

## INFORME 464-5\*

**POLARIZACIÓN DE LAS EMISIONES DE RADIODIFUSIÓN CON  
MODULACIÓN DE FRECUENCIA EN LA BANDA 8 (ONDAS MÉTRICAS)**

(Cuestión 46/10, Programa de Estudios 46C/10)

(1970-1974-1978-1982-1986-1990)

**1. Introducción**

Desde el comienzo de la radiodifusión en la banda 8 (ondas métricas) se ha hecho hincapié en la alta calidad, tendencia que se ha acentuado aún más con la aparición de las transmisiones estereofónicas. Por ello, al planificar estos nuevos servicios, se ha puesto especial cuidado en el correcto establecimiento de las instalaciones de recepción con antenas montadas en los tejados. Se han realizado estudios que demuestran que, en estas condiciones, la polarización horizontal presenta ciertas ventajas.

La aparición del transistor ha hecho posible la producción en masa de receptores portátiles de precio módico de gran sensibilidad para la modulación de frecuencia, capaces de funcionar de manera satisfactoria con antenas de varilla incorporadas. Por otra parte, se utilizan cada vez más receptores de ondas métricas en los automóviles. De modo general, estas nuevas categorías de receptores contribuyen a crear un mercado de masas, y aun cuando no permiten sacar el máximo partido posible de las emisiones de alta calidad, son utilizados en tan gran número que los organismos de radiodifusión deben tenerlos en cuenta. Debe también mencionarse que existe en general un aumento constante de la demanda de receptores de alta calidad, especialmente de los que permiten la recepción estereofónica.

Así, los receptores domésticos fijos pueden utilizar antenas fijas con la ventaja de una ganancia y una directividad mayores que en el caso de las antenas de vehículo o de receptor de radio portátil que han de ser teóricamente omnidireccionales en el plano horizontal.

El presente Informe pretende facilitar información adicional a los organismos de radiodifusión que les permita elegir fácilmente, de acuerdo con las circunstancias, la polarización más apropiada para los nuevos programas en cuya puesta en servicio se hallen interesados.

**2. Tipos de polarización utilizados en radiodifusión**

La polarización empleada en radiodifusión puede ser de diversos tipos, definidos como sigue:

*Polarización horizontal:* Tipo de polarización en el cual el vector eléctrico se halla en un plano horizontal.

*Polarización vertical:* Tipo de polarización en el cual el vector eléctrico se halla en un plano vertical.

*Polarización oblicua:* Tipo de polarización en el cual el vector eléctrico tiene una inclinación de  $45^\circ$  con respecto a la horizontal. Este modo puede considerarse como la resultante de dos componentes de igual amplitud y fase, una polarizada horizontalmente y la otra verticalmente.

Se dice que la polarización es dextrógira o levógira, según que el giro de  $45^\circ$  con respecto a la vertical del vector eléctrico de la onda que se propaga, visto desde el punto de transmisión, se produzca respectivamente en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario.

*Polarización elíptica:* Tipo de polarización en el cual el vector eléctrico gira, describiendo su extremo una elipse. Esta polarización puede considerarse como la resultante de componentes polarizadas vertical y horizontalmente, que difieren en fase y/o amplitud.

Se dice que la polarización elíptica es dextrógira o levógira cuando el vector eléctrico, visto desde el punto de emisión, gira respectivamente en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido inverso.

*Polarización circular:* Tipo de polarización en el cual la extremidad del vector eléctrico describe un círculo. Esta polarización puede considerarse como un caso particular de polarización elíptica en que las componentes polarizadas vertical y horizontalmente, de igual amplitud se combinan en cuadratura de fase.

Se dice que la polarización circular es dextrógira o levógira cuando el vector eléctrico, visto desde el punto de transmisión, gira respectivamente en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido inverso.

*Doble polarización:* Tipo de polarización en el cual la antena radia componentes de polarización vertical y horizontal, de amplitud sensiblemente igual pero sin relación de fase precisa entre ellas. En general, las fuentes polarizadas vertical y horizontalmente pueden estar desplazadas una de otra, de manera que la polarización resultante esté comprendida entre la polarización circular y la polarización oblicua, en función del acimut.



