

(Fields Aligned Irregular - Campos Irregulares Alineados)

## Un modo de propagación VHF recientemente descubierto [1978]

Últimamente, romper el récord DX de 2 metros se ha convertido en algo común. Equatorial FAI es una teoría sobre lo que hay detrás de estas aperturas de súper bandas.

Por Joseph H. Reiser, W1JR, ex-W6FZJ, W1JAA y Gene Pfeffer, KØJHH

El 29 de octubre de 1977, a las 0200 UTC, LU1DAU, La Plata, Argentina, trabajó YV5ZZ / 6, Bocha de Uchire, Venezuela, en 145.9 MHz cw! A las 0310 UTC, las señales habían mejorado enormemente y se estableció un contacto ssb bidireccional. Ambas estaciones funcionaban con menos de 100 vatios y usaban antenas de ganancia de 10 a 12 dB. Cuando las señales se desvanecieron a las 0400 UTC, se estableció un nuevo récord de 2 metros solo terrestre de 3135 millas (5045 km).

Durante muchos años, los operadores de vhf han conocido la propagación de radio transecuatorial (TE) en 6 a 15 metros<sup>1-4</sup>. Si bien se especuló que este modo podría soportar la propagación de señales de 2 metros en las circunstancias adecuadas, tales condiciones nunca se habían informado. Ahora parecía que TE había llegado a 2 metros. Una y otra vez, YV5ZZ trabajó en Argentina. A fines de noviembre, esos contactos se volvieron casi comunes. Con informes de aperturas más grandes y mejores cada día, comenzamos a tratar de correlacionar las condiciones solares-terrestres contemporáneas con las presentes durante los QSO en modo TE anteriores. Notamos muchas discrepancias, lo que nos lleva a concluir que esta propagación fantástica no era TE, sino posiblemente un resultado de magnéticos-irregularidades alineadas con el campo (FAI) en la ionosfera ecuatorial.

### Alguna información de antecedentes

El impulso para un nuevo récord de 2 metros había sido estimulado por las observaciones de YV5ZZ. El 8 de noviembre de 1976, Edgar escuchó el enlace ascendente OSCAR 7 Modo A (145.9 señales de LU7DJZ. No estaba escuchando la señal del enlace descendente en 10 metros, ¡lo que escuchó realmente fue en 2 metros! Esto provocó horarios de fin de semana al principio, lo que finalmente llevó intentos en un QSO. El contacto se hizo en 21,4 o 50,1 MHz. Si las condiciones parecían buenas, se hicieron intentos en 145,9 MHz. Para evitar OSCAR QRM, la frecuencia se cambió posteriormente a 145,1 MHz.

Después de casi un año de intentarlo, lo lograron. Desde el primer contacto, ha habido más de 40 días en los que se han producido aperturas conocidas y se han observado en todos los continentes. Los eventos más notables se enumeran en la Tabla 1. También se muestran los momentos durante los cuales se observaron las aperturas. La figura 1 es un mapa que muestra la ubicación de las estaciones activas en estas aperturas. La mayor parte de las condiciones favorables parece ocurrir dentro del período comprendido entre el atardecer y la medianoche. La intensidad de la señal no fue la misma para cada apertura y varió considerablemente durante el curso de un contacto. Las estaciones a veces informaron que las señales recibidas "sonaban como un rebote de luna", pero más a menudo estaban muy por encima del ruido. Incluso participaron estaciones ssb y fm de baja potencia (100 vatios de potencia radiada efectiva).

tabla 1

Propagación "Primeras" a través de FAI

Fecha UTC Desde / Hasta Comentarios

8 de noviembre de 1976	0037	YV5ZZ / LU7DJZ LU7DJZ	Modo OSCAR	Se escucha una señal de enlace ascendente
1 de julio de 1977	desconocido	PY2OD / TU2EF TU2EF	Modo OSCAR	Se escucha una señal de enlace ascendente
29 de octubre de 1977	0200-0400	YV5ZZ / LU1DAU	Primer QSO informado a través de este modo	
12 de febrero de 1978	0005-0020	LU / KP4-YV	Sin trayectoria de 6 metros pero buenas señales de 2 metros	
13 de febrero de 1978	0004-0110	LU / KP4-YV YV5ZZ	escuchó LU3AAT en 432 MHz pero no QSO	
20 de febrero de 1978	0400-0405	YV6ASU / LU3AAT LU3AAT	única estación escuchada en el norte. Nota: tiempo relativamente tarde	
24 de febrero de 1978	1200	VK8GB / JH6TEW	Primer QSO VK-JA en 2 metros	
10 de abril de 1978	1800	ZE2JV / 5B4WR	Primer QSO Asia-África a través de este modo	
12 de abril de 1978	1800	SV1AB / ZE2JV	Primer QSO África-Europa a través de este modo	

