

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1714

**Metodología estática para calcular la  $dfpe_{\downarrow}$  a fin de facilitar la coordinación de antenas de gran tamaño en virtud de los números 9.7A y 9.7B del Reglamento de Radiocomunicaciones**

(2005)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la CMR-2000 adoptó en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) los límites de densidad de flujo de potencia equivalente ( $dfpe$ ) que deben satisfacer los sistemas de satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite (no OSG SFS) con el fin de proteger a las redes del SFS OSG y del servicio de radiodifusión por satélite OSG en ciertas partes de la gama de frecuencias 10,7-30 GHz;
- b) que la CMR-2000 acordó que además de los límites de  $dfpe$  indicados en el *considerando* a) se requiere protección adicional para ciertas redes del SFS OSG con estaciones terrenas receptoras específicas que reúnen las siguientes características:
  - i) máxima ganancia isotrópica de la antena de la estación terrena superior o igual a 64 dBi en la banda de frecuencias 10,7-12,75 GHz o 68 dBi en las bandas de frecuencias 17,8-18,6 GHz y 19,7-20,2 GHz;
  - ii) relación ganancia/temperatura de ruido ( $G/T$ ) de 44 dB/K o superior;
  - iii) anchura de banda de la emisión de 250 MHz o superior en las bandas de frecuencias por debajo de 12,75 GHz u 800 MHz o superior en las bandas de frecuencias por encima de 17,8 GHz;
- c) que, con el fin de proporcionar esta protección adicional, la CMR-2000 adoptó los números 9.7A y 9.7B del RR, en los que se establece un procedimiento para efectuar la coordinación entre estaciones terrenas específicas de una red de satélites geoestacionarios del SFS y sistemas del SFS que utilizan satélites no OSG en ciertas bandas de frecuencias;
- d) que las condiciones técnicas para activar la coordinación de conformidad con los números 9.7A y 9.7B del RR se definen en el Apéndice 5 del RR e incluyen los valores umbral indicados en el *considerando* b) y la correspondiente  $dfpe_{\downarrow}$  radiada por el sistema de satélites no OSG del SFS en la estación terrena que utiliza una antena de gran tamaño cuando esta antena está apuntada hacia el satélite OSG deseado:
  - i) en la banda de frecuencias 10,7-12,75 GHz:
    - a)  $-174,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$  para cualquier porcentaje de tiempo en el caso de sistemas de satélites no OSG con todos los satélites que funcionan sólo a una altitud de 2 500 km o inferior; o
    - b)  $-202 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$  para cualquier porcentaje de tiempo en el caso de sistemas de satélites no OSG con todos los satélites que funcionan a una altitud superior a 2 500 km;

- ii) en las bandas de frecuencias 17,8-18,6 GHz o 19,7-20,2 GHz:
- a)  $-157 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para cualquier porcentaje de tiempo en el caso de sistemas de satélites no OSG con todos los satélites que funcionan sólo a una altitud de 2 500 km o inferior; o
  - b)  $-185 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para cualquier porcentaje de tiempo en el caso de sistemas de satélites no OSG con todos los satélites que funcionan a una altitud superior a 2 500 km;
- e) que el cálculo de la  $dfpe_{\downarrow}$  producida por un sistema de satélites no OSG en función del tiempo requiere de la utilización de un programa informático de simulación adecuado;
- f) que la Recomendación UIT-R S.1503 describe una herramienta informática de simulación para calcular la  $dfpe_{\downarrow}$  en función del tiempo, aunque no toma en cuenta la inclinación de un satélite OSG;
- g) que como consecuencia de la elevada ganancia de las antenas de gran tamaño de la estación terrena OSG y la naturaleza de la ecuación de la  $dfpe_{\downarrow}$ , los satélites no OSG que se encuentran en los lóbulos laterales de las antenas de gran tamaño de la estación terrena OSG no contribuyen significativamente al valor de la  $dfpe_{\downarrow}$ ;
- h) que la CMR-03 adoptó la Resolución 85 que, con carácter provisional hasta que se disponga del programa informático adecuado, autoriza la coordinación en virtud de los números 9.7A y 9.7B del RR utilizando únicamente las características de la red de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite;
- j) que hay poca información para llevar a cabo la coordinación en virtud de los números 9.7A y 9.7B del RR,

*recomienda*

- 1** que la metodología descrita en el Anexo 1 a esta Recomendación sea utilizada por las administraciones que efectúan la coordinación en virtud de los números 9.7A y 9.7B del RR para calcular el valor estático de caso más desfavorable de la  $dfpe_{\downarrow}$  provocada por un sistema de satélites no OSG en una determinada antena de estación terrena OSG cuando esta antena está apuntada hacia el satélite OSG deseado;
- 2** que los resultados que se indican en el *recomienda* 1 se comparen con el criterio de protección de la  $dfpe_{\downarrow}$  de la red OSG y el criterio al que se hace referencia en el *considerando* d) para determinar si existe la posibilidad de que el sistema de satélites no OSG no cumpla con este criterio de protección;
- 3** que si el sistema de satélites no OSG satisface el criterio de protección de la  $dfpe_{\downarrow}$  OSG y el criterio al que se hace mención en el *considerando* d), se considere completada la coordinación;
- 4** que si el sistema de satélites no geoestacionarios no satisface el criterio de protección de la  $dfpe_{\downarrow}$  OSG o el criterio al que se hace referencia en el *considerando* d), se lleven a cabo análisis más exhaustivos.

## Anexo 1

### 1 Descripción de la metodología

En la Carta Circular CR/176, la Oficina de Radiocomunicaciones solicitó que las administraciones encargadas de los sistemas de satélites no OSG en ciertas bandas de frecuencias sujetas a los límites de la  $dfpe$  presentaran información complementaria a la UIT en el plazo de seis meses a contar a partir del 26 de marzo de 2002 de conformidad con el *resuelve 2* de la Resolución 59 (CMR-2000). Esta información complementaria debe describir los detalles de funcionamiento de la red de satélites y las curvas de  $dfp$  necesarias para calcular los niveles de  $dfpe$  causados por los sistemas de satélites no OSG. La metodología propuesta en esta Recomendación recurre a esta información complementaria y no necesita información adicional relativa a los sistemas de satélites no OSG.