*Polarización mixta:* Este término se aplica a todos los métodos de difusión con componentes polarizadas vertical y horizontalmente. Comprende la polarización oblicua, la polarización elíptica (incluida la polarización circular) y la doble polarización.

En la práctica, debido al tipo de antenas empleadas para la recepción doméstica, es poco probable que un tipo de polarización mixta presente una determinada ventaja sobre los demás.

Si un organismo de radiodifusión desea utilizar una polarización mixta en lugar de polarización horizontal o vertical, la elección deberá hacerse teniendo en cuenta la disposición más cómoda para la realización de la antena de transmisión. En dicho caso, conviene aumentar en 3 dB la potencia de transmisión si se quiere obtener el mismo nivel a la entrada de los receptores con antenas de recepción polarizadas horizontal o verticalmente. Es de destacar que si se utilizan antenas directivas, la forma de polarización elegida sólo se obtendrá posiblemente en el haz principal.

### 3. Utilización de polarización horizontal, vertical y mixta

La información disponible induce a creer que, con el tipo de antenas utilizadas por los receptores portátiles o de automóvil, la señal recibida puede ser a veces más intensa si se emite una componente con polarización vertical. El empleo de una componente polarizada verticalmente, que se suma a la componente horizontal, se está generalizando en América del Norte, donde los nuevos servicios emplean frecuentemente la polarización circular. Este método de transmisión se ha revelado ventajoso para la recepción por vehículos, ya que permite compensar los desvanecimientos debidos a la formación de ondas estacionarias y produce normalmente una señal de más potencia en las zonas despejadas. Pruebas realizadas en [CCIR, 1982-86a] sustentan lo expuesto, aunque sólo en casos de terreno llano. En zonas montañosas la cobertura está limitada por el relieve; la distorsión debida a la propagación por trayectos múltiples a larga distancia degrada el servicio y hay poca diferencia en el nivel medio de señal para recepción doméstica entre las emisiones con polarización horizontal y con polarización circular. En Irlanda, casi todas las emisiones de la banda 8 emplean la polarización vertical aunque las estaciones que cubren zonas urbanas importantes utilizan polarización mixta, mientras que en el Reino Unido la mayoría de las estaciones (comprendidas 13 estaciones de la BBC cada una de ellas con 3 ó 4 transmisiones de alta potencia en la gama 130 - 250 kW) utilizan ahora polarización mixta (circular u oblicua) y las restantes estaciones con polarización horizontal están siendo transformadas para que utilicen la polarización mixta.

En Suecia se han efectuado también pruebas [CCIR, 1978-82a] que demuestran que la recepción en vehículos mejora en las zonas edificadas próximas al transmisor, cuando se utiliza la polarización circular o vertical, en vez de la horizontal. Estudios realizados en la República Federal de Alemania y en Italia han demostrado, sin embargo, que las emisiones con polarización horizontal son menos sensibles a la distorsión por trayectos múltiples en determinados tipos de terreno, lo que es especialmente importante para la estereofonía y las demás señales multiplexadas.

En la República Socialista Federativa de Yugoslavia se llevaron a cabo en 1988 investigaciones para evaluar las diferencias de propagación entre ondas con polarizaciones vertical y horizontal; dichas investigaciones fueron realizadas por la Corporación de Radiodifusión Yugoslava RTV de Ljubljana y el Instituto de Investigación Alemán Institut für Rundfunktechnik [CCIR, 1986-90a]. La estación utilizada para las pruebas fue un transmisor de gran potencia de radiodifusión sonora MF en la banda de ondas métricas, con una zona de servicio que tenía terrenos ondulados y accidentados. Los resultados indican que las ondas con polarización vertical presentaban pérdidas por difracción más importantes en la mayoría de las ubicaciones de la zona de medición y se observó que producían reflexiones mucho más difusas. Esto daba lugar a un incremento importante de las distorsiones en la recepción doméstica y un aumento significativo de los ruidos por desvanecimiento de la señal.