## Propagación en modo TE

Al revisar algunos trabajos y hallazgos anteriores en el campo de la propagación de TE, esperamos señalar comparaciones que indican que otro modo es responsable de los contactos más recientes.

Por lo general, se considera que un trayecto TE se encuentra entre estaciones ubicadas entre 1500 y 2500 millas (2400 y 4000 km) a ambos lados del ecuador magnético<sup>5</sup>. No se han informado caminos de este a oeste. Los estudios de sondeo de retrodispersión han identificado las trayectorias como resultado de dos o más reflexiones sucesivas en la región de la capa F de la ionosfera.

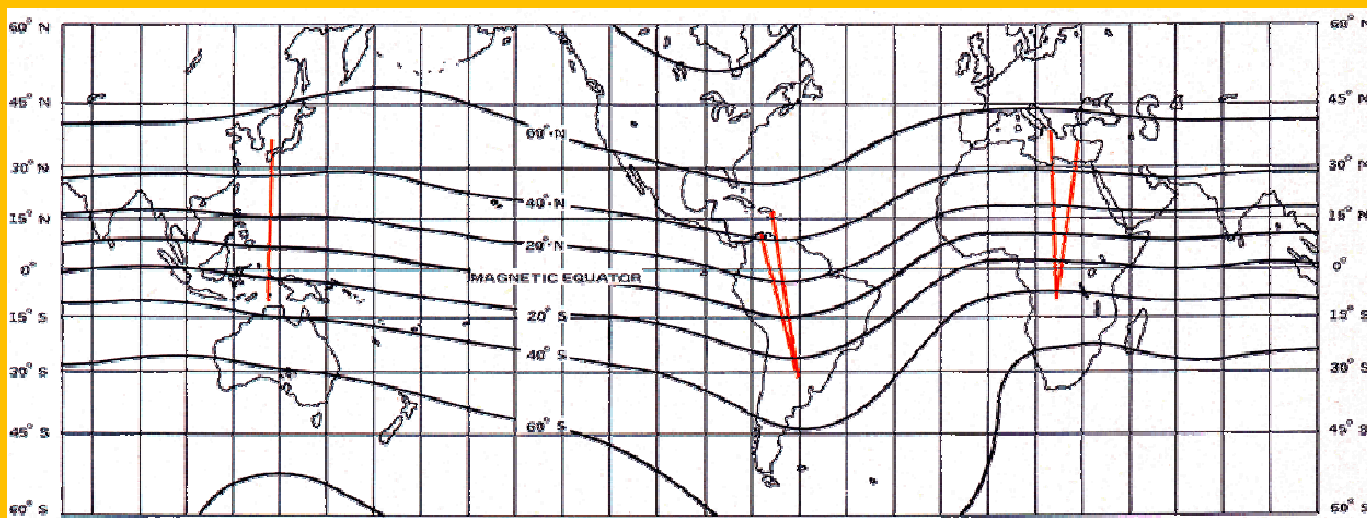


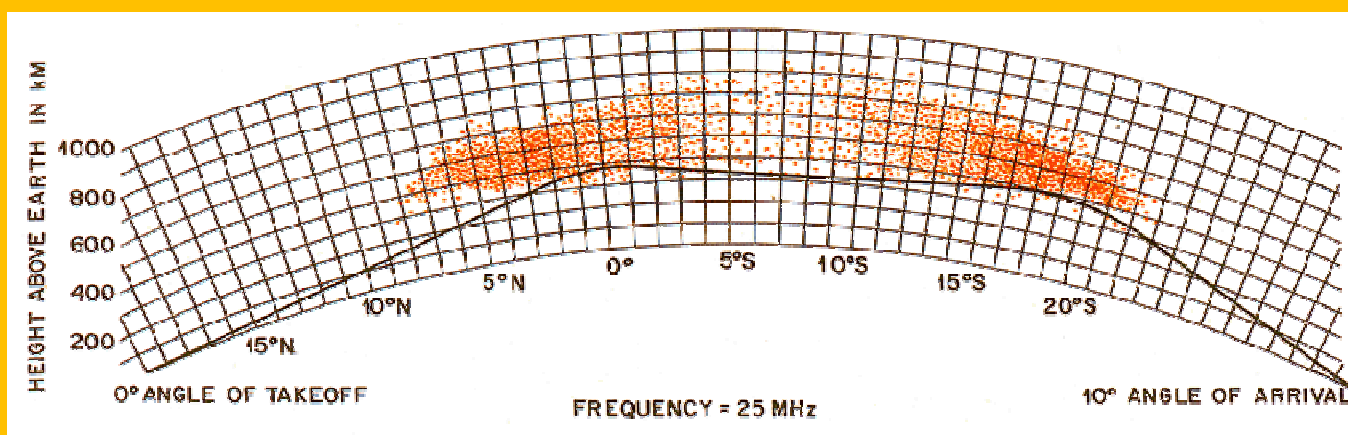
Fig. 1 - En este mapa se puede ver la ubicación aproximada de las estaciones que hicieron uso exitoso de FAI. Las púas de contorno indican latitudes geomagnéticas.

La trayectoria del rayo para tal señal se muestra en la Fig. 2. Dado que no hay reflejos intermedios en el suelo, la intensidad de la señal es mayor de lo esperado. TE depende de un fenómeno llamado "inclinación ionosférica". En lugar de una ionosfera que es concéntrica con la Tierra, puede ocurrir una inclinación, especialmente después del atardecer o el amanecer en la ionosfera. Se requiere una ionosfera que tenga inclinaciones opuestas sobre un área grande para soportar reflejos sucesivos. En la región ecuatorial, las inclinaciones ocurren diariamente cerca de la puesta del sol, cuando la altura de la ionosfera comienza a aumentar, elevándose más que en el norte y el sur. Más tarde en la noche, la capa ionizada se asienta y las inclinaciones desaparecen. Las olas que golpean esta capa inclinada tienen un ángulo de incidencia más bajo de lo que normalmente sería el caso.