

INFORME 814-2

FACTORES QUE HAY QUE TOMAR EN CONSIDERACIÓN AL ELEGIR LA POLARIZACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE

(Cuestión 1/10 y 11; Programa de Estudios 1A/10 y 11)

(1978-1982-1986)

1. Introducción

Para fines de planificación del servicio de radiodifusión por satélite en la banda 11,7-12,5 GHz en la Región 1 y 11,7-12,2 GHz en la Región 3 se adoptó la polarización circular dextrógira y levógira. De igual modo, en la Región 2 se eligió la polarización circular dextrógira y levógira para el Plan del servicio de radiodifusión por satélite en la banda 12,2-12,7 GHz y para el Plan asociado de enlaces de conexión en la banda 17,3-17,8 GHz. Además, en la CAMR ORB-85, se eligieron las bandas de frecuencias 14,5-14,8 GHz (para los países no europeos y para Malta) y 17,3-18,1 GHz para la planificación de enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite en las Regiones 1 y 3. Se supuso que se utilizará la polarización circular a fines de planificación. En caso contrario, podría utilizarse la polarización lineal, a reserva de la conformidad de todas las administraciones que compartan la posición orbital considerada.

Este Informe presenta un resumen de los factores que fueron tomados en consideración al hacer esa elección, tanto para que de ellos quede constancia, como para la planificación de futuros sistemas en otras bandas atribuidas, o que puedan atribuirse, al servicio de radiodifusión por satélite. Se sugiere, asimismo, que se actualicen periódicamente las informaciones contenidas en este Informe.

2. Comparación de las polarizaciones lineal y circular

Las ventajas e inconvenientes relativos de las polarizaciones lineal y circular para el servicio de radiodifusión por satélite pueden verse resumidos en el cuadro I. Los símbolos de las dos últimas columnas del cuadro indican el tipo de polarización, lineal (L) o circular (C), considerado más ventajoso para cada factor. Al evaluar esas ventajas y esos inconvenientes relativos, no hay que olvidar, lógicamente, que no todos los factores tienen igual importancia práctica y que su importancia relativa es también asunto de apreciación técnica.

Para facilitar la evaluación de la importancia de la orientación de la antena del satélite en la elección de la polarización (punto 3 del cuadro I), se incluye en el anexo I un corto análisis cuantitativo de los efectos de la geometría del sistema en la polarización lineal.

La elección entre las polarizaciones lineal y circular para la planificación del SRS está regida por dos factores importantes:

- el efecto de las atenuaciones y la despolarización debidas a la lluvia sobre las relaciones C/N y C/I ,
- los efectos en la interferencia debidos a la desalineación entre los vectores de polarización lineal de referencia y de la desalineación de los polarizadores de la estación terrena y del satélite.

La lluvia afecta a las relaciones C/N y C/I de las ondas con polarización lineal y circular durante pequeños porcentajes de tiempo. Por otra parte, la desalineación entre las señales con polarización lineal de las redes interferentes, así como entre transmisores y receptores:

- no tiene ningún efecto en la relación C/N de las redes con polarización lineal y circular,
- ni tampoco en la relación C/I de las redes con polarización circular,
- tiene escaso efecto en la relación C/I copolar en el caso de redes con polarización lineal, pero
- tiene un fuerte efecto en la relación C/I contrapolar en el caso de redes con polarización lineal.

Esto es importante, ya que la polarización lineal suele utilizarse para mejorar la C/I durante la lluvia. Pero debido a la desalineación puede reducir la C/I muy por debajo de la capacidad de discriminación máxima posible de las antenas del satélite y de la estación terrena.

Se observó que incluso en las zonas de elevada precipitación, el efecto de la lluvia en la C/I copolar y contrapolar es pequeño, salvo durante el 1% del mes más desfavorable. Para porcentajes de tiempo inferiores, el efecto de la lluvia es más importante y su influencia en la C/I contrapolar depende del tipo de polarización y de los vectores de referencia de la polarización lineal.

Hay dos sistemas principales de referencia que pueden utilizarse para definir la polarización lineal:

- *polarización lineal inclinada*: La polarización *vertical* se define de modo que, el vector de polarización sea perpendicular al eje del haz de la antena del satélite y se halle en el plano definido por el eje del haz de la antena del satélite y la vertical local. La polarización *horizontal* se define de modo que el vector de polarización sea perpendicular al eje del haz de la antena del satélite y esté contenido en el plano horizontal local. Estos vectores se hallarán lo más cerca posible de la horizontal local o de la vertical local en la referencia de puntería de la antena del satélite.
- *polarización lineal ecuatorial*: La polarización *polar* se define de modo que el vector de polarización sea perpendicular al eje del haz de la antena del satélite y se halle en el plano definido por el eje del haz de la antena del satélite y una línea paralela al eje polar de la Tierra. La polarización *ecuatorial* se define de modo que el vector de polarización sea perpendicular al eje del haz de la antena del satélite y paralelo al plano ecuatorial.