La experiencia adquirida en el Reino Unido [CCIR, 1978-82b], particularmente en las pruebas realizadas en la zona de Londres, reveló que, comparada con la polarización horizontal, la polarización mixta (véase el punto 2) proporcionaba un servicio mejorado a los oyentes que utilizan receptores portátiles o receptores en automóviles, sin causar una degradación importante de la recepción estereofónica a los usuarios que utilizan una antena exterior polarizada horizontalmente y correctamente instalada. Utilizando una potencia radiada aparente de 400 W, y efectuándose las mediciones en un radio de hasta 25 km desde el emplazamiento del transmisor, se observó que la adición de una componente vertical (de la misma potencia) a una emisión polarizada horizontalmente, producía en los receptores portátiles o instalados en automóviles un aumento efectivo de la señal de 5 a 7 dB. Pruebas efectuadas en Canadá confirman lo expuesto en casos de terreno llano y hasta una distancia aproximada de 160 km. Se utilizó una antena con polarización circular y la potencia radiada aparente (p.r.a.) de las estaciones variaba entre 21 kW y 360 kW. No obstante, las ventajas de utilizar la polarización circular parecen darse principalmente, para los receptores móviles, en las zonas periféricas, pero las inversiones y los gastos de explotación son más elevados que para las emisiones con polarización horizontal.

#### 4. Utilización de polarización ortogonal

En el Informe 122-3 (Ginebra, 1982) se exponían las ventajas que pueden obtenerse transmitiendo señales ortogonalmente polarizadas (vertical y horizontalmente) desde diferentes estaciones y utilizando discriminación por polarización en recepción. En principio, esta técnica es también aplicable en las bandas de frecuencia utilizadas para la radiodifusión sonora MF. Sin embargo, sólo puede obtenerse la máxima ventaja cuando la polarización de las antenas receptoras corresponde a la de la señal deseada. Cuando la polarización de las antenas receptoras es aleatoria, por ejemplo, en el caso de radiodifusión sonora MF en ondas métricas, cuando las antenas fijas y de automóviles tienen polarizaciones distintas, no cabe esperar ninguna ventaja general de la utilización sistemática de la polarización ortogonal, y esa solución puede incluso perturbar la recepción.

Además, cuando se hace uso de una polarización mixta, resulta normalmente imposible asegurar una protección mutua entre servicios utilizando polarizaciones cruzadas (verticales u horizontales). En caso de polarización mixta, no se obtendrá mejora alguna de la discriminación de polarización con respecto a la polarización horizontal o vertical empleando en la recepción el mismo tipo de antena que la emisora del programa deseado. Esta consideración es válida tanto para la polarización circular dextrórum como para la sinistrórum, ya que el sentido de rotación de la señal que llega por detrás de la antena es contrario al de la señal que llega por delante.

#### 5. Definición de la potencia radiada aparente (p.r.a.) para el cálculo de las interferencias en el caso de polarización mixta [CCIR, 1978-82c]

Cualquier tipo de polarización mixta puede representarse por una componente en polarización horizontal y otra en polarización vertical que pueden producir tensiones distintas en la entrada del receptor, en función del tipo de antena utilizado. De manera general, se pierde toda posibilidad de protección mutua entre servicios utilizando polarizaciones cruzadas, como se acaba de señalar, por lo que carece de importancia tener en cuenta la relación de fase entre las dos componentes para el cálculo de las interferencias. Sin embargo, hay que definir claramente la p.r.a. Conviene, pues, indicar por separado las potencias asociadas a las dos componentes ortogonales de la señal radiada (es decir, los valores de las dos componentes en el plano horizontal y vertical) y no limitarse a indicar el valor de la p.r.a. total.

