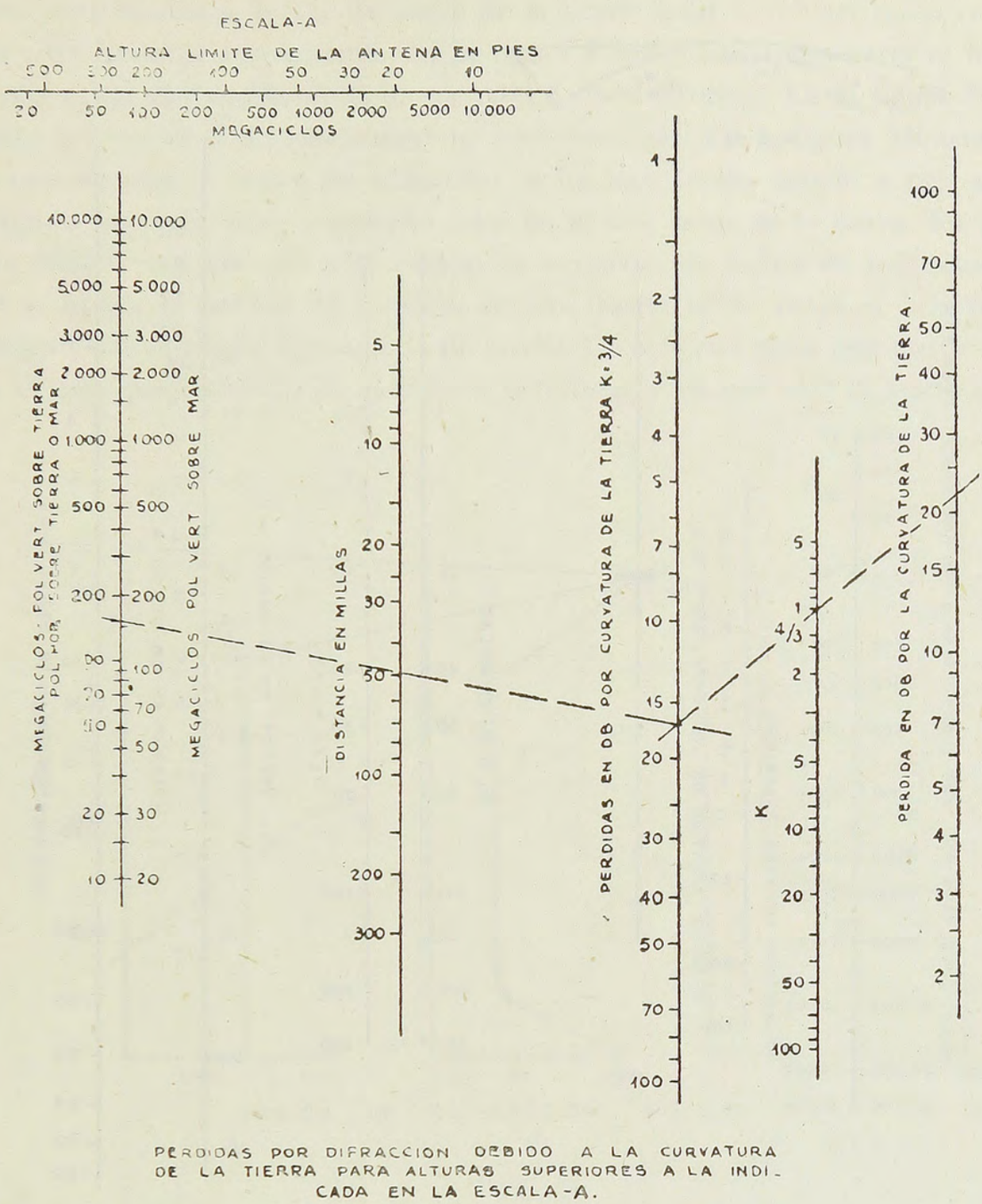
terferencia entonces de la onda directa y de la reflejada en la tierra. En esta base nuestro paso siguiente es referirnos al gráfico 3 que nos muestra la pérdida de potencia entre 2 dipolos a determinada altura sobre la tierra.



POTENCIA RECIBIDA SOBRE TIERRA PLANA ENTRE DOS DIPOLOS.-

Gráfico N.º 3

El paso siguiente es determinar el efecto de la curvatura de la tierra. Las ondas de radio se doblan alrededor de la tierra por dos fenómenos diferentes: difracción y refracción. La difracción es un fenómeno característico de todos los fenómenos ondulatorios y ellos se presentarían aun en el caso de que no hubiese atmósfera sino que vacío. El gráfico Nº 4 muestra los efectos de pérdida por difracción debido a la curvatura de tierra y son válidos tan sólo si la altura de la antena es suficientemente alta, digamos 20 o 40 longitudes de onda sobre la tierra. Por ejemplo, las pérdidas por difracción a 150 megaciclos y a distancia de 50 millas es de 52 decibeles. Evidentemente esta pérdida tenemos



PERDIDAS POR DIFRACCION DEBIDO A LA CURVATURA DE LA TIERRA PARA ALTURAS SUPERIORES A LA INDICADA EN LA ESCALA-A.

