

INFORME 304-3*

**CARACTERÍSTICAS DEL DESVANECIMIENTO EN RADIODIFUSIÓN SONORA
EN LA ZONA TROPICAL**

(Cuestión 45/10, Programa de Estudios 45B/10)

(1956-1959-1963-1978-1986-1990)

1. Introducción

Las fluctuaciones de la señal recibida en función del tiempo, del espacio y de la frecuencia, que se manifiestan como variaciones aleatorias de corta duración, variaciones irregulares de larga duración y variaciones más o menos regulares, se conocen con la denominación colectiva de «desvanecimiento». Al proyectar servicios de radiodifusión sonora, es imprescindible disponer de información precisa sobre los tipos y las características del desvanecimiento que cabe esperar en la señal recibida.

2. Tipos de desvanecimiento

El desvanecimiento pueden causarlo diversos fenómenos ionosféricos. Los distintos tipos de desvanecimientos se pueden clasificar, en general, según la causa que los origina, en las categorías principales que seguidamente se describen.

2.1 Desvanecimiento por interferencia

Es el resultante de la interferencia, en el punto de recepción, entre dos o más ondas que recorren trayectos diferentes. Sus causas pueden ser:

- interferencia entre la onda ionosférica y la onda de superficie;
- interferencia entre ondas ionosféricas tras reflexiones múltiples;
- interferencia entre las dos componentes magnetoiónicas inversamente polarizadas: la onda ordinaria y la onda extraordinaria;
- interferencia entre varias pequeñas ondas dispersas por difracción en distintos centros de dispersión, causadas bien por la deriva horizontal uniforme de las irregularidades presentes en la ionosfera, bien por su movimiento aleatorio, o por ambos fenómenos.

El desvanecimiento por interferencia puede durar desde una fracción de segundo hasta varios segundos, y la intensidad de campo resultante puede variar entre amplios límites durante este periodo.

2.2 Desvanecimiento de polarización

Es el resultante de cambios de la dirección de polarización de la onda descendente con relación a la orientación de la antena receptora, debidos a fluctuaciones aleatorias de la densidad de electrones a lo largo del trayecto de propagación.

Al igual que el desvanecimiento por interferencia, el de polarización dura también de una fracción de segundo a varios segundos.

2.3 Desvanecimiento de absorción

Lo causa la variación en la absorción de la onda radioeléctrica propagada por la ionosfera, consecuencia de los cambios de la densidad de ionización. Suele durar más, pasando, en ocasiones, de una hora.

* Este Informe debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 6.

2.4 Desvanecimiento de zona de silencio

Puede observarse este tipo de desvanecimiento en los lugares de recepción cercanos a la zona de silencio, aproximadamente en el orto y el ocaso del Sol, cuando por la inestabilidad de la densidad de ionización de la ionosfera, puede oscilar la MUF de un trayecto de transmisión alrededor de la frecuencia real. La amplitud de la señal recibida puede caer bruscamente cuando el límite de la zona de silencio cruza el punto de recepción, y puede aumentar súbitamente al decrecer la zona de silencio, produciéndose así el desvanecimiento.

2.5 Desvanecimiento selectivo

Por lo general, el desvanecimiento es más rápido en las frecuencias elevadas que en las frecuencias bajas, porque para un movimiento determinado en la ionosfera se produce un desplazamiento de fase mayor en las longitudes de onda más cortas, ora por reflexión, ora por dispersión en las irregularidades. Ocurre a veces en una portadora modulada que las componentes de frecuencia de las bandas laterales se desvanecen de manera diferente e independientemente, originando una distorsión de la envolvente de modulación. Esto es lo que se denomina «desvanecimiento selectivo».

Todos los tipos citados de desvanecimiento se encuentran, en general, en la Zona Tropical. Sin embargo, en el punto 4 se tratará de algunos tipos especiales de desvanecimiento observados únicamente en la Zona Tropical y en bajas latitudes geomagnéticas.

3. Características del desvanecimiento

Los términos «profundidad» y «rapidez» aplicados al desvanecimiento, se refieren a las características de la variación de la amplitud de la señal recibida.

3.1 Profundidad del desvanecimiento

La profundidad del desvanecimiento se mide por la distribución de la amplitud o la función de densidad de probabilidad.

3.1.1 Análisis de la profundidad del desvanecimiento

En una curva de desvanecimiento, es decir, de la variación en el tiempo de la señal recibida, llamando R a la amplitud de la onda descendente en un instante t , y dR a un pequeño cambio de R en el intervalo de tiempo $(t + dt)$, la probabilidad de encontrar la amplitud entre los límites R y $(R + dR)$ es $P(R)dR$, siendo $P(R)$ la función de la densidad de probabilidad de R .

Las funciones de densidad de probabilidad analíticamente calculadas para describir la envolvente de una señal con desvanecimiento, difieren en la forma y dependen del mecanismo de desvanecimiento de la señal recibida. Según la amplitud y la fase de las señales que contribuyen a formar la onda descendente resultante, las distribuciones de amplitud observadas normalmente se ajustan, por lo general, a una de las tres curvas estadísticas típicas siguientes:

- distribución de Rayleigh,
- distribución normal o gaussiana, y
- distribución logarítmica normal.

3.1.1.1 Distribución de Rayleigh

Si la onda descendente se compone de un gran número de ondas dispersadas en irregularidades, en movimiento aleatorio, la amplitud resultante de la señal, en cualquier instante, será la suma vectorial de las ondas dispersadas, cada una de las cuales tendrá una fase aleatoria. La densidad de probabilidad de la amplitud resultante, R , de la envolvente, estará entonces representada por una distribución de Rayleigh:

$$P(R) = (R/\psi) \exp(-R^2/2\psi) \quad (1)$$

donde:

R : amplitud en cualquier instante

ψ : densidad en el espectro de potencia, un parámetro relacionado con el valor medio, $\bar{R}$, el valor cuadrático medio, R_0 , y el valor más probable, R_m , en la siguiente forma:

$$\bar{R} = \sqrt{\pi\psi/2}, R_0 = \sqrt{2\psi}, R_m = \sqrt{\psi}$$

Algunas veces es conveniente evaluar ψ según la curva de $\log[P(R)/R]$ en función de R^2 . La curva logarítmica correspondiente es una línea recta cuya pendiente es $1/2\psi$ y la abscisa en el origen $\log(1/\psi)$.

La fig. 1a) muestra la función de densidad de probabilidad de la amplitud R , tipo Rayleigh, y la fig. 1b) la curva correspondiente de $\log [P(R)/R]$ en función de R^2 .

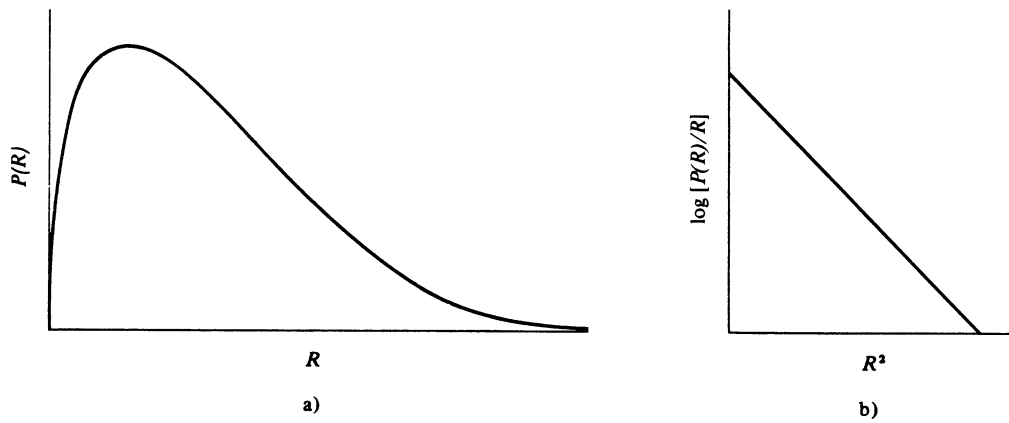


FIGURA 1

3.1.1.2 Distribución normal o gaussiana

La distribución normal está representada por la ecuación:

$$P(R) = \left(1/\sigma\sqrt{2\pi}\right) \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{R - R_M}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2)$$

donde σ es la desviación típica de la distribución gaussiana, y R_M el valor mediano de R .

La distribución normal se suele observar cuando la onda descendente está formada por una componente aleatoria y una componente estable debida a la reflexión especular en la ionosfera, y la contribución de la componente estable es de magnitud considerable comparada con la de la aleatoria.