#### 6. Factores determinantes de la propagación

##### 6.1 Componente directa o difractada

Las señales de radiodifusión que llegan a un punto de recepción están constituidas generalmente por varias componentes, la más intensa de las cuales es una onda directa, o una onda difractada. La amplitud de esta onda directa o difractada es claramente independiente de la polarización, a menos que la difracción se produzca en colinas redondeadas y lisas (sin vegetación, ni obstáculos de altura superior a un metro aproximadamente). En este caso, una onda de polarización vertical sufrirá menor atenuación que una onda de polarización horizontal. Otro caso particular es aquel en el que la propagación se produce por encima de colinas cubiertas de coníferas, ya que los árboles tienen mayor tendencia a dispersar la componente de polarización vertical, lo que produce una pérdida más elevada para este tipo de polarización. A poca distancia del suelo, las condiciones límite aconsejan utilizar una componente de polarización vertical, pues ello debilita las señales de polarización horizontal. Así, si la altura de la antena es reducida, la polarización vertical permitirá obtener una señal más intensa.

## 6.2 *Componente reflejada*

Además de la componente directa o difractada, se reciben normalmente una o varias señales reflejadas; las causas de este fenómeno pueden ser muy diversas, y se pueden clasificar en los tres grupos siguientes:

### 6.2.1 *Reflexiones rasantes en el suelo frente a la antena de recepción*

La diferencia de trayecto entre las señales directa y reflejada es normalmente muy pequeña, lo que hace que el eco no produzca distorsión, sino simplemente una variación de la intensidad de campo. Cuando el ángulo de incidencia no es superior a alrededor de  $1^\circ$ , el efecto es casi siempre claramente independiente de la polarización. Sin embargo, si la transmisión se efectúa entre puntos de transmisión y de recepción elevados, por ejemplo, por encima de un valle o de una bahía, el retardo del eco puede ser sensible, y la polarización horizontal presentará en general un eco relativamente superior.

### 6.2.2 *Reflexiones procedentes de los lados del trayecto, cuando el reflector es una construcción, árboles, colinas o montañas*

Cuando las reflexiones son debidas a superficies verticales o casi verticales, su amplitud será, en general, notablemente mayor con emisiones de polarización vertical que con emisiones de polarización horizontal. Es posiblemente este factor el que hace que las transmisiones con polarización vertical sean relativamente más sensibles a los efectos de los trayectos múltiples que las transmisiones con polarización horizontal. En la práctica, el fenómeno es más acusado cuando el trayecto directo está enmascarado y existen a ambos lados del mismo estructuras o elementos topográficos que reciban un campo intenso. El efecto puede ser importante cuando la diferencia de trayecto entre la señal directa y la señal reflejada es superior a unos 3 km (10  $\mu$ s). Con este retardo puede observarse una distorsión perceptible si la amplitud del eco es de alrededor del 15% en estereofonía o del 40% en monofonía, pero el valor exacto de este porcentaje depende del nivel de supresión de la modulación de amplitud en el receptor.

### 6.2.3 *Reflexiones procedentes de más allá del punto de recepción producidas por superficies verticales o casi verticales, como edificios, árboles o montañas*

Cuando la dimensión del objeto reflector es importante en los planos vertical y horizontal, la polarización carece normalmente de importancia, aunque algunos resultados obtenidos en la República Federal de Alemania muestran que los edificios tienen tendencia a reflejar las señales de la banda 8 (ondas métricas) polarizadas verticalmente con más intensidad que las polarizadas horizontalmente. Cuando el reflector es un árbol, en especial de la familia de las coníferas, las señales de polarización vertical son reflejadas con más intensidad. Como en el punto 6.2.2, los efectos sólo son importantes cuando la diferencia de trayecto es superior a unos 3 km.

## 6.3 *Recapitulación de los factores que influyen en la propagación*

Resulta pues evidente que la emisión de una componente con polarización vertical puede producir un campo más intenso cuando las antenas de recepción son más sensibles a la polarización vertical, y están situadas a poca altura. Por el contrario, existe una posibilidad de aumento de la distorsión por trayectos múltiples en ciertos tipos de terrenos. Esta distorsión es especialmente importante cuando se transmiten señales en multiplexaje.

La información de la que se dispone muestra que, en terreno llano y ondulado, el efecto de los trayectos múltiples es mínimo, mientras que la ganancia en intensidad de campo obtenida al transmitir una componente de polarización vertical es máxima. En una región muy montañosa, en cambio, la ganancia en intensidad de campo es reducida, mientras que los efectos de los trayectos múltiples pueden ser graves, especialmente cuando las reflexiones se deben a montañas cubiertas de coníferas.