Gráfico N.º 4

que sumarla a la que hay que esperar sobre la tierra plana. Aquí hemos introducido el parámetro K, que es el que toma en cuenta el efecto de refracción en la atmósfera que veremos más adelante. Cuando la altura de la antena es mayor que 30 a 40 longitudes de onda, el efecto de la curvatura de tierra debe obtenerse del gráfico Nº 5. Aquí obtenemos las pérdidas para una superficie esférica sobre la del espacio libre en función de las 3 distancias:

D_1 es la distancia desde la antena más baja hasta el horizonte.
D_2 es la distancia del horizonte hasta la antena más alta, y
D_3 es la distancia más allá de la línea de visión directa.

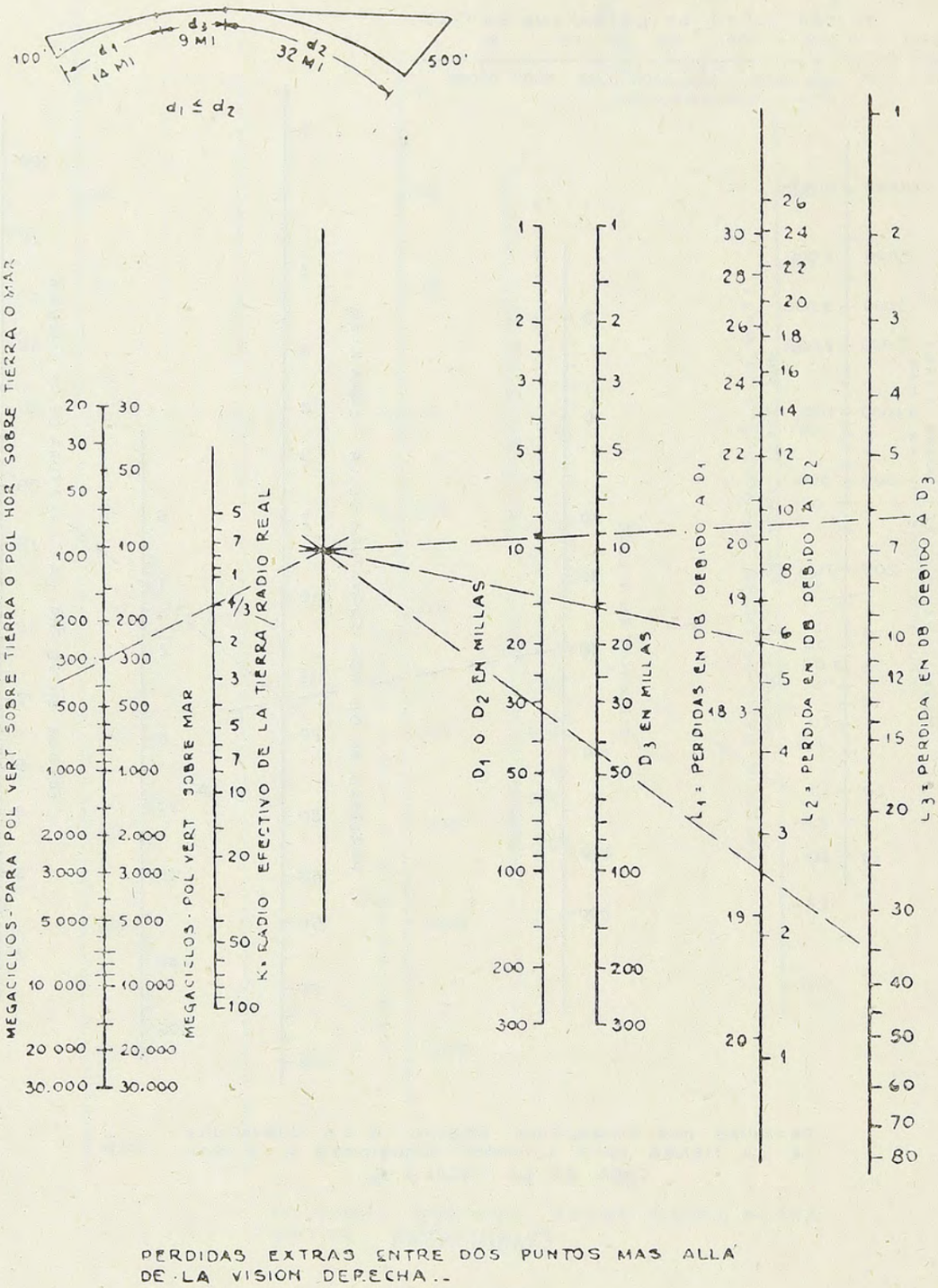


Gráfico N.º 5

La pérdida de transmisión debida a la refracción en la atmósfera varía mucho según las condiciones atmosféricas. Estas pérdidas las hemos incluído ya en los gráficos anteriores mediante el parámetro K que indica la relación entre el radio efectivo de la tierra y el radio real. Efectivamente como el índice de refracción de la atmósfera varía con la altura debido al cambio de humedad, es fácil esperar que las ondas se refracten hacia la tierra llegando más allá del horizonte. Esto equivale a como si el radio de la tierra hubiese aumentado para los fines prácticos. En la mayoría de los casos salvo para condiciones de

