El Eclipse Total de Sol del 11 de Julio de 1991: Observaciones Científicas Realizadas en Costa Rica (W. Fernández, ed.), Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1992.

PROPAGACION DE ONDAS DE RADIO DURANTE EL ECLIPSE TOTAL DE SOL DEL 11 DE JULIO DE 1991

Max Castro S.[1]
Guillermo Solís A.[1]
Jorge A. Amador[2]

Resumen

Aprovechando las circunstancias locales del eclipse total de Sol del 11 de Julio de 1991, se realizó un experimento sobre la propagación de ondas de radio en las frecuencias de 5, 10, 15 y 20 MHz. Las transmisiones de la WWV de Fort Collins, Colorado, fueron usadas como patrón de frecuencia, modulación y tiempo. El instrumental para el experimento fue instalado en Paraíso de Cartago a una distancia aproximada de la WWV de 3970 km, a una dirección de 331°. El presente trabajo describe los detalles del experimento y discute los resultados y algunos aspectos importantes del estudio de los efectos del eclipse en la reflexión y absorción de ondas de radio en diferentes capas de la ionosfera.

1. Introducción

Experimentos sobre la propagación de ondas de radio durante eclipses totales de Sol han constituído importantes fuentes de información para el estudio de cambios ionosféricos durante esos eventos. El primero en notar esos efectos fue Appleton durante el eclipse de 1927 en Inglaterra (Bienstock *et al.*, 1970).

Resultados y datos básicos de otros trabajos relacionados con los efectos causados en la ionosfera durante la ocurrencia de eclipses totales se encuentran en Ratcliffe (1956), Belrose *et al.* (1970 a,b), Straka y Castelli (1970), Hargreaves (1979) e ICAP-83 (1983).

Un eclipse total solar provee entonces una importante oportunidad para estudiar los efectos de reflexión y absorción de ondas de radio en las diferentes capas de la ionosfera, así que, en el experimento que describe el presente trabajo, se estudia el

[1] Radiográfica Costarricense S.A., San José.
[2] Centro de Investigaciones Geofísicas y Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José.

efecto que produce el eclipse total de Sol del 11 de Julio de 1991 sobre las comunicaciones en las frecuencias de 5, 10, 15 y 20 MHz, al modificarse el nivel de radiación sobre las capas altas de la atmósfera (ionosfera). Cambios en los niveles de radiación producidos por un eclipse total solar modifican la relación iones-partículas neutras y debido a esto, se reflejan o absorben de manera selectiva ciertas longitudes de onda.

2. Circunstancias locales de observación

El estudio se realizó en su mayor parte en la Finca El Radio ubicada en Paraíso de Cartago (Latitud 9°51 norte, Longitud 83°53 oeste). En ese lugar, la primera fase del eclipse comenzó a las 12:56 HL (Hora Local), la fase total dió inicio a las 14:04 HL y finalizó a las 14:09 HL. El último contacto del eclipse en esta zona se presentó a las 15:20 HL.

3. Instrumentos utilizados y datos básicos

-Antena logarítmica periódica orientada al norte magnético para recepción y monitoreo de las frecuencias de 5, 10, 15 y 20 MHz (cobertura 2 a 30 MHz, "High Gain").

-Amplificador de banda ancha y filtro pasa banda entre 2 y 30 MHz.

-4 Receptores JRC modelo NRO-515 (cobertura general).

-Graficador Gould para 15 y 20 MHz.

-Graficador Hewlett Packard modelo 7132A para 5 y 10 MHz.

-Antena dipolo multifrecuencia (omnidireccional).

-Analizador de espectros HP-8592B.

Se pueden anotar dos razones fundamentales para el uso de la antena "Log-period" en el presente experimento.

Primero, además de las transmisiones de la WWV como patrón de frecuencia, modulación y tiempo, existen otras estaciones alrededor del mundo como son WWVH (similar a WWV pero su trasmisor está en Hawaii), Z.U.O. (sur de Africa) y L.O.L. (Buenos Aires, Argentina) que operan en las frecuencias de interés del experimento realizado y que podrían afectar los resultados de las observaciones.