La fig. 2 muestra la función de densidad de probabilidad de tipo normal o gaussiana:

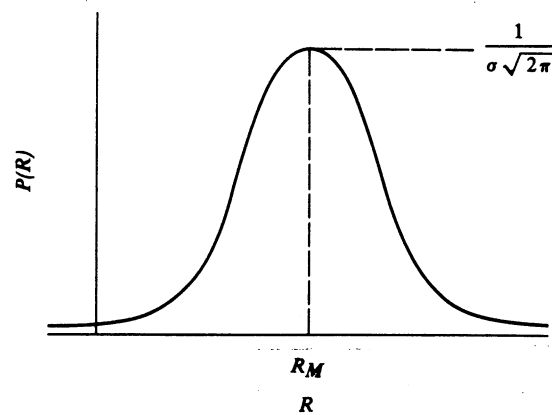


FIGURA 2

3.1.1.3 Distribución log-normal

La densidad de probabilidad de la amplitud de registros de desvanecimiento representativos de una distribución log-normal, viene dada por:

$$P(x) = (1/\sigma_x \sqrt{2\pi}) \exp(-x^2/2\sigma_x^2) \quad (3)$$

donde

$$x = 20 \log(R/R_M)$$

R_M es el valor mediano de R . En este caso, la intensidad de campo medida logarítmicamente está distribuida normalmente. La fig. 3 muestra una curva típica de distribución log-normal.

3.1.1.4 Fórmula general para la distribución de la intensidad

Con una forma general de desvanecimiento, se puede suponer que la señal está compuesta, en el punto de recepción, por un elemento sinusoidal estable y un elemento fluctuante aleatorio. Esto conduce a una función de densidad de probabilidad que ha sido descrita por varios autores [Nakagami, 1943; McNicol, 1949; Nakagami, 1960].

En este caso, según un trabajo de [Rice, 1944-1945], la densidad de probabilidad de la amplitud resultante, Q , de la envolvente se puede expresar así:

$$P(Q) = (Q/\psi) \exp[(-Q^2 + B^2)/2\psi] I_0(QB/\psi) \quad (4)$$

donde

I_0 : función de Bessel de orden cero y argumento imaginario

B : amplitud de la señal estable

ψ : está relacionado con la amplitud de la componente fluctuante aleatoria en la forma siguiente:

$$\psi = R_0^2/2 \text{ o } R_m^2$$

donde

R_0 : valor cuadrático medio

R_m : valor más probable de la componente aleatoria.

En general, $\overline{Q^2} = B^2 + 2\psi$.

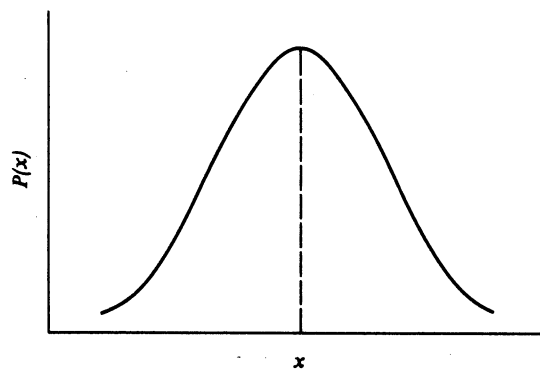


FIGURA 3

La fig. 4 ilustra el comportamiento general de $P(Q)$ en función de b , siendo $b = B/\sqrt{\psi}$ la relación entre la amplitud de la señal estable y el valor más probable de la señal aleatoria.

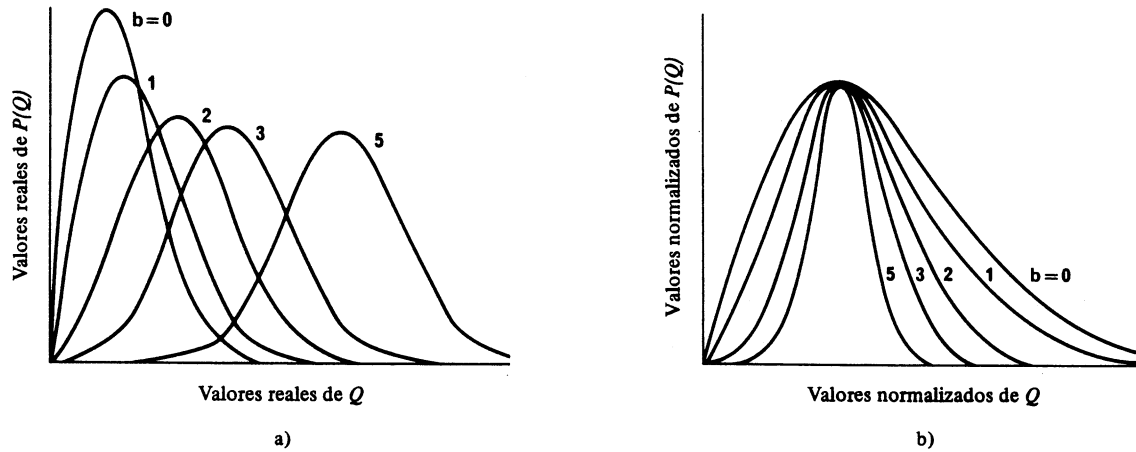


FIGURA 4 - Densidades de probabilidad de la amplitud Q de la señal estable más la señal aleatoria

a) Curvas reales

b) Curvas normalizadas

Si $b < 1$, la ecuación (4) se reduce a:

$$P(Q) \approx (2 Q / R_0^2) \exp(-Q^2 / R_0^2) \quad (5)$$

que es aproximadamente una distribución de Rayleigh.

Si $b > 3$,

$$P(Q) \approx (1/\sqrt{2\pi\psi}) \times \sqrt{Q/B} \times \exp[-(Q - B)^2/2\psi] \quad (6)$$

La distribución en este caso es gaussiana, con una desviación típica de $\sqrt{\psi}$.

McNicol [1949] ha demostrado que la expresión (6) se puede poner en la forma:

$$P(Q) = (1/\sqrt{2\pi\psi}) \times \exp[-(Q - Q_m)^2/2\psi] \quad (7)$$

con una aproximación del 1%,
siendo

$$Q_m = \sqrt{\psi(b^2 + 1)}$$

Un trazado de $\log P(Q)$ en función de $(Q - Q_m)^2$ da una línea recta (fig. 5) cuya pendiente es $1/2\psi$. Conociendo ψ y Q_m (por la curva de distribución), se puede evaluar b , que representa la proporción entre las señales estable y aleatoria en la onda recibida.

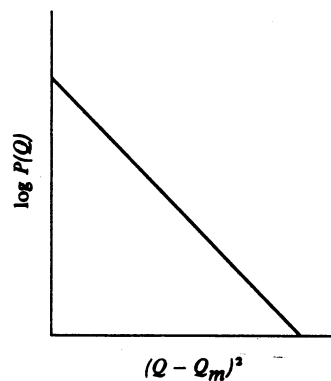


FIGURA 5

Además de las funciones de densidad de probabilidad citadas, se observa a veces otra distribución, denominada de tipo m .

La forma funcional de la distribución de tipo m la ha dado Nakagami [1960] así:

$$P(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp -(m/\Omega) R^2 \quad (8)$$

donde $\Omega = \overline{R^2}$ (valor medio de R^2 en el tiempo)

y

$$m = (\overline{R^2})^2 / (R^2 - \overline{R^2})^2 \geq 0,5$$

siempre, esto es, la inversa de la varianza normalizada de R^2 .

La fig. 6 muestra una distribución de amplitud de tipo m .

En el punto 5 se tratará de las estimaciones cuantitativas de la profundidad del desvanecimiento que se puede obtener partiendo de las distribuciones estadísticas de la señal recibida.

3.1.2 Distribución de amplitud observada experimentalmente

En documentos del CCIR se han publicado los resultados de mediciones de desvanecimiento en transmisiones efectuadas en varias regiones de la Zona Tropical, a distintas horas del día y a diversas distancias de los transmisores.

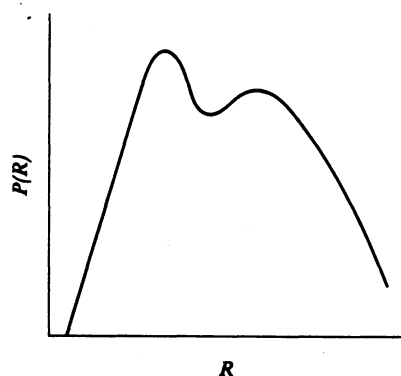


FIGURA 6

Los registros de desvanecimientos obtenidos en Barbados, Trinidad, Ghana, Singapur y Johannesburg por la Administración del Reino Unido [CCIR, 1959b; 1962b] concuerdan bastante bien con el tipo de distribución de Rayleigh en distancias de 0 a 350 km. Sin embargo, a distancias superiores a los 350 km, se ha observado una diferencia considerable con respecto a la distribución de tipo Rayleigh.

All India Radio ha hecho mediciones de desvanecimiento en transmisiones de onda continua con incidencia oblicua, en las bandas de 4,7, 9 y 15 MHz, y en transmisiones de impulsos en la frecuencia equivalente con incidencia vertical. El análisis de las curvas de desvanecimiento demostró que las distribuciones observadas eran de los tipos Rayleigh, normal o logarítmico normal [CCIR, 1959a].

En la India se encontró también, aparte de la distribución usualmente observada de la señal con desvanecimiento, es decir, de Rayleigh, normal o logarítmica normal, una distribución de probabilidad de tipo m [Das Gupta y Vij, 1960; Khastagir y otros, 1968; Srivastava y otros, 1972].