clima muy extremas, tomar un radio de la tierra igual a 4/3 del radio real es una cifra bastante conveniente. En la figura 3 indicamos cómo varía el índice de refracción en función de la altura para 3 casos distintos. En la figura 3A tenemos el caso ideal de una atmósfera bien mezclada. En la figura 3B tenemos un caso en que el índice de refracción se ha modificado debido a que se ha agregado vapor de agua y quitado calor en el aire cerca de la tierra. En la figura 3C tenemos un caso muy común de variación de índice de refracción en que se indica el cambio de 2 masas de aire donde la de abajo es más fría y contiene más vapor de agua que la de arriba. De más está decir que puede suceder el caso que las masas de aire estén invertidas y en este caso el efecto de la

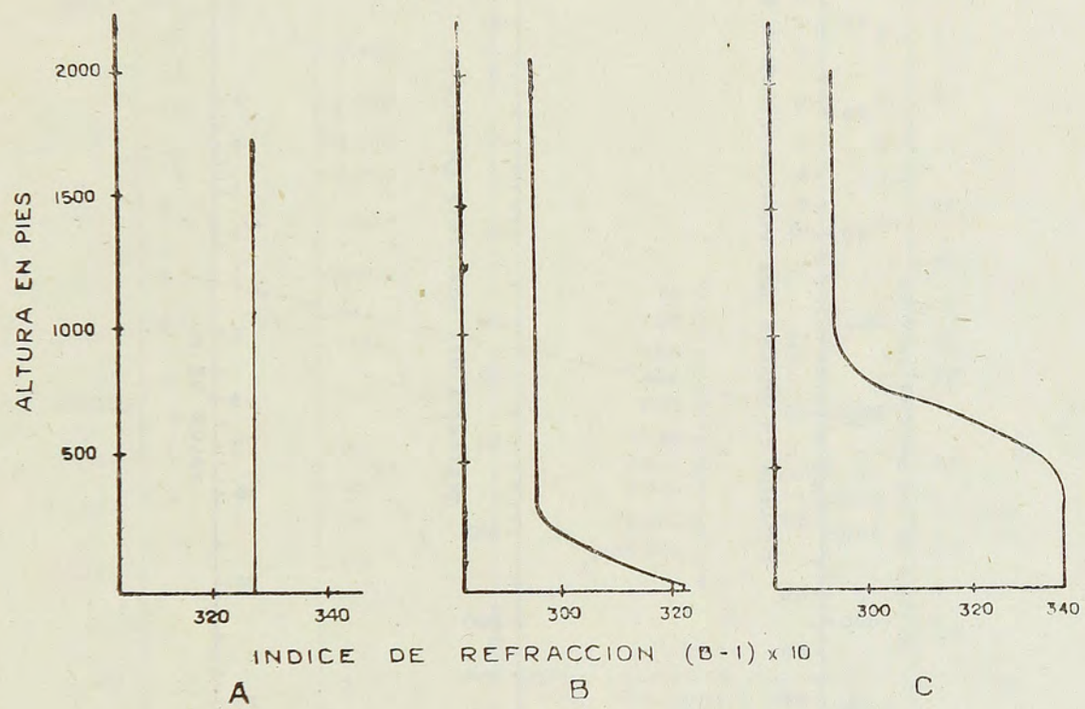


FIG. 3

refracción será de alejar la onda de la tierra en vez de acercarla hacia ella. Afortunadamente esto se presenta pocas veces. El gráfico 6 nos da el valor de K para varios casos.

Pasaremos ahora a considerar el efecto de los cerros el que se indica en el gráfico 7, cuyo uso se explica por sí solo. El gráfico 8 nos da la información para calcular el efecto de cerros más anchos.

Un caso que es bien interesante recordar aquí es que la teoría concuerde con la práctica dentro de límites bastante razonables. Corporación de Radio de Chile efectuó muchas experiencias durante el verano de 1950 entre cerros colocados en Santiago y en las proximidades de Valparaíso y los resultados

prácticos no tuvieron más errores que los calculados por los métodos aquí mencionados, mayores de 1 ½ decibeles.

El empleo de comunicaciones en ultrafrecuencias se ha extendido mucho hoy en el mundo, tanto para usos militares como para usos civiles, y por eso es