<sup>6</sup> Las aberturas de seis metros suelen coincidir con una propagación mejorada de 10 y 15 metros, y las señales suelen distorsionarse con un desvanecimiento de fluctuación característico. La propagación de TE se observa con mayor frecuencia entre 1700 y 2100 hora local en el punto medio de la trayectoria, moviéndose de este a oeste a medida que gira la tierra, pero también se han observado algunas aberturas vespertinas<sup>1,7</sup>. El TE ocurre con mayor frecuencia durante los períodos equinocciales (alrededor del 21 de marzo y el 23 de septiembre). Es menos común durante los períodos solsticiales

(alrededor del 22 de junio y el 22 de diciembre).<sup>1,5</sup>. Las mejores condiciones de TE parecen ocurrir en o cerca del pico del ciclo de las manchas solares.

## Comparación con aperturas recientes

Los contactos de 2 metros entre Australia y Japón y en América del Sur han sido entre estaciones ubicadas aproximadamente a 1500-2000 millas (2400-3200 km) del ecuador geomagnético. Una excepción fue la recepción de señales de enlace ascendente OSCAR 7 Modo A (145,9 MHz) desde TU2EF, Costa de Marfil, por PY2OD, Santos, Brasil. Este camino se encuentra a lo largo del ecuador geomagnético y representa la única propagación conocida de este tipo. Debido a que esta observación se hizo antes del primer contacto confirmado de 2 metros, ¡fue recibida con poca cantidad de escepticismo! Las nociones clásicas de TE no dan cuenta de este camino. Desde que se notó el efecto, el 1 de julio de 1977, YU2EF se mudó a Brasil.