Con el fin de satisfacer los límites de  $dfpe_{\downarrow}$ , será necesario que los sistemas de satélites no OSG utilicen algún tipo de técnica de reducción de la interferencia. Una de las más utilizadas es la evitación del arco OSG que consiste en establecer una zona de exclusión de tres maneras diferentes:

- la zona de exclusión se define como el arco subtendido de  $\pm X^\circ$  a partir de la estación terrena OSG con respecto al arco OSG y el satélite no OSG puede transmitir a una estación terrena no OSG situada al menos a una distancia predefinida de la estación terrena OSG mientras se encuentra dentro de la zona de exclusión;
- la zona de exclusión es igual a la descrita en la Fig. 1; sin embargo, el satélite no OSG no puede transmitir mientras se encuentra dentro de la zona de exclusión; y
- la zona de exclusión se define teniendo en cuenta la latitud, y el satélite no OSG no puede transmitir cuando la latitud del punto subsatelital se encuentra entre cierta gama de latitudes de  $\pm X^\circ$ .

En las Figs. 1 a 3 se representan los tres tipos de técnicas de evitación del arco OSG.

FIGURA 1

#### Zona de exclusión del Caso 1

*Caso 1:* La zona de exclusión se define como el arco subtendido de  $\pm X^\circ$  a partir de la estación terrena OSG con respecto al arco OSG y el satélite no OSG **puede** transmitir a una estación terrena no OSG situada al menos a una distancia predefinida de la estación terrena OSG mientras se encuentra dentro de la zona de exclusión.

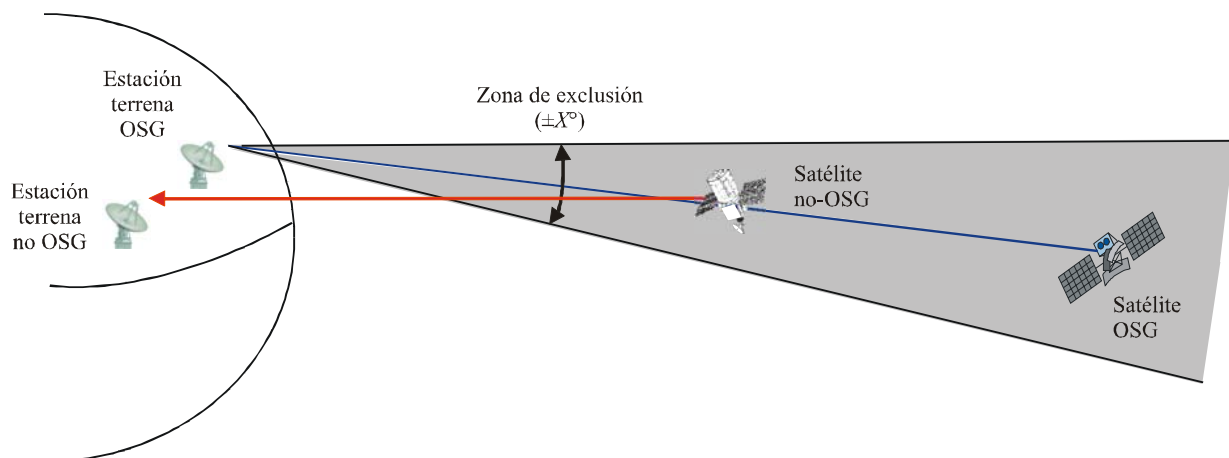
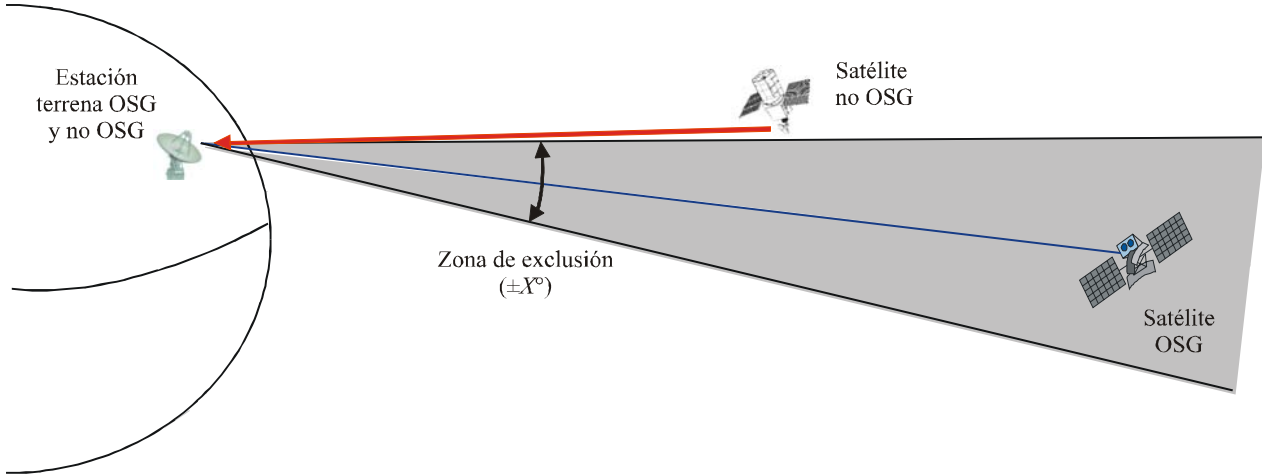


FIGURA 2

## Zona de exclusión del Caso 2

Caso 2: La zona de exclusión se define como el arco subtendido de  $\pm X^\circ$  a partir de la estación terrena OSG con respecto al arco OSG. El satélite no OSG **no puede** transmitir mientras se encuentra dentro de la zona de exclusión.