En estos casos extremos, es pues posible decidir cuál es la mejor polarización que debe emplearse en la transmisión. En los casos intermedios más frecuentes, la decisión es menos evidente, pudiendo depender del tipo de servicio que el organismo de radiodifusión desee ofrecer.

## 7. **Interferencias artificiales**

La principal fuente de interferencias es el sistema de encendido de vehículos, y la experiencia indica que la importancia de este factor varía de un país a otro. No se conoce de manera exacta la causa del fenómeno, aunque posiblemente sea debida a las diferencias en las normas aplicadas para la eliminación de interferencias de los circuitos eléctricos de los vehículos.

Las interferencias debidas al encendido de los vehículos tienen una polarización semialeatoria, pero con preponderancia de las componentes verticales. Así, cuando las antenas de recepción están situadas a bastante altura sobre el nivel del suelo, y tienen la misma polarización que la transmisión, es preferible la polarización horizontal. Si la antena de recepción se utiliza en proximidad del suelo, y responde sobre todo a las señales de polarización vertical, como ocurre actualmente con los receptores portátiles y los receptores de automóvil, la relación señal/ruido sólo puede mejorarse transmitiendo una componente vertical.

## 8. Servicios existentes

Es importante saber si existen ya transmisiones en la zona que se pretenda cubrir. De ser así quizás resulte necesario emplear una polarización que asegure a los receptores existentes un rendimiento satisfactorio en la mayoría de los casos. En general es probable que, cuando los servicios existentes utilicen polarización horizontal o vertical, el nuevo servicio deba utilizar ya sea la misma polarización, ya sea una polarización mixta.

## 9. Análisis

Se han examinado los diferentes factores que influyen en la elección de la polarización para los nuevos servicios en la banda 8 (ondas métricas). Es evidente que cada uno de los diferentes tipos de polarización horizontal, vertical o mixta presenta ventajas propias, cuya importancia está condicionada por la naturaleza del terreno, la clase de receptor y el tipo de servicio que se quiera asegurar. No existe ningún tipo de polarización que dé los mejores resultados en cualesquiera circunstancias.

El cuadro 1, que tiene en cuenta todos estos factores, está destinado a facilitar la elección del mejor tipo de polarización en función de las condiciones locales.

CUADRO 1 - Elección de la polarización adecuada para los nuevos servicios

Tipo de servicio deseado	Polarización de los servicios existentes	Tipo de terreno	Polarización preferida para el nuevo servicio
Especialmente destinado a los receptores de alta calidad, probablemente dotados de estereofonía, sin mejora de la recepción en receptores portátiles o de automóvil.	ninguna	cualquiera	horizontal
	horizontal	cualquiera	horizontal
	vertical	llano u ondulado	vertical
	vertical(1)	accidentado	mixta(2)
Especialmente destinado a obtener la máxima audiencia, en particular, por parte de receptores portátiles o de automóvil. Es preciso tener en cuenta las instalaciones ya equipadas para la recepción de las posibles emisiones existentes.	ninguna u horizontal	llano u ondulado	mixta
		accidentado	horizontal
	vertical	llano u ondulado	vertical
	vertical(3)	accidentado	mixta

(1) Sería preferible modificar los posibles servicios existentes haciéndolos transmitir con polarización horizontal.

(2) Horizontal si se pueden modificar los servicios existentes a polarización horizontal.

(3) Sería preferible modificar los posibles servicios existentes haciéndolos transmitir con polarización mixta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Documentos del CCIR*

[1978-82]: a. 10/61 (Suecia); b. 10/195 (Reino Unido); c. 10/240 (UER).

[1982-86]: a. 10/42 (Canadá) + Add. 1.

[1986-90]: a. 10/266 (República Federal de Alemania).

## BIBLIOGRAFÍA

UER [febrero de 1976] Choix de la polarisation pour les nouveaux services en bande II. *Rev. de l'UER (Technique)*, 155, 21-24.