Además de las señales anteriores se recibía la emisión del Observatorio Naval de Caracas, Venezuela en 10 MHz, lo que podría interferir con la emisión de Fort Collins. En el caso de estaciones navieras que se encontrasen 1 KHz, arriba o abajo de la frecuencia en que se estaba trabajando se presentaría el mismo efecto.

En segundo lugar, el experimento cubría un espectro muy amplio de frecuencias, y era necesario el uso de instrumental con

características como las de la antena "Log-period".

Entre la estación emisora (WWV) y el sitio de observación en Paraíso de Cartago hay aproximadamente 3970 km a una dirección de 331°.

4. Análisis de resultados

4.1. Resultados específicos en las frecuencias de 15 y 20 MHz

En la Figura 1 se muestran los niveles relativos de recepción en db de las señales de 15 y 20 MHz. El tiempo de integración es de 238 s.

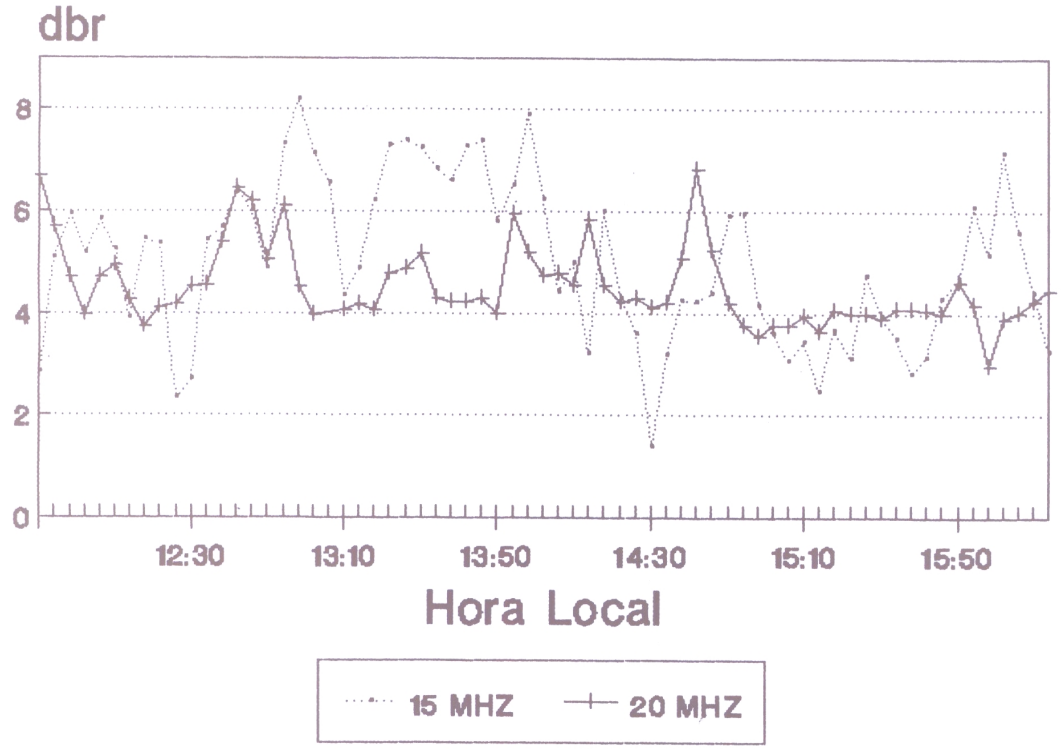

Figura 1. *Nivel relativo de recepción de las señales en 15 y 20 MHz.*

En la señal de 15 MHz se produce un crecimiento constante del nivel de recepción, hasta el momento de la fase total del eclipse, en que este comportamiento cambia. La señal de 20 MHz es más estable que la de 15 MHz; sin embargo, durante la fase total se produce en ambas una caída substancial del nivel, caracterizándose además por ser muy constante durante varios minutos después de la fase total, especialmente en la de 20 MHz.

