

Experimento de sondeo ionosférico en el trayecto Santiago de Cuba - La Habana

LOURDES PALACIO SUÁREZ y BERTA MELÉNDEZ

RESUMEN

Se analiza la influencia que ejerce la capa E esporádica de la ionosfera en la propagación de las ondas cortas de radio, a partir de los datos del experimento de sondeo inclinado y sondeo vertical de la ionosfera en el trayecto Santiago de Cuba - La Habana. Se describe este experimento y se exponen los principales resultados obtenidos acerca de los modos de propagación y la amplitud y desvanecimiento de las señales recibidas. Se presenta la valoración experimental realizada del coeficiente de conversión M . Se confirma la efectividad de la propagación a través de la capa Es en Cuba.

1. INTRODUCCIÓN

La capa E esporádica de la ionosfera ejerce una gran influencia en la propagación de las ondas de radio en una amplia gama de frecuencias (de 10 a 100 MHz) y a distancias inferiores a los 2 000 km, fundamentalmente. Esta influencia tiene, además, un doble carácter, ya que la capa Es puede garantizar la propagación inclinada de las señales con una intensidad bastante alta al actuar como capa reflectora, y puede ser una importante fuente de interferencia en la mencionada banda al apantallar parcialmente las capas regulares de la ionosfera y debilitar grandemente las señales que se reflejan desde las mismas.

Con el objetivo de conocer las particularidades de la propagación de las ondas de radio a través de esta capa en Cuba, se desarrolló en el verano de 1984 un experimento de sondeo inclinado de la ionosfera en el trayecto Santiago de Cuba - La Habana, con sondeo vertical ionosférico en el centro del mismo.

En este trabajo se describe el mencionado experimento y se exponen los principales resultados obtenidos del análisis de los modos

Manuscrito aprobado el 9 de junio de 1986.

L. Palacio y B. Meléndez pertenecen al Instituto de Geofísica y Astronomía, de la Academia de Ciencias de Cuba.

de propagación presentes y de la amplitud y el desvanecimiento de las señales recibidas, así como la valoración realizada del coeficiente de conversión M . Estos resultados son de interés para conocer mejor el comportamiento de la capa Es en nuestra región y para aplicarlos en la práctica de las radiocomunicaciones.

2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO SANTIAGO DE CUBA - LA HABANA

El trayecto Santiago de Cuba - La Habana es una importante línea interna de radiocomunicación del país, cuya longitud es de 800 km. Para estudiar la influencia de la capa Es en este trayecto fue diseñado este experimento, consistente en la recepción de ondas de radio en Ciudad de La Habana, transmitidas desde Santiago de Cuba, con control ionosférico en el centro del trayecto. La Fig. 1 muestra la disposición de los puntos que se detallan a continuación.

El punto transmisor estaba ubicado en el Departamento de Geofísica y Astronomía, en Santiago de Cuba, de coordenadas: $\varphi = 20,0^\circ N$, $\lambda = 75,7^\circ W$. El punto receptor se encontraba situado en la Ciudad de La Habana, en el Instituto de Geofísica y Astronomía, con coordenadas: $\varphi = 23,1^\circ N$, $\lambda = 82,5^\circ W$. Aproximadamente, a 30 km del centro del trayecto fue instalada una estación ionosférica en la Estación Meteorológica del Municipio Venezuela, en la Provincia de Ciego de Ávila.

El punto de transmisión fue equipado con un transmisor soviético tipo RAS KV 1A, con potencia máxima de 1 kw y gama de frecuencia de 3 a 24 MHz. En calidad de antena transmisora se utilizó una VGD, especialmente construida para este experimento por el MINCOM, y cuyas características principales son: altura, 21 m; longitud del dipolo, 9 m; ganancia promedio, 5 db. Las frecuencias de trabajo seleccionadas fueron 12 066 y 20 014 MHz, que fueron emi-

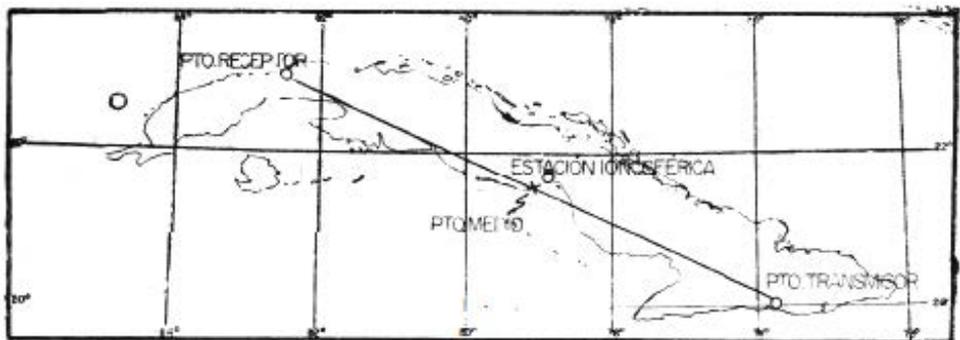


FIG. 1. Trayecto Santiago de Cuba - La Habana; disposición de los puntos de instalación del equipamiento (o) y del centro de la traza (x).

tidas en días alternos, efectuándose el cambio de las mismas a las 08:00 (hora local).

La transmisión se llevó a cabo emitiendo una portadora en régimen continuo durante 10 min con recesos de 5 min, coincidiendo el período de trabajo con el de la estación ionosférica en el centro de la traza.

El principio de trabajo del sistema receptor-registrador fue el siguiente: la señal procedente de la antena pasaba por el atenuador y llegaba al receptor de onda corta R 250, al que se le situó un ancho de banda de 3 kHz. Seguidamente, la señal era registrada por los equipos H-390, cuyos anchos de banda son de 20 Hz.

En el registro se detectaba la envolvente de la señal recibida con sus correspondientes marcas de tiempo cada 1 hora, efectuándose las calibraciones con un generador GF-102, aproximadamente cada 4 horas y siempre después del cambio de amplificación.