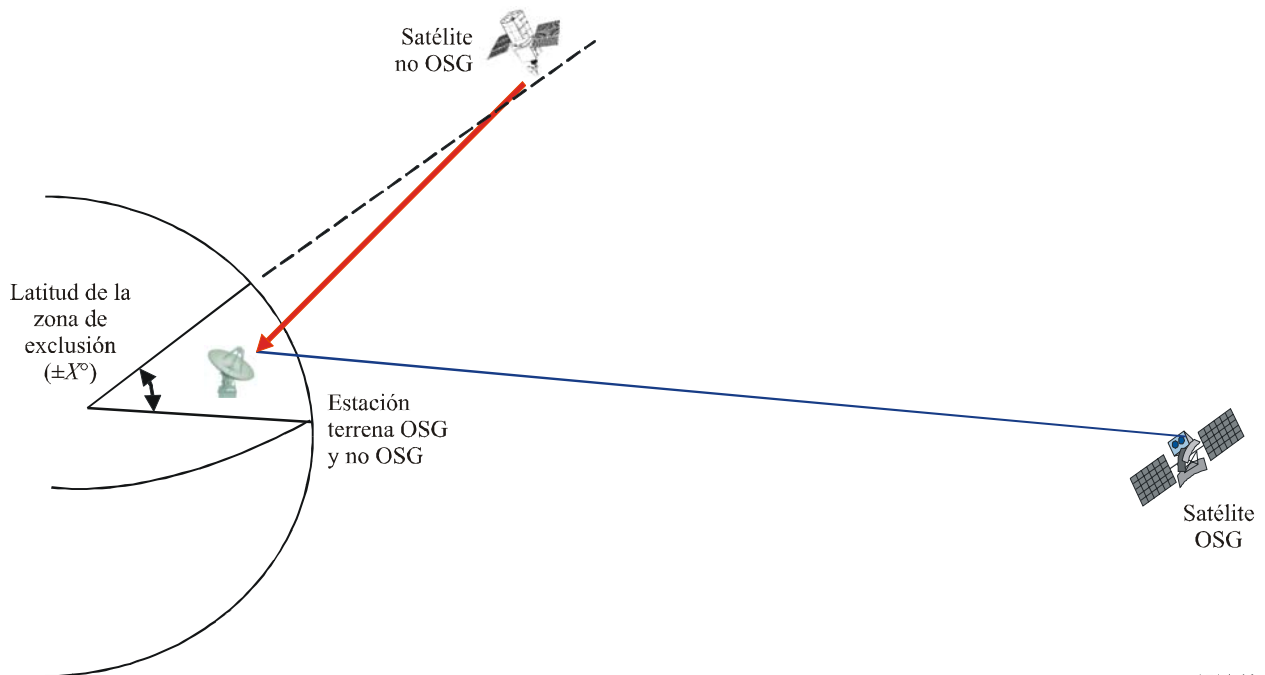


1714-02

FIGURA 3

## Zona de exclusión del Caso 3

Caso 3: El satélite no OSG no puede transmitir cuando la latitud del punto subsatelital se encuentra entre cierta gama de latitudes. Por ejemplo, un satélite en órbita terrestre media (MEO) no transmitiría entre latitudes de  $\pm X^\circ$ . Un satélite en órbita de satélite elíptica muy inclinada (HEO) no transmitiría por debajo de una latitud de  $+X^\circ$  o por encima de una latitud de  $-X^\circ$ , dependiendo del hemisferio del apogeo.



1714-03

En los Casos 1 y 2 se describen las distintas formas de evitación del arco OSG que con mayor probabilidad utilizaría una constelación de satélites en órbita terrestre baja (LEO); en tanto que el Caso 3 sería probablemente más utilizado por una constelación de satélites HEO; cabe señalar que los tres tipos de evitación del arco podrían utilizarse con una constelación de satélites MEO. Dado que es poco probable que una HEO utilice la evitación del arco descrita en los Casos 1 y 2, estas metodologías se limitan a calcular las órbitas circulares. La metodología descrita para el Caso 3 puede utilizarse para una constelación HEO siempre que se conozca el radio del satélite HEO cuando atraviesa la latitud crítica. Los umbrales de la  $df_{pe\downarrow}$  utilizados en el Apéndice 5 del RR para determinar las condiciones técnicas que activan la coordinación entre los sistemas de satélites no OSG del SFS y de las estaciones terrenas específicas en una red del SFS OSG se definen basándose en la altitud, con un valor umbral de activación para los sistemas de satélites no OSG con todos los satélites que funcionen a una altitud de 2 500 km o inferior y otro valor umbral de activación para sistemas de satélites no OSG del SFS con todos los satélites que funcionen por encima de 2 500 km de altitud. En el Cuadro 1 se muestra la relación que existe entre la órbita de los satélites no OSG, el valor umbral de coordinación según el Apéndice 5 del RR, y los casos examinados sobre técnicas de reducción de la interferencia.

CUADRO 1

**Relación entre el tipo de órbita, el valor umbral de coordinación del Apéndice 5 del RR y la técnica de reducción de la interferencia**

| <b>Tipo de órbita</b> | <b>Valor umbral de coordinación del Apéndice 5 (km)</b> | <b>Técnica de reducción de la interferencia</b> |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| LEO                   | $\leq 2\ 500$                                           | Casos 1 y 2                                     |
| MEO                   | $> 2\ 500$                                              | Casos 1, 2 y 3                                  |
| HEO                   | $> 2\ 500$                                              | Caso 3                                          |

## 2 Caso 1

En el Caso 1 se describe la situación en que la zona de exclusión viene definida por un arco subtendido de  $\pm X^\circ$  a partir de la estación terrena con respecto al arco OSG. Cuando el satélite no OSG se encuentra dentro de la zona de exclusión, puede transmitir pero no en dirección de la estación terrena OSG. La distancia desde la estación terrena OSG a la que puede transmitir el satélite no OSG viene determinada por el funcionamiento del satélite no OSG. La geometría del caso más desfavorable para este caso se representa en la Fig. 1 donde el satélite no OSG está directamente alineado con el satélite OSG y la estación terrena OSG, pero transmite a una estación terrena alejada de la estación terrena OSG. Esta geometría produce un caso de interferencia de lóbulo lateral del satélite no OSG al haz principal del satélite OSG. Normalmente, esta técnica de reducción de la interferencia se utilizaría con una constelación de satélites LEO, aunque también funcionaría con una constelación MEO. El algoritmo para calcular el valor de la  $df_{pe\downarrow}$  requiere seguir el siguiente procedimiento:

*Paso 1:* Datos de partida: radio de la Tierra, radio de la órbita del satélite no OSG, inclinación de la órbita del satélite no OSG, radio de la órbita del satélite OSG, longitud del satélite OSG, inclinación del satélite OSG, latitud de la estación terrena OSG, longitud de la estación terrena OSG.