**Fig. 2 - Sección transversal de la trayectoria de un rayo transecuatorial, que muestra el efecto de la inclinación ionosférica en una señal de 25 MHz. Este dibujo muestra un ejemplo típico de propagación TE. (De Davies, "Propagación de radio ionosférica", Oficina de Imprenta del Gobierno de los Estados Unidos, Washington, DC 1965.).**

Las aberturas de 2 metros hasta la fecha han mostrado poca correlación con los períodos equinocciales. De hecho, se han producido 10 aperturas dentro de los 30 días de un solsticio. Queda por ver si la frecuencia de aperturas aumenta a medida que se acerca un equinoccio. Dos metros es de 2 a 3 veces más alta en frecuencia que la mayor  $m_{3000}F_2$  observada durante el pico 1957-58 del ciclo 19 de manchas solares. Este período fue el máximo histórico para la actividad solar. De hecho, 2 metros no es la frecuencia más alta a la que se ha observado este fenómeno. El 13 de febrero de 1978, YV5ZZ escuchó señales débiles pero identificables de LU3AAT, en 432,1 MHz. La propagación de dos metros y 432 supera con creces la capacidad del modo TE. YV5ZZ estaba utilizando su sistema de antena satelital, que es orientable en azimut y elevación. En dirección a LU3AAT, su horizonte está obstruido por una cadena de montañas. El ángulo de elevación más bajo que permite despejar la cordillera es de 8 grados. El 16 de febrero de 1978, YV6ASU escuchó LU3AAT en 432 MHz, con su antena aproximadamente al mismo ángulo de elevación. En otra ocasión, KV4FZ escuchó LU3AAT en 145,1 MHz. Informó que se produjo un pico en la intensidad de la señal cuando el ángulo de elevación de la antena era de 8 a 10 grados. Esta geometría sugiere que la reflexión de la capa F de un solo salto no está involucrada. El ángulo también parece alto para la inclinación asociada con TE.

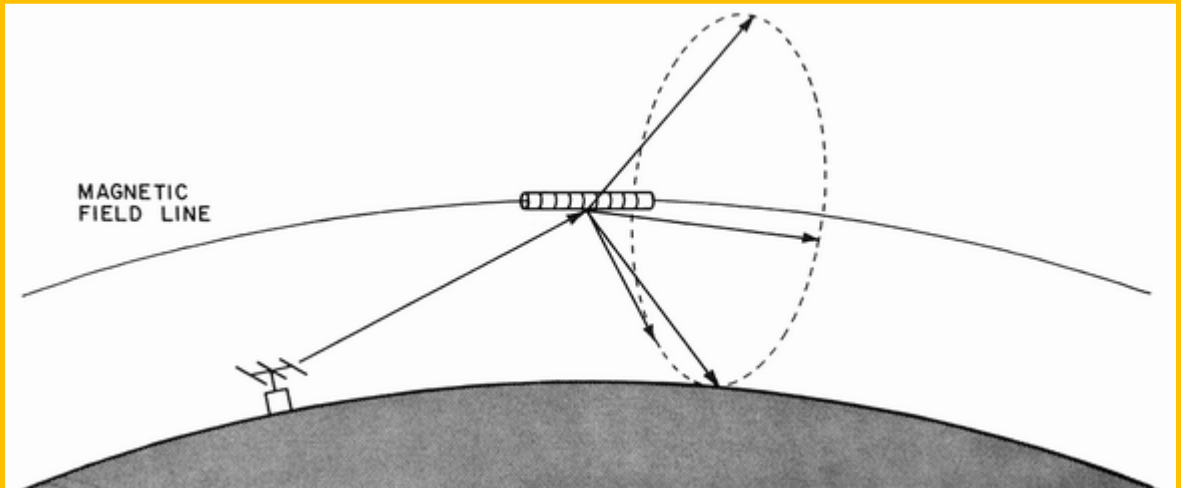
Al principio, las pruebas de 2 metros se realizaron solo cuando se notaron fuertes señales de 50 TE. Sin embargo, el 12 de febrero de 1978, KP4EOR se puso en contacto con dos estaciones argentinas en un momento en que no existía una ruta de 50 MHz. Este efecto, que también fue observado por YV5ZZ en ocasiones, normalmente no se esperaría para TE.

Cuando se compararon las ocasiones de las aperturas con el flujo solar y los índices geomagnéticos para las fechas involucradas, no se observó ninguna correlación. El primer contacto tuvo lugar un día en el que se registraron auroras en el hemisferio norte. Esto parece haber sido una coincidencia ya que la condición no se repitió. TE es más prominente en un pico del ciclo solar. Actualmente estamos ascendiendo desde un mínimo solar.