Las velocidades seleccionadas para cada uno de los registradores fueron de 180 mm/h y 600 mm/h. Con los datos del primero se llevó a cabo el estudio de la amplitud de la señal, en tanto que con los del segundo se estudió el desvanecimiento ("fading") de la misma.

El sondeo ionosférico en el centro de la traza se efectuó mediante una estación ionosférica tipo AIS, cuyo principio de trabajo ha sido descrito en el manual de sondeo vertical de la ionosfera (1957). Los ionogramas obtenidos fueron elaborados por la metodología descrita en este manual, y la determinación de los modos de propagación se realizó mediante el método de las curvas de transmisión expuesto en el mismo.

En el diseño de este experimento y en la elaboración de los materiales obtenidos se han tenido en cuenta las investigaciones realizadas por KERBLAY *et al.* (1974, 1976, 1978, 1981) en trayectos internos de la URSS, y los resultados obtenidos por nosotros (inédito)¹ del estudio de las particularidades de la capa Es en Cuba.

3. FRECUENCIAS DE TRABAJO

Uno de los primeros aspectos que fue abordado al diseñar el experimento Santiago de Cuba - La Habana fue la selección de las frecuencias de trabajo (f_i). Como nuestro interés residía en el estudio de la propagación a través de la capa Es, las f_i debían ser aquéllas que pudieran reflejarse desde esta capa y simultáneamente fueran superiores a las FMU de las capas regulares en la inmensa mayoría de los

¹ "Informe final del tema 31008". Archivo, Instituto de Geofísica y Astronomía (ACC), 1983.

casos, lo que permitiría, además, la determinación confiable de los modos de propagación que tuvieran lugar.

Para esto se calcularon por el Pronóstico Mensual (IGA/URSS, 1984) los valores medianos de FMU-F2, FMU-E, y FMU-F1 para los meses de verano de 1984, para la distancia de 800 km, que es la longitud del trayecto Santiago-Habana. Los resultados de estos cálculos se muestran en la Fig. 2, de donde puede inferirse que las $f_i = 12$ y 20 MHz eran superiores a las FMU pronosticadas durante casi todo el día.

También se tuvieron en cuenta los resultados del estudio estadístico de la probabilidad de aparición de la capa Es con foEs mayores a 3, 4, y 5 MHz (PALACIO, 1979), y se hizo una valoración de aque-

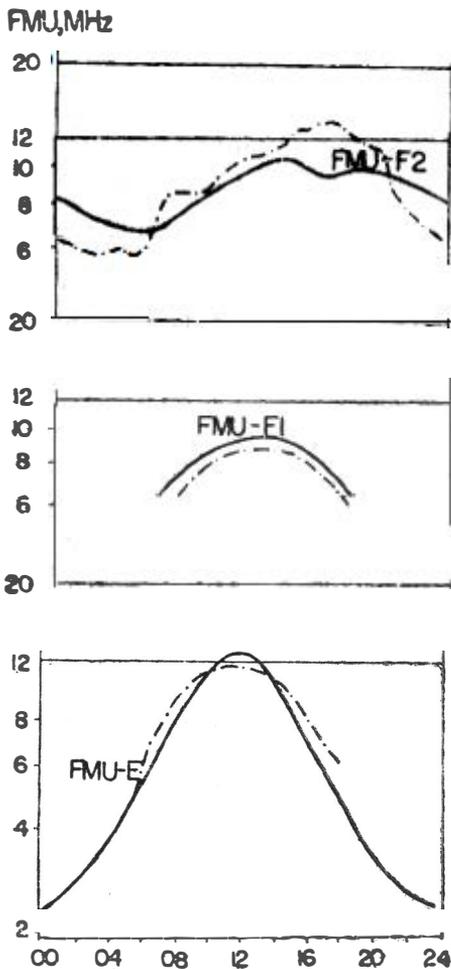


FIG. 2. Valores medios de las FMU de las capas F2, F1 y E pronosticadas (—) y calculadas (---), y frecuencias de trabajo utilizadas (—).

llas frecuencias de trabajo que podían reflejarse desde la capa Es con una probabilidad bastante alta. Considerando que la frecuencia equivalente de sondeo vertical e inclinado están relacionadas por la expresión:

$$f_{inc} = f_{vert.} \sec \varphi$$

donde φ es el ángulo de incidencia en la capa situada a una altura h . Tomando como altura promedio de la capa Es 120 km, la secante $\varphi = 3,3$, y tendremos entonces que la $f_i = 12$ MHz, en más del 50% del tiempo, debía ser superior a las FMU de las capas regulares y reflejarse desde capas Es con $f_oEs \geq 4$ MHz, de alta probabilidad de aparición. La frecuencia de trabajo de 20 MHz siempre sería superior a las FMU de las capas regulares, y su reflexión tendría lugar sólo en capas Es suficientemente intensas ($f_oEs \geq 5$ MHz).

Como señaláramos al inicio, estas valoraciones se hicieron por el pronóstico; sin embargo, la presencia de la estación ionosférica cerca de la región de reflexión permitió determinar el paso diario real de las FMU de las capas regulares, las cuales se muestran en la misma Fig. 2 con líneas discontinuas. Como puede notarse, hubo variaciones con respecto al pronóstico de f_oE2 y f_oE , lo que provocó mayor cantidad de reflexiones de lo previsto, a través de la capa F2 y menor a través de la capa E.

Como se verá en los epígrafes posteriores, esto no redujo significativamente la probabilidad de propagación a través de la capa Es; sin embargo, nos permitió hacer comparaciones entre los variados modos de propagación que tuvieron lugar, lo que nos dio elementos adicionales para interpretar los resultados obtenidos.

4. MODOS DE PROPAGACIÓN

Como señaláramos anteriormente, la determinación de los modos de propagación que tuvieron lugar en el trayecto Santiago de Cuba - La Habana se realizó con los ionogramas de sondeo vertical de la estación ionosférica de Ciego de Ávila, mediante el método de las curvas de transmisión (WRIGHT *et al.*, 1957).