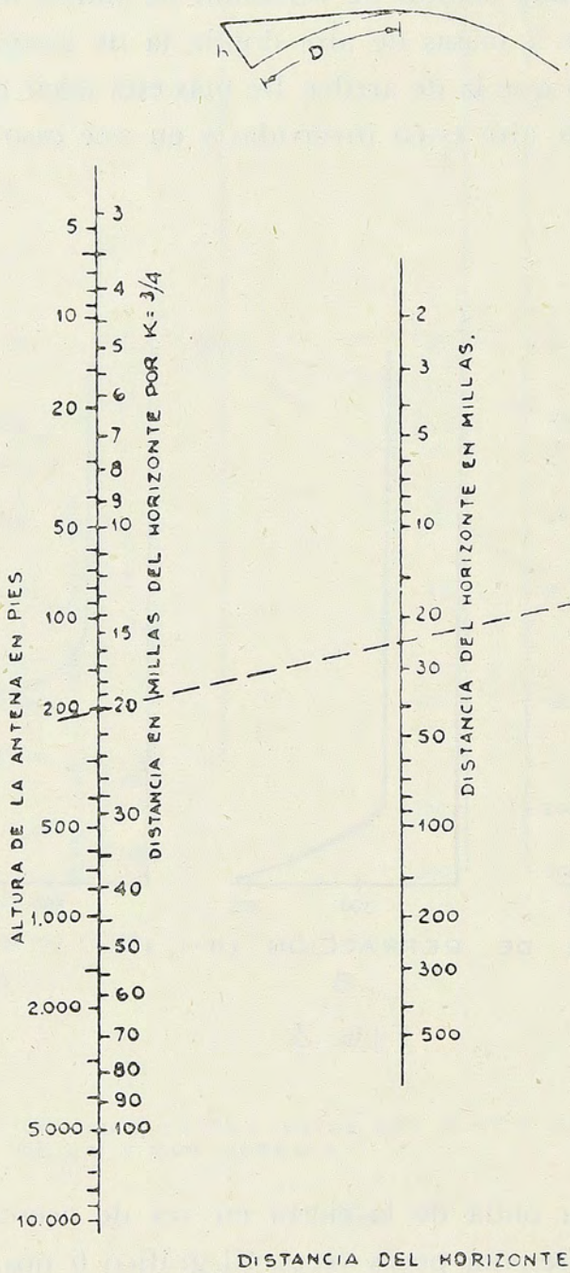
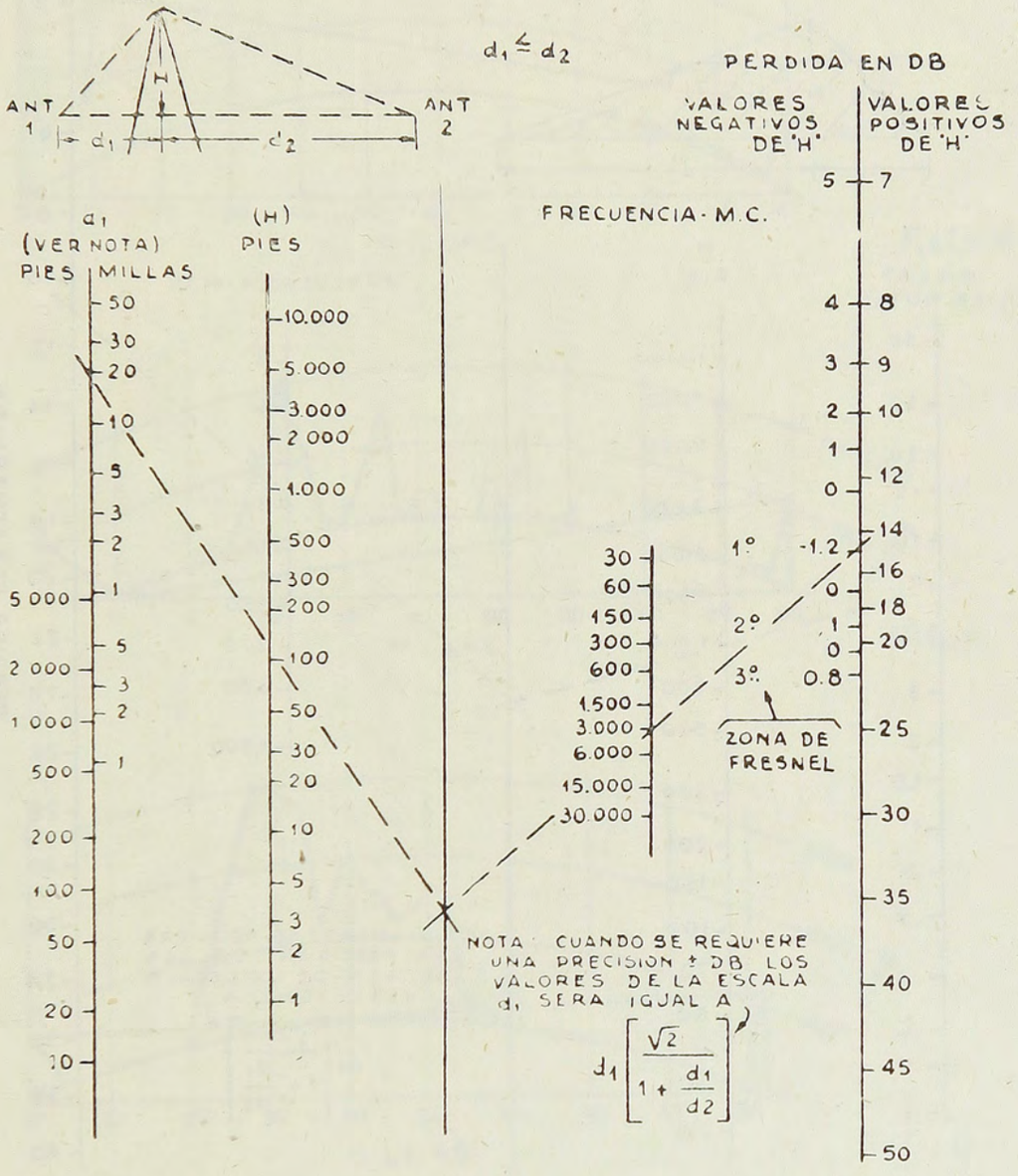