En la Figura 2 se grafica el porcentaje del tiempo en que la

señal de 20 MHz supera el nivel de referencia de 4 db. Se observa que la señal, a partir de la fase total del eclipse se mantiene la mayor parte del tiempo por debajo del nivel de referencia, excepto durante algunos períodos.

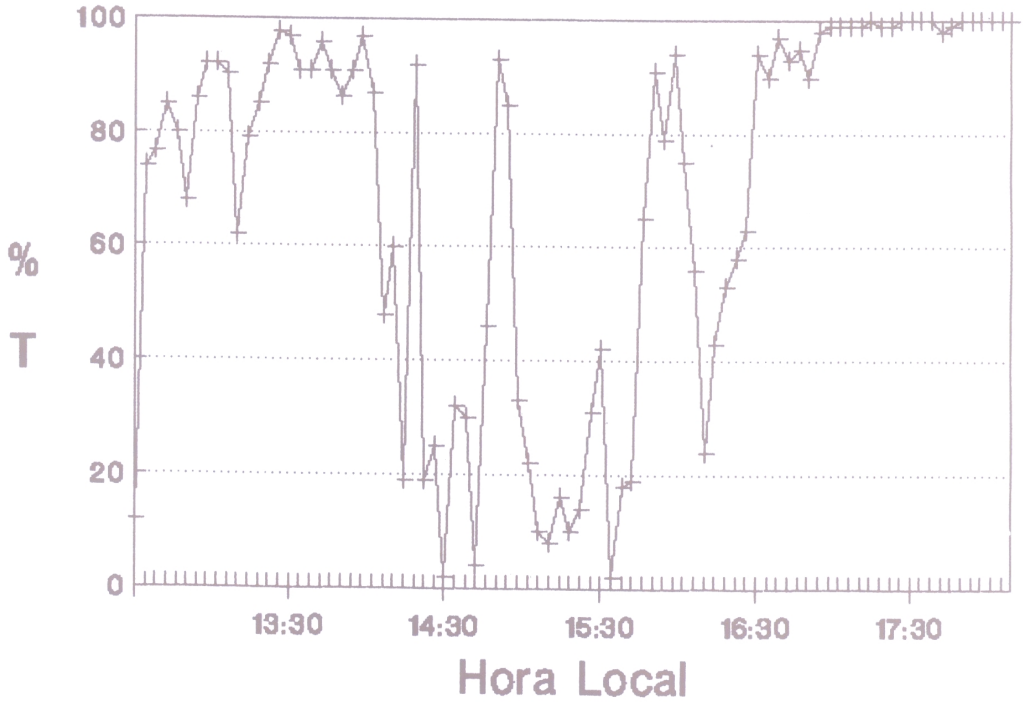

Figura 2. *Porcentaje de tiempo en que la señal supera el nivel de referencia de 4 db. Tiempo de integración promedio 238 s.*

4.2. Resultados específicos en las frecuencias de 5 y 10 MHz

En las frecuencias de 5 y 10 MHz la información analizada corresponde básicamente a estática, excepto al entrar la tarde, en que se logró recibir plenamente las emisiones de la WWV. En este caso, se midió la cantidad de eventos que excedía el nivel de referencia de 4 db. Estos resultados se observan en la Figura 3. Se observa en esta figura un incremento constante en la estática durante todo el período del eclipse, alcanzándose un máximo poco después de la fase total, para luego decaer nuevamente. Este efecto es particularmente notable en la frecuencia de 10 MHz.

5. Análisis comparativo y comentarios finales

Relacionando los diferentes gráficos se puede concluir que no todas las frecuencias de radio analizadas son afectadas de igual forma durante un eclipse total de Sol.