Los modos así determinados fueron: 1Es, 1E, 1F2 (1Es, 1F2), (1Es, 2Es) y dispersión para la frecuencia de 12 MHz, y 1Es y dispersión para la de 20 MHz. Entre paréntesis se han colocado los denominados "modos mezclados", que se producen cuando al punto de recepción llegan simultáneamente varias señales procedentes de diferentes partes de la ionosfera. En los casos en que la señal no se reflejó en ninguna capa ionosférica y se recibió con una amplitud muy baja (menor a 10 μ v) y un alto desvanecimiento, se consideró que se había producido la dispersión de la misma.

La Fig. 3 presenta el porcentaje de tiempo en que las señales se propagaron por los modos mencionados. En el caso de la $f_i = 12$ MHz, los datos fueron divididos en dos: horas diurnas (de las 06:00 a las 18:00) y horas nocturnas (de las 18:00 a las 05:00), mientras que para la de 20 MHz se presentan en conjunto, por ser mucho menor la cantidad de mediciones en esta frecuencia. Como puede verse, para la $f_i = 12$ MHz predominó la propagación a través de la capa Es tanto por el día como por la noche, mientras que para la $f_i = 20$ MHz, lo fue la dispersión. Durante un porcentaje de tiempo significativo (en lo fundamental por la noche para $f_i = 12$ MHz y en general para $f_i = 20$ MHz) no fueron detectadas las señales en el punto receptor, lo que estuvo condicionado por el diseño propio del experimento y la probabilidad de aparición de la capa Es en el punto de reflejo.

Por su interés, también se calculó el paso diario del porcentaje de tiempo en que las señales se reflejaron por ambas frecuencias. La Fig. 4 muestra el mismo para la $f_i = 12$ MHz, en la cual aparece con línea continua el porcentaje reflejado por la capa Es solamente, con línea discontinua el porcentaje de reflexiones por los modos complejos en que también está presente la E esporádica, y con línea de puntos los casos de reflexiones por las otras capas.

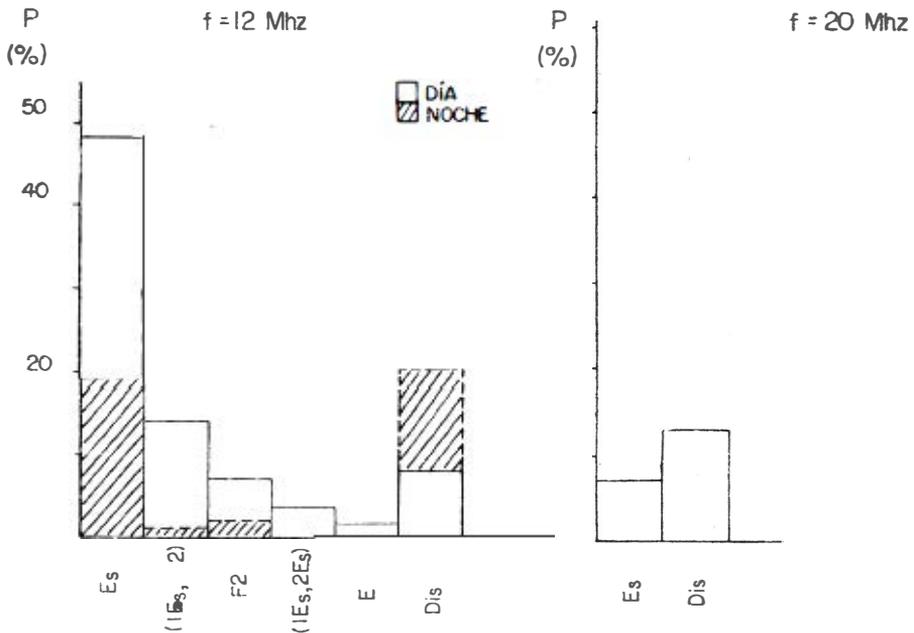


FIG. 3. Porcentaje de tiempo en que la señal se propagó por los modos indicados en la figura, para las $f_i = 12$ (día y noche) y 20 MHz (total).

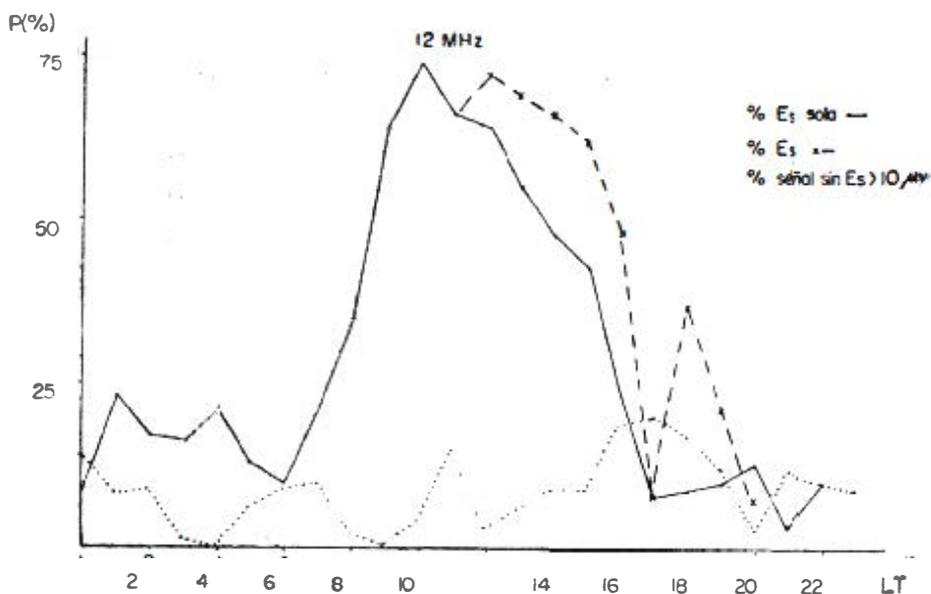


FIG. 4. Paso diario del porcentaje de tiempo en que la señal se reflejó solo por la E_s (—), por modos complejos en que estaba incluida la E_s (---) y por otras capas ionosféricas (···).