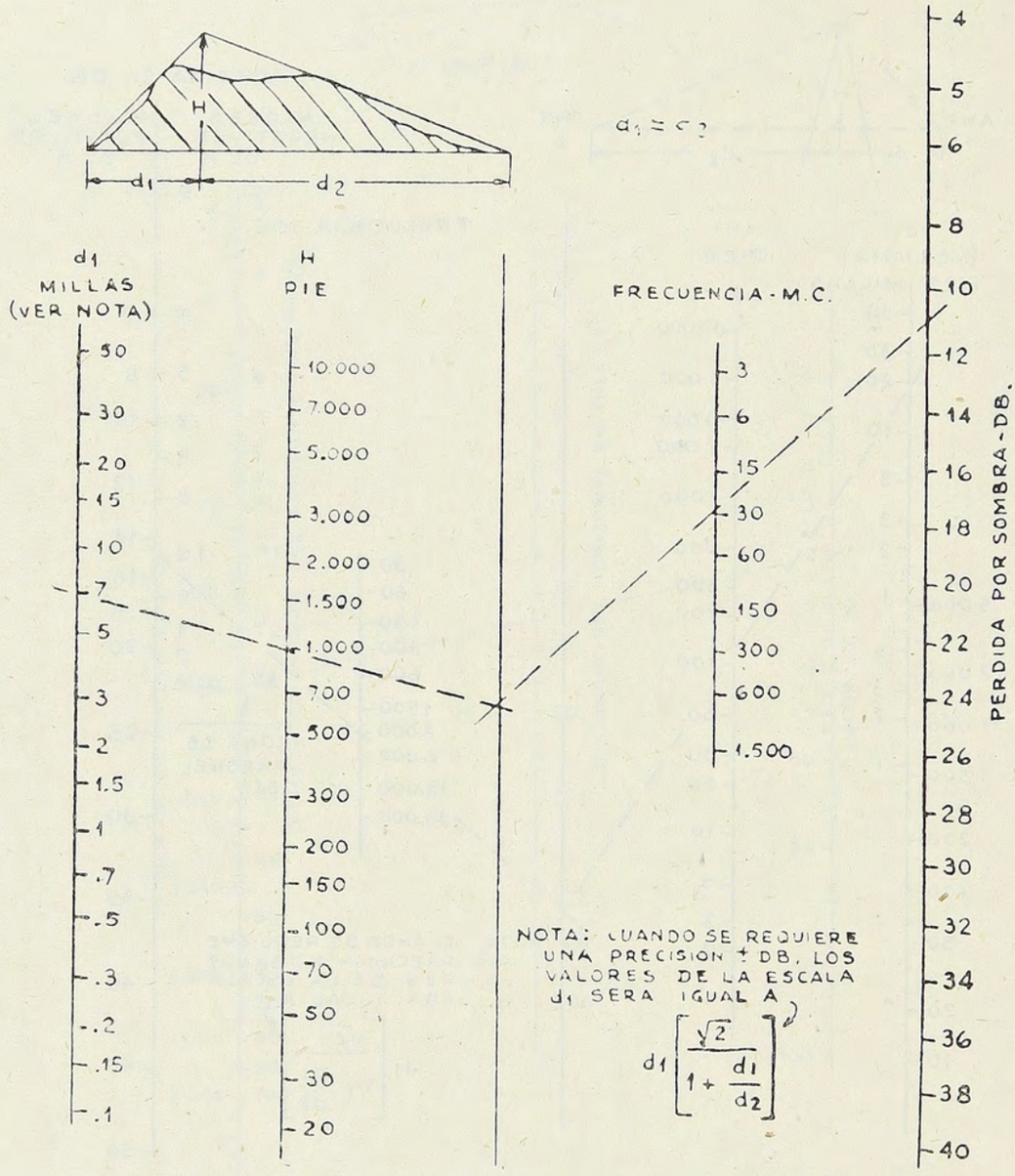
Gráfico N.º 6

que estimamos que en Chile este sistema de comunicaciones tiene un porvenir bastante grande, puesto que tender postación telefónica a muchos kilómetros de distancia para algunas pocas conversaciones telefónicas, esto resulta perfectamente anticomercial, y en cambio el uso de estas frecuencias elevadas permite



PERDIDA POR SOMBRA EN RELACION AL ESPACIO LIBRE.

Gráfico N.º 7



PERDIDA POR SOMBRA EN RELACION A LA TIERRA PLANA.