- Paso 2:* Se calculan los ángulos acimutal y de elevación desde la estación terrena OSG hasta el satélite OSG.
- Paso 3:* Se calculan la longitud y la latitud del punto subsatelital del satélite no OSG para el mismo acimut y ángulo de elevación que el satélite OSG.
- Paso 4:* Si las curvas de dfp no OSG se presentan en longitud alfa y delta (véase la Recomendación UIT-R S.1503 para las definiciones de la longitud alfa y delta).
- A partir de las curvas de dfp se selecciona la dfp para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG en donde  $\alpha = 0$  o  $X = 0$  y la diferencia de longitud entre el satélite OSG y el no OSG.
  - Dado que se trata de un suceso en línea, la relación  $G(\theta)/G(\text{máx})$  del cálculo de la dfpe es 1 ó 0 dB.
  - Como el satélite OSG tiene una anchura de banda muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas de dfp con frecuencias que se superponen; toda esta información debe incluirse.
  - Se calcula la dfpe tal como se define en el número 22.5C del RR.
- Paso 5:* Si las curvas de dfp no OSG se presentan en forma de acimut y ángulo de elevación (véase la Recomendación UIT-R S.1503 para las definiciones del acimut y el ángulo de elevación).
- Se calculan las coordenadas fijas con centro en la Tierra (FCT) del satélite OSG, la estación terrena y el satélite no OSG.
  - Se desplaza y se gira el vector situado entre el satélite no OSG y la estación OSG desde las coordenadas FCT hasta las coordenadas con centro en el satélite.
  - Se calculan el acimut y el ángulo de elevación desde el satélite no geostacionario hasta la estación terrena OSG.
  - A partir de las curvas de dfp se selecciona la dfp para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG para el acimut y el ángulo de elevación desde el satélite no OSG hasta la estación terrena OSG.
  - Dado que se trata de un suceso en línea, la relación  $G(\theta)/G(\text{máx})$  del cálculo de la dfpe es 1 (valor numérico) o 0 dB.
  - Como el satélite OSG tiene una anchura de banda muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas de dfp con frecuencias que se superponen. Toda esta información debe incluirse.
  - Se calcula la dfpe tal como se define en el número 22.5C del RR.

Se ha elaborado una hoja de cálculo Excel con ecuaciones y cálculos apropiados previamente programados. En el Cuadro 2 se ilustra la hoja de cálculo del Caso 1. Los valores introducidos para el sistema de satélites no OSG son ficticios y no representan ningún sistema en particular.

CUADRO 2

Hoja de cálculo Excel del Caso 1

|                                                                                                                                                            |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Caso 1: Zona de exclusión definida como el arco subtendido de <math>\pm X^\circ</math> a partir de la estación terrena OSG con respecto al arco OSG</b> |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>El satélite no OSG PUEDE transmitir dentro de la zona de exclusión pero no hacia la estación terrena OSG</b>                                            |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Caso más desfavorable: El satélite no OSG está en línea con el satélite OSG y $\alpha = 0$ o $X = 0$                                                       |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Nota: Este algoritmo es válido únicamente para los satélites no OSG en órbita circular</b>                                                              |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Datos de partida</b>                                                                                                                                    |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Radio de la Tierra (km)                                                                  | Re                 | 6 378,15  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Radio de la órbita no OSG (km)                                                           | Rn                 | 7 878     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Inclinación del satélite no OSG (grados)                                                 | i                  | 55        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Radio de la órbita OSG (km)                                                              | Rg                 | 42 164    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Longitud del satélite OSG (grados)                                                       | Long. OSG          | -30       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Inclinación del satélite OSG (grados)                                                    | ig                 | 5         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Latitud de la estación terrena (grados)                                                  | $\varphi$          | 38        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Longitud de la estación terrena (grados)                                                 | Long. terrena      | -77       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Cálculos</b>                                                                                                                                            |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Latitud del OSG (grados)                                                                 | $\delta g$         | 5         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                            | Diferencia entre las longitudes de la estación terrena y del satélite OSG (grados)       | $\Delta \lambda g$ | 47        | Long. OSG – Long. terrena                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                                                                                                                                            | Cálculo del ángulo gamma desde la estación terrena hasta el satélite OSG (grados)        | $\gamma g$         | 53,91141  | $\text{acos}[\text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta g) + \text{cos}(\varphi) * \text{cos}(\delta g) * \text{cos}(\Delta \lambda g)]$                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                            | Cálculo de la distancia oblicua desde la estación terrena hasta el satélite OSG (km)     | dg                 | 38 751,35 | raíz cuadrada de $(\text{Re}^2 + \text{Rg}^2 - 2 * \text{Re} * \text{Rg} * \text{cos}(\gamma g))$                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                                                                            | Cálculo del ángulo de elevación desde la estación terrena hasta el satélite OSG (grados) | el                 | 28,44516  | $\text{acos}[(\text{Rg}/\text{dg}) * \text{sen}(\gamma g)]$                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                            | Cálculo del ángulo azimutal desde la estación terrena hasta el satélite OSG (grados)     | az                 | 115,6339  | si $(\Delta \lambda g > 0$ y $\varphi < 0$ ) o $(\Delta \lambda g < 0$ y $\varphi < 0$ ) entonces $\text{asen}[\text{cos}(\delta g) * \text{sen}(\Delta \lambda g) / \text{sen}(\gamma g)]$<br>de lo contrario $180 - \text{asen}[\text{cos}(\delta g) * \text{sen}(\Delta \lambda g) / \text{sen}(\gamma g)]$ |
|                                                                                                                                                            | Cálculo del ángulo gamma desde la estación terrena hasta el satélite no OSG (grados)     | $\gamma n$         | 16,16731  | $\text{acos}((\text{Re}/\text{Rn}) * \text{cos}(\text{el})) - \text{el}$                                                                                                                                                                                                                                       |