De los resultados obtenidos se infiere que, bajo las condiciones en que se realizó el experimento (verano, baja actividad solar, y frecuencias superiores a las FMU de las capas regulares) la probabilidad de comunicación a través de la capa E_s es bastante alta, lo que debe tenerse en cuenta en trabajos prácticos de radiocomunicaciones.

5. CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL

5.1 Amplitud

La amplitud de la señal (U) se estudió a partir de los registros de la envolvente, determinando el nivel promedio de cada sesión de 10 minutos. Las curvas de distribución acumulativas de esta características fueron calculadas para cada modo de propagación y se muestran en la Fig. 5 para la $f_i = 12$ MHz (a y b) y en c para la $f_i = 20$ MHz; las medianas y las cuartiles superior e inferior se presentan en la Tabla 1.

La amplitud de la señal recibida está estrechamente relacionada con el modo de propagación de la misma, como puede verse al inspeccionar las figuras y la tabla. Los modos que presentan valores de amplitud y distribuciones de ésta similares son el 1E y el 1Es; en

TABLA 1. Medianas y cuartiles de las distribuciones acumulativas (en μV) para todos los modos y las $f_i = 12$ y 20 MHz.

| Modo de propagación | Cuartila superior | | Mediana | | Cuartila inferior | |
|---------------------|-------------------|----|---------|----|-------------------|----|
| 1E | 30 | | 150 | | 340 | |
| 1Es | 25 | 20 | 80 | 30 | 250 | 60 |
| 1F2 | 30 | | 300 | | 640 | |
| (1Es, 1F2) | 100 | | 330 | | 575 | |
| (1Es, 2Es) | 350 | | 1 750 | | 3 250 | |

orden de magnitud le sigue el modo 1F2, y por último los modos complejos, con altos valores de amplitud, especialmente el (1Es, 2Es).

El paso diario de la amplitud de la señal, que representa la mediana de los valores experimentales para todo el período, también fue calculada y se presenta para la $f_i = 12$ MHz en la Fig. 6. Como puede verse, los valores más altos de la amplitud los encontramos a las 15-16 horas, con un mínimo pronunciado a las 13:00, que puede ser asociado al aumento de la absorción en este período. La mediana para $f_i = 20$ MHz es igual a cero.

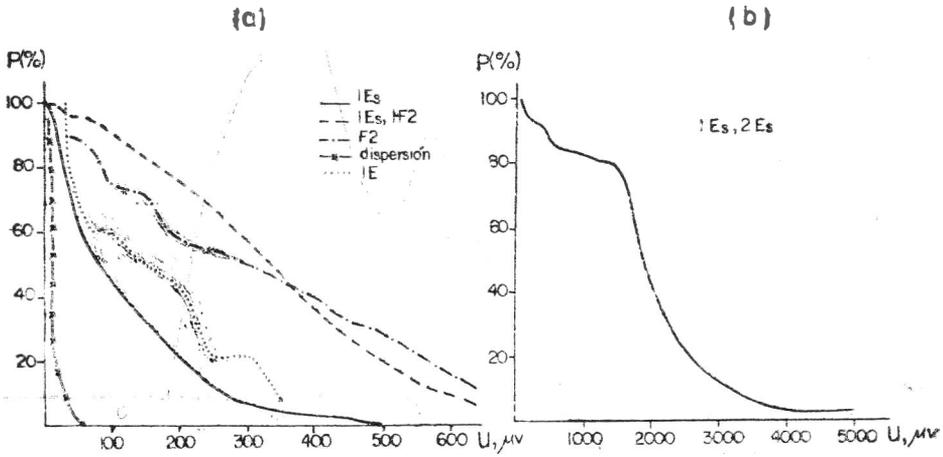
En trabajos de índole práctica, para valorar la interferencia provocada por la presencia de capas Es en un circuito dado, son útiles las curvas horarias de 1,5, y 10% del tiempo, que representan los valores de amplitud recibidos que son excedidos solamente en esos porcentajes de tiempo. La Fig. 7 muestra estas curvas para la $f_i = 12$ MHz y la Fig. 8 para la $f_i = 20$ MHz. En la Fig. 7 también se ha incluido la curva de 50%.

Los resultados expuestos confirman la efectividad de la propagación a través de la capa Es en el período del experimento.

5.2 Desvanecimiento de la señal

Con vista a evaluar en forma preliminar el desvanecimiento de las señales recibidas durante el experimento, fueron elaborados los registros rápidos obtenidos (velocidad = 600 mm/h). En calidad de característica del desvanecimiento se utilizó la frecuencia media de desvanecimiento, ν , que se determina por el número de cortes del nivel medio de la señal con el mismo signo de la derivada para cada sesión (DOLUJANOV, 1971; NOSOVA, 1973).

$f_i = 12 \text{ MHz}$



$f_i = 20 \text{ MHz}$

(c)

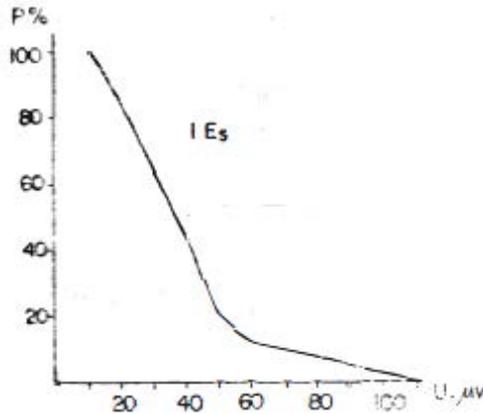


FIG. 5. Curvas de distribución acumulativas para los modos dados y la $f_i = 12 \text{ MHz}$ (a-b) y $f_i = 20 \text{ MHz}$ (c).