En general, la mejor calidad de funcionamiento que podría obtenerse con la polarización lineal exige dos condiciones que en la mayoría de los casos son incompatibles. Por una parte, la mejor calidad de funcionamiento de la polarización lineal se obtiene cuando la señal se recibe con polarización vertical. En cambio, las señales interferentes con polarización ortogonal deben recibirse exactamente a 90° con respecto a la señal deseada. Este aspecto geométrico del problema impide que ambas condiciones puedan cumplirse simultáneamente.

Puede obtenerse con la polarización lineal una calidad ligeramente mayor cuando el vector de referencia se define perpendicular al plano ecuatorial, y si la desalineación del receptor no excede de 3° para todos los sistemas copolares. Esto quiere decir que la polarización no se recibe verticalmente y, por tanto, que no se cumple la primera condición. Dado que esta mejora se considera marginal a la luz de la restricción adicional impuesta en la alineación del polarizador en recepción, se propone emplear polarización circular en la planificación del servicio de radiodifusión por satélite.

En los Informes 722 y 564 se facilita información sobre la despolarización debida a la lluvia.

3. Resultados experimentales

Se ha realizado un estudio en Canadá sobre la elección entre polarización lineal y circular para los enlaces descendentes del SRS. Se supone que la capacidad de discriminación contrapolar de la antena de la estación terrena (XPI_{ES}) se halla dentro de la gama 20 a 25 dB, y que la XPI_{SAT} de la antena del satélite está comprendida entre 27 y 33 dB, y sea con polarización lineal o circular.

Se ha estudiado el efecto de la atenuación y la despolarización causadas por la lluvia sobre la C/I del enlace descendente en las zonas hidrometeorológicas E, K y N utilizando el modelo de lluvia del Informe 564. Los resultados revelan que para el 99% del mes más desfavorable, el efecto de la atenuación y la despolarización causadas por la lluvia en la C/I copolar y contrapolar es muy pequeño. Para menores porcentajes de tiempo, el efecto de la atenuación y la despolarización causadas por la lluvia en la C/I contrapolar depende del tipo de polarización y de los vectores de referencia de la polarización lineal. La fig. 1 muestra la disponibilidad de un C/I contrapolar entre haces homogéneos de un enlace descendente de satélite (2° de diámetro) que utilizan polarización lineal inclinada, lineal ecuatorial o circular.

CUADRO I — Polarización lineal frente a polarización circular

Factor	Observaciones	Ventaja ⁽¹⁾
1. Alineación de la antena receptora	En la polarización circular no es necesario alinear la dirección de polarización.	C
2. Efecto de la falta de alineación en la polarización cruzada	La falta de la alineación de la dirección de polarización de ambas antenas, transmisora y receptora, exige con polarización lineal márgenes de protección de polarización cruzada con 2 a 4 dB más que en la polarización circular.	C
3. Orientación de la antena del satélite	Con polarización lineal, el plano de polarización no corresponderá, en general, con los ejes mayor o menor de un haz de sección transversal elíptica. Por consiguiente:	C
	a) Puede ser difícil producir una buena respuesta de polarización cruzada con polarización lineal (en particular con haces elípticos).	C
	b) La transferencia a un satélite de reserva a una posición orbital distinta, probablemente sería más difícil con polarización lineal por la necesidad de volver a alinear el plano de polarización.	C
4. Compartición con otros servicios	a) Si se elige la polarización circular para el servicio de radiodifusión por satélite y otros servicios usan polarización lineal, se obtiene una protección de 3 dB entre esos servicios y el de radiodifusión por satélite.	C
	b) Si la radiodifusión por satélite y otros servicios como el fijo por satélite y los servicios terrenales, usan polarización lineal, puede ocurrir en casos aislados, cuando la interferencia predominante llega cerca del haz principal de una antena receptora, que se acreciente la protección utilizando polarización ortogonal.	L
5. Efectos de propagación	En la polarización circular influyen más las condiciones atmosféricas que en la polarización lineal durante las precipitaciones intensas (superiores a 12,5 mm/hora) y con bajos ángulos de incidencia. Por ejemplo, la atenuación de polarización cruzada puede llegar a 20 dB durante el 1% del tiempo con polarización circular, según algunas mediciones hechas en Suiza [CCIR, 1974-78]. Este inconveniente de la polarización circular puede no tener importancia comparado con la transmisión de polarización lineal en un plano de 45° poco más o menos [Shkarofski y Moody, 1976].	L