3.2 Rapidez del desvanecimiento

La rapidez o velocidad del desvanecimiento se puede caracterizar de diferentes maneras [Fürth y MacDonald, 1947; McNicol, 1949; Booker y otros, 1950; Rice, 1958]. Seguidamente se examinan las diversas formas de caracterización de la rapidez del desvanecimiento.

3.2.1 *Análisis de la rapidez del desvanecimiento*

La función de autocorrelación nos muestra una importante propiedad estadística de la variación de amplitud de uno a otro instante. La velocidad o rapidez del desvanecimiento se puede expresar en términos de la función de autocorrelación de la amplitud en el tiempo o en términos del espectro de potencia del desvanecimiento, que es la transformada de Fourier de la función de autocorrelación.

Si llamamos $A(t)$ a la amplitud en función del tiempo, con un valor medio constante en el intervalo de t a $t + \tau$, tendremos la función de autocorrelación $\rho(\tau)$ definida por:

$$\rho(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} A(t) \cdot A(t+\tau) \cdot dt \quad (9)$$

Si f representa la frecuencia (rapidez) del desvanecimiento y $F(f)$ es la transformada de Fourier de $A(t)$, es decir:

$$F(f) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A(t) \cdot \exp(-i\omega t) dt$$

entonces, el espectro de potencia $W(f)$ de la señal afectada por el desvanecimiento viene dado por $W(f) = |F(f)|^2$, que es proporcional a $|\rho(\tau) \exp(-i\omega\tau)|^2$, la transformada de Fourier de $\rho(\tau)$.

Por consiguiente, el espectro de frecuencia de la señal con desvanecimiento se puede obtener con ayuda de la función de autocorrelación. La anchura del espectro de potencia del desvanecimiento está relacionada con la rapidez del desvanecimiento.

Suponiendo que el desvanecimiento lo causa la dispersión por difracción en un gran número de irregularidades ionosféricas, y que las pequeñas ondas de dispersión, de amplitudes y fases aleatorias, se combinan en el suelo y producen la señal resultante en un instante dado, Booker y otros [1950] han demostrado que la función de autocorrelación $\rho R(\tau)$ de la amplitud R de la señal fluctuante recibida, es proporcional a:

$$\exp [(-16\pi^2 v_0^2 \tau^2)/\lambda^2] \quad (10)$$

donde v_0 es el valor cuadrático medio de la velocidad de las irregularidades en el trayecto directo.

La función de autocorrelación baja a e^{-1} al cabo de un tiempo $\tau = \lambda/4 \pi v_0$, que se puede muy bien denominar «tiempo de desvanecimiento», puesto que representará, por término medio, el tiempo que ha de transcurrir antes de que varíe apreciablemente la señal recibida.

Con incidencia oblicua:

$$\rho R(\tau) = \text{const.} \exp [(-16\pi^2 v_0^2 \tau^2 \cos^2 \phi)/\lambda^2] \quad (11)$$

siendo ϕ el ángulo de incidencia en la ionosfera de la onda radioeléctrica.

Siempre que el desvanecimiento es aleatorio, la distribución de amplitud es de tipo Rayleigh, y el diagrama de autocorrelación es una curva suave de decrecimiento exponencial. No obstante, si el desvanecimiento no es absolutamente aleatorio, sino que tiene cierta tendencia a la periodicidad, el diagrama de autocorrelación mostrará una serie de máximos y mínimos. La distribución de amplitud correspondiente es, a menudo, una curva gaussiana [CCIR, 1959a].

Las figs. 7a) y 7b) son los diagramas de autocorrelación de dos tipos de curvas de desvanecimiento:

Se usan también otras formas de caracterización de la rapidez del desvanecimiento que no describen tan completamente el desvanecimiento como las funciones de autocorrelación, pero proporcionan información útil acerca de las velocidades de desvanecimiento, conforme seguidamente se expone.

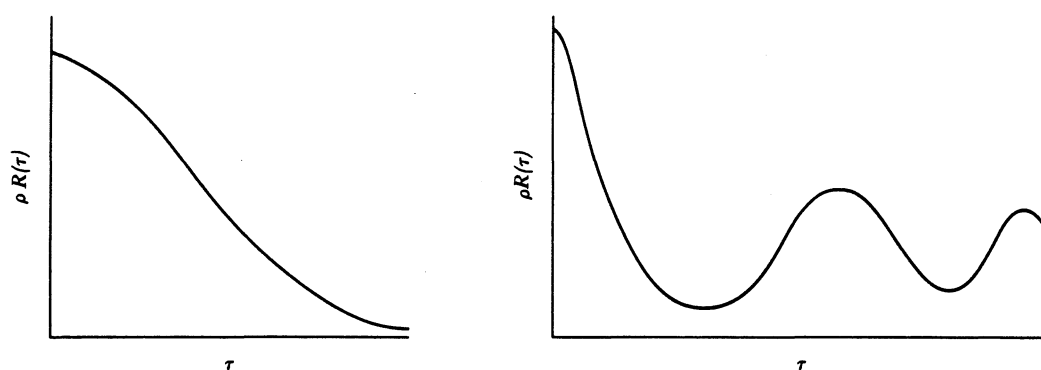


FIGURA 7

a) *Diagrama de autocorrelación de un desvanecimiento de tipo Rayleigh*

b) *Diagrama de autocorrelación de un desvanecimiento de tipo gaussiano*

Según el trabajo sobre el ruido de Fürth y MacDonald [1947], la velocidad del desvanecimiento se puede conocer analizando diferencias sucesivas de amplitud de las señales en la curva de desvanecimiento. Desarrollando la teoría de Rice sobre el ruido aleatorio, han demostrado que, en el caso de la distribución de amplitud de tipo Rayleigh, la distribución de probabilidad de ν_τ , es decir, la diferencia sucesiva entre dos amplitudes ($R_2 - R_1$) en un pequeño intervalo de tiempo τ , viene dada por:

$$\rho \nu_\tau d\nu_\tau = (1/\pi) \exp(-x^2) dx \quad (12)$$

donde

$$x = \nu_\tau / (2\pi\sigma\tau \sqrt{2\psi})$$

y el espectro de potencia gaussiano con una desviación típica σ .

El espectro de potencia $W(f)$ viene dado por la siguiente fórmula:

$$W(f) = (\psi/\sigma \sqrt{2\pi}) \exp[-(f - f_0)^2/2\sigma^2] \quad (13)$$

en la que $\psi = \int_0^\infty W(f) df$ es la energía total en el espectro de potencia.

En el caso de una señal que se desvanece aleatoriamente, se puede establecer una expresión semejante. En este caso, f_0 es la frecuencia de la onda incidente y f es la frecuencia desviada por efecto Doppler de la onda reflejada en las irregularidades en movimiento.

El valor promedio de $|\nu_\tau|$ se define así:

$$|\bar{\nu}_\tau| = 2 \int_{-\infty}^{\infty} \nu_\tau \cdot \rho \nu_\tau \cdot d\nu_\tau$$

Aplicando las expresiones precedentes (12) y (13), tendremos:

$$\begin{aligned} |\bar{\nu}_\tau| &= 2 \sqrt{2\pi\psi} \cdot \sigma\tau \\ |\bar{\nu}_\tau/\tau| &= \sqrt{2\pi\psi} \cdot 2\sigma \end{aligned}$$

$|\bar{\nu}_\tau/\tau|$ se denomina velocidad del desvanecimiento.

Una forma sencilla de definir la velocidad del desvanecimiento consiste en tomar el número de cruces positivos por unidad de tiempo a través de un nivel especificado. El número de máximos, N , de la amplitud de la envolvente de la señal recibida por unidad de tiempo, se puede usar como medida de la rapidez del desvanecimiento. Rice ha puesto de manifiesto que con una desviación típica σ del espectro de potencia de la señal recibida, $N = 2,52 \sigma$.

Se puede calcular, asimismo, la rapidez del desvanecimiento partiendo de la derivada de la amplitud de la señal recibida; viene dada por $|dR/dt|/\bar{R}$, siendo R la amplitud instantánea de la señal recibida.

3.2.2 Valores medidos de la velocidad de desvanecimiento

En los párrafos que siguen se exponen algunos valores típicos de la rapidez del desvanecimiento medidos en la Zona Tropical.

En [CCIR, 1959a] la India comunica una velocidad promedio de 11,9 desvanecimientos por minuto, habiéndose observado que, en general, la velocidad oscila entre 4 y 16 desvanecimientos por minuto.

La velocidad promedio de desvanecimiento medida en 2,3 MHz en la capa E durante el día y durante la noche, fue 10,96 ciclos/minuto (0,183 Hz) y 14,002 ciclos/minuto (0,233 Hz). En el caso de la capa F2, la velocidad promedio del desvanecimiento en 5,6 MHz durante el día y durante la noche, se observó que era de 11,22 ciclos/minuto (0,187 Hz) y 8,37 ciclos/minuto (0,14 Hz), respectivamente [Rao y Rao, 1967].