Los histogramas de los valores de v obtenidos atendiendo al modo de propagación de la señal se presentan en la Fig. 9, de donde se infiere que los valores de v más probables en los modos 1E y 1Es resultaron más bajos que en los demás modos. Durante reflexiones por la capa F2, éstos estuvieron por encima de 0,1 c/s, y para los modos complejos fueron en el caso (1Es, 2Es) superiores al 1Es y al (1Es,

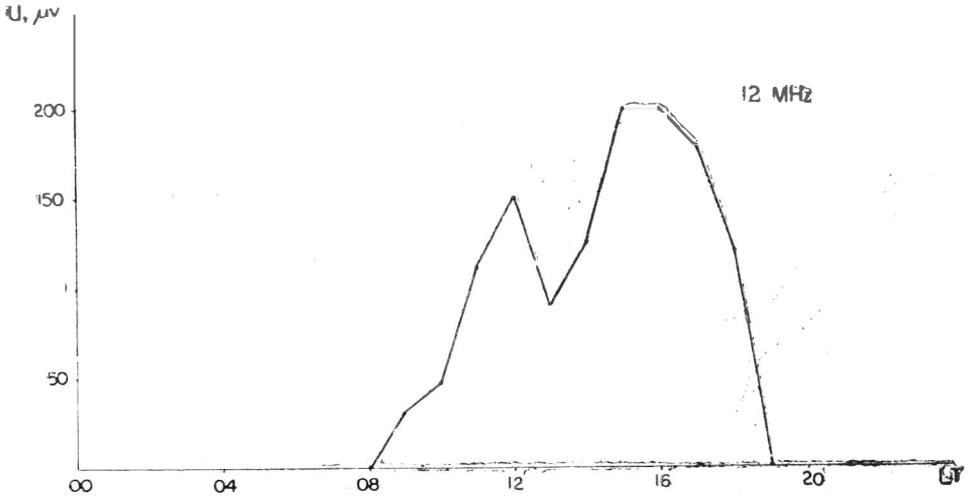


FIG. 6. Paso diario de la mediana de los valores de amplitud para $f_i = 12$ MHz.

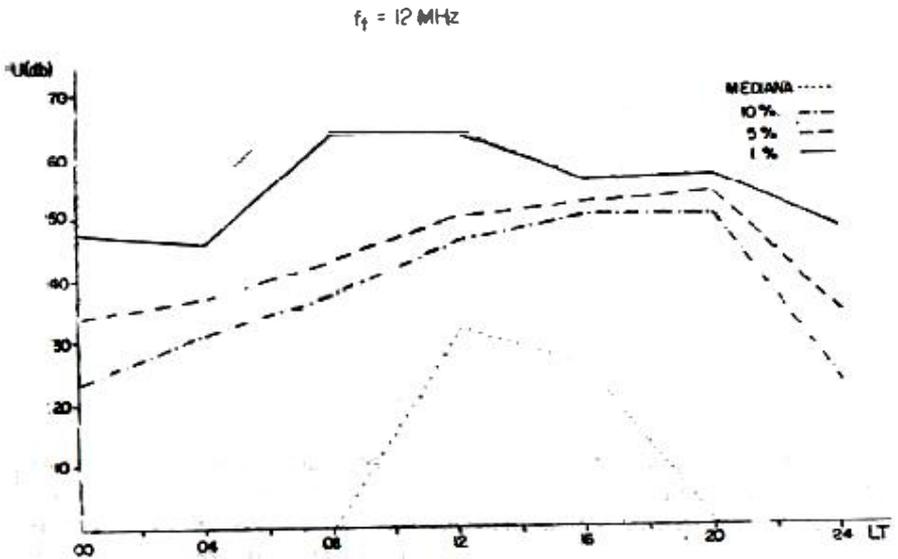


FIG. 7. Valores de la amplitud de la señal (U) igualados o excedidos para los porcentajes de tiempo indicados durante propagación por la Es a la $f_i = 12$ MHz.

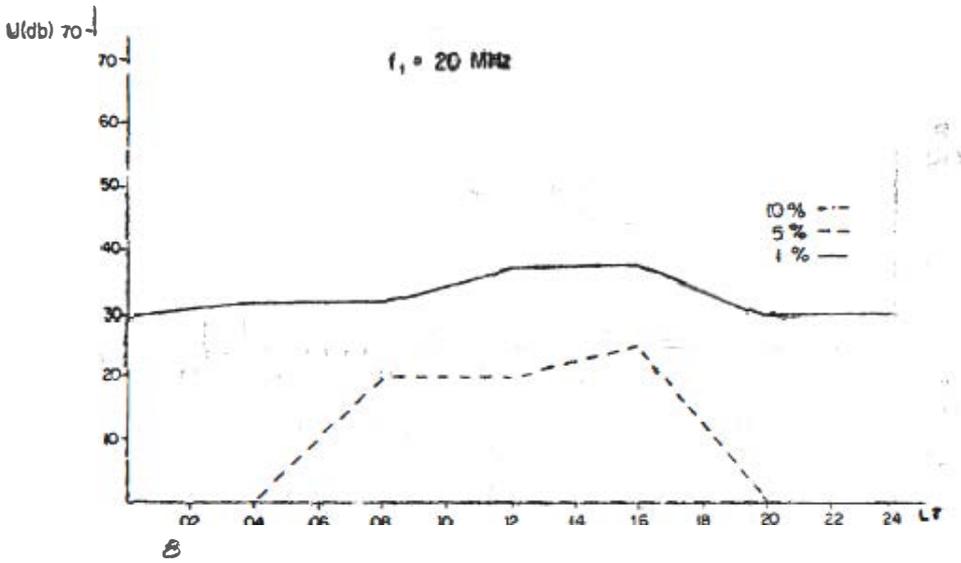


FIG. 8. Valores de la amplitud de la señal (U) igualados o excedidos para los porcentajes de tiempo indicados durante propagación por la Es a la $f_1 = 20$ MHz.