CUADRO 2 (Continuación)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                               |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Cálculo de la latitud del punto subsatelital del satélite no OSG a este azimut y elevación (grados)           | $\delta$          | 29,76146  | si $\varphi > 0$ entonces $90 - \arccos[\cos(90-\varphi) * \cos(\gamma_n) + \sin(90-\varphi) * \sin(\gamma_n) * \cos(\text{az})]$<br>de lo contrario $90 - \arccos[\cos(90+\varphi) * \cos(\gamma_n) + \sin(90-\varphi) * \sin(\gamma_n) * \cos(\text{az}+180)]$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Cálculo de la diferencia entre las longitudes del satélite no OSG y la estación terrena (grados)              | $\Delta\lambda_n$ | 16,80892  | si $\Delta\lambda_g > 0$ entonces $\arccos[(\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) * \sin(\delta)) / (\cos(\varphi) * \cos(\delta))]$<br>de lo contrario $-1 * \arccos[(\cos(\gamma_n) - \sin(\varphi) * \sin(\delta)) / (\cos(\varphi) * \cos(\delta))]$                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Cálculo de la longitud del punto subsatelital del satélite no OSG a este azimut y elevación (grados)          | Long. no OSG      | -60,1911  | Long. terrena + $\Delta\lambda_n$                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Si las curvas de dfp del satélite se presentan en forma de longitud alfa y delta</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                               |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Cálculo de la longitud delta entre el satélite OSG y el satélite no OSG (grados)                              | delta             | 30,19108  | Long. OSG - Long. no OSG                                                                                                                                                                                                                                         |
| Escoger la dfp a partir de la curva para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG; como la anchura de banda de la frecuencia OSG VLA es muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas con frecuencias que se superponen y toda esta información debe incluirse. Dado que éste es un suceso en línea, la relación $G_r(\theta)/G_r(\text{máx})$ del cálculo de la dfpe es 1 (valor numérico) o 0 dB. |                                                                                                               |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | dfp de la frec. 1 del satélite no OSG con alfa = 0 o $X = 0$ y delta                                          | dfp1              | -140      | ejemplo                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | dfp de la frec. 2 del satélite no OSG con alfa = 0 o $X = 0$ y delta (si no se dispone de datos no se aplica) | dfp2              | -131      | ejemplo                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                               | ...               |           |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | dfp de la frec. n del satélite no OSG con alfa = 0 o $X = 0$ y delta (póngase NA si no se aplica)             | dfpn              | -140      | ejemplo                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Cálculo del caso más desfavorable de la dfpe (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))                                   | dfpe              | -130,025  | $10 \log(10^{dfp1/10} + 10^{dfp2/10} + \dots + 10^{dfpn/10})$                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Si las curvas de dfp del satélite se presentan en forma acimutal y de ángulo de elevación</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                               |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Cálculo de las componentes x, y, z de la estación terrena en coordenadas FCT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                               |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Valor x de la estación terrena (km)                                                                           | Xe                | 1 130,615 | $Re * \cos(\varphi) * \cos(\text{longitud de la estación terrena})$                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Valor y de la estación terrena (km)                                                                           | Ye                | -4 897,23 | $Re * \cos(\varphi) * \sin(\text{longitud de la estación terrena})$                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Valor z de la estación terrena (km)                                                                           | Ze                | 3 926,781 | $Re * \sin(\varphi)$                                                                                                                                                                                                                                             |
| Cálculo de las componentes x, y, z del satélite no OSG en coordenadas FCT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                               |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Valor x del satélite no OSG (km)                                                                              | Xn                | 3 399,674 | $Rn * \cos(\delta) * \cos(\text{longitud del satélite no OSG})$                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Valor y del satélite no OSG (km)                                                                              | Yn                | -5 934,02 | $Rn * \cos(\delta) * \sin(\text{longitud del satélite no OSG})$                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Valor z del satélite no OSG (km)                                                                              | Zn                | 3 910,561 | $Rn * \sin(\delta)$                                                                                                                                                                                                                                              |



CUADRO 2 (Continuación)

|                                                                                                                                                                      |                                                                                  |         |           |                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cálculo del vector entre el satélite no OSG y la estación terrena                                                                                                    |                                                                                  |         |           |                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                      | Vector X (km)                                                                    | X       | -2 269,06 | $X_e - X_n$                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                      | Vector Y (km)                                                                    | Y       | 1 036,788 | $Y_e - Y_n$                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                      | Vector Z (km)                                                                    | Z       | 16,21997  | $Z_e - Z_n$                                                                                                               |
| Cálculo de la longitud del nodo ascendente                                                                                                                           |                                                                                  |         |           |                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                      | Diferencia entre la longitud del satélite y el nodo ascendente (grados)          | del     | 23,6024   | $asen(tg(\delta) / tg(i))$                                                                                                |
|                                                                                                                                                                      | Longitud del nodo ascendente (grados)                                            | an      | -83,7935  | Longitud del satélite no OSG - del                                                                                        |
| Cálculo del argumento del perigeo más anomalía verdadera                                                                                                             |                                                                                  |         |           |                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                      | Argumento del perigeo más anomalía verdadera (grados)                            | arg     | 37,29943  | $asen(\sen(\delta) / \sen(i))$                                                                                            |
| Cálculo de algunos valores para la matriz de transformación en coordenadas FCT XYZ de la estación terrena en coordenadas de satélite (con centro en el satélite) xyz |                                                                                  |         |           |                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                      | Coseno de la longitud del nodo ascendente                                        | cos_an  | 0,108113  | $\cos(an)$                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                      | Seno de la longitud del nodo ascendente                                          | sen_an  | -0,99414  | $\sen(an)$                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                      | Coseno de la inclinación del satélite no OSG                                     | cos_inc | 0,573576  | $\cos(i)$                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                      | Seno de la inclinación del satélite no OSG                                       | sen_inc | 0,819152  | $\sen(i)$                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                      | Coseno del argumento del perigeo más anomalía verdadera                          | cos_arg | 0,79548   | $\cos(arg)$                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                      | Seno del argumento del perigeo más anomalía verdadera                            | sen_arg | 0,60598   | $\sen(arg)$                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                      | Valor x de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)         | sat x   | -194,273  | $X[-\cos(an)*\sen(arg)-\sen(an)*\cos(i)*\cos(arg)]+Y[\cos(an)*\cos(i)*\cos(arg)-\sen(an)*\sen(arg)]+Z[\sen(i)*\cos(arg)]$ |
|                                                                                                                                                                      | Valor y de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)         | sat y   | 1 752,088 | $X[-\cos(an)*\cos(arg)+\sen(an)*\cos(i)*\sen(arg)]-Y[\sen(an)*\cos(arg)+\cos(an)*\cos(i)*\sen(arg)]-Z[\sen(i)*\sen(arg)]$ |
|                                                                                                                                                                      | Valor z de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)         | sat z   | 1 765,294 | $X[\sen(an)*\sen(i)]+Y(-\cos(an)*\sen(i))+Z[\cos(i)]$                                                                     |
|                                                                                                                                                                      | Acimut para la estación terrena desde el punto de vista del satélite (grados)    | az      | -6,32715  | $atg(\text{sat x}/\text{sat y})$                                                                                          |
|                                                                                                                                                                      | Elevación para la estación terrena desde el punto de vista del satélite (grados) | el      | 45,04008  | $atg(\text{sat z}/(\text{raíz cuadrada de}(\text{sat x}^2+\text{sat y}^2)))$                                              |