Debido a que estas observaciones indicaron que los contactos recientes no fueron el resultado de una propagación TE fantástica, comenzamos a buscar otro modo de propagación para dar cuenta de ellos. De inmediato se llamó nuestra atención sobre la posibilidad de que estuvieran relacionados de alguna manera con irregularidades en la ionosfera ecuatorial.

## Modo de dispersión

Un fenómeno relacionado con la ionosfera se llama centelleo<sup>8</sup>. Esto se ve como variaciones de amplitud y fase de señales que transitan por una región ionizada no uniforme. El centelleo hace que la señal se desvanezca dividiéndola en varias trayectorias de



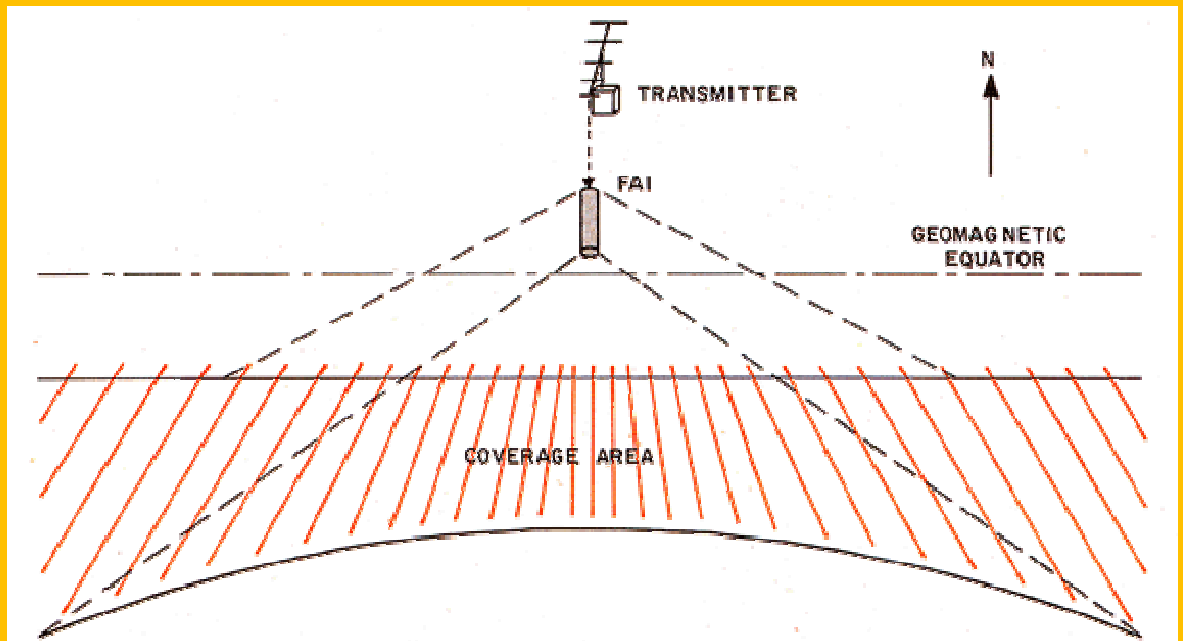
**Fig. 3 - Este diagrama ofrece un ejemplo de dispersión de rayos. Las irregularidades alineadas con el campo magnético de la Tierra son iluminadas por una onda de radio . La energía es dispersada de vuelta a la Tierra en un cono - forma de patrón. Las estaciones dentro del área intersecada por el cono pueden recibir la señal.**

rayos que pueden llegar o no en fase al receptor. Las irregularidades ionosféricas que causan la dispersión pueden considerarse como burbujas de densidad de electrones diferente a la del medio circundante. Estas burbujas pueden convertirse en reflectores direccionales de señales de radio. Se comportan aproximadamente como barras delgadas alargadas alineadas con el campo magnético de la Tierra<sup>9</sup>. En la figura 3 se muestra una representación de una varilla. El ángulo de reflexión de una onda es igual al ángulo de incidencia, pero no es necesario que ambos caminos se encuentren en el mismo plano. Una onda que incide en un cilindro provoca reflejos de forma cónica. Si el transmisor ilumina correctamente las irregularidades alineadas con el campo magnético, el cono se cruzará con la Tierra. Entonces, las señales pueden recibirse dentro del área cubierta por el cono. La dispersión tiende a agregar aún más caminos, permitiendo la recepción en un área en forma de cinturón, en lugar de circular o elíptica.

