

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.1333

**ESTIMACIÓN DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN REAL DE UNA ESTACIÓN DEL SERVICIO FIJO HACIA UNA ESTACIÓN ESPACIAL TENIENDO EN CUENTA LA REFRACCIÓN ATMOSFÉRICA**

(Cuestión UIT-R 163/9)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que en algunos estudios sobre compartición de frecuencias entre el servicio fijo y los servicios de radiocomunicación espacial, incluidos el servicio fijo por satélite, los servicios de radiodifusión por satélite y los servicios científicos espaciales, es necesario realizar una estimación de diversos factores relativos a la propagación, tales como la atenuación en el trayecto oblicuo debido a los gases atmosféricos y la atenuación debida al bloqueo de la zona de Fresnel;
- b) que la atenuación mencionada es función del ángulo de elevación real bajo el cual observa una estación del servicio fijo una estación espacial (geoestacionaria o no geoestacionaria);
- c) que es necesario establecer un método de cálculo simplificado para estimar el ángulo de elevación real hacia una estación espacial teniendo en cuenta la refracción atmosférica cuando el ángulo de elevación de una estación espacial sólo se conoce en condiciones de propagación en espacio libre en el vacío;
- d) que por regla general conviene estimar el ángulo de elevación real de una estación espacial en las condiciones de la atmósfera de referencia para los valores de refracción indicados en la Recomendación UIT-R P.369-6 (Ginebra, 1994),

*recomienda*

**1** que se utilice el método de estimación del ángulo de elevación real bajo el cual observa una estación del servicio fijo una estación espacial (geoestacionaria o no geoestacionaria) en condiciones de atmósfera de referencia para los valores de refracción de la Recomendación UIT-R P.369-6 (Ginebra, 1994) descritos en el Anexo 1 cuando el ángulo de elevación hacia una estación espacial sólo se conoce en condiciones de propagación en el espacio libre, en el vacío (véanse las Notas 1 y 2);

**2** que para un modelo de refractividad atmosférica distinto de la atmósfera de referencia de la Recomendación UIT-R P.369-6 (Ginebra, 1994), se obtenga una fórmula numérica diferente correspondiente al modelo de refractividad atmosférica específico (véase la Nota 3).

NOTA 1 – Esta Recomendación puede servir, por ejemplo, para calcular la atenuación en el trayecto oblicuo debida a gases atmosféricos y la atenuación debida al bloqueo de la zona de Fresnel que se indica en la Recomendación UIT-R F.1249.

NOTA 2 – En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R F.1108 se da un ejemplo de método de cálculo del ángulo de elevación hacia una estación espacial no geoestacionaria en condiciones de propagación en el espacio libre y en el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1249 se presenta un método de cálculo del ángulo de elevación hacia una estación espacial geoestacionaria en condiciones de propagación en el espacio libre.

NOTA 3 – En el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R SF.765 (y también en el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R F.1249) se da un ejemplo de las fórmulas numéricas para las correcciones de la refracción correspondientes al modelo de  $N_0 = 400$  y  $\Delta N = -68$  (para un valor máximo de corrección de la refracción) y al modelo de  $N_0 = 250$  y  $\Delta N = -30$ , (para un valor mínimo de corrección de la refracción), donde  $N_0$  es la refractividad radioeléctrica a nivel del mar y  $\Delta N$  es el gradiente (diferencia entre el nivel del mar y 1 km de altitud), que se utilizan para determinar el ángulo de separación entre la dirección del haz principal de la antena del servicio fijo y la dirección hacia la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) (o una ubicación orbital específica en la OSG).

## Ángulo de elevación real si el ángulo de elevación de una estación espacial se conoce únicamente en condiciones de propagación en el espacio libre

### 1 Introducción

En algunos casos de estudios de compartición, el ángulo de elevación de una estación espacial (geoestacionaria y no geoestacionaria), visto desde una estación de servicio fijo, sólo es conocido en condiciones de propagación en el vacío. En esos casos, es necesario efectuar una estimación del ángulo de elevación real teniendo en cuenta la refracción atmosférica. En este Anexo se indica un método de cálculo a tal efecto.