Gráfico N.º 8

resolver el problema en forma económica en muchos de los casos. En las figuras 4, 5 y 6 reproducimos los perfiles de algunos de los tramos con que cuenta una red de comunicaciones, empleando este principio que existe en la provincia canadiense de British Columbia, en donde la topografía del terreno se

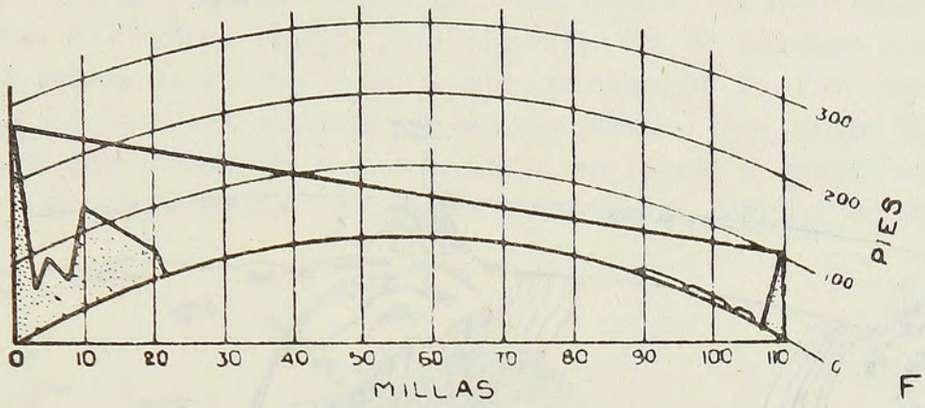


FIG. 4

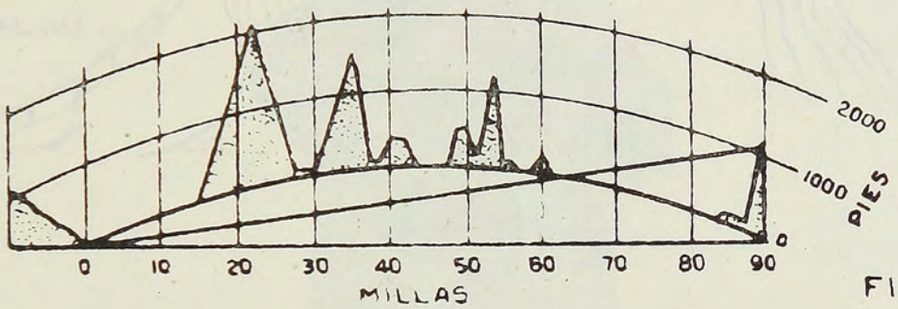


FIG. 5

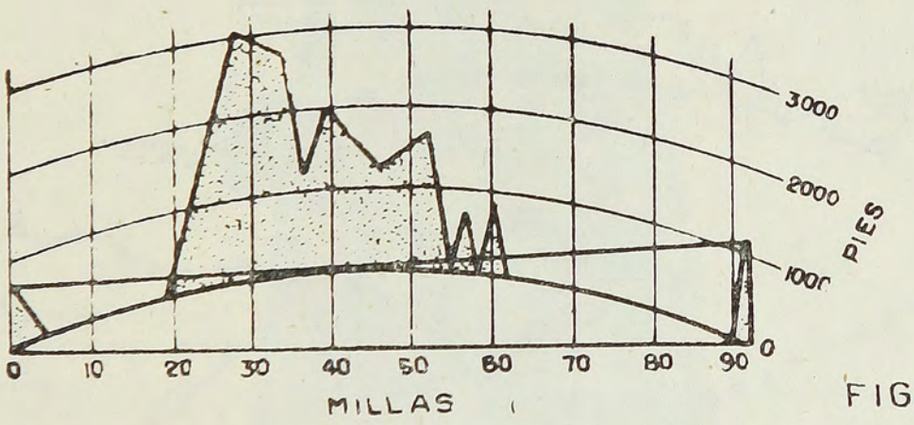
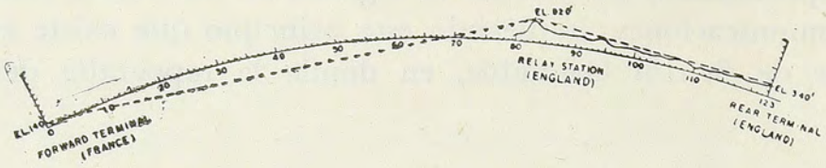


FIG. 6

parece mucho a la de algunas regiones de nuestro país. En las figuras 7 tenemos la condición que existe en instalaciones hechas por el Ejército Americano en Sicilia y en la figura 8 algunas empleadas durante la guerra pasada para comunicarse entre Inglaterra y Francia a través del Canal. Como se ve, estos equipos, por lo económico y liviano, ofrecen grandes posibilidades también para instalaciones profesionales, pero evidentemente está que no pretendemos afirmar que ellos resuelvan todos los problemas en el campo de las comunicaciones, puesto que cuando el número de conversaciones es grande y hay tam-


EL 820'
RELAY STATION (ENGLAND)
EL 340'
REAR TERMINAL (ENGLAND)
EL 140'
FORWARD TERMINAL (FRANCE)