En casi toda la Zona Tropical se observa, después de la puesta del Sol, una velocidad de desvanecimiento mayor. La Administración del Reino Unido comunicó este fenómeno al CCIR, en [CCIR, 1959b]. El valor típico de la rapidez del desvanecimiento es de 10 Hz en 15 MHz [Davies y Barghausen, 1967]. McNamara [1971] ha observado velocidades mayores, hasta de 15 Hz.

La velocidad del desvanecimiento de las señales reflejadas en la capa E esporádica (Es) se ha visto que es mayor que en las capas E o F normales. Son típicas velocidades de 0,2 a 5 Hz [Rastogi y otros, 1966; Skinner y Wright, 1962].

Skinner y Wright [1962] han observado que en la capa Es ecuatorial de tipo q, las velocidades de desvanecimiento son del orden de 4 Hz y que aumentan casi linealmente con la frecuencia de la onda. En cuanto a la capa Es del tipo de ocultación, las velocidades de desvanecimiento son mucho menores que las de la capa Es de tipo q; del orden de 0,8 Hz.

Las observaciones hechas en Thumba (India) en el ecuador magnético, han puesto de manifiesto que la velocidad de desvanecimiento de las ondas radioeléctricas reflejadas en la capa Es tiene una fuerte variación diurna, siendo muy rápida por la mañana temprano y al atardecer, y muy lenta a mediodía [Rastogi y otros, 1966].

4. Peculiaridades del desvanecimiento especialmente observadas en la Zona Tropical

El desvanecimiento de las señales en las regiones tropicales de baja latitud magnética, tiene ciertas características especiales debidas:

- a un tipo particular de capa E esporádica asociada al chorro de electrones ecuatorial, que ocurre regularmente durante el día, o
- a irregularidades de la capa F durante la noche, denominadas a menudo capa F difusa.

4.1 Desvanecimiento debido a la capa E esporádica

El desvanecimiento observado durante el día en la zona ecuatorial se suele atribuir a la capa E esporádica. Un análisis efectuado por All India Radio [CCIR, 1962a] muestra que la capa E esporádica es una de las causas de las fluctuaciones de las señales de un día a otro.

4.1.1 Características de la capa E esporádica en la Zona Tropical

En la Zona Tropical suele haber, según la latitud, dos tipos de capa E esporádica:

- E esporádica de zona templada, y
- E esporádica ecuatorial.

La capa E esporádica de zona templada observada en latitudes medias es, sobre todo, un fenómeno estival que ocurre tanto de día como de noche, y es más intenso de día. En una estrecha zona cerca del ecuador magnético ($\pm 6^\circ$ de inclinación magnética), aparece regularmente durante el día un tipo especial de capa E esporádica sumamente transparente, denominada capa E esporádica ecuatorial o Es-q [Matsushita, 1962; Knecht y McDuffie, 1962]. Se ha observado que hay una zona más estrecha exactamente en el ecuador magnético, donde por lo general no suele presentarse la capa E esporádica del tipo de ocultación [Knecht y McDuffie, 1962; Cohen y otros, 1962].

Pero Oyinloye [1971] indica que la capa E esporádica del tipo de ocultación se presenta a veces sobre el ecuador geomagnético.

4.1.2 *Efectos observados de desvanecimiento debido a la capa E esporádica*

Las características del desvanecimiento de las ondas radioeléctricas reflejadas en la capa Es, han sido estudiadas por diversos autores, con resultados distintos.

Algunas de las características de los ecos procedentes de los dos tipos diurnos principales de capa Es en Ibadan (latitud geomagnética, 10,6° N), Nigeria, han sido estudiadas mediante transmisiones de impulsos de incidencia vertical en la banda de frecuencias de 4 a 8 MHz. Se ha observado en las frecuencias más elevadas de la banda de 4,3 a 8,5 MHz que la señal reflejada en la capa Es de tipo q es casi de fase aleatoria con distribución de amplitud de Rayleigh, en tanto que en las frecuencias inferiores, cerca de 4,5 MHz, la distribución de amplitud corresponde a la función de Nakagami-Rice. Se observa la distribución de amplitud de tipo Rayleigh en los registros del desvanecimiento en 5,7 y 7,5 MHz, procedente de la capa Es, del tipo de ocultación, observada a mediodía en Ibadan [Skinner y Wright, 1962].

En Tirupati (latitud geomagnética, 3°45' N), India, se ha observado que, algunas veces, bastante antes de la salida del Sol, la distribución de amplitud de los ecos de la capa E esporádica se ajusta sumamente a la función de Rayleigh, mientras que, justo antes de la salida del Sol y durante el día, la distribución de amplitud sigue la ley gaussiana o de Nakagami-Rice [Venkateswarlu y Ramu, 1964]. No obstante, la observación en Thumba, en el ecuador magnético, ha demostrado que la distribución de probabilidad de la amplitud de la intensidad de la señal no corresponde a la distribución teórica ni Rayleigh ni gaussiana [Rastogi y otros, 1966]. El análisis de los registros de desvanecimiento tomados en Calcuta (latitud geomagnética, 12,3° N) muestra que las distribuciones estadísticas de la amplitud son de los tipos Rayleigh y Nakagami-Rice a mediodía, mientras que, durante la mañana, al atardecer y en las primeras horas de la noche, se han observado otros tipos de distribución de amplitud, muy a menudo de los tipos m o de doble cresta [Ganguly y Samanta, 1967].

En lo que respecta a las velocidades de desvanecimiento en las señales de ondas decamétricas reflejadas en la capa Es, se puede consultar el punto 3.2.2.

4.2 *Desvanecimiento debido a irregularidades en la región F (desvanecimiento de variaciones rápidas)*

En la región ecuatorial se ha observado, después de la puesta del Sol, un tipo peculiar de desvanecimiento muy rápido. Se le denomina desvanecimiento de variaciones rápidas, y se ha atribuido a las irregularidades de la región F, que se conocen con el nombre de capa F difusa.

4.2.1 *Características de las irregularidades de la capa F difusa en la Zona Tropical*

En la zona ecuatorial, después de la puesta del Sol, ocurren irregularidades de ionización en la región F, dentro de un cinturón aproximadamente comprendido entre las latitudes geomagnéticas de 30° N y 30° S. El fenómeno presenta una elevada magnitud en una zona de latitud geomagnética de $\pm 20^\circ$. Es un hecho comprobado que, después del ocaso (hora local), la región F sobre el cinturón ecuatorial presenta un marcado aumento de altura y parece fragmentarse progresivamente en pedazos o placas de irregularidades, formando lo que generalmente se conoce con la denominación de una capa F difusa [Lyon y otros, 1961]. En los últimos años, varios investigadores han estudiado las características de la capa F difusa ecuatorial [Osborne, 1952; Bhargava, 1958; Shimazaki, 1959; Lyon y otros, 1960; Rangaswamy y Kapasi, 1963; Krishnamurthy, 1966; Rao, B.C.N., 1966; King, 1970; Davies, 1972; Bowman, 1975; Röttger, 1976]. Seguidamente se exponen las principales peculiaridades.

La presencia de las irregularidades en la región F se manifiesta en forma de ecos que en los ionogramas presentan una dispersión y se clasifican en dispersión de espacio y dispersión de frecuencia. La dispersión de espacio, que es el tipo ecuatorial de capa F difusa observada después del ocaso, se ha comprobado que influye en la propagación de las ondas decamétricas. Se sabe que las irregularidades están alineadas con el campo magnético [Cohen y Bowles, 1961]. Recientes observaciones han demostrado que en la región F coexisten irregularidades en gran escala no alineadas con el campo, e irregularidades en pequeña escala alineadas con el campo cuando se observa la capa F difusa en los ionogramas de latitudes ecuatoriales [Bates, 1971; Cole y McNamara, 1975; Röttger, 1976].

La variación diurna de la dispersión de espacio de la capa F difusa la rige el ocaso del Sol, y las irregularidades de dispersión se ven normalmente después de la puesta del Sol y antes de medianoche.

Las variaciones estacionales tienen los máximos de dispersión de espacio de la capa F difusa en los equinoccios. En este caso se ve una anomalía longitudinal. Hay gran diferencia de comportamiento de la capa F difusa entre el Lejano Oriente y la región ecuatorial americana [Singleton, 1960].

La aparición de la dispersión de espacio de la capa F difusa está correlacionada positivamente con el número de manchas solares, e indica una correlación negativa con la actividad magnética [Huang, 1970].

Varios investigadores han observado las mismas características de la dispersión de espacio de la capa F difusa en lo que concierne al desvanecimiento ecuatorial de variaciones rápidas. Sus observaciones se examinan en el punto siguiente.