### 2 Visibilidad de la estación espacial

En la atmósfera de referencia para la refracción definida en la Recomendación UIT-R P.369-6 (Ginebra, 1994), el haz radioeléctrico emitido desde una estación del servicio fijo (de altitud  $h$  (km) con respecto al nivel del mar y ángulo de elevación de  $\theta$  (grados)) es desviado hacia la Tierra debido al efecto de la refracción atmosférica. Esta corrección de la refracción,  $\tau$  (grados), se puede evaluar mediante la siguiente integral:

$$\tau = - \int_h^{\infty} \frac{n'(x)}{n(x) \cdot \operatorname{tg} \varphi} dx \quad (1)$$

donde  $\varphi$  viene determinado como sigue sobre la base de la ley de Snell en coordenadas polares:

$$\cos \varphi = \frac{c}{(r+x) \cdot n(x)} \quad (2)$$

$$c = (r+h) \cdot n(h) \cdot \cos \theta \quad (3)$$

donde:

$r$ : radio de la Tierra (6 370 km)

$$n(x) = 1 + a \times \exp(-bx) \quad (4)$$

con:

$$a = 0,000315$$

$$b = 0,1361.$$

La función  $n(x)$  es el índice de refracción atmosférica a la altitud de  $x$  (km), y los valores de  $a$  y  $b$  corresponden a la atmósfera de referencia definida en la Recomendación UIT-R P.369-6 (Ginebra, 1994). Además,  $n'(x)$  es la derivada de  $n(x)$ , es decir,  $n'(x) = -ab \times \exp(-bx)$ .

Los valores de  $\tau(h, \theta)$  (grados) se han evaluado en condiciones de atmósfera de referencia y se ha hallado que la siguiente fórmula numérica da una buena aproximación:

$$\tau(h, \theta) = 1 / [1,314 + 0,6437 \theta + 0,02869 \theta^2 + h(0,2305 + 0,09428 \theta + 0,01096 \theta^2) + 0,008583 h^2] \quad (5)$$

Esta fórmula se ha obtenido como una aproximación de  $0 \leq h \leq 3$  km y  $\theta_m \leq \theta \leq 10^\circ$ , donde  $\theta_m$  es el ángulo con el cual el haz radioeléctrico es interceptado por la superficie de la Tierra y viene dado por:

$$\theta_m = - \operatorname{arc} \cos \left( \frac{r}{r+h} \frac{n(0)}{n(h)} \right) \quad (6)$$

o, aproximadamente,  $\theta_m = -0,875 \sqrt{h}$  grados.

La ecuación (5) también da una aproximación razonable de  $10^\circ < \theta \leq 90^\circ$ .

Ahora, suponiendo que el ángulo de elevación de una estación espacial es  $\theta_0$  (grados) en condiciones de propagación en el espacio libre, el ángulo de elevación mínimo con respecto a una estación del servicio fijo con el cual el haz radioeléctrico no es interceptado por la superficie de la Tierra es  $\theta_m$ . La corrección de la refracción correspondiente a  $\theta_m$  es  $\tau(h, \theta_m)$ . Por lo tanto, la estación espacial sólo es visible cuando se verifica la inecuación siguiente:

$$\theta_m - \tau(h, \theta_m) \leq \theta_0 \quad (7)$$

### 3 Estimación del ángulo de elevación real

Cuando la inecuación (7) se verifica, el ángulo de elevación real  $\theta$  (grados), teniendo en cuenta la refracción atmosférica, se puede calcular resolviendo la ecuación siguiente:

$$\theta - \tau(h, \theta) = \theta_0 \quad (8)$$

Decimos que la solución de la ecuación (8) viene dada como sigue:

$$\theta = \theta_0 + \tau_s(h, \theta_0) \quad (9)$$

donde los valores de  $\tau_s(h, \theta_0)$  son idénticos a los de  $\tau(h, \theta)$ , pero se expresan en función de  $\theta_0$ .

Se puede obtener una aproximación precisa de la función  $\tau_s(h, \theta_0)$  (grados) mediante la fórmula numérica siguiente:

$$\tau_s(h, \theta_0) = 1 / [1,728 + 0,5411 \theta_0 + 0,03723 \theta_0^2 + h(0,1815 + 0,06272 \theta_0 + 0,01380 \theta_0^2) + h^2(0,01727 + 0,008288 \theta_0)] \quad (10)$$

Ahora, el valor de  $\theta$  calculado mediante la ecuación (9) es el ángulo de elevación real que se ha de utilizar en la estimación de diversos factores, tales como la atenuación en el trayecto oblicuo y la atenuación debida al bloqueo de la zona de Fresnel.

### 4 Resumen de los cálculos

*Paso 1:* El ángulo de elevación de una estación espacial en condiciones de propagación en el espacio libre se llama  $\theta_0$ .

*Paso 2:* Mediante las ecuaciones (5) y (6), se determina si (7) se verifica o no. Si la respuesta es negativa, el satélite no es visible y, por lo tanto, no se precisan otros cálculos.

*Paso 3:* Si la respuesta en el Paso 2 es positiva, se calcula  $\theta$  mediante las ecuaciones (9) y (10). Éste es el ángulo de elevación real que se ha de utilizar para estimar diversos factores, tales como la atenuación en el trayecto oblicuo y la atenuación debida al bloqueo de la zona de Fresnel.