CUADRO 2 (*Fin*)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                         |        |          |                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------------------------------------------------------------|
| Escoger $dfp$ a partir de la curva para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG; dado que la anchura de banda de la frecuencia OSG VLA es muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas con frecuencias que se superponen y toda esta información debe incluirse dado que se trata de un suceso en línea la $G_r(\theta)/G_r(\text{máx})$ del cálculo de la $dfpe$ es 0 |                                                                                         |        |          |                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | dfp de la frec. 1 del satélite no OSG con acimut y elevación para la estación terrena   | $dfp1$ | -140     | ejemplo                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | dfp de la frec. 2 del satélite no OSG con acimut y elevación para la estación terrena   | $dfp2$ | -131     | ejemplo                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                         | ...    |          |                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | dfp de la frec. $n$ del satélite no OSG con acimut y elevación para la estación terrena | $dfp3$ | -140     | ejemplo                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Cálculo de la $dfpe$ de caso más desfavorable (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))            | $dfpe$ | -130,025 | $10 \log(10^{(dfp1/10)}+10^{(dfp2/10)}+\dots+10^{(dfpn/10)})$ |

### 3 Caso 2

El Caso 2 describe la situación cuando una zona de exclusión se define como el arco subtendido de  $\pm X^\circ$  a partir de la estación terrena con respecto al arco OSG. Cuando el satélite no OSG se encuentra dentro de la zona de exclusión no puede transmitir a ninguna de las estaciones terrenas. La geometría del caso más desfavorable para este caso se representa en la Fig. 2 donde el satélite no OSG se encuentra en el borde de la zona de exclusión y transmite hacia las estaciones terrenas OSG y no OSG cubricadas. Esta geometría produce un caso de interferencia de haz principal no OSG al lóbulo lateral OSG. Normalmente, esta técnica de reducción de la interferencia podría utilizarse con una constelación de satélites LEO, aunque también funcionaría con una constelación de satélites MEO. El algoritmo que se utiliza para calcular el valor de la  $dfpe \downarrow$  requiere que se siga el siguiente procedimiento:

- Paso 1:* Datos de partida: radio de la Tierra, radio de la órbita del satélite no OSG, inclinación de la órbita del satélite no OSG, radio de la órbita del satélite OSG, longitud del satélite OSG, inclinación del satélite OSG, latitud de la estación terrena OSG, longitud de la estación terrena OSG.
- Paso 2:* Se calculan los ángulos acimutal y de elevación desde la estación terrena OSG hasta el satélite OSG.
- Paso 3:* Como la zona de exclusión del satélite no OSG se basa en un arco OSG con una inclinación de  $0^\circ$ , se calculan los ángulos acimutal y de elevación desde la estación terrena OSG hasta un satélite OSG con una inclinación de  $0^\circ$  y a la longitud del satélite OSG interferido.
- Paso 4:* Se calcula la latitud y longitud del punto subsatelital del satélite no OSG en el mismo acimut que el satélite OSG con inclinación de  $0^\circ$  y  $X^\circ$  (ángulo de la zona de exclusión) más la elevación del satélite OSG con inclinación de  $0^\circ$  a fin de determinar la posición del satélite no OSG en el borde de la zona de exclusión.
- Paso 5:* Se calcula el ángulo de recepción con respecto al eje (delta entre la elevación hacia el satélite no OSG y el satélite OSG inclinado a su máxima excursión) y la correspondiente ganancia en la estación terrena OSG.
- Paso 6:* Si las curvas de  $dfp$  del satélite no OSG se presentan en forma de longitud alfa y delta (véase la Recomendación UIT-R S.1503 para las definiciones de la longitud alfa y delta).
- A partir las curvas de  $dfp$  se elige la  $dfp$  para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG para  $\alpha = \alpha_{.0}$  o  $X = X_0$  y la diferencia de longitud entre los satélites OSG y no OSG.
  - Como el satélite OSG tiene una anchura de banda muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas de  $dfp$  con frecuencias que se superponen. Toda esta información debe incluirse.
  - Se calcula la  $dfpe$  tal como se define en el número 22.5C del RR.
- Paso 7:* Si las curvas de  $dfp$  del satélite no OSG se presentan en acimut y elevación (véase la Recomendación UIT-R S.1503 para las definiciones de acimut y elevación).
- Se calculan las coordenadas fijas con centro en la Tierra (FCT) del satélite OSG, la estación terrena y el satélite no OSG.
  - Se desplaza y se gira el vector situado entre el satélite no OSG y la estación terrena OSG desde las coordenadas FCT hasta las coordenadas con centro en el satélite.
  - Se calcula el acimut y la elevación desde el satélite no OSG hasta la estación terrena OSG.

- d) A partir de las curvas de  $dfp$  se selecciona la  $dfp$  para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG para el acimut y el ángulo de elevación desde el satélite no OSG hasta la estación terrena OSG.
- e) Como el satélite OSG tiene una anchura de banda muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas de  $dfp$  con frecuencias que se superponen. Toda esta información debe incluirse.
- f) Se calcula la  $dfpe$  tal como se define en el número 22.5C del RR.

Se ha elaborado una hoja de cálculo Excel con ecuaciones y cálculos apropiados previamente programados. En el Cuadro 3 se ilustra la página de cálculo del Caso 2. Los valores introducidos para el sistema de satélites no OSG son ficticios y no representan ningún sistema en particular.