4.2.2 *Observaciones experimentales del desvanecimiento de variaciones rápidas debido a la capa F difusa de la Zona Tropical*

En la India se ha observado el desvanecimiento de variaciones rápidas en las emisiones regionales de onda corta de la All India Radio, desde el mismo instante en que se iniciaron, en 1938. Se advirtió que el desvanecimiento de variaciones rápidas era muy intenso y enojoso en las transmisiones de onda corta de AIR Madrás (latitud geomagnética $3^{\circ}05' N$) y Radio Ceylán (latitud geomagnética, $3^{\circ}38' S$); era, en cambio, considerablemente menos perturbador en las transmisiones de onda corta de AIR Bombay (latitud geomagnética $10^{\circ}00' N$) y casi no existía en las transmisiones de AIR Delhi (latitud geomagnética, $19^{\circ}11' N$). Esto indica que el desvanecimiento de variaciones rápidas ocurre más cerca del ecuador magnético. Subba Rao y Somayajulu [1949] señalaron la existencia del desvanecimiento ecuatorial de variaciones rápidas cuando estudiaban las variaciones de la intensidad de campo de las estaciones de radiodifusión de la AIR en las bandas de 41 y 60 m, en Waltair (India). Osborne [1952] mencionaba un desvanecimiento intolerable debido a las reflexiones ionosféricas con incidencia casi vertical, en las transmisiones de ondas decamétricas cerca del ecuador magnético. Yeh y Villard [1958] han dado cuenta también de una fluctuación de elevada frecuencia (hasta 40 Hz) en las señales observadas en Stanford, correspondientes a transmisiones de la BBC desde Singapur, en las bandas de 9 y 21 MHz, propagadas por trayectos que cruzaban el ecuador. A ese fenómeno le denominaron «desvanecimiento Doppler». Durante el mes de agosto de 1957 observaron este desvanecimiento casi todos los días en el caso de Singapur, y sólo esporádicamente en las transmisiones en la misma gama de frecuencias procedentes de Australia para Pekín y Buenos Aires. Humby [1959] comunicó un comportamiento similar de los circuitos transecuatoriales del Almirantazgo de Inglaterra a Colombo y de Inglaterra a Singapur, durante el periodo de 1947 a 1958. Chaman Lal [1960] comunicó también el tipo rápido de desvanecimiento, que es particularmente pronunciado en la región ecuatorial del sur de la India, en Madrás, Tiruchirapalli y Trivandrum. Bennington [1960] publicó una observación bastante similar sobre la recepción de transmisiones del Reino Unido en Johannesburg (República Sudafricana) y Singapur, durante el periodo 1954 a 1958. La influencia del desvanecimiento debido al ocaso en el desvanecimiento de variaciones rápidas se viene estudiando en Ghana desde 1958. Koster [1963] hizo un análisis detallado del desvanecimiento de variaciones rápidas observado en las emisiones de la BBC (15,07 MHz) destinadas al África Occidental y a Accra, y en una señal de radiodifusión originada en Accra en 5 MHz, en Kumasi (270 km al noroeste de Accra). Davies y Barghausen [1967] registraron los efectos de la capa F difusa ecuatorial en cinco trayectos de África, en las cercanías del ecuador magnético, y observaron desvanecimiento de variaciones rápidas en el trayecto ecuatorial. McNamara [1971] observó el tipo vespertino de la propagación transecuatorial con un desvanecimiento de variaciones rápidas profundo, del orden de 5 a 15 Hz, en los circuitos entre Okinawa y Yamagawa (Japón) y Townsville (Australia). Los resultados de un estudio de registros de la intensidad de campo durante la noche de señales radioeléctricas en 11,8 MHz transmitidas desde Colombo y recibidas en Ahmedabad, indican la presencia de desvanecimiento de variaciones rápidas [Chippa y Patel, 1973]. Cole y McNamara [1975] citan el efecto de la capa F difusa en la propagación ecuatorial. Röttger [1976] ha observado también desvanecimiento de variaciones rápidas en circuitos transecuatoriales entre Lindau (República Federal de Alemania) y Tsumeb (República Sudafricana).

4.2.3 *Características del desvanecimiento de variaciones rápidas*

En los párrafos que siguen se resumen las características de este tipo de desvanecimiento, basadas en las observaciones antes mencionadas.

4.2.3.1 *Extensión geográfica*

El desvanecimiento ecuatorial de variaciones rápidas es sumamente importante en una zona geográfica comprendida entre $+20^{\circ}$ y -20° de latitud magnética. Este tipo de desvanecimiento se manifiesta lo mismo en los circuitos norte-sur que en los circuitos este-oeste.

4.2.3.2 *Variación diurna del desvanecimiento de variaciones rápidas*

Normalmente se observa el desvanecimiento de variaciones rápidas únicamente entre el atardecer y medianoche, empezando casi siempre a la puesta del Sol y prolongándose hasta tres o cuatro horas más tarde. Se ha advertido que es muy intenso durante las dos horas del ocaso local en el punto donde el trayecto de propagación cruza el ecuador magnético. El principio es súbito y su hora está perfectamente definida, pero la desaparición es más bien gradual. Los desvanecimientos son muy profundos, y la señal está casi totalmente sumergida en el ruido, incluso cuando la intensidad media de la señal se mantiene elevada [Koster, 1963].

4.2.3.3 *Variación estacional del desvanecimiento de variaciones rápidas*

El fenómeno del desvanecimiento de variaciones rápidas después de la puesta del Sol se ha observado que es más acentuado durante los meses equinociales que en las otras estaciones del año. Se han advertido máximos muy definidos en los dos periodos equinociales, bastante después del equinoccio real. En el equinoccio de otoño se presenta mucho más el desvanecimiento de variaciones rápidas que en el equinoccio de primavera. Se ha observado también que el fenómeno presenta una disminución relativamente rápida cuando el ciclo solar se acerca al mínimo de manchas solares [Koster, 1963].

4.2.3.4 *Dependencia del desvanecimiento de variaciones rápidas con respecto al ciclo solar*

Observaciones de Osborne [1951, 1952], Humby [1959] y Koster [1963] parecen confirmar la existencia de una correlación positiva entre el número medio de manchas solares y la magnitud del desvanecimiento de variaciones rápidas. Este tipo de desvanecimiento ecuatorial es sumamente importante durante el máximo de manchas solares, y se hace casi despreciable durante los periodos de mínimo de manchas solares.

4.2.3.5 *Velocidades del desvanecimiento en diversas frecuencias*

Las velocidades del desvanecimiento observadas son diferentes en señales de frecuencias diferentes. Koster [1963] ha analizado el desvanecimiento en señales de Londres recibidas en Ghana, en frecuencias de unos 7, 12, 15 y 21 MHz, y ha llegado a la conclusión de que la velocidad del desvanecimiento de variaciones rápidas es directamente proporcional a la frecuencia de la onda. Chaman Lal [1960] ha notado también que el desvanecimiento de variaciones rápidas aumenta cuando aumenta la frecuencia de trabajo. Observaciones de Cohen y Bowles [1961] han puesto de manifiesto que los efectos de la capa F difusa en las señales que se propagan en trayectos transecuatoriales varían con la frecuencia. Davies y Barghausen [1967] observaron que la velocidad del desvanecimiento presentaba una amplia gama de variación, siendo típico un valor de 10 desvanecimientos por segundo en una frecuencia de 15 MHz. Al comparar las velocidades del desvanecimiento de señales de 10,1 y 20,2 MHz, observadas en el mismo trayecto de Monrovia a Accra, se vio que las velocidades en 10 MHz eran de cinco a siete veces más rápidas que en 20 MHz. Sin embargo, esto contradice las observaciones de Koster y Chaman Lal antes mencionadas. McNamara [1971] observó que el tipo vespertino de propagación transecuatorial tenía una gran correlación con la capa F difusa, con velocidad de desvanecimiento de hasta 15 Hz. Se han evaluado las velocidades de desvanecimiento de señales de ondas decamétricas transecuatoriales, basándose en las observaciones efectuadas en los trayectos Lindau-Roma y Tsumeb-Lindau (este último cruza la zona ecuatorial de África) [Carman y otros, 1974], y se ha encontrado que varían entre 50 y 180 máximos por minuto.

4.2.3.6 *Desvanecimiento Doppler*

El desvanecimiento Doppler de las señales propagadas por trayectos que cruzan el ecuador, descubierto por Yeh y Villard [1958], ha sido observado también por otros autores. Calvert y otros [1962], durante mediciones de la desviación Doppler de las señales propagadas de Trípoli a Accra, observaron que al atardecer la dispersión en el espectro Doppler era del orden de 10 a 15 Hz. El movimiento sistemático de un grupo de irregularidades origina una desviación Doppler de la frecuencia transmitida que en 20 MHz llega a 30 Hz, en tanto que el movimiento aleatorio de irregularidades individuales causa una dispersión Doppler de hasta unos 20 Hz [Bradley y otros, 1972]. McNamara [1971] ha observado asimismo el tipo vespertino de propagación transecuatorial, con desviación Doppler que a veces pasa de 40 Hz.

4.2.3.7 *El desvanecimiento de variaciones rápidas y la actividad magnética*

El desvanecimiento de variaciones rápidas tiene una correlación negativa con la actividad magnética [Wright y otros, 1956; Shimazaki, 1959; Briggs, 1965; Davies y Barghausen, 1966]. En días de calma se manifiesta apreciablemente el desvanecimiento de variaciones rápidas, mientras que en los días de perturbación magnética no hay tal desvanecimiento [Chippa y Patel, 1973].