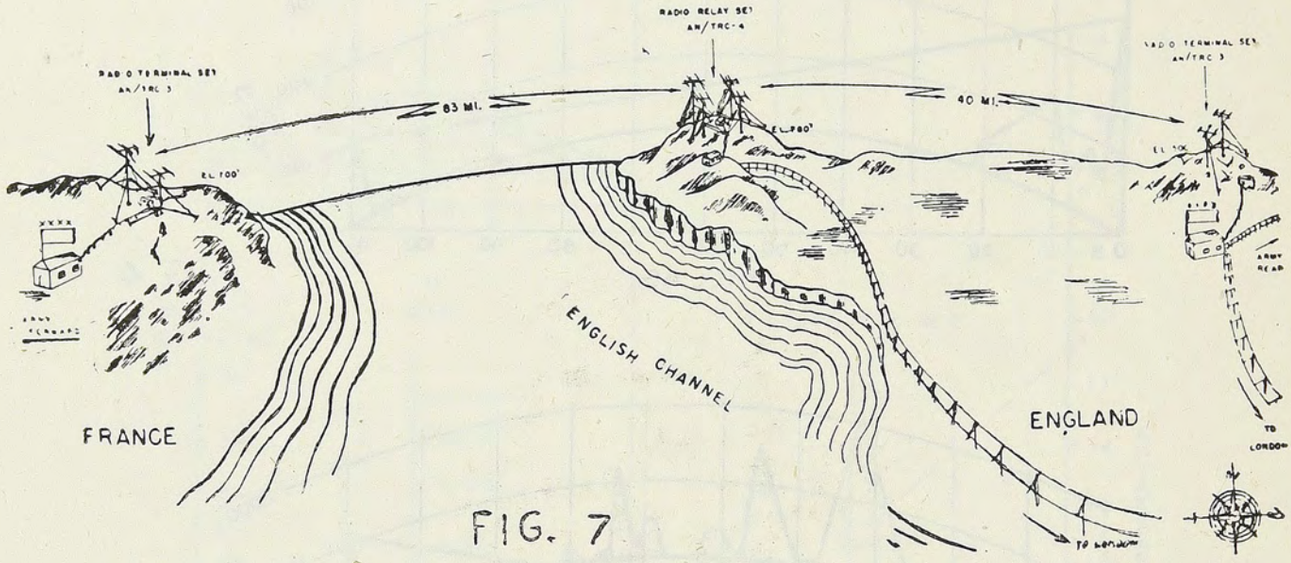

RADIO RELAY SET AN/TRC-4
RADIO TERMINAL SET AN/TRC 3
83 MI.
40 MI.
EL 100'
EL 780'
ENGLISH CHANNEL
FRANCE
ENGLAND
TO LONDON