1F2), con valores intermedios entre los modos simples 1Es y 1F2. Para los casos en que hubo dispersión, se obtuvieron dos máximos de probabilidad en (0,21-0,23) y (0,45-0,47), los que aparentemente están relacionados con la región de la ionosfera en que fueron dispersadas las señales, pudiéndose adjudicar el primer máximo a la región E y el segundo a la región F. Además, se obtuvieron valores de ν superiores a 0,77, que fue el más alto que pudo ser calculado, debido a la velocidad de nuestro registro.

En el caso del modo 1Es, se hizo un análisis casuístico de todas las señales en que hubo reflexión a través de esta capa y se evidenció que las mismas podían ser divididas en dos grupos, atendiendo al desvanecimiento que sufrían:

I. ν entre 0,01 y 0,08 c/s. En estos casos la reflexión puede considerarse especular, ya que las capas Es son apantallantes ($\Delta f = 20\%$,

donde $\Delta f = \frac{f_{oEs} - f_bEs}{f_{oEs}} \cdot 100\%$) y la frecuencia de trabajo se

encontraba entre $FMU_bEs > f_i < FMU_oEs$.

II. ν entre 0,09 y 0,19 c/s. En estos casos la reflexión no puede considerarse especular, por cuanto las capas Es son moderadamente

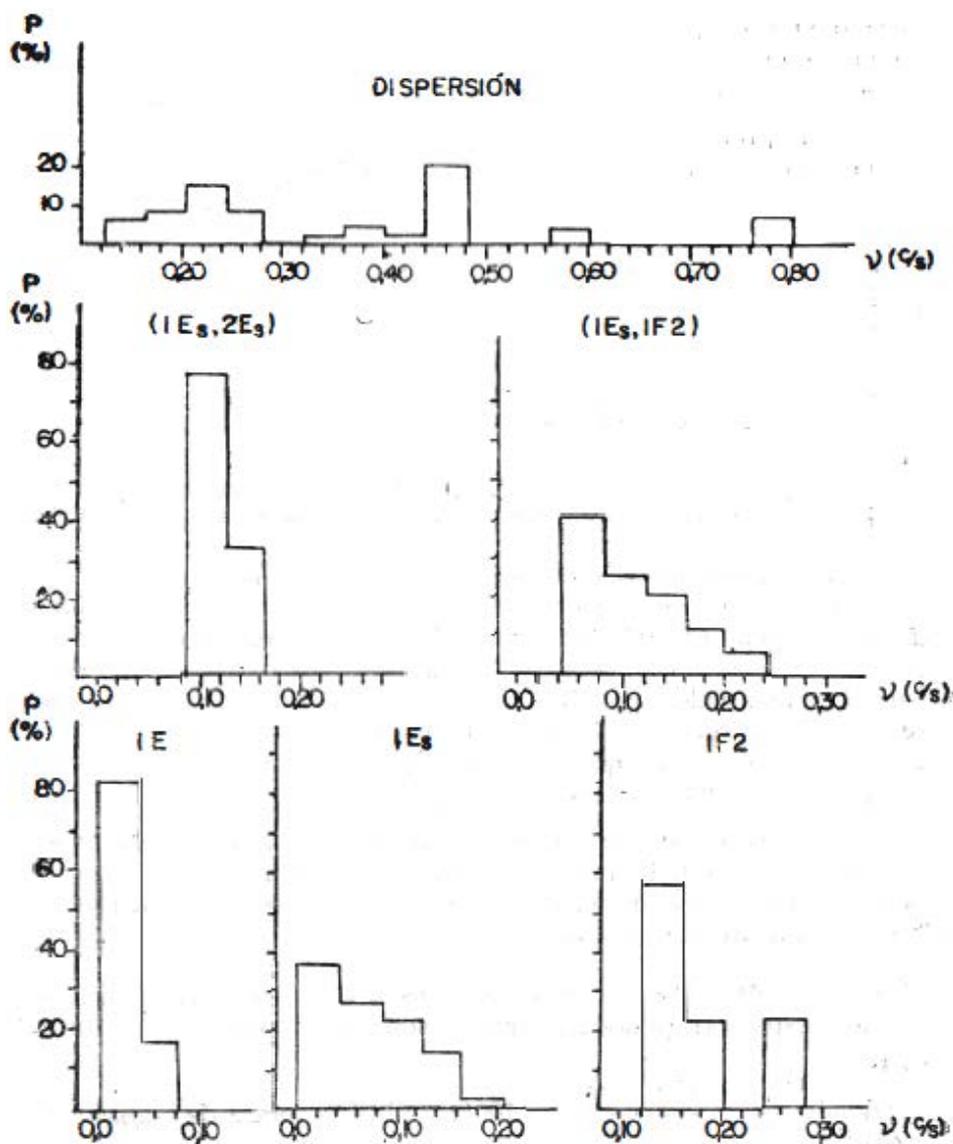


Fig. 9. Histogramas de la frecuencia de desvanecimiento (v), atendiendo al modo de propagación indicado.

apantallantes o semitransparentes ($\Delta f = 20-60\%$) y la frecuencia de trabajo se encontraba entre $FMU_bEs < f_i < FMU_oEs$.

En el primer grupo se obtuvo una dependencia directa del desvanecimiento del grado de semitransparencia, como puede verse en el ejemplo del 21.06.84 presentado en la Fig. 10. En el segundo grupo no siempre se observó esta dependencia.