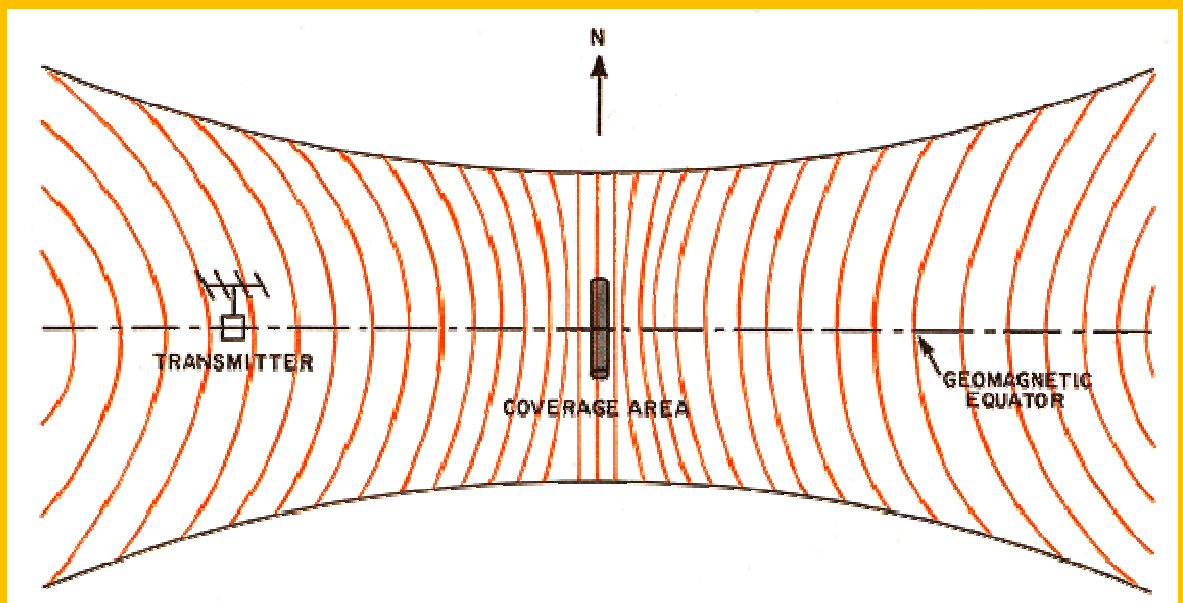
Diariamente pueden producirse irregularidades en la dispersión de la señal de Vhf en la región ecuatorial. De hecho, la aparición de irregularidades de dispersión es mayor cerca del ecuador magnético y en las regiones polares. El fenómeno se ve menos en las latitudes medias. Las aberraciones de la región polar están asociadas con las auroras. En la región ecuatorial comienzan abruptamente alrededor de las 1900 hora local, se vuelven más irregulares y esporádicos durante la noche. La interrupción en la región F ecuatorial se ha relacionado con un aumento en la altura de esta capa, el mismo fenómeno responsable de TE. El tiempo óptimo para la propagación de la dispersión a través de estas irregularidades de alineación de campo (FAI) es aproximadamente una hora más tarde. FAI muestran variaciones estacionales. El patrón preciso también depende de la longitud y el período del ciclo solar. Las FAI tienden a ser más comunes durante los períodos equinocciales, los meses de invierno y los años de alta actividad solar.<sup>10</sup>. En las Américas, la FAI parece estar concentrada en el período de octubre a marzo, casi desapareciendo durante junio, julio y agosto. En la región África-Mediterráneo, las ocurrencias también son frecuentes de octubre a mayo. Hay muchas vacantes en el período de junio a agosto. Para la región de Asia-Australia, los datos actuales indican que el máximo puede ser incluso en junio y julio.