(¹) C: circular L: lineal

El ángulo de elevación en la dirección del satélite es de 25°. Se supone que la antena de la estación terrena está perfectamente apuntada al satélite y alineada con la polarización deseada. Sin embargo, la desalineación de polarización B_R es de 0,1° para la polarización lineal ecuatorial y de 10,3° para la polarización lineal inclinada. Los ángulos de inclinación correspondientes para los haces deseado e interferente son de unos 5° y 10°, respectivamente, para la polarización lineal inclinada y la polarización lineal ecuatorial.

En la figura se muestra que, para una atenuación de 1 dB, la C/I contrapolar es de 19,5 dB para polarización circular y para polarización lineal ecuatorial. Sin embargo, para la polarización lineal inclinada, la desalineación B_R de 10,3° reduce la C/I contrapolar a 13,5 dB para una atenuación debida a la lluvia de 1 dB.

Para valores de atenuación mayores, la C/I depende de la atenuación diferencial entre la polarización lineal horizontal y vertical y de la despolarización. La polarización vertical inclinada es la menos atenuada y, por tanto, puede superar el valor de la C/I con polarización ecuatorial horizontal, circular e incluso ecuatorial vertical. Sin embargo, estas variaciones de la C/I con polarización cruzada suelen producirse durante porcentajes muy pequeños de tiempo en los que la atenuación de la señal es excesiva (superior a 10 dB).

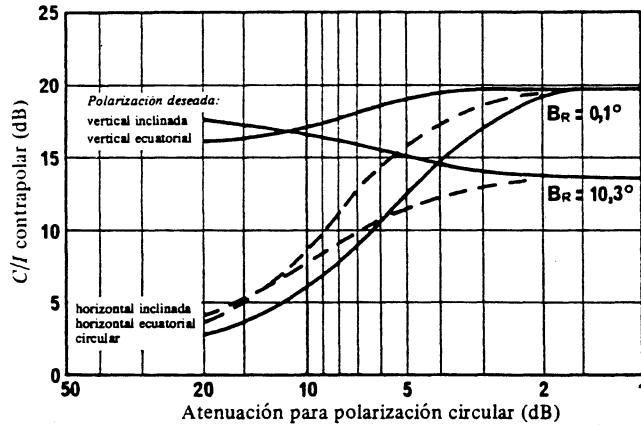


FIGURA 1 – Disponibilidad de relación C/I contrapolar en el borde de la zona de cobertura, entre satélites coubicados que dan servicio a zonas de haces adyacentes
(Se supone que las antenas están perfectamente alineadas)

Enlaces descendentes a 12 GHz
Satélites coubicados
Tamaño del haz de la antena del satélite, 2°
Ángulo de elevación, 25°
 $XPI_{ES} = +20$ dB
 $XPI_{SAT} = +33$ dB

Si se ignora, pues, el efecto de la lluvia en la C/I a 12 GHz, la fig. 2 muestra el efecto de la desalineación total, B_T , entre redes con polarización lineal en la C/I en condiciones de cielo despejado, y compara dicho efecto con la polarización circular. La figura muestra también la rápida disminución de la C/I contrapolar y cielo despejado con la desalineación entre polarizaciones lineales. Las antenas receptoras con polarización circular y una XPI de 20 y 25 dB dan una C/I contrapolar mayor que las antenas con polarización lineal para cualquier desalineación superior a 5° y 2° , respectivamente. La figura muestra también algunos valores típicos de la desalineación total, B_T , suponiendo un error de rotación de la antena del satélite $B_S = \pm 1^\circ$ y un error de alineación de la estación terrena $B_{ES} = \pm 5^\circ$ para polarización lineal ecuatorial e inclinada. Resultará difícil alinear y mantener los polarizadores de millones de antenas receptoras de bajo costo a menos de $\pm 5^\circ$ de la polarización deseada.

La desalineación total máxima de 5° puede dar una C/I contrapolar mayor con polarización lineal que con polarización circular según las posibilidades de discriminación de las antenas. Una desalineación máxima de 5° sólo puede lograrse con polarización lineal ecuatorial, cuando se consigue alinear y mantener el polarizador del receptor a menos de 3° aproximadamente de la polarización deseada. La utilización de polarización lineal inclinada con valores mínimos típicos de desalineación B_R de 4° dará, en la mayoría de los casos, una C/I peor que la polarización circular.