Al interpretar los resultados obtenidos del análisis del desvanecimiento de la señal en el trayecto Santiago de Cuba - La Habana es

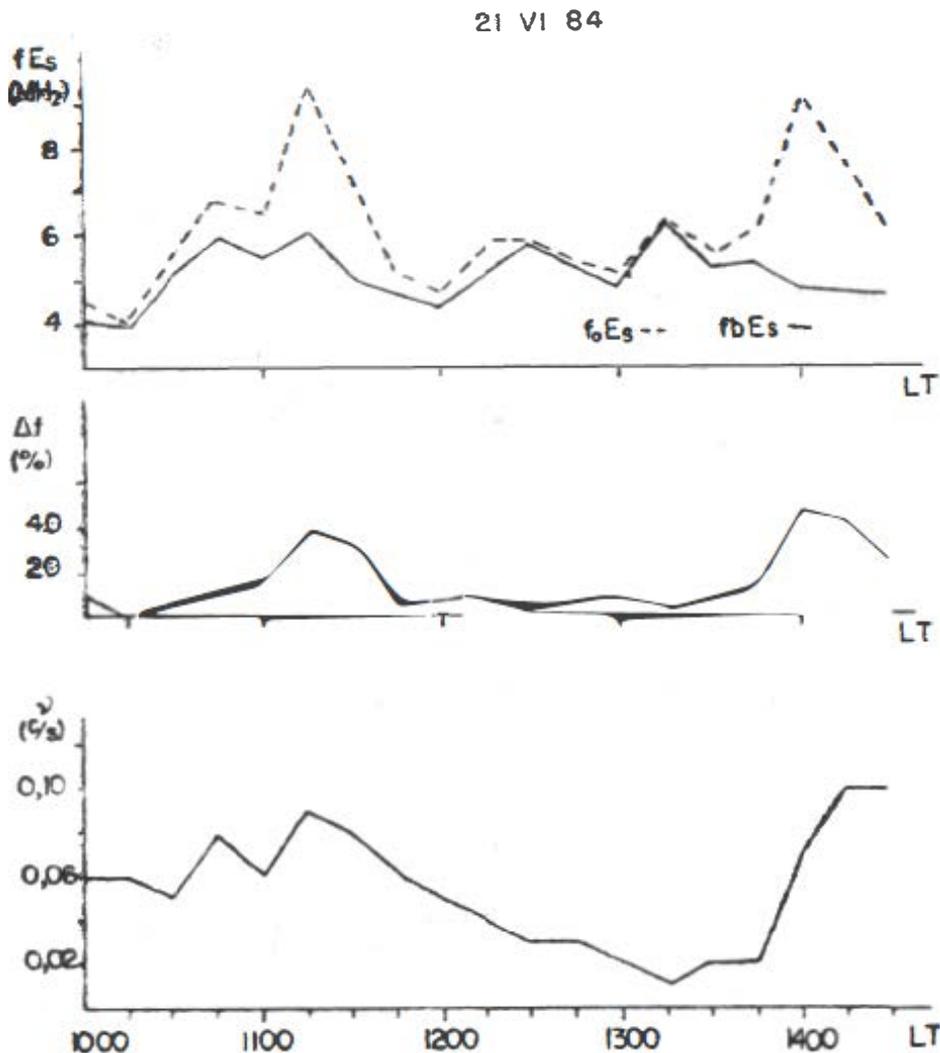


FIG. 10. Variación de f_oEs y f_bEs (arriba), de Δf (centro), y de v (abajo), en el período indicado donde la capa Es pertenece al grupo I.

necesario considerar que en la banda de ondas cortas éste se produce por la ocurrencia simultánea de la multiplicidad de rayos y la variación aleatoria de los parámetros ionosféricos (DOLUJANOV, 1971). En este sentido podemos señalar que estos efectos son evidentemente menores en los modos 1Es del primer grupo y el 1E, que en los modos 1Es del segundo grupo y el 1F2. En el caso de los modos complejos (1Es, 2Es) y (1Es, 1F2), a estos efectos se suma el de la multiplicidad de rayos provocada, además, por la diferencia de caminos al reflejarse la señal de una u otra capa, lo que acrecienta los valores de ν . En los casos de dispersión puede inferirse, a partir de los valores tan altos de ν , que predominó la componente caótica de la señal.

Los resultados obtenidos del análisis de la frecuencia media de desvanecimiento corroboran la existencia de una dependencia de esta magnitud del modo de propagación de la señal, reportado por KERBLAY *et al.* (1974). Además, el conocimiento de la gama de variación de este parámetro permite inferir la región ionosférica donde ha ocurrido la reflexión o dispersión de la señal y, en el caso del modo 1Es, las características que presenta esta capa.

6. COEFICIENTE M EXPERIMENTAL

Si no tenemos en cuenta la complejidad de la distribución electrónica en la capa Es y la analizamos como un reflector especular, las frecuencias máximas que se reflejan desde la capa Es en incidencia inclinada estarán dadas por la expresión:

$$FMUEs = foEs \cdot M$$

donde foEs es la frecuencia límite de la capa Es, que se refleja de la misma en incidencia vertical en el punto medio del trayecto, y M es el coeficiente de conversión a incidencia inclinada.

Bajo la suposición hecha de que la capa Es es un reflector especular, el coeficiente M se encuentra geoméricamente de una forma sencilla:

$$M = \sec \varphi = \frac{R + h}{\sqrt{(R + h)^2 - R^2 \cos^2 \Delta}} \quad (1)$$

donde R es el radio de la tierra, h la altura de la capa Es y Δ el ángulo de elevación, que está determinado por la longitud del trayecto.

Algunos autores han reportado diferencias entre los valores experimentales de M y los calculados por la fórmula (1). Así, KERBLAY *et al.* (1976) obtuvieron, en trayectos de $\approx 1\,000$ km y a las frecuencias de trabajo de 27,8 y 40,3, que los valores experimentales de M son en promedio 1,5 veces mayores que los calculados por (1). TRISH-

TABLA 2. Valores experimentales de M , a diversas alturas, y su relación con la $\sec \varphi$ para $f_i = 12$ y 20 MHz.

| Altura (km) | $f_i = 12$ MHz | | $f_i = 20$ MHz | |
|----------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| | M exp. | M exp./ $\sec \varphi$ | M exp. | M exp./ $\sec \varphi$ |
| 95-100 | 5,4 | 1,4 | 6,0 | 1,6 |
| 105-110 | 5,0 | 1,4 | 4,8 | 1,3 |
| 115-120 | 4,0 | 1,2 | 3,6 | 1,1 |
| 125 | 3,8 | 1,2 | | |

KOVA y SAMARDZHIEV (1963) reportaron un resultado similar para el circuito Sofía - Panska Vesi, de $\sim 1\ 100$ km a la $f_i = 40,5$ MHz.