Las FAI tienden a ocurrir dentro de los 10 grados del ecuador geomagnético. Los estudios satelitales han indicado que existen irregularidades lo suficientemente grandes como para dispersar señales de 144 MHz a alturas de hasta 620 millas (1000 km) justo al atardecer y poco después. Recientemente se han realizado estudios con el radar de dispersión de 50 MHz en Jicamarca, Perú. Indican que las irregularidades pueden durar hasta la medianoche, hora local. Se descubrió que las columnas de electrones en las regiones que de otro modo estarían empobrecidas forman conductos que pueden atrapar señales de vhf. Luego se dispersan de regreso a la Tierra en el punto en que salen del conducto. Los fuertes centelleos observados en las señales de satélite recibidas cerca del ecuador geomagnético se han relacionado con estas características.<sup>11</sup>.

A principios de la década de 1970, varias agencias gubernamentales participaron en un experimento para estudiar los efectos de las irregularidades artificiales en la ionosfera<sup>12</sup>. Dado que se sabía que las auroras naturales dispersaban señales vhf, se probaron las irregularidades creadas por el hombre en busca de las mismas propiedades. La reflexión de frecuencias de hasta 430 MHz se encontró en momentos en que la transmisión normal era posible solo a través de 10 MHz. Los reflejos eran tan fuertes que la comunicación cw y ssb a frecuencias de 20-50 MHz fue posible utilizando transmisores de salida de 100 vatios y antenas de ganancia de 10 dB. Por encima de 50 MHz, el coeficiente de reflexión disminuyó constantemente, por lo que se necesitaban cifras de ruido del receptor de



**Fig. 4** Cuando una estación al norte del ecuador transmite en dirección sur, el área de cobertura sur será similar a la que se muestra en este dibujo, que se muestra como si mirara hacia abajo desde una gran altura. El tamaño de esta área depende de la longitud y extensión horizontal del medio de dispersión y de su posición en relación con el transmisor y el receptor. El patrón de cobertura para una estación del sur que transmite al norte sería una imagen especular de la que se muestra aquí.



**Fig. 5** Cobertura en modo de dispersión en dirección este-oeste a lo largo del ecuador magnético. Como en el caso mostrado en la Fig. 4, el área de cobertura depende de la extensión horizontal del medio de dispersión. Un área de cobertura relativamente amplia puede ser posible si la alineación norte-sur de las irregularidades no es un aspecto importante del fenómeno.

430 MHz del orden de 1 dB para producir señales utilizables en trayectos largos. Las tasas de desvanecimiento aumentaron con la frecuencia. Las irregularidades que ocurren naturalmente en la ionosfera ecuatorial nocturna pueden producir efectos similares y la geometría es correcta para la propagación norte-sur a larga distancia. Si hay una coherencia (efecto de adición), de las estructuras en bandas que se producen naturalmente en el FAI ecuatorial, las intensidades de señal observadas podrían apoyarse con un modesto equipo de aficionados. Es interesante observar que, dado que las líneas del campo geomagnético en la ionosfera por encima del ecuador magnético son casi paralelas a la superficie de la Tierra, las comunicaciones en las direcciones norte-sur y este-oeste deberían ser



posibles, dados los niveles de potencia adecuados. las intensidades de la señal observadas podrían respaldarse con un modesto equipo de aficionados. Es interesante observar que, dado que las líneas del campo geomagnético en la ionosfera por encima del ecuador magnético son casi paralelas a la superficie de la Tierra, las comunicaciones en las direcciones norte-sur y este-oeste deberían ser posibles, dados los niveles de potencia adecuados. las intensidades de la señal observadas podrían respaldarse con un modesto equipo de aficionados. Es interesante observar que, dado que las líneas del campo geomagnético en la ionosfera por encima del ecuador magnético son casi paralelas a la superficie de la Tierra, las comunicaciones en las direcciones norte-sur y este-oeste deberían ser posibles, dados los niveles de potencia adecuados.<sup>13</sup>. En el caso de la propagación de norte a sur a través del ecuador geomagnético, el modo de propagación es como se muestra en la Fig. 4. La propagación de este a oeste a través de FAI es teóricamente posible cerca del ecuador geomagnético. La cobertura posible se muestra en un diagrama en la Fig. 5. Esto podría explicar la recepción de señales de enlace ascendente OSCAR de TU2EF en Brasil, una trayectoria este-oeste a lo largo del ecuador geomagnético.