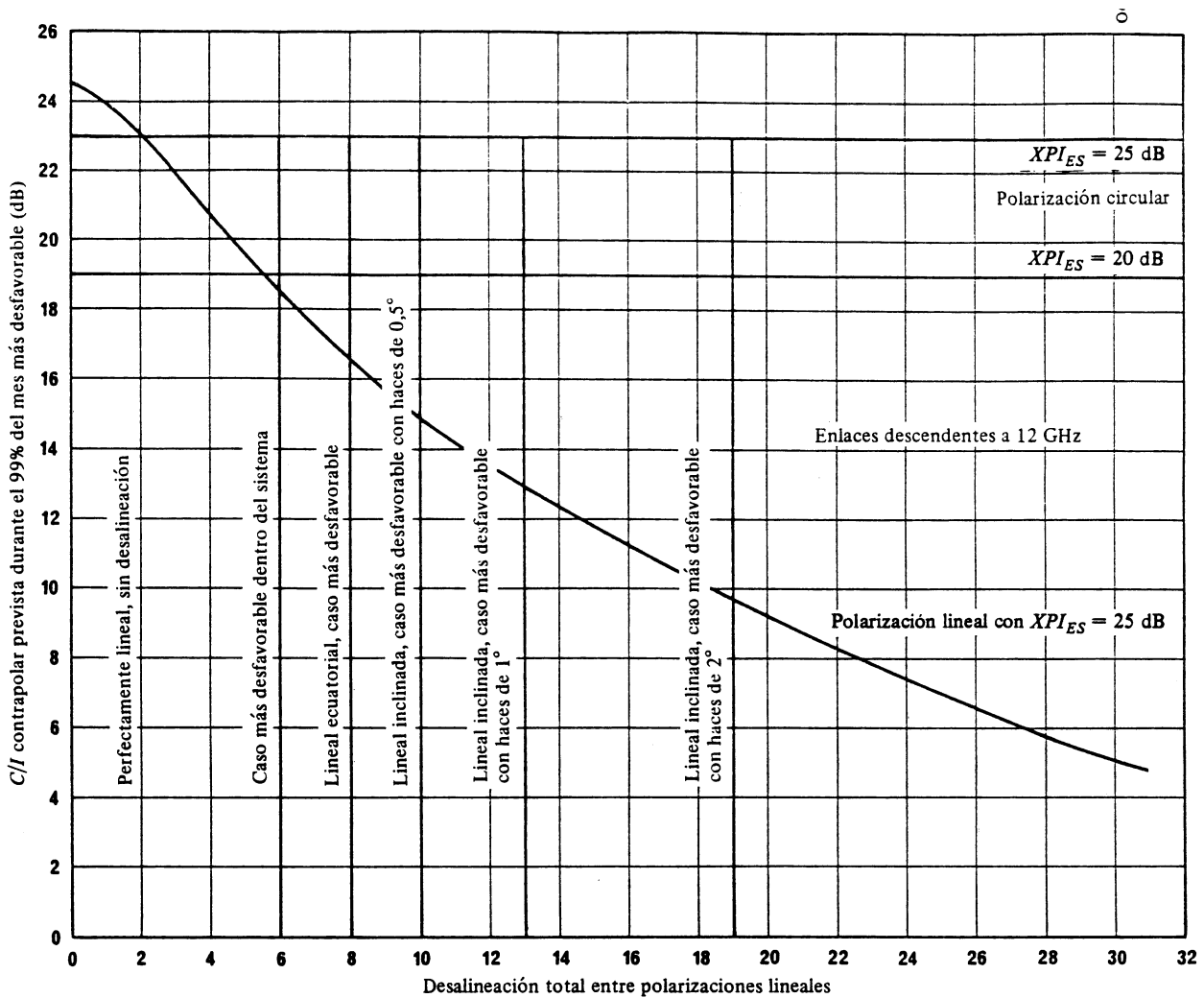


FIGURA 2 – C/I contrapolar en condiciones de cielo despejado entre haces de satélites adyacentes transmitidos desde un satélite a una estación terrena situada en el punto común de los contornos a -3 dB (Se ilustran el caso más favorable de polarización lineal ecuatorial y de polarización circular y el caso más desfavorable de polarización lineal inclinada)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SHKAROFSKI, I. P. y MOODY, H. J. [septiembre de 1976] Performance characteristics of antennas for direct broadcasting satellite systems including effects of rain depolarization. *RCA Rev.*, Vol. 37, 3, 279-319.