Los datos del experimento Santiago de Cuba - La Habana fueron también tratados con la finalidad de determinar el valor experimental de M para esta traza. Para ello era necesario calcular el valor más alto de la relación entre la frecuencia de trabajo reflejada desde la capa Es en incidencia inclinada y la f_oEs observada en ese momento en el punto medio de la traza.

La amplitud de la señal reflejada (U) para la $f_i = 12$ MHz fue graficada en dependencia de esta relación y para diferentes alturas; similarmente se procedió para $f_i = 20$ MHz (L. Palacio, inédito)².

Los valores máximos de f/f_oEs obtenidos, para los cuales las señales con $f_i = 12$ y 20 MHz se han reflejado desde la capa Es y que pueden ser aceptados como los coeficientes M experimentales a diferentes alturas, se muestran en la Tabla 2. Como puede verse, los valores experimentales de M son superiores siempre a los calculados por la fórmula (1) y coincidentes con los reportados en la literatura de referencia.

Es significativa la dependencia de los M experimentales con la altura obtenida, en la cual éstos se acercan más a la $\sec \varphi$, mientras más alta se encuentra la capa Es. Este resultado, que no ha sido reportado con anterioridad, merece se continúe investigando.

7. CONCLUSIONES

- (a) Los resultados mostrados confirman la efectividad de la propagación de las ondas de radio a través de la capa Es en el trayecto Santiago de Cuba - La Habana.

² "Investigación de la capa E esporádica en la región de Cuba, y de su papel en la propagación de las ondas de radio." Tesis de Grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas, IZMIRAN, Moscú, 1985.

- (b) El análisis de las características de la señal muestra que la amplitud y la frecuencia de desvanecimiento están relacionadas con el modo de propagación de las señales.
- (c) Los valores experimentales del coeficiente de conversión a incidencia inclinada durante reflexiones desde la capa Es son superiores a la magnitud de la $\sec \phi$ en 1,1-1,6 veces.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen profundamente a T. S. Kerblay y G. N. Nosova, del IZMIRAN de la URSS, su valiosa colaboración en diferentes etapas de desarrollo del presente trabajo. Igualmente agradecen a los investigadores y técnicos del Departamento de Geomagnetismo, Ionosfera y Radiopropagación del IGA, su valiosa cooperación en la realización del experimento Santiago de Cuba - La Habana.

REFERENCIAS

- DOLUJANOV, M. P. (1971): *Procesos de fluctuación durante la propagación de las ondas de radio* [en ruso]. Ed. Sviaz, Moscú, 183 pp.
- KERBLAY, T. S., KOZLOV, E. F., y LESCHENKO, N. V. (1978): Resultados de las investigaciones experimentales de las señales de onda corta reflejadas por la capa Es [en ruso]. En *Características de las trayectorias de las ondas cortas de radio*, Ed. IZMIRAN, Moscú, pp. 41-49.
- KERBLAY, T. S., MINULLIN, R. G., y MIJAILOVA, N. B. (1981): Análisis de un experimento complejo para la investigación de señales reflejadas por la capa Es en la línea Moscú-Odesa [en ruso]. En *Efectos de la difracción de las ondas de radio*, Ed. IZMIRAN, Moscú, pp. 12-18.
- KERBLAY, T. S., NOSOVA, G. N., ALLABERDIEV, D., y POROSNAYA, A. P. (1974): Sobre el carácter del desvanecimiento de la señal durante diferentes modos de propagación [en ruso]. *Geomag. Aeron.*, 14(6):1024-1027.
- KERBLAY, T. S., NOSOVA, G. N., MINULLIN, R. G., y KURGANOV, R. A. (1976): El coeficiente M de la capa Es en una traza de 1050 km [en ruso]. *Geomag. Aeron.*, 16(1):88-91.
- NOSOVA, G. N. (1973): Características del desvanecimiento de la señal durante reflexión y dispersión desde la capa E esporádica [en ruso]. En *Cuestiones de propagación*, Ed. IZMIRAN, Moscú, vol. 1, pp. 114-116.
- PALACIO SUÁREZ, L. (1979): Algunas particularidades de la capa Es en Cuba. En *Resúmenes II Jornada Científica del IGA., ACC*, pp. 82-84.
- IGA/URSS: INSTITUTO DE GEOFÍSICA APLICADA DE LA URSS (1984): *Pronóstico mensual de las FMU, junio de 1984* [en ruso]. Ed. Hidrometeoizdat, Moscú, 48 pp.
- TRISHKOVA, L., y SAMARDZHIEV, D. T. (1963): Investigación de la capa Es en latitudes medias por el método de dispersión hacia delante de UHF [en ruso]. *Geomag. Aeron.*, 7(1):110-115.
- WRIGHT, J. W., KNECHT, R. W., y DAVIES, K., eds. (1957): *Manual de sondeo vertical de la ionosfera* [en ruso]. Ed. Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, 224 pp.

RESULTS OF THE IONOSPHERIC SOUNDING EXPERIMENT ON THE SANTIAGO DE CUBA - HAVANA TRACE

ABSTRACT

The sporadic E layer influence on radiowave propagation is studied on the Santiago de Cuba - Havana City trace, by oblique and vertical ionospheric sounding data. A description of the experiment and main results on propagation modes, amplitude and fading of the signals received are included. An experimental validation of the M conversion coefficient is also discussed. The effectiveness of sporadic E layer propagation in radiowave transmissions in Cuba is confirmed.