CUADRO 3  
 Hoja de cálculo Excel del Caso 2

|                                                                                                                                                            |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Caso 2: Zona de exclusión definida como el arco subtendido de <math>\pm X^\circ</math> a partir de la estación terrena OSG con respecto al arco OSG</b> |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
| <b>El satélite no OSG NO PUEDE transmitir mientras se encuentra dentro de la zona de exclusión</b>                                                         |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
| Caso más desfavorable: El satélite no OSG se encuentra en el borde de la zona de exclusión y transmite directamente a la estación terrena OSG              |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
| Alfa = $a_0$ o $X = X_0$                                                                                                                                   |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
| <b>Nota: Este algoritmo sólo es válido para los satélites no OSG en órbita circular</b>                                                                    |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
| <b>Datos de partida</b>                                                                                                                                    |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Radio de la Tierra (km)                                                                  | Re                 | 6 378,15  |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Radio de la órbita no OSG (km)                                                           | Rn                 | 7 878     |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Inclinación del satélite no OSG (grados)                                                 | i                  | 55        |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Ángulo de la zona de exclusión no OSG (grados)                                           | $\beta$            | 10        |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Radio de la órbita OSG (km)                                                              | Rg                 | 42 164    |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Longitud del satélite OSG (grados)                                                       | Long. OSG          | -30       |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Inclinación del satélite OSG (grados)                                                    | ig                 | 5         |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Latitud de la estación terrena (grados)                                                  | $\varphi$          | 38        |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Longitud de la estación terrena (grados)                                                 | Long. terrena      | -77       |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Máxima ganancia de la antena de la estación terrena (dB)                                 | G(máx)             | 70        |                                                                                                                                       |
| <b>Cálculos</b>                                                                                                                                            |                                                                                          |                    |           |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Latitud del satélite OSG (grados)                                                        | $\delta g$         | 5         |                                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                            | Diferencia entre las longitudes de la estación terrena y del satélite OSG (grados)       | $\Delta \lambda g$ | 47        | Long. OSG – Long. terrena                                                                                                             |
|                                                                                                                                                            | Cálculo del ángulo gamma desde la estación terrena hasta el satélite OSG (grados)        | $\gamma g$         | 53,91141  | $\text{acos}[\text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta g) + \text{cos}(\varphi) * \text{cos}(\delta g) * \text{cos}(\Delta \lambda g)]$ |
|                                                                                                                                                            | Cálculo de la distancia oblicua desde la estación terrena hasta el satélite OSG (km)     | dg                 | 38 751,35 | raíz cuadrada de $(\text{Re}^2 + \text{Rg}^2 - 2 * \text{Re} * \text{Rg} * \text{cos}(\gamma g))$                                     |
|                                                                                                                                                            | Cálculo del ángulo de elevación desde la estación terrena hasta el satélite OSG (grados) | el                 | 28,44516  | $\text{acos}[(\text{Rg}/\text{dg}) * \text{sen}(\gamma g)]$                                                                           |

CUADRO 3 (Continuación)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cálculo del ángulo acimutal desde la estación terrena hasta el satélite OSG (grados)                                                                                                                                                                                                               | az                | 115,6339  | si $(\Delta\lambda g > 0$ y $\varphi < 0$ ) o $(\Delta\lambda g < 0$ y $\varphi < 0$ ) entonces $\text{asen}[\cos(\delta g) * \text{sen}(\Delta\lambda g) / \text{sen}(\gamma g)]$<br>de lo contrario $180 - \text{asen}[\cos(\delta g) * \text{sen}(\Delta\lambda g) / \text{sen}(\gamma g)]$                |
| Cálculo del ángulo gamma desde la estación terrena hasta el satélite OSG con una inclinación de 0°                                                                                                                                                                                                 | $\gamma_0$        | 57,49168  | $\text{acos}[\cos(\varphi) * \cos(\Delta\lambda g)]$                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Cálculo de la distancia oblicua desde la estación terrena hasta el satélite OSG con una inclinación de 0°                                                                                                                                                                                          | d0                | 39 107,9  | raíz cuadrada de $(R_e^2 + R_g^2 - 2 * R_e * R_g * \cos(\gamma_0))$                                                                                                                                                                                                                                           |
| Cálculo del ángulo de elevación desde la estación terrena hasta el satélite OSG con una inclinación de 0°                                                                                                                                                                                          | e10               | 24,60297  | $\text{acos}[(R_g / d_0) * \text{sen}(\gamma_0)]$                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Cálculo del ángulo de elevación del satélite no OSG que se encuentra en el borde de la zona de exclusión (grados)                                                                                                                                                                                  | ngso_el           | 34,60297  | $e10 + \beta$                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Cálculo del ángulo con respecto al eje de puntería en la estación terrena OSG                                                                                                                                                                                                                      | $\theta$          | 6,157819  | $\text{ngso\_el} - e10$                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Cálculo de la ganancia de la estación terrena a un ángulo $\theta$ con respecto al eje de puntería (dB)                                                                                                                                                                                            | G( $\theta$ )     | 9,264328  | Recomendación UIT-R S.1428                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Cálculo del ángulo gamma desde la estación terrena hasta el satélite no OSG (grados)                                                                                                                                                                                                               | $\gamma_n$        | 13,60588  | $\text{acos}((R_e / R_n) * \cos(\text{ngso\_el})) - \text{ngso\_el}$                                                                                                                                                                                                                                          |
| Cálculo de la latitud del punto subsatelital del satélite no OSG en este ángulo acimutal y nuevo ángulo de elevación (grados)                                                                                                                                                                      | $\delta$          | 31,21079  | Si $\varphi > 0$<br>entonces $90 - \text{acos}[\cos(90 - \varphi) * \cos(\gamma_n) + \text{sen}(90 - \varphi) * \text{sen}(\gamma_n) * \cos(\text{az})]$<br>de lo contrario $90 - \text{acos}[\cos(90 + \varphi) * \cos(\gamma_n) + \text{sen}(90 - \varphi) * \text{sen}(\gamma_n) * \cos(\text{az} + 180)]$ |
| Cálculo de la diferencia de longitudes entre el satélite no OSG y la estación terrena (grados)                                                                                                                                                                                                     | $\Delta\lambda_n$ | 14,35798  | si $\Delta\lambda g > 0$<br>entonces $\text{acos}[(\cos(\gamma_n) - \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)) / (\cos(\varphi) * \cos(\delta))]$<br>de lo contrario $-1 * \text{acos}[(\cos(\gamma_n) - \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)) / (\cos(\varphi) * \cos(\delta))]$                          |
| Cálculo de la longitud del punto subsatelital del satélite no OSG en este acimut y elevación (grados)                                                                                                                                                                                              | Long. no OSG      | -62,64202 | Long. terrena + $\Delta\lambda_n$                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Si las curvas dfp del satélite se presentan en forma de longitud alfa y delta</b>                                                                                                                                                                                                               |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Cálculo de la longitud delta entre el satélite OSG y el no OSG (grados)                                                                                                                                                                                                                            | delta             | 32,64202  | Long. OSG - Long. no OSG                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Escoger la dfp a partir de la curva para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG; como la anchura de banda de la frecuencia OSG VLA es muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas con frecuencias que se superponen y toda esta información debe incluirse. |                   |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| dfp de la frec. 1 del satélite no OSG con $\alpha = a_0$ o $X = X_0$ y delta                                                                                                                                                                                                                       | dfp1              | -140      | ejemplo                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| dfp de la frec. 2 del satélite no OSG con $\alpha = a_0$ o $X = X_0$ y delta (póngase NA si no es aplicable)                                                                                                                                                                                       | dfp2              | -131      | ejemplo                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