4.2.3.8 *El desvanecimiento de variaciones rápidas y el centelleo de las estrellas radioeléctricas*

En la región ecuatorial se han efectuado observaciones del centelleo en Accra (Ghana), Ibadan (Nigeria), y en Kodaikanal, en la India Meridional. Las variaciones del centelleo en el tiempo y según las estaciones, la actividad solar y la actividad geomagnética, son similares al desvanecimiento de la capa F difusa y al desvanecimiento de variaciones rápidas.

Wright y otros [1956] han señalado la gran correlación existente entre la aparición del desvanecimiento de variaciones rápidas y el centelleo de las radioestrellas. Ello ha sido confirmado más tarde por Koster [1963]. El centelleo de las estrellas radioeléctricas está correlacionado también negativamente con la actividad magnética.

Kent [1961], que observó el centelleo utilizando señales de satélite, obtuvo resultados similares en cuanto a la correlación del centelleo con la capa F difusa. Bhargava [1964] encontró también en Kodaikanal la misma variación del centelleo (variaciones diurnas y con el ciclo de actividad solar), pero la velocidad máxima del centelleo la observó varias horas antes del máximo del desvanecimiento debido a la capa F difusa.

4.2.4 *Efecto del desvanecimiento de variaciones rápidas en la radiodifusión*

El desvanecimiento de variaciones rápidas es uno de los factores más importantes en la degradación del circuito de comunicación. Influye considerablemente en la calidad general de los programas de radiodifusión. En un estudio de Bennington [1960] se indica que, en el espectro de audiofrecuencia, la voz es algo inteligible en presencia del desvanecimiento de variaciones rápidas, pero la música resulta muy desagradable y discordante para el auditorio.

4.2.5 Otros tipos de desvanecimiento observados en la Zona Tropical

Se ha observado otro tipo peculiar de desvanecimiento en la India, en las emisiones de ondas cortas de All India Radio. Este tipo de desvanecimiento, que se caracteriza por súbitas y violentas fluctuaciones de la intensidad de la señal recibida, es más lento pero más profundo que el desvanecimiento de variaciones rápidas y causa graves distorsiones. Ha recibido el nombre de desvanecimiento de crestas súbitas. Este tipo peculiar de desvanecimiento da la impresión de que se recibe la señal en potentes descargas.

4.2.5.1 Características del desvanecimiento de crestas súbitas

Su manifestación peor es después de la puesta del Sol. Se ha advertido que es más pronunciado durante el invierno y los meses equinocciales que le preceden. Con el desvanecimiento de crestas súbitas, la señal varía en una amplia gama de amplitud y la velocidad del desvanecimiento es de unas pocas crestas por minuto. Es posible que este desvanecimiento se deba a la interferencia de fase o a cambios de polarización de la señal recibida. La causa de este tipo de desvanecimiento no está clara.

5. Márgenes para el desvanecimiento que han de preverse al planificar servicios de radiodifusión en la Zona Tropical

Se puede obtener una estimación cuantitativa de la gama de desvanecimiento en base a la distribución estadística de la señal, y se puede caracterizar indicando los niveles rebasados durante un porcentaje de tiempo especificado. En el cuadro I se señalan los niveles para dos porcentajes de tiempo, deducidos teóricamente de las distribuciones ya examinadas [Norton y otros, 1955].

CUADRO I

Distribución	Nivel (dB) con relación al valor mediano, rebasado durante los siguientes porcentajes de tiempo	
	10%	90%
Rayleigh	5,21	- 8,18
Normal y logarítmica normal (siendo σ la desviación típica)	1,282 σ	- 1,282 σ

El documento [CCIR, 1962a] sirve de base preliminar para sugerir los valores de los márgenes de desvanecimiento que se han de considerar al planificar servicios de radiodifusión en ondas decamétricas para la Zona Tropical. Trata ese documento de dos parámetros fundamentales asociados al desvanecimiento: el factor de fluctuación de la intensidad (FFI) y el factor de seguridad contra el desvanecimiento (FSD).

El factor de fluctuación de la intensidad, definido por la relación (en dB) entre los valores mediano mensual y decilo inferior mensual de la intensidad de campo mediana horaria, se considera margen suficiente para las variaciones de uno a otro día durante el 90% de los días. Se ha comprobado que los valores del FFI fluctúan ampliamente entre 1 dB y 15,4 dB, con un promedio global de 7,6 dB. El factor de seguridad contra el desvanecimiento, definido por la relación (en dB) entre la intensidad mediana de la señal recibida y la intensidad rebasada el 90% del tiempo, se considera suficiente como margen para la variación de la señal de uno a otro instante durante el 90% del tiempo. El factor de seguridad contra el desvanecimiento varía en el verano de 2,4 a 27 dB, siendo el valor más probable 11,2 dB y las cifras correspondientes para los meses de invierno son de 1,6 a 14,4 y 7 dB, respectivamente. El FSD global se ha visto que va de 1,6 a 27 dB, siendo el valor más probable 9 dB. El factor de seguridad contra el desvanecimiento, calculado teóricamente partiendo del tipo de distribución de Rayleigh que predomina en el desvanecimiento de corta duración en la Zona Tropical, es de 8,18 dB.

El margen global para el desvanecimiento a los efectos de la planificación, se puede evaluar basado en los márgenes para el desvanecimiento de corta y de larga duración. El factor de fluctuación de intensidad y el factor de seguridad contra el desvanecimiento, cuando se refieren a la señal recibida, tienen únicamente en cuenta la

variación de la señal deseada. Sin embargo, para conseguir el valor apropiado de margen contra el desvanecimiento para fines de planificación de un servicio de radiodifusión sonora con una probabilidad de servicio dada, hay que tener en cuenta también el carácter y la variabilidad de la señal interferente. Considerándolo así, la Recomendación 411 propone ciertos valores de margen contra el desvanecimiento en tres condiciones de recepción, a saber:

- relación entre la señal de radiodifusión y la interferencia: 16 dB;
- relación entre la señal deseada y el ruido atmosférico: 17 dB;
- relación entre la señal deseada y el ruido industrial: 12 dB.

Los márgenes globales arriba recomendados son necesarios para garantizar que durante el 90% del tiempo se mantendrá la relación en régimen permanente.

Desde que el CCIR adoptó la Recomendación 411, no ha vuelto a haber más documentación al respecto. No obstante, la confirmación de la validez de esta Recomendación para la Zona Tropical no se podrá tener, al parecer, sino después de estudios suplementarios, sobre todo porque se ha sugerido que el desvanecimiento, referido a las variaciones de la intensidad de campo de uno a otro instante, es más severo en la Zona Tropical que en los países de las zonas templadas [CCIR, 1962a].

Las investigaciones realizadas en la URSS [CCIR, 1986-90] han mostrado que el desvanecimiento selectivo debido a la propagación por trayectos múltiples de las señales de ondas decamétricas puede producir distorsiones en la característica de amplitud/frecuencia del espectro de frecuencias transmitidas. Además, con una detección de envolvente aumentan las distorsiones no lineales de la señal y se produce una disminución de la inteligibilidad. La frecuencia y duración de tales distorsiones vienen determinadas por las características de desvanecimiento de la señal, y su magnitud es proporcional al coeficiente de modulación de la señal. La distorsión no lineal puede hacer que el nivel del segundo armónico de la señal se sitúe a -12 dB con respecto al nivel en la frecuencia de la banda lateral.

Es posible observar distorsiones análogas de las señales durante el funcionamiento sincronizado de los transmisores que dan servicio a una misma zona de recepción, aun si no existe propagación por trayectos múltiples.

6. Conclusiones

Se ha analizado en este Informe, la naturaleza, el tipo y las características del desvanecimiento en la Zona Tropical. Se han expuesto también algunas de las peculiaridades del desvanecimiento en la Zona Tropical, como el desvanecimiento de variaciones rápidas, el desvanecimiento de crestas súbitas y el desvanecimiento producido por la capa E esporádica ecuatorial.

Los registros de desvanecimiento analizados por diversos investigadores en diferentes partes de la Zona Tropical, muestran tipos distintos de distribución, como Rayleigh, normal, log-normal y tipo *m*. Partiendo de las curvas de distribución, se puede tener una idea del margen necesario contra el desvanecimiento de corta y de larga duración.

En la propagación por el cinturón ecuatorial influye grandemente durante el día la capa E esporádica de tipo q. La velocidad de desvanecimiento de la onda radioeléctrica reflejada en la capa Es, según se ha observado, es mayor que en las capas normales E y F.

El desvanecimiento de variaciones rápidas es un fenómeno típico del atardecer y depende del lugar geográfico, de la hora local, de la estación del año, del número de manchas solares y de la actividad magnética. Este fenómeno ecuatorial causa la degradación de los circuitos e introduce distorsión apreciable en las transmisiones musicales. La causa del desvanecimiento de variaciones rápidas parece ser la presencia de irregularidades en la parte inferior de la capa F. Por ello se recomienda el paso a frecuencias más elevadas, de ser posible de la banda de ondas decamétricas, para aminorar, al menos, la degradación de la calidad de los circuitos en presencia de la capa F difusa. Davies [1972] ha proporcionado un esquema de utilización de las frecuencias, destinado a minimizar en lo posible los efectos adversos de la capa F difusa en la propagación.

El desvanecimiento de crestas súbitas que se presenta en esa zona, reduce considerablemente la satisfacción que pueden dar los programas. Este tipo de desvanecimiento es más lento, pero más profundo, y causa una distorsión grave. Las causas de este tipo de desvanecimiento no se han podido identificar definitivamente todavía. Como es escasa la información hasta ahora disponible, parece necesario que se continúe estudiando el desvanecimiento de crestas súbitas.

Las fluctuaciones de la intensidad de campo que ocurren principalmente en la radiodifusión de ondas decamétricas, debidas a interferencia y a variaciones de absorción y de polarización, perjudican la calidad de la recepción. Estos efectos del desvanecimiento se pueden minimizar usando sistemas de diversidad. Se están utilizando, según el mecanismo de propagación, varios sistemas de diversidad: diversidad de espacio, diversidad de frecuencia y diversidad de polarización. Cabe mencionar que el uso de la diversidad de espacio o de la diversidad de polarización no ayuda mucho a reducir los efectos de degradación en la recepción cuando la fluctuación es muy rápida (por ejemplo, en los desvanecimientos de los tipos de variaciones rápidas y de crestas súbitas). Sin embargo, puede recurrirse a la recepción en banda lateral única para reducir las degradaciones producidas por el desvanecimiento selectivo.

No se dispone de datos suficientes acerca de las estimaciones cuantitativas del desvanecimiento de corta y larga duración en la Zona Tropical. Habrá que continuar los estudios hasta conseguir valores concretos de márgenes contra el desvanecimiento destinados a la planificación de servicios de radiodifusión sonora. Valdría también la pena tener un análisis detallado de las características de los tipos de desvanecimiento que se encuentran especialmente en la Zona Tropical, y hacer un estudio para correlacionar el carácter del desvanecimiento y el margen contra el desvanecimiento que ha de preverse para minimizar la pérdida de satisfacción del radioyente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y BIBLIOGRAFÍA

- BATEMAN, R., FINNEY, G. W., SMITH, E. K., TVETEN, L. H. y WATTS, J. M. [1959] IGY observations of F-layer scatter in the Far East. *J. Geophys. Res.*, **64**, 403.
- BATES, H. F. [1971] Aspect sensitivity of spread F irregularities. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **33**, III.
- BENNINGTON, T. W. [1960] Equatorial ionospheric effects. *Wireless World*, **66**, 501-506.
- BHARGAVA, B. N. [1958] Observations of spread echoes from the F-layer over Kodaikanal – a preliminary study. *Indian J. Met. Geophys.*, Vol. 9, **1**, 35-40.
- BHARGAVA, B. N. [1964] Radio star scintillations in equatorial region. *J. Inst. Telecomm. Engrs.* (India), **10**, 404-409.
- BHARGAVA, B. N. y SUBRAHMANYAN, R. V. [1964] A study of blanketing sporadic E in the Indian equatorial region. *Proc. Ind. Acad. Sci., A*, **60**, 271-285.
- BOOKER, H. G., RATCLIFFE, J. A. y SHINN, D. H. [1950] Diffractions from an irregular screen with applications to ionospheric problems. *Phil. Trans. Roy. Soc. (Londres)*, Serie A, **242**, 579.
- BOWLES, K. L., COHEN, R., OCHUS, G. R. y BALSLEY, B. B. [1960] Radio echoes from field-aligned ionization above the magnetic equator and their resemblance to auroral echoes. *J. Geophys. Res.*, **65**, 1853.
- BOWMAN, G. G. [1975] Ionospheric spread F at Huancayo, sunspot activity and geomagnetic activity. *Planet. Space Sci.*, **23**, 899-903.
- BRADLEY, P. A., ECCLES, D. y KING, J. W. [diciembre de 1972] Efectos de la ionosfera ecuatorial en las radiocomunicaciones terrenales de ondas decamétricas. *Boletín de Telecomunicaciones*, **39**, 717.
- BRIGGS, B. H. [1965] The relation of spread F echoes to magnetic disturbances. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **27**, 991-994.
- CALVERT, W. y COHEN, L. [1961] The interpretation and synthesis of certain spread F configurations appearing on equatorial ionograms. *J. Geophys. Res.*, **66**, 3125-3140.
- CALVERT, W., DAVIES, K. y KOSTER, J. R. [1962] US NBS, Rep. No. 7276.
- CARMAN, E. H., HERAN, M. P. y RÖTTGER, J. [1974] Simultaneous observations of fading rates on two transequatorial HF radio paths. *Austral. J. Phys.*, **27**, 741-744.
- CHAMAN LAL [1960] Flutter fading of shortwave radio signals in equatorial regions and its connection with spread echoes, magnetic storms and the radiation belt. *J. Inst. Telecomm. Engrs.* (India), **6**, 223-230.
- CHIPPA, C. M. y PATEL, B. M. [1973] Night time changes in field strength of 11.8 MHz radio signals over Colombo-Ahmedabad transmission path. *Indian J. Radio Space Phys.*, **2**, 148-152.
- CLEMESHA, B. R. [1963] Backscatter of radiowaves from the equatorial F-region. *Nature*, **199**, 797-798.
- CLEMESHA, B. R. [1964] An investigation of the irregularities in the F-region associated with equatorial type spread F. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **26**, 91.
- COHEN, R. y BOWLES, K. L. [1961] On the nature of equatorial spread F. *J. Geophys. Res.*, **66**, 1081.
- COHEN, R., BOWLES, K. L. y CALVERT, W. [1962] On the nature of equatorial slant sporadic E. *J. Geophys. Res.*, **67**, 965.
- COLE, D. G. y McNAMARA, L. F. [1975] Equatorial propagation and the occurrence of spread F. *Proc. IREE*, **36**, 39-43.
- CRACKNELL, R. G. [1959] Transequatorial propagation of VHF signal. *QST*, **43**, (12) 11-17.
- DAS GUPTA, P. y VIJ, K. K. [1960] Statistical analysis of fading of a single downcoming wave. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **18**, 265-275.
- DAVIES, K. [1965] Ionospheric radio propagation. NBS Monograph No. 80.
- DAVIES, K. y BARGHAUSEN, A. F. [1964] The effect of spread F on the propagation of radiowaves near the equator. AGARD ninth meeting of the Ionospheric Research Committee, Copenhagen.
- DAVIES, K. y BARGHAUSEN, A. F. [1967] *Spread F and Its Effects Upon Radiowave Propagation and Communication*. Ed. Newman, Londres.
- DAVIES, R. M. [1972] The occurrence of spread F and its effect on HF propagation. Telecommunications Research and Engineering Report 28.
- FÜRTH, R. y MacDONALD, D. K. C. [1947] Statistical analysis of spontaneous electrical fluctuations. *Proc. Phys. Soc.*, **B 59**, 388-408.
- GANGULY, S. y SAMANTA, S. [1967] Studies on the fading of the radiowaves returned from the sporadic E region of the ionosphere. *Indian J. Phys.*, **41**, 908-918.
- HUANG, Chun-ming [1970] F-region irregularities that cause scintillations and spread F echoes at low latitude. *J. Geophys. Res.*, **75**, 4833-4841.
- HUANG, Yinn-Nien y CHUNG-YAUW, Yeh [1970] On the occurrence of spread F and the geomagnetic activity over Taipei, Taiwan. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **32**, 1765-1772.

- HUMBY, A. M. [1959] Equatorial sunset effect. *Wireless World*, **65**, 342.
- JAGATH KUMAR, V. R. y RAO, B. R. [1965] Latitud effect on the variation of spread F occurring with sunspot number. *Nature*, **207**, 1083-1084.
- JAGATH KUMAR, V. R. y RAO, B. R. [1968] Latitude variation of time of maximum h'f and spread F occurrences. *Indian J. Pure Appl. Phys.*, **6**, 319.
- JANI, K. G. y CHIPPA, G. M. [1973] Field strength measurements at Ahmedabad of shortwave radio signals from Radio Sri Lanka, Colombo, on 11,8 MHz. *J. Inst. Telecomm. Engrs. (India)*, **19**, 525-530.
- JONES, J. y LYON, G. F. [1974] Focusing of radiowaves by large scale ionospheric irregularities. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **36**, 461-473.
- KENT, G. S. [1961] High frequency fading of the 108 Mc/s wave radiated from an artificial earth satellite as observed at an equatorial station. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 22, **4**, 255-269.
- KENT, G. S. y KOSTER, J. R. [1961] Height of night-time irregularities at equator. *Nature*, **191**, 1083-1084.
- KHASTAGIR, S. R., GANGULY, S. y SAMANTA, S. [1968] *Radio Sci.*, **3** (New Series), 535.
- KING, G. A. M. [1970] Spread F on ionograms. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **32**, 209-221.
- KNECHT, R. W. y McDUFFIE, R. E. [1962] *On the Width of the Equatorial Es Belt. Ionospheric Sporadic E*. Editado por E. K. Smith y S. Matsushita, 215-218, Pergamon Press, Oxford.
- KOSTER, J. R. [1958] Radio star scintillation at equatorial station. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **12**, 100-109.
- KOSTER, J. R. [1963] Some measurements on the sunset fading effect. *J. Geophys. Res.*, **68**, 2571-2578.
- KOTADIA, K. M. [1959] Spread F in the ionosphere over Ahmedabad during the years 1954-57. *Proc. Indian Acad. Sci.*, **50A**, 259.
- KRISHNAMURTHY, B. V. [1966] Behaviour of topside and bottomside spread F at equatorial latitudes. *J. Geophys. Res.*, **71**, 4527-4533.
- LYON, A. J., SKINNER, N. J. y WRIGHT, R. W. H. [1960] The belt of equatorial spread F. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **19**, 145-159.
- LYON, A. J., SKINNER, N. J. y WRIGHT, R. W. H. [1961] Equatorial spread F at Ibadan, Nigeria. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **21**, 100-119.
- MATSUSHITA, S. [1962] *Lunar Tidal Variations of Sporadic E. Ionospheric Sporadic E*. Ed. E. K. Smith y S. Matsushita, 194-214, Pergamon Press, Oxford, Reino Unido.
- McNICOL, R. W. E. [1949] The fading of radiowaves of medium and high frequencies. *Proc. IEE*, Part III, **96**, 517-524.
- McNAMARA, L. F. [1971] Range spreading and evening type transequatorial propagation. *Nature*, (Phys. Sci.), **234**, 76.
- MITRA, S. N. y SRIVASTAVA, R. B. L. [1967] Fading and random motion of ionospheric irregularities. *Indian J. Phys.*, **31**, 20-42.
- MIYA, K. y SASAKI, T. [1966] Characteristics of ionospheric ES propagation and calculation of Es signal strength. *Radio Sci.*, **1**, 99-108.
- NAKAGAMI, M. [1943] Statistical character of shortwave fading. *J. Inst. Electron. Comm. Engrs. (Japan)*, **27**, 145.
- NAKAGAMI, M. [1960] *The M-distribution: A General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading: Statistical Methods in Radiowave Propagation*. Ed. W. C. Hoffman, 3-66, Pergamon Press, Oxford.
- NORTON, K. A., VOGLER, L. E., MANSFIELD, W. V. y SHORT, P. J. [1955] The probability distribution of the amplitude of a constant vector plus a Rayleigh distributed vector. *Proc. IRE*, **43**, 1354-1361.
- OSBORNE, B. W. [1951] Ionospheric behaviour in the F2 region at Singapore. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **2**, 66.
- OSBORNE, B. W. [1952] A note on ionospheric condition which may affect tropical broadcasting services after sunset. *J. Brit. IRE*, **12**, 110.
- OYINLOYE, J. O. [1971] A study of blanketing sporadic E in the equatorial region. *Planet. Space Sci.*, **19**, 1131-1139.
- PATEL, C. M. [1966] Speed of fading of radiowaves reflected from the ionosphere over Ahmedabad. *J. Inst. Telecomm. Engrs. (India)*, **12**, 511-515.
- RANGASWAMY, S. [1963] Backscatter of radiowaves from the equatorial F region. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **25**, 545.
- RANGASWAMY, S. y KAPASI, K. B. [1963] A study of equatorial spread F. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **25**, 721.
- RAO, B. C. N. [1966] Control of equatorial spread F by the F layer height. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **28**, 1207-1217.
- RAO, C. V. S. y MITRA, S. N. [1962] Spread F and geomagnetic activity. *J. Geophys. Res.*, **67**, 127.
- RAO, P. S. K. y RAO, B. R. [1964] Fading analysis of ionospheric drift records. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **26**, 841.
- RAO, P. S. K. y RAO, B. R. [1967] Radiowave fading at Waltair during IGY. *Current Sci.*, **36**, 148-149.
- RASTOGI, R. G. y CHANDRA, H. C. [1970] Solar cycle and seasonal variation of spread F near the magnetic equator. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **32**, 439-443.
- RASTOGI, R. G., KAUSHIKA, N. D. y DASGUPTA, M. R. [1966] Fading characteristics of radiowaves reflected from Es layer at Thumba. *Ann. Geophys.*, **22**, 380-384.
- RICE, S. O. [1944-1945] Mathematical analysis of random noise. *BSTJ*, **23**, 282; **24**, 46.
- RICE, S. O. [1958] Distribution of the duration of fades in radio transmissions: Gaussian noise model. *BSTJ*, **37**, 581.
- RÖTTGER, J. [1976] Influence of spread F on HF radio systems. AGARD Conf. Proc. No. 173 on radio systems and the ionosphere.
- SHIMAZAKI, T. [1959] A statistical study of world-wide occurrence probability of spread F, Parts I and II. *J. Radio Res. Labs. (Japan)*, **6**, 669-704.

- SINGLETON, D. G. [1960] The geomorphology of spread F. *J. Geophys. Res.*, **65**, 3615.
- SINGLETON, D. G. [noviembre de 1962] Spread-F and the parameters of F-layer of the ionosphere-IV. Causative mechanisms. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol 24, **11**, 909-919.
- SKINNER, N. J. y WRIGHT, R. W. H. [1962] *The Reflection Coefficient and Fading Characteristics of Signals Returned From Es Layer at Ibadan. Ionospheric Sporadic E*. Editado por E. K. Smith y S. Matsushita, 37-49 Pergamon Press, Oxford, Reino Unido.
- SMITH, E. K. y FINNEY, J. W. [1960] Peculiarities of the ionosphere in the Far East: A report on IGY observations of sporadic E and F region scatter. *J. Geophys. Res.*, **65**, 885.
- SOUTHWORTH, M. P. [1960] Night-time equatorial propagation at 50 Mc/s. First results from IGY amateur observing programme. *J. Geophys. Res.*, **65**, 601.
- SRIVASTAVA, S. K., PRADHAN, S. M. y TANTRY, B. A. P. [1972] Amplitude probability distribution of radiowaves reflected from travelling ionospheric disturbances. *Radio Sci.*, **7**, 563-569.
- STEIN, S. [1958] The role of ionospheric layer tilts in long-range high frequency radio propagation. *J. Geophys. Res.*, **63**, 217.
- SUBBA RAO, N. S. y SOMAYAJULU, T. V. [1949] A peculiar type of rapid fading in radio reception. *Nature*, **163**, 442.
- VENKATESWARLU, P. y RAMU, S. [1964] Some characteristics of sporadic E layer at low latitudes. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **26**, 629.
- WATTS, J. M. y DAVIES, K. [1960] Rapid frequency analysis of fading radio signals. *J. Geophys. Res.*, **65**, 2295-2301.
- WRIGHT, R. W. H., KOSTER, J. R. y SKINNER, N. J. [1956] Spread F echoes and radiostar scintillation. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **8**, 240.
- YEH, K. C. y VILLARD, O. G. [1958] A new type of fading observable in high frequency radio transmissions propagated over paths crossing the magnetic equator. *Proc. IRE*, **46**, 1968-1970.

Documentos del CCIR

- [1959]: (Los Angeles). a. XII/8 (India); b. XII/5 (Reino Unido).
- [1962]: (Bad Kreuznach). a. XII/12 (India); b. XII/17 (Reino Unido).
- [1986-90]: 10/251(URSS).

BIBLIOGRAFÍA

SERGEEV, O.I., Vliyanie selektivnykh zamiraniia na kachestvo priema DBP na VCh (Efecto del desvanecimiento selectivo en la calidad de recepción de doble banda lateral en ondas decamétricas), *Trudy NIIR*, en prensa.

INFORME 472-2

RECEPCIÓN EN BANDA LATERAL ÚNICA EN LAS RETRANSMISIONES HECHAS EN LA ZONA TROPICAL

Reducción de los efectos del desvanecimiento

(Cuestión 45/10, Programa de Estudios 45C/10)

(1970-1978-1990)

1. Introducción

Uno de los métodos más económicos de retransmisión es la utilización de la señal recibida por onda ionosférica de un transmisor de radiodifusión, por otro. En vista de su sencillez y economía este método es de especial importancia para los países en desarrollo. Sin embargo, su eficacia depende, en gran medida, de la calidad de recepción de la señal de onda ionosférica en el emplazamiento de la estación reemisora. A menudo, la calidad se deteriora debido a desvanecimientos selectivos y a desvanecimientos ondulantes y vibratorios, característicos de la Zona Tropical. A fin de mejorar la calidad de la recepción de la onda ionosférica mediante la reducción al mínimo de los efectos adversos de los citados desvanecimientos, la utilización de recepción en banda lateral única puede considerarse como uno de los medios más eficaces para la retransmisión.