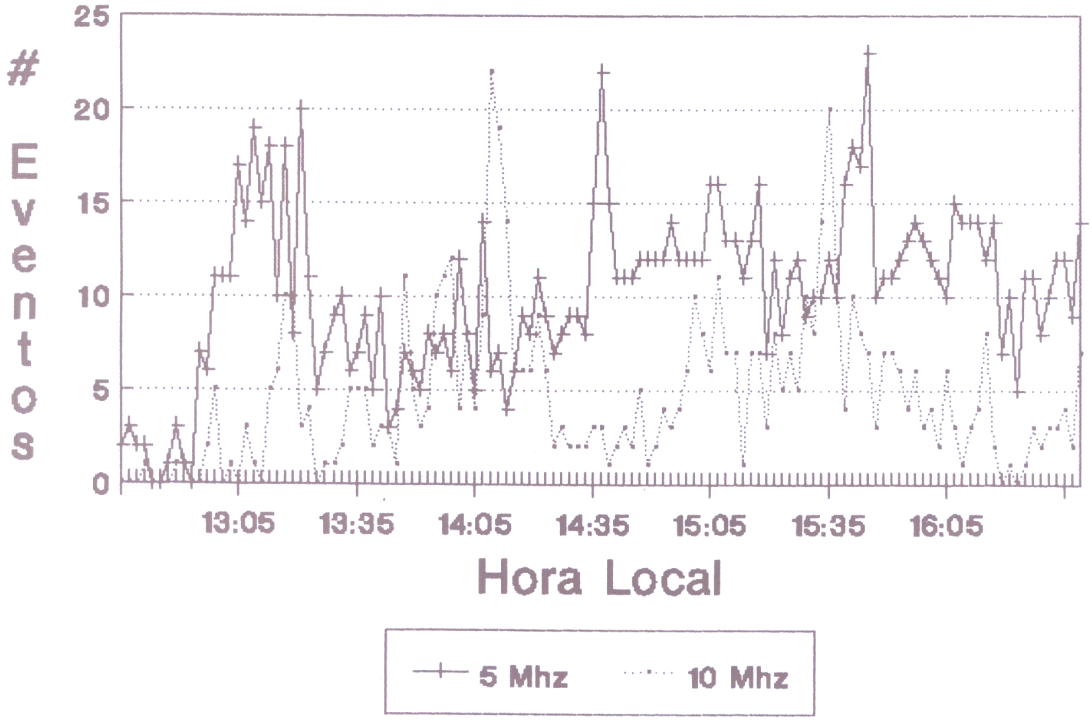

Figura 3. *Número de eventos que superan el nivel de referencia de 4 db. Tiempo de integración 120 s.*

Como era de esperarse, las señales con frecuencias menores de 10 MHz (menos energéticas) son absorbidas por la capa D de la ionosfera. La capacidad de absorción de esta capa se debe a su bajo contenido de iones y gran cantidad de partículas neutras que convierten en calor las oscilaciones de los iones, inducidas por las ondas de radio. Las ondas con frecuencias menores a 10 MHz no logran alcanzar grandes distancias debido a que se atenúan fuertemente cada vez que se reflejan en la capa D durante su trayectoria. Es debido a lo anterior que en las frecuencias de 5 y 10 MHz se recibió durante la mayor parte del experimento únicamente estática.

Cuando las ondas electromagnéticas tienen más energía (mayor frecuencia), logran superar la capa D y llegar a capas con mayor capacidad de reflexión como la E o las F1 y F2 en que la proporción de iones a partículas neutras es cada vez mayor conforme se llega a mayores alturas. Mientras más alta es la frecuencia, menor es la absorción y mayor es la estabilidad de la señal así como el alcance de la transmisión. Estas ideas se pueden constatar observando la Figura 1, en donde la señal de 20 MHz se mantiene mucho más estable que la de 15 MHz (la señal de 20 MHz se recibe con mayor potencia). En la figura mencionada aparecen con un nivel semejante debido a que la señal de 20 MHz se redujo a la mitad para efectos de

camparación con la de 15 MHz.