Documentos del CCIR
[1974-78]: 9/248 (Suiza).

ANEXO I

EFFECTOS DE LA GEOMETRÍA DEL SISTEMA EN LA POLARIZACIÓN LINEAL

El ángulo de la polarización recibida para polarización lineal, variará en función de la latitud y de la longitud del terminal receptor en tierra con relación a la longitud del punto de proyección del satélite. Esto se debe a la variación de la orientación del sistema de referencia (la horizontal y la vertical locales) con la ubicación geográfica.

El ángulo de polarización de la onda linealmente polarizada recibida, suponiendo que el vect. r de polarización de la onda transmitida es paralelo al plano ecuatorial, viene dado por la siguiente fórmula (sin considerar la rotación de Faraday que en 12 GHz es despreciable):

$$\theta_p = \text{arc tg} \left\{ (\text{sen } \Delta\lambda / \text{tg } \varphi) \sqrt{1 + [\text{sen } \theta / (\beta - \cos \theta)]^2} \right\}$$

siendo

θ_p : ángulo de polarización de la onda incidente medido a partir de la recta determinada por la intersección del plano horizontal local con el plano perpendicular a la recta trazada desde el satélite al terminal receptor en tierra,

$\Delta\lambda$: longitud relativa del terminal receptor en tierra,

θ : ángulo en el centro de la Tierra entre la proyección del satélite y el terminal receptor en tierra ($\theta = \text{arc cos} [\cos \Delta\lambda \cos \varphi]$), y

β : 6,62 (el radio de la órbita de los satélites geostacionarios dividido por el radio de la Tierra).

Esta variación del ángulo de polarización está ilustrada en la fig. 3 para diversas latitudes y longitudes relativas. El ángulo, θ_p , viene dado por el ángulo formado por el pequeño vector y el eje $\Delta\lambda$. Se muestran también los contornos correspondientes a ángulos de elevación de 0° y 20° .

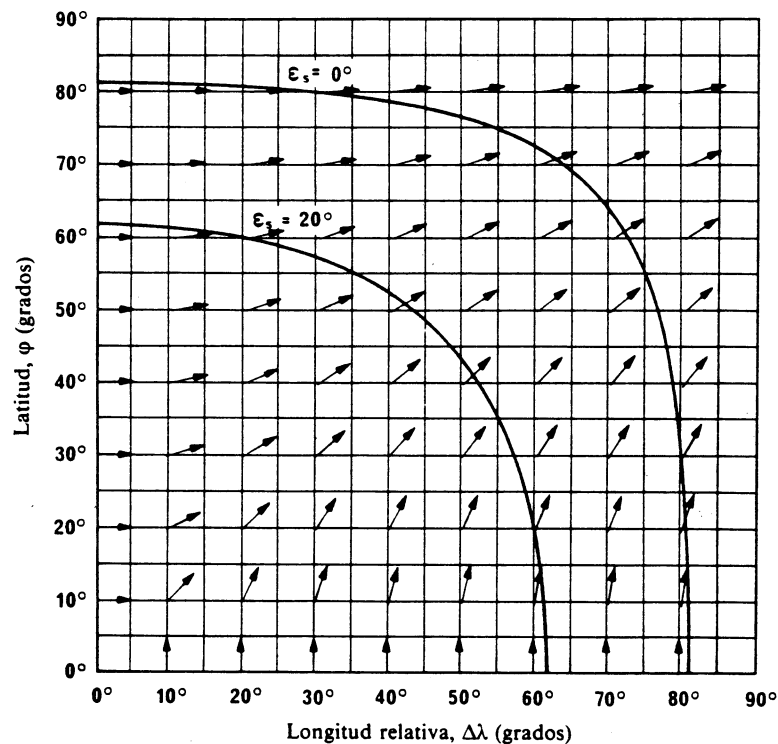


FIGURA 3 — Variación del ángulo de polarización recibido en la Tierra

ϵ_s : Ángulo de elevación

Se ve que el ángulo de polarización tiene una amplia gama de variación con la ubicación geográfica. Por consiguiente, parece imposible ajustar la polarización de la onda transmitida para conseguir que se reciba horizontalmente en todos los lugares de la zona de servicio.

A causa de esta variación del ángulo de polarización con la latitud y la longitud relativas, la simple elección de la polarización horizontal (el vector de polarización paralelo al plano ecuatorial) para la estación espacial del servicio de radiodifusión por satélite, no garantiza que se haya de recibir ortogonal al vector de polarización deseado (corrientemente vertical) en los sistemas terrenales.