CUADRO 3 (Continuación)

|                                                                                                                                                                      |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                      |                                                                                                                        | ...     |            |                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | dfp de la frec. $n$ del satélite no OSG con $\alpha = \alpha_0$ o $X = X_0$ y $\delta$ (póngase NA si no es aplicable) | dfpn    | -140       | ejemplo                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                      | Cálculo de la dfpe del caso más desfavorable (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))                                            | dfpe    | -190,7604  | $10 \log(10^{((dfp1+G(X)-G(Máx))/10)}+10^{((dfp2+G(X)-G(Máx))/10)}+\dots+10^{((dfpn+G(X)-G(Máx))/10)})$ |
| <b>Si las curvas de dfp del satélite se presentan de forma acimutal y de ángulo de elevación</b>                                                                     |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
| Cálculo de las componentes $x, y, z$ de la estación terrena en coordenadas FCT                                                                                       |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Valor $x$ de la estación terrena (km)                                                                                  | Xe      | 1 130,615  | $Re * \cos(\varphi) * \cos(\text{Long. de la estación terrena})$                                        |
|                                                                                                                                                                      | Valor $y$ de la estación terrena (km)                                                                                  | Ye      | -4 897,233 | $Re * \cos(\varphi) * \sin(\text{Long. de la estación terrena})$                                        |
|                                                                                                                                                                      | Valor $z$ de la estación terrena (km)                                                                                  | Ze      | 3 926,781  | $Re * \sin(\varphi)$                                                                                    |
| Cálculo de las componentes $x, y, z$ del satélite no OSG en coordenadas FCT                                                                                          |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Valor $x$ del satélite no OSG (km)                                                                                     | Xn      | 3 096,342  | $Rn * \cos(\delta) * \cos(\text{Long. del satélite no OSG})$                                            |
|                                                                                                                                                                      | Valor $y$ del satélite no OSG (km)                                                                                     | Yn      | -5 984,187 | $Rn * \cos(\delta) * \sin(\text{Long. del satélite no OSG})$                                            |
|                                                                                                                                                                      | Valor $z$ del satélite no OSG (km)                                                                                     | Zn      | 4 082,286  | $Rn * \sin(\delta)$                                                                                     |
| Cálculo del vector entre el satélite no OSG y la estación terrena                                                                                                    |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Vector X (km)                                                                                                          | X       | -1 965,727 | $Xe - Xn$                                                                                               |
|                                                                                                                                                                      | Vector Y (km)                                                                                                          | Y       | 1 086,953  | $Ye - Yn$                                                                                               |
|                                                                                                                                                                      | Vector Z (km)                                                                                                          | Z       | -155,5047  | $Ze - Zn$                                                                                               |
| Cálculo de la longitud del nodo ascendente                                                                                                                           |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Diferencia entre las longitudes del satélite y el nodo ascendente (grados)                                             | del     | 25,10263   | $\text{asen}(\text{tg}(\delta) / \text{tg}(i))$                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Longitud del nodo ascendente (grados)                                                                                  | an      | -87,74465  | Long. de satélite no OSG - del                                                                          |
| Cálculo del argumento del perigeo más anomalía verdadera                                                                                                             |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Argumento del perigeo más anomalía verdadera (grados)                                                                  | argprue | 39,24153   | $\text{asen}(\text{sen}(\delta) / \text{sen}(i))$                                                       |
| Cálculo de algunos valores para la matriz de transformación en coordenadas FCT XYZ de la estación terrena en coordenadas de satélite (con centro en el satélite) xyz |                                                                                                                        |         |            |                                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Coseno de la longitud del nodo ascendente                                                                              | cos_an  | 0,039353   | $\cos(an)$                                                                                              |
|                                                                                                                                                                      | Senos de la longitud del nodo ascendente                                                                               | sen_an  | -0,999225  | $\text{sen}(an)$                                                                                        |
|                                                                                                                                                                      | Coseno de la inclinación del satélite no OSG                                                                           | cos_inc | 0,573576   | $\cos(i)$                                                                                               |
|                                                                                                                                                                      | Senos de la inclinación del satélite no OSG                                                                            | sen_inc | 0,819152   | $\text{sen}(i)$                                                                                         |
|                                                                                                                                                                      | Coseno del argumento del perigeo más anomalía verdadera                                                                | cos_arg | 0,774486   | $\cos(arg)$                                                                                             |

CUADRO 3 (Fin)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                   |         |           |                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Seno del argumento del perigeo más anomalía verdadera                                             | sen_arg | 0,632591  | sen(arg)                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Valor $x$ de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)                        | x sat   | -216,2066 | $X[-\cos(an)*\sin(arg)-\sin(an)*\cos(i)*\cos(arg)]+Y[\cos(an)*\cos(i)*\cos(arg)-\sin(an)*\sin(arg)]+Z[\sin(i)*\cos(arg)]$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Valor $y$ de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)                        | y sat   | 1 678,841 | $X[-\cos(an)*\cos(arg)+\sin(an)*\cos(i)*\sin(arg)]-Y[\sin(an)*\cos(arg)+\cos(an)*\cos(i)*\sin(arg)]-Z[\sin(i)*\sin(arg)]$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Valor $z$ de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)                        | z sat   | 1 484,749 | $X[\sin(an)*\sin(