Durante el eclipse se producen cambios importantes en cada una de las capas de la ionosfera. La capa D se debilita sensiblemente debido a que disminuyen las radiaciones solares a las que debe su existencia. Posiblemente desaparezca en las zonas que cubre la sombra de la fase total. En la Figura 3 se observa como el nivel de estática en las señales de 5 y 10 MHz aumenta durante la fase de la totalidad, lo cual podría estar relacionado con el debilitamiento de la capa D que en condiciones normales las atenúa fuertemente.

La capa E también discrimina su contenido de iones durante un eclipse pero al contrario de la capa D, esto debilita la onda electromagnética que se refleja en esta capa. Lo anterior se observa en la Figura 1, en donde es clara la disminución de las señales a partir de la fase total. Las capas F1 y F2 serán las menos afectadas debido a la escasa posibilidad de recombinación de los iones para formar partículas neutras; no obstante hay evidencias (Barbara *et al.*, 1983) en otros experimentos durante eclipses de movimientos ascedentes en la capa F1 y descendentes en la F2, lo cual produce variaciones en la densidad de partículas eléctricas. Para el caso del presente experimento, los principales efectos en las capas F1 y F2 se producirían sobre la frecuencia de 20 MHz (Figuras 1 y 2) que es la de mayor contenido energético como para llegar hasta éstas sin ser afectada por las otras capas. Las variaciones en el nivel de recepción de la señal de 15 MHz (Figura 1) se producirán tanto por cambios en la capa E como en las capas F1 y F2.

Finalmente para concluir, se puede señalar que las variaciones de la radiación solar sobre la atmósfera terrestre causadas por un eclipse total solar, producen cambios observables en su capacidad para absorber o reflejar ondas de radio dependiendo de la frecuencia. Esta respuesta de la atmósfera es bastante rápida, tal como se puede observar en los diferentes gráficos en los que los niveles de potencia de las señales estudiadas varían rápidamente, en especial a partir de la fase total del eclipse.

Otros aspectos de las observaciones relacionadas con el experimento están siendo analizadas y se espera informar sobre ellas en un futuro artículo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Radiográfica Costarricense S.A. y a la Universidad de Costa Rica las facilidades otorgadas durante la realización del experimento. A las señoras Zaida Umaña y Flora Solano el reconocimiento por el excelente trabajo en la confección del manuscrito.

Referencias

Barbara, A.K., D. Minakshi, P. Bardoloi y K. Ralman. Dynamics of the ionosphere during disturbed conditions. *Third International Conference on Antennas and Propagation, Part 2, Propagation*, 12-15 April 1983. University of East Anglia, United Kingdom, 1983.

Belrose, J.S., A.G. McNamara y J.E. Hall. Changes in the lower ionosphere during the eclipse: A preliminary report of the Canadian programme, (1) Introduction. *Nature, 226*, 1100-1102, 1970a.

Belrose, J.S., L.R. Bodé, R. Bunker, y D.B. Ross. Changes in the lower ionosphere during the eclipse: A preliminary report of the Canadian Programme, (2) Radio Propagation experiments, *Nature, 226*, 1102-1104, 1970b.

Bienstock, B.J., R.T. Marriot, D.E. St. John, R.M. Thorbe y J.V. Venkastewaran. Changes in the electron content of the ionosfere. *Nature, 226*, 1111-1112, 1970.

Hargreaves, J.K. *The Upper Atmosphere and Solar Terrestrial Relations*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1979.

ICAP-83. *Third International Conference on Antennas and Propagation*, 12-15 April 1983. University of East Anglia, United Kingdom, 1983.

Ratcliffe, J.A. A survey of solar eclipses and the ionosphere. En *Solar Eclipses and the Ionosphere* (W.J.G. Beynon y G.M. Brown, eds.), pp. 1-13, Pergamon Press, London, 1956.

Risbeth, H. Eclipse effects in the ionosphere. *Nature, 226*, 1099-1100, 1970.

Straka, R.M. y J.P. Castelli. Observations at the Sagamore Hill Solar Radio Observatory. *Nature, 226*, 1149-1152, 1970.