FIG. 7

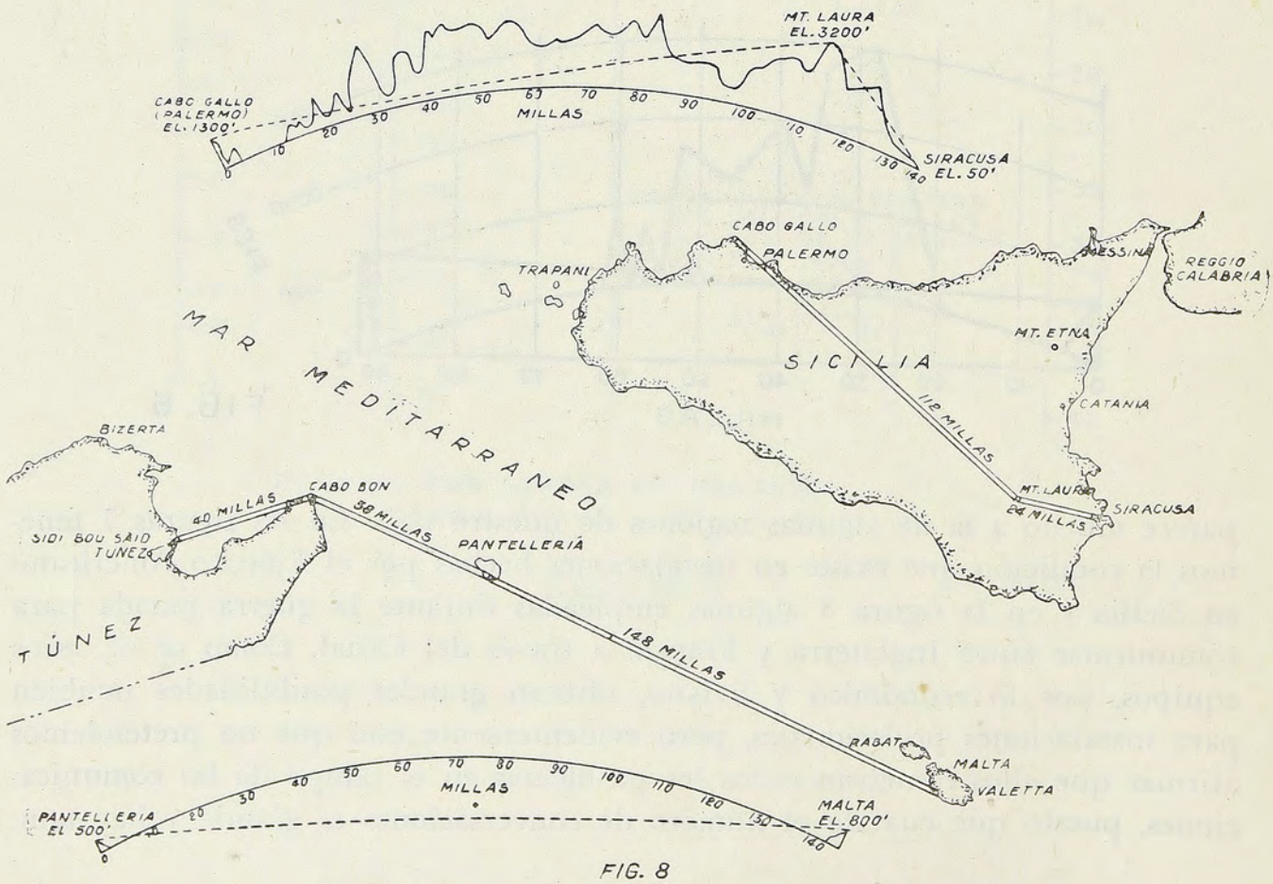

MT. LAURA EL. 3200'
CABO GALLO (PALERMO) EL. 1300'
MILLAS
SIRACUSA EL. 50'
CABO GALLO
PALERMO
TRAPANI
MESSINA
REGGIO CALABRIA
MT. ETNA
SICILIA
CATANIA
118 MILLAS
MAR MEDITARRANEO
BIZERTA
40 MILLAS
CABO BON
38 MILLAS
PANTELLERIÁ
SIDI BOU SAID
TUNEZ
TÚNEZ
64 MILLAS
148 MILLAS
RABAT
MALTA
VALETTA
MILLAS
PANTELLERIA EL 500'
MALTA EL. 800'

FIG. 8

bién gran tráfico entre puntos intermedios, el cable telefónico es y seguirá siendo una solución ideal.

Es interesante finalmente, hacer notar el aspecto físico que toman algunas de estas instalaciones. Como las frecuencias usadas son muy altas las antenas resultan bastante pequeñas y muchas veces cuando las frecuencias son demasiado altas se emplean espejos parabólicos en vez de antenas, con lo cual se obtienen ganancias mucho mayores aun pudiéndose emplear potencias muy bajas. En las figuras 9, tenemos un aspecto práctico que toman las torres empleadas en este sistema de comunicaciones, en donde se puede ver una torre con sus antenas formadas por espejos parabólicos. Algunas de estas antenas

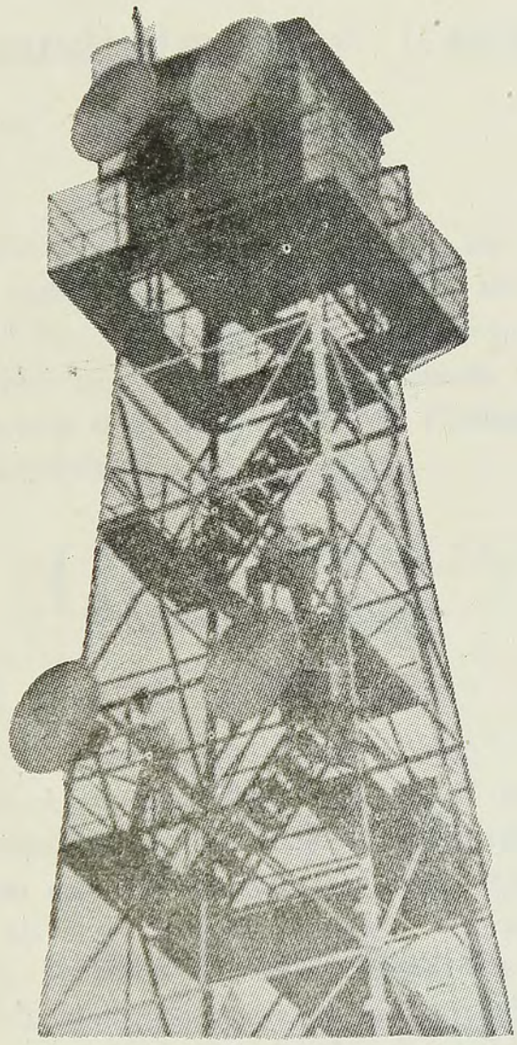


Fig. 9

se usan para recibir la señal de otra torre colocada más lejos y otras para retransmitir la misma señal a la torre siguiente. Estas instalaciones son completamente automáticas no necesitando operadores y permanecen encendidas día y noche. Algunas de ellas, las más comunes, emplean energía de la red de alimentación de corriente industrial cuando existe alguna línea de alimentación cercana al punto donde está la torre. Muchas de estas instalaciones se alimentan

de baterías las que se cargan automáticamente con generadores accionados por molinos de viento, evidentemente éste funcionará sólo cuando el clima de la región lo permita.

Finalizando tenemos entonces que por las pruebas efectuadas en nuestro país y por los resultados que están teniendo estos sistemas en otras partes, podemos asegurarle un porvenir bastante interesante en un futuro próximo.

J. DEL R. B.