Otra propiedad interesante de la propagación a través de FAT es que es posible la transmisión de largo alcance desde dentro o por encima de la ionosfera al suelo. El cono de señales generadas por las transmisiones satelitales incidentes en FAT ecuatorial puede cruzarse con el suelo cuando la geometría es correcta. Tal modo podría explicar la recepción de señales de enlace descendente OSCAR cuando el satélite está muy por debajo del horizonte del oyente.

La propagación de la dispersión hace que la señal vibre. Tanto el aumento de frecuencia como el menor número de reflejos mejorarán la gravedad del aleteo. ¡KP4EOR notó que las señales recibidas sonaban como una sierra circular! Las pruebas realizadas después de la medianoche, hora local, no han descubierto aperturas recurrentes. Los datos de radar de Jicamarca indican que tales aperturas, si es posible, deberían ser raras, debido a la ausencia de superficies de dispersión de tamaño adecuado después de la medianoche local. La predicción de la presencia de FAT puede ser posible con la ayuda de satélites de aficionados. La dispersión ionosférica da como resultado un cambio de frecuencia Doppler observado que difiere del valor esperado. Un gráfico Doppler preciso puede revelar cambios en una ionosfera irregular.

## Conclusiones

Las recientes aperturas de 2 metros que batieron récords exhibieron muchas características que antes no se habían observado ni explicado. En un esfuerzo por explicarnos a nosotros mismos lo que estaba sucediendo, notamos muchas características directamente relacionadas con la aparición de irregularidades en la alineación del campo magnético de la Tierra. Parece probable que estos contactos sean el resultado de la propagación por la estructura de escala fina de la ionosfera ecuatorial, en lugar de amplias inclinaciones relacionadas con las condiciones ionosféricas normales. La confirmación espera más pruebas por parte de aficionados. Si estamos en lo cierto, las implicaciones son emocionantes para los operadores de vhf en todo el mundo. Es posible que se establezcan contactos entre América del Sur y África, y África y Asia en frecuencias de hasta 432 MHz.

Nuestro más sincero agradecimiento al Sr. Edgar Mueller, YV5ZZ, por los excelentes datos que proporcionó. También nuestro agradecimiento al Sr. Jack Klobuchar, W1BZT; Sr. Richard Allen y Sr. WE Brown, ex-W1ZIG, por su ayuda al proporcionar comentarios técnicos e información de propagación.

## Referencias

- 1 Cracknell, "Transequatorial Propagation of VHF Signals", QST, diciembre de 1959.
- 2 Southworth, "A Look Back and Ahead at PRP", QST, junio de 1959.
- 3 Tilton, "TE Propagation - VHF Discovery Extranormal", QST, abril de 1963.
- 4 Whiting, "How Does TE Work?" QST, abril de 1963.
- 5 Bowen, "Vhf Characteristics of the Transequatorial Ionosphere", Space Physics, Journal of Geophysical Research, abril de 1968.
- 6 Ibid.
- 7 Vittard, et al, "Estudios de la propagación ionosférica transequatorial mediante el método de sonido de dispersión", Journal of Geophysical Research, vol. 69, (1957),
- 8 Aarons, "Equatorial Scintillations: A Review", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, septiembre de 1977.
- 9 Frank, Fenwick y Viltard, "Communicating at Vhf via Artificial Radio Aurora", QST, noviembre de 1974.
- 10 McSherry, "Ionospheric Scintillations at Shf", Microwave Journal, junio de 1977.
- 11 Basu, "Comparación preliminar de mapas de radar Vhf de irregularidades de la región F con centelleos en la región ecuatorial", Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, vol. 39, 1977, pág. 1251.
- 12 Frank, et al.
- 13 Cracknell.

## **Referencias adicionales**

*Burke, Dimatelli, Sagalyu y Ketly, "Irregularidades de gran amplitud en latitudes bajas en las cimas, de ionosfera", Laboratorio de geofísica de la Fuerza Aérea, Documento de investigación ambiental No. 616, 28 de noviembre de 1977.*

*Metty y Perkins, "Teoría de la modificación ionosférica: pasado, Presente y futuro ", Radio Science, noviembre de 1974.*

**QST Octubre de 1978**

**Hecho por OK1TEH para páginas OK2KKW.com - 2008**