INFORME 1048-1

TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DEL DESVANECIMIENTO APLICABLES A LAS ANTENAS DE ESTACIONES TERRENAS DE BARCO

(Cuestión 88/8)

(1986-1990)

1. Introducción

Para sistemas con baja relación G/T, el efecto del desvanecimiento por trayectos múltiples debido a la reflexión en la superficie del mar constituye un serio problema para pequeños ángulos de elevación como se indica en el § 5 del Informe 921. El presente Informe examina algunas posibles técnicas de reducción del desvanecimiento para antenas de estaciones terrenas de barco con baja relación G/T y presenta resultados experimentales de pruebas prácticas sobre los efectos de la reducción. En el Informe 921 se describen con detalle estas antenas.

2. Examen de las técnicas de reducción del desvanecimiento

Los métodos que siguen, se consideran como técnicas de reducción del desvanecimiento aplicables a las antenas de estaciones terrenas de barco con baja relación G/T:

- Método de diversidad
- Método de polarización
- Método de modelado del diagrama de radiación
- Método de seguimiento del nivel máximo
- Método de desplazamiento del haz.

2.1 *Métodos de diversidad*

Las técnicas de diversidad, ya sea en espacio, polarización o frecuencia, se han venido utilizando prácticamente en los sistemas de comunicaciones radioeléctricas sujetos a grandes desvanecimientos. La técnica de diversidad de espacio, necesita dos o más antenas, en tanto que las otras técnicas de diversidad pueden realizarse con una sola antena. En cualquier caso, el efecto de reducción del desvanecimiento depende en gran medida del grado de correlación de las señales con propiedades diferentes, tales como frecuencias, polarización y diferencias temporales. En la fig. 1, se muestra el principio de la diversidad de espacio con un algoritmo de conmutación y permanencia [Kozono y Yoshikawa, 1981]. Como se ve en esta figura, la salida del dispositivo de diversidad es $R(t)$ cuando los niveles de señal en las antenas 1 y 2 son $r_1(t)$ y $r_2(t)$, respectivamente. Con esta técnica, se logra el máximo efecto de reducción cuando la correlación de las señales entre las dos antenas es mínima. En la práctica, puede no ser posible situar las antenas a la separación óptima de media longitud de onda.

La diversidad en frecuencia permite conseguir un buen efecto de reducción cuando la diferencia de trayectos entre las ondas directa y reflejada es mayor que una longitud de onda correspondiente a la diferencia de frecuencia entre las utilizadas. Suponiendo que la altura de la antena de estación de barco es 15 m, el ángulo de elevación 5° y la separación de frecuencia 15 MHz, que es la máxima posible en la banda de 1,6 GHz atribuida habitualmente al servicio móvil marítimo por satélite, la diferencia de trayectos es, como máximo, de 0,14 longitudes de onda solamente de la diferencia de frecuencia. En consecuencia, la diversidad de frecuencia no parece adecuada para esta aplicación, debido a la separación limitada de las dos frecuencias. Sin embargo, si en el futuro se ampliase la anchura de banda, este método podría ser aplicable.

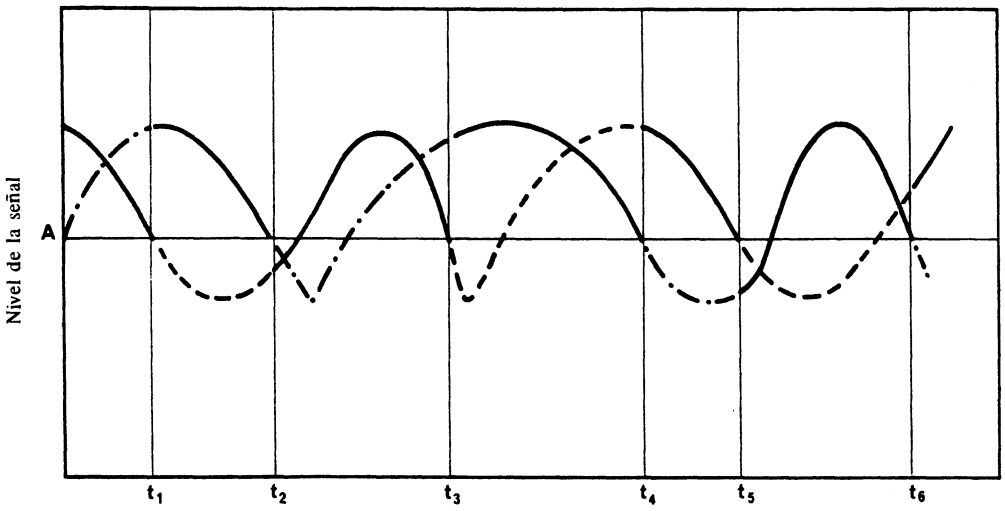


FIGURA 1 – *Principio del algoritmo de conmutación y permanencia*

r_1 (*t*)

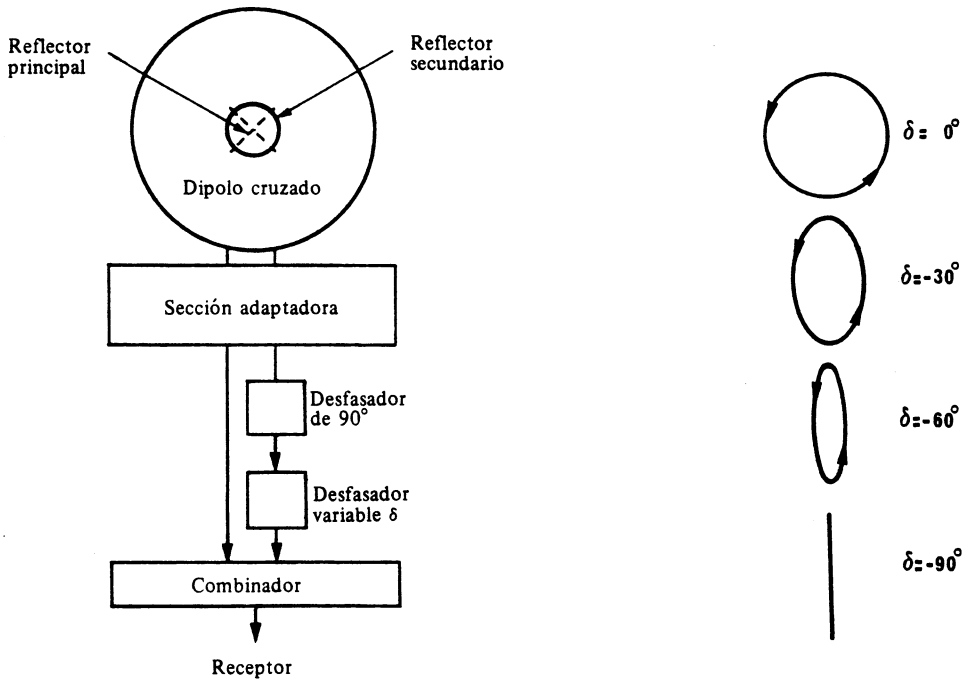
r_2 (*t*)

R (*t*)

Nota.– La entrada al receptor se conmuta a la antena a partir de la cual la salida aumenta cuando la entrada de la antena seleccionada cae por debajo de un nivel predeterminado «A».

2.2 *Método de polarización*

En el caso de reflexión en la superficie del mar en 1,64/1,54 GHz, la onda con polarización lineal horizontal se refleja casi perfectamente, en tanto que la onda con polarización vertical se refleja con una atenuación bastante grande cuando el ángulo de incidencia con respecto al plano horizontal es inferior a 10°. Además, el ángulo de fase de una onda con polarización vertical experimenta una variación continua a medida que aumenta el ángulo de elevación, en tanto que la fase de una onda con polarización horizontal permanece inalterable para todos los ángulos de elevación, excepto los más grandes. Por encima de un ángulo de elevación de unos 6°, la relación de fase y de amplitud entre las componentes horizontal y vertical de una onda incidente de polarización circular es tal que al reflejarse se hace elíptica e invierte su sentido de rotación, con su eje mayor casi horizontal. (El ángulo de elevación de unos 6° es el ángulo de Brewster a 1,5/1,6 GHz sobre trayectos marítimos; para más información véase el Informe 1008.) En consecuencia, si la elipse de polarización de una antena a bordo de barco, en la dirección de la onda reflejada, puede ajustarse de forma que permanezca siempre ortogonal a la de la onda reflejada, la onda reflejada puede suprimirse. Este principio [Shiokawa y Karasawa, 1982] puede aplicarse fácilmente a antenas alimentadas por dipolos cruzados tales como la antena corta de radiación hacia atrás. Por ejmeplo, si se disponen los elementos de dipolos cruzados con una inclinación de 45° con respecto a la horizontal y se ajusta la fase de un defasador insertado en uno de los terminales de la antena corta de radiación hacia atrás, como se muestra en la fig. 2a), puede controlarse arbitrariamente la relación axial de esta antena. En este caso, el eje principal de esta elipse de polarización es siempre vertical como se indica en la fig. 2b).



a) Diagrama de bloques

b) Elipse de polarización de una antena de barco

FIGURA 2 – *Antena corta de radiación hacia atrás con el método de polarización (A)*

Recientemente se ha propuesto otra técnica de reducción que aplica el método de polarización [Ohmori y Miura, 1983]. Este método (método de polarización (B) utiliza las características de polarización de la onda reflejada en el mar y las de un combinador híbrido. Se basa este método en la diferencia entre los coeficientes de reflexión de la superficie del mar en el caso de polarización circular para las ondas copolarizada y de polarización cruzada. En este caso, se aprecia que la componente circular de polarización cruzada es mayor que la componente copolarizada cuando el ángulo de elevación es superior a unos 6°. En consecuencia, haciendo que las amplitudes de las componentes reflejadas sean iguales y ajustando la diferencia de fase para que estén en oposición entre sí (± 180°), podría obtenerse una onda directa sin desvanecimiento. Empleando este método se añade un defasador (que se programa de antemano para optimizar el desplazamiento de fase para un ángulo de elevación determinado) y un combinador de potencias al equipo normal de antena de polarización circular, como se muestra en la fig. 3, en la que las componentes directa y reflejada copolarizada se extraen del terminal T3 y la componente reflejada de polarización cruzada se extrae del terminal T4. Aunque este método tiene algunos inconvenientes, tales como el aumento de la pérdida de inserción debido a la pérdida de potencia de 3 dB en el combinador y el aumento en la temperatura de ruido térmico debido al atenuador, se logra un amplio efecto de reducción, sobre todo cuando el desvanecimiento es muy intenso.

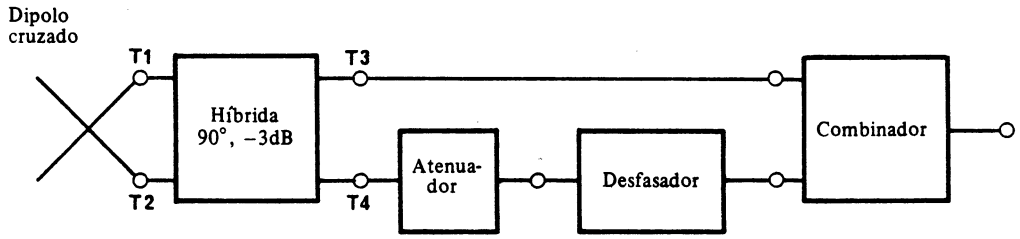


FIGURA 3 – *Configuración del método de polarización (B)*

2.3 *Método de conformación del diagrama de radiación*

Es posible suprimir la recepción de la señal reflejada utilizando una antena de diagrama conformado que tiene una característica de pequeña ganancia de radiación en la dirección de la onda reflejada por el mar. Puede realizarse prácticamente este método mediante un agrupamiento de antenas o una antena con reflector modelado. En la fig. 4, se muestra un ejemplo de diagrama de radiación de una antena de diagrama conformado [Ohmori y otros, 1980]. El diagrama de radiación se configura de manera que sea plano en el haz principal y se suprima en las otras direcciones. Se espera que esta antena tenga un buen efecto de reducción cuando las ondas reflejadas provengan de direcciones que están fuera del haz principal. Sin embargo, la antena de haz conformado tiene un inconveniente y es que su rendimiento de abertura es generalmente pequeño en comparación con otros.

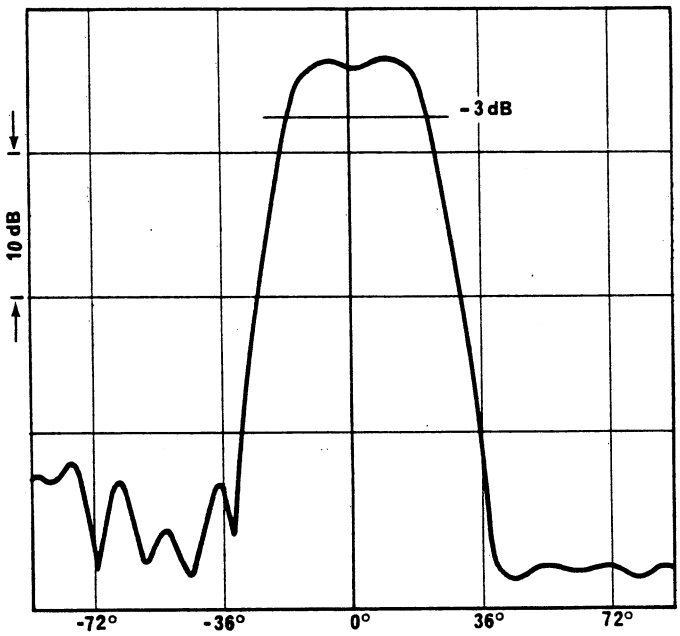
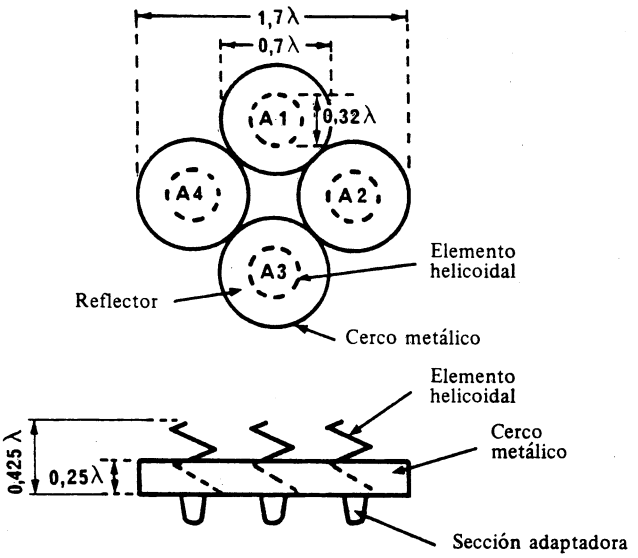


FIGURA 4 – *Diagrama de radiación de la antena de haz conformado*

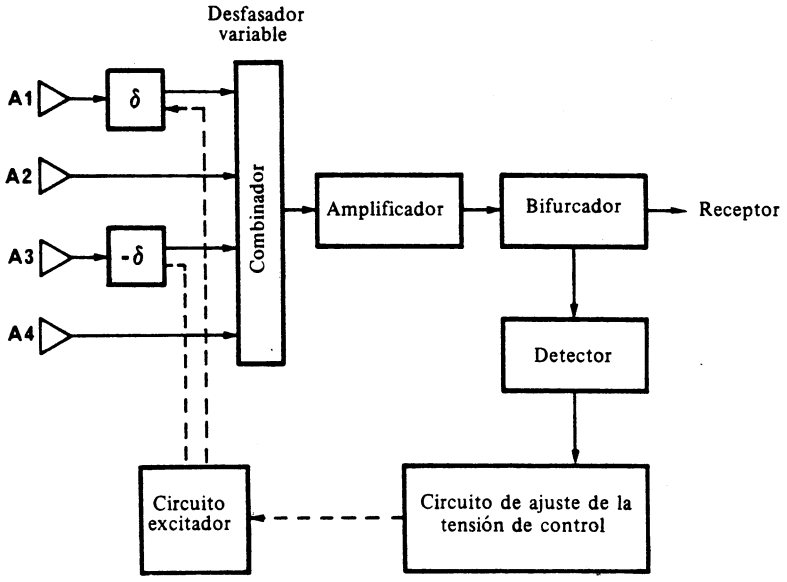
Ganancia: 16 dBi (1,54 GHz)

2.4 *Método de seguimiento del nivel máximo*

Si se controlan las características de radiación de una antena en la dirección de la onda reflejada, de manera que la intensidad de la señal recibida se mantenga siempre a un alto nivel, puede suprimirse sustancialmente el desvanecimiento. Este principio [Shiokawa y Karasawa, 1982] puede aplicarse fácilmente a un agrupamiento de antenas. Se hace variar la fase de un defasador variable insertado en el circuito de alimentación de cada elemento del agrupamiento en una pequeña cuantía, cambiando su tensión de control a fin de comprobar si aumenta o no el nivel de la señal resultante. La fase deberá ajustarse con rapidez suficiente para poder seguir la velocidad del desvanecimiento. Si aumenta el nivel de la señal se permite que la tensión de control varíe de forma continua en el mismo sentido. Si no es así, deberá invertirse la polaridad de la tensión que controla el defasador variable, para que actúe en sentido contrario. Puede reducirse el desvanecimiento repitiendo esta operación. En la fig. 5, se muestra un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de aplicación de este método a una antena helicoidal de 4 elementos.



a) Sistema de antenas helicoidales de 4 elementos



b) Diagrama de bloques

FIGURA 5 – *Antena helicoidal de 4 elementos para el método de seguimiento del nivel máximo*

2.5 *Método de descentramiento del haz*

Si el eje del haz de una antena de barco pudiera variarse ligeramente con la dirección del satélite, podría suprimirse el desvanecimiento debido a la reflexión en el mar en virtud de las características generales de la antena de barco ya que la degradación de la ganancia de la antena en dirección de la onda reflejada será generalmente mayor que el error de puntería. Esto se consigue utilizando el sistema de seguimiento de antena por programa. Sería también posible reducir el desvanecimiento mediante las características de polarización de la antena de barco. En la fig. 6, se muestra la elipse de polarización medida para una antena corta de radiación hacia atrás [Yamada y otros, 1981]. A partir de esta figura, se puede ver que si el dipolo cruzado se dispone con una inclinación de 45° con respecto al plano horizontal, el eje mayor de la elipse de polarización en el plano vertical es casi vertical y la degradación de la relación axial se hace mayor a medida que aumenta el ángulo con respecto al centro del haz. Por otro lado, en el caso de un ángulo de elevación inferior a unos 10°, el eje mayor de la onda reflejada en el mar es casi horizontal, como se indica en el § 2.2. En consecuencia, la relación entre ambas elipses de polarización se acerca mucho a la condición de ortogonalidad (véase el § 2.2) en contraste con el caso en que no se aplica descentramiento del haz.

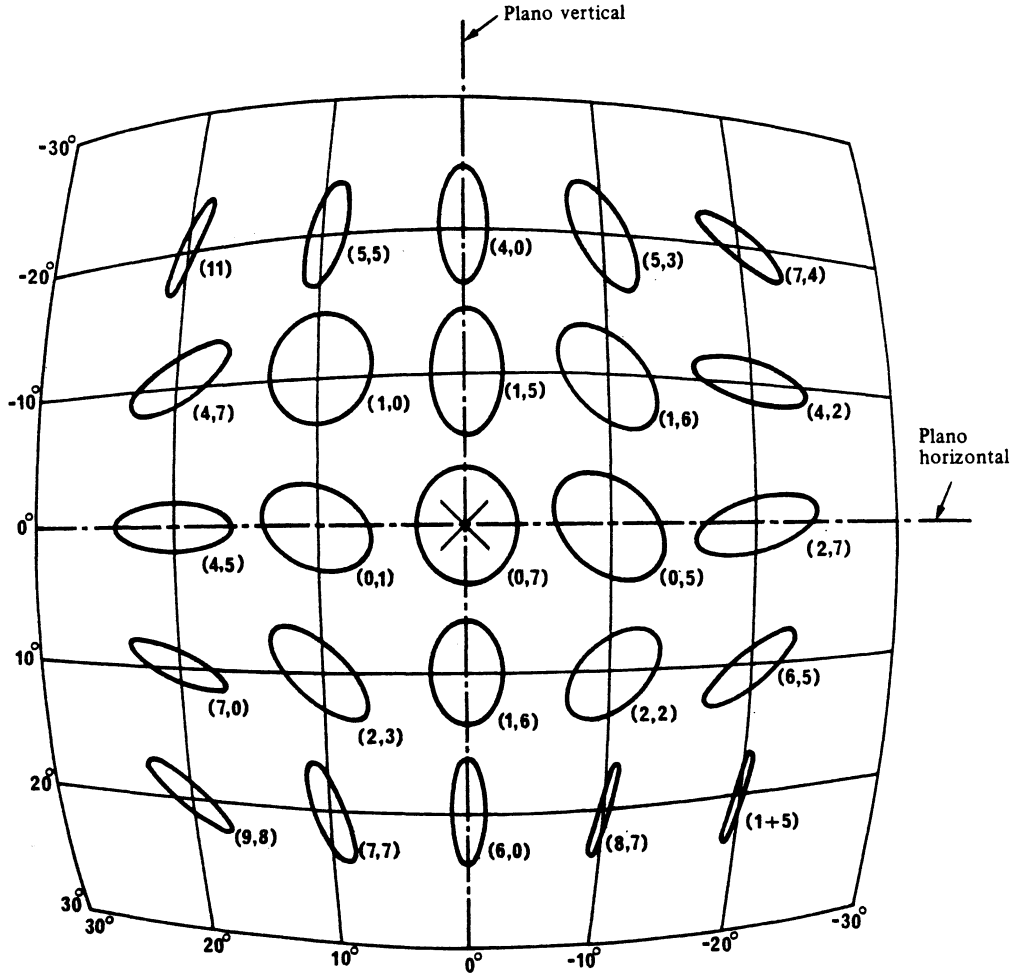


FIGURA 6 – *Elipse de polarización de una antena corta de radiación hacia atrás (ganancia de la antena: 12 dBi)*

3. Resultados de pruebas prácticas sobre efectos de reducción

3.1 *Diversidad de espacio*

Se efectuó un experimento de diversidad de espacio [Kozono y Yoshikawa, 1981] aplicando el algoritmo de conmutación y permanencia, situando dos antenas cortas de radiación hacia atrás de 20 cm de diámetro en un barco pequeño, en condiciones en que la altura de las olas era de 1 a 1,5 m aproximadamente. Estas antenas estaban separadas entre sí tres longitudes de onda en la dirección vertical. En la fig. 7, se representa el efecto de diversidad de espacio obtenida por simulación, en la cual la operación de conmutación se realizó por un computador. Puede apreciarse en esta figura que las distribuciones acumulativas del tiempo en cada rama son aproximadamente iguales entre sí y tales distribuciones corresponden a la distribución I_0 con una relación C/I igual a 6,25 dB. Se aprecia también que para un ángulo de elevación de 9° pudo reducirse a 5 dB aproximadamente un desvanecimiento de unos 8 dB, en el caso en que el nivel umbral es de -5 dB.

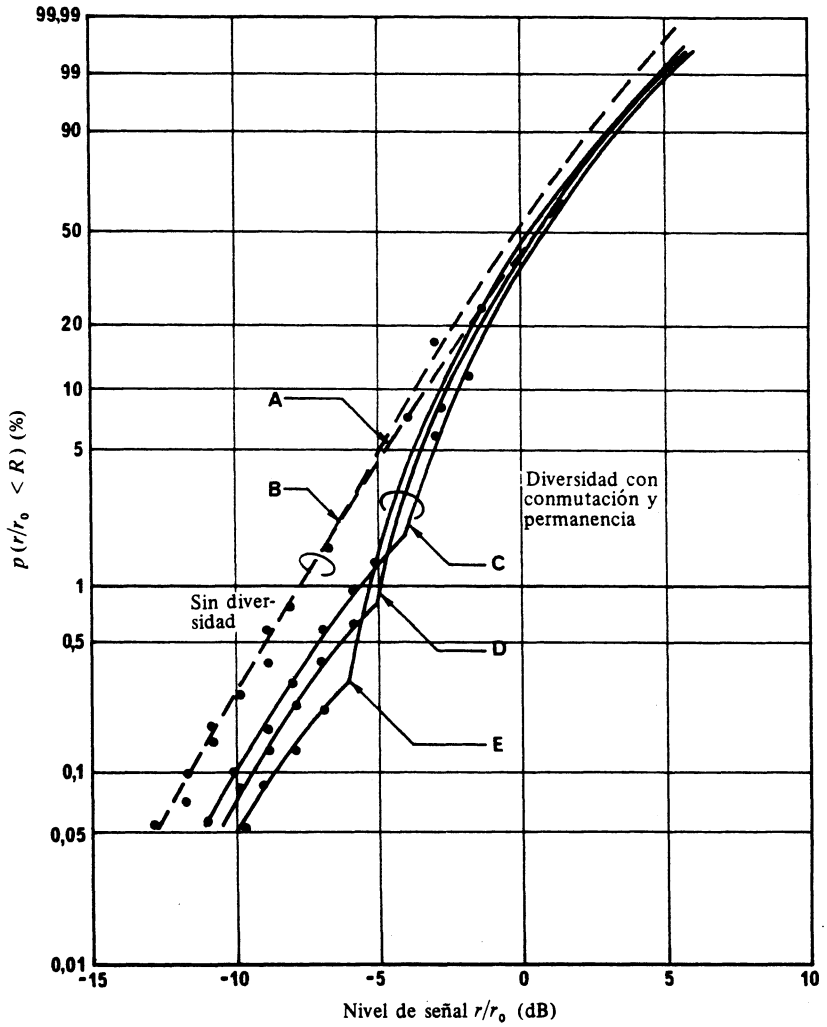


FIGURA 7 – *Efecto de reducción de desvanecimiento con el método de diversidad de espacio*

Frecuencia: 1,5 GHz
Antena corta de radiación hacia atrás
Separación de antena: Δh = 0,6 m

Curvas A: Rama 1
B: Rama 2
C: S = −4 dB
D: S = −5 dB
E: S = −6 dB
S: Nivel de umbral

3.2 *Método de polarización*

Se efectuaron pruebas prácticas para el método de polarización (A) [Shiokawa y Karasawa, 1982], utilizando una antena corta de radiación hacia atrás con un diámetro de abertura de 33 cm, situada en la cubierta de un transbordador que recibía señales del satélite Marisat. Esta antena tenía una ganancia de unos 13,5 dBi, una relación axial de 0,7 dB, aproximadamente, sin reducción de desvanecimiento y una anchura de haz de unos 38°. En la fig. 8, se muestra la distribución acumulativa temporal del efecto de reducción del desvanecimiento para una altura de olas de unos 70 a 80 cm, correspondiente a la condición de mar «gruesa». Puede verse que utilizando esta técnica de reducción de desvanecimiento la profundidad del desvanecimiento correspondiente al 99% del tiempo disminuye de 5,1 dB a 2,5 dB, si bien existe una pérdida de polarización de 1 dB aproximadamente.

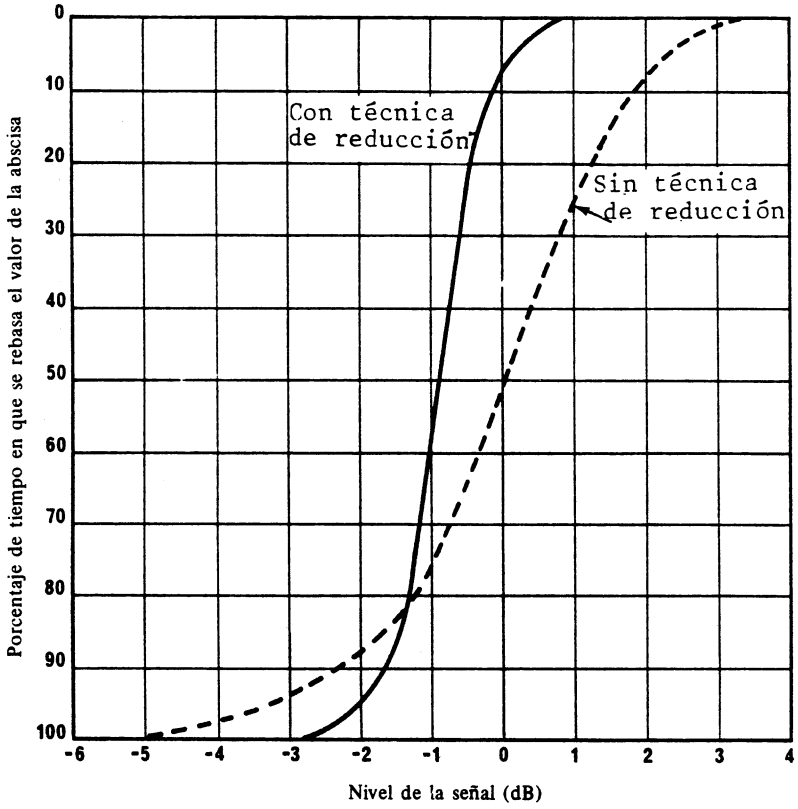
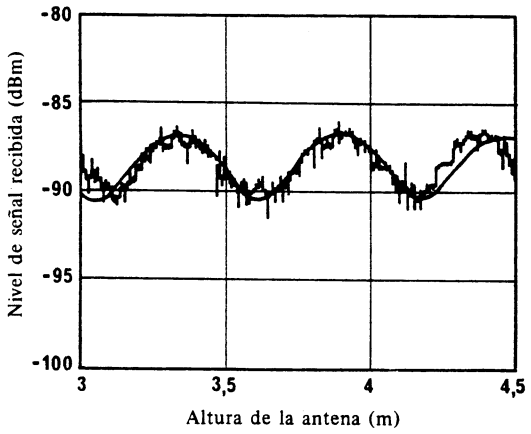


FIGURA 8 – Efecto de reducción del desvanecimiento con el método de polarización (A)

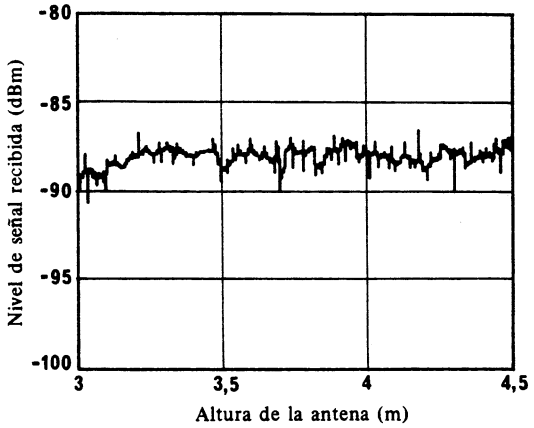
Ángulo de elevación: 11,2°
Altura de las olas: 70 a 80 cm

Con respecto al método de polarización (B) [Ohmori y Miura, 1982] se efectuaron también experimentos en la costa, mediante la recepción de señales piloto del satélite Inmarsat con ángulos de elevación de unos 10°. La antena utilizada en estos experimentos era una antena corta de radiación hacia atrás (SBF), cuyas características eléctricas eran casi las mismas que las del experimento del método de polarización (A). Las figs. 9a) y 9b) muestran respectivamente los diagramas ganancia-altura de una antena corta de radiación hacia atrás convencional en la que el valor del atenuador adicional se hace igual a infinito y de una antena corta de radiación hacia atrás con la técnica de reducción de desvanecimiento. Los resultados muestran que se ha eliminado casi completamente el desvanecimiento espacial (diagrama de desvanecimiento ganancia-altura).



a) Sin técnica de reducción

Antena corta de radiación
hacia atrás de 40 cm



b) Con técnica de reducción

Reducción para una antena corta
de radiación hacia atrás

FIGURA 9 – *Efecto de reducción de desvanecimiento con el método de polarización (B)*

ARCHIVES U.I.T. GENÈVE

Se efectuaron asimismo pruebas prácticas con un equipo casi idéntico al anterior en un barco de tamaño medio (1.700 toneladas) a través de un satélite ETS-V [1989]. Los datos se obtuvieron utilizando un desfase adicional de valor fijo, que correspondía al valor calculado suponiendo reflexión especular y que es casi independiente de los ángulos de elevación. En la Figura 10 se muestra la distribución temporal acumulativa de la reducción del desvanecimiento para ángulos de elevación de alrededor de 6°. La profundidad de desvanecimiento relativa al valor de 50% cercana a 11 dB correspondiente al 99% del tiempo se ha reducido a 1,4 dB, aproximadamente. Se ha comprobado que este método es válido para ángulos de elevación pequeños con una mejora máxima de alrededor de 6°.

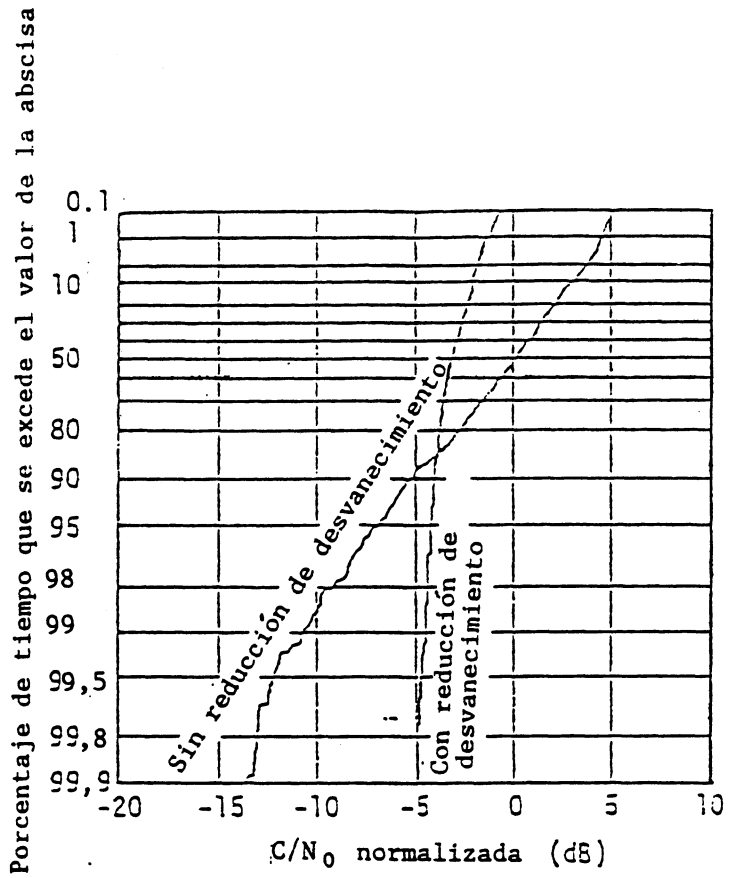


FIGURA 10

Distribución temporal acumulativa del nivel de señal recibida

Antena corta de radiación hacia atrás de 40 cm
Angulo de elevación: 5,9°
Altura de las olas: 1,0-1,1 m

3.3 *Método de seguimiento del nivel máximo*

Se efectuó un experimento práctico [Shiokawa y Karasawa, 1982] en una playa para recibir la señal de una fuente situada en un montículo separado por una bahía. En este experimento se utilizó una antena helicoidal de 4 elementos. Esta antena estaba constituida por 4 elementos helicoidales de dos vueltas, como se indica en la fig. 5a) y tenía una ganancia de 13 dBi, aproximadamente, con una relación axial de 1 dB aproximadamente [Shiokawa y otros, 1981]. El ángulo de elevación era de 7,5° y la altura de las olas de 15 a 20 cm correspondiente a condiciones de mar «moderado». Se situó la antena receptora en el punto mínimo del diagrama de altura para evaluar el caso más desfavorable en el que el nivel de la señal recibida es mínimo. En la fig. 11 se muestra la distribución temporal acumulativa de la intensidad de señal recibida. La profundidad de desvanecimiento de unos 11 dB correspondiente al 99% del tiempo se ha reducido a 7,5 dB, aproximadamente.

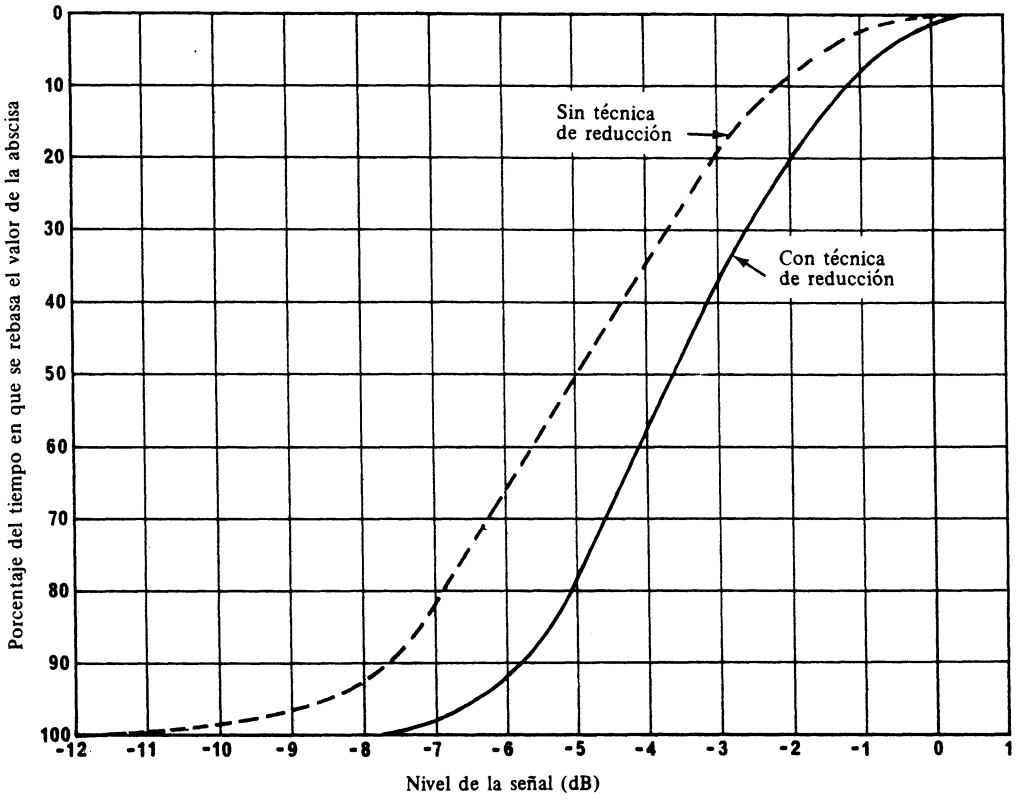
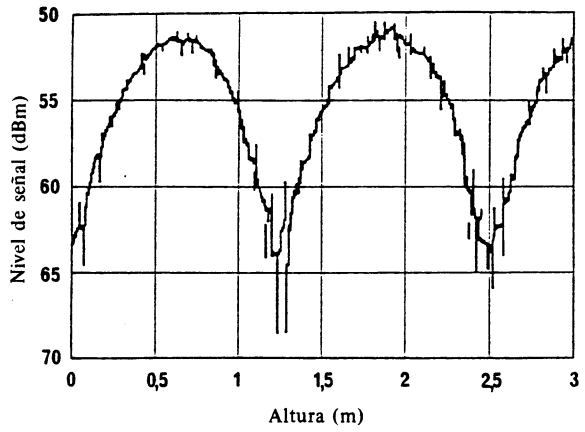


FIGURA 11 – *Efecto de reducción de desvanecimiento con el método del seguimiento del nivel máximo*

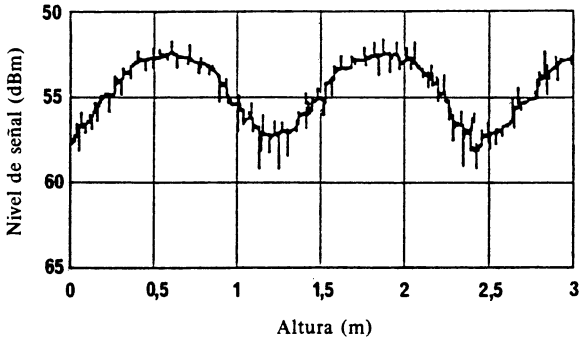
Ángulo de elevación: 7,5°
Altura de las olas: 15 a 20 cm

3.4 *Método de conformación del diagrama de radiación y método de descentramiento del haz*

Se efectuaron experiencias prácticas [Ohmori y otros, 1980] en la costa marítima para confirmar el efecto de reducción del desvanecimiento utilizando un método de reducción combinado basado en el método de conformación del diagrama de radiación y el método de descentramiento del haz. Se utilizó en este experimento una antena de haz conformado como la indicada en el § 2.3. En la fig. 12, se muestran los resultados experimentales en función del diagrama de altura; la fig. 12a) corresponde al caso de una antena convencional con una ganancia de unos 16 dBi y la fig. 12b), al caso de una antena de haz conformado con un descentramiento de haz de 15°. A partir de esta figura, puede apreciarse que aplicando este método, pueden suprimirse bastante bien las ondas reflejadas.



a) Sin técnica de reducción



b) Con técnica de reducción

FIGURA 12 – *Efecto de reducción del desvanecimiento con los métodos de conformación de haz y descentramiento de haz*

4. Conclusiones

Se han examinado algunas técnicas de reducción de desvanecimiento y presentado los resultados experimentales correspondientes. Como consecuencia, se concluye que la adopción de técnicas de reducción de desvanecimiento es muy eficaz para evitar la degradación sustancial de señal debida a la reflexión en la superficie del mar, especialmente para estaciones terrenas de barco con baja relación G/T.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IKEGAMI, T., MARUYAMA, S., KAWASAKI, K. y OHMORI, S. [1989] - Experimental study of fading reduction method for maritime satellite communications. IEEE Antennas and Propagation Symposium (AP-S), San José, California, EE.UU.

KOZONO, S. y YOSHIKAWA, M. [1981] Switch and stay diversity effect on maritime mobile satellite communication. *Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs. Japan*, Vol. J64-B, **5**.

OHMORI, S. y MIURA, S. [1983] A fading reduction method for maritime satellite communications. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-31, **1**, 184-187.

OHMORI, S. y otros [1980] Circularly polarized shaped beam antenna, National Conference. *Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs.*, Tokyo, Japón, Vol. SI-4.

SHIOKAWA, T., KARASAWA, Y. y YOKOI, H. [1981] A ship-borne helical array antenna for maritime satellite communication. IEE Conf. Publ. No. 195. IEE Second International Conference on Antennas and Propagation, Heslington, York, Reino Unido.

SHIOKAWA, T. y KARASAWA, Y. [1982] Ship-borne antenna suppressing multipath fading in maritime satellite communication. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S), New Mexico, Estados Unidos de América.

YAMADA, Y, y otros [1981] Study on the ship-mounted antenna used for satellite communication. *Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs.*, Tokyo, Japón, Tech. Rep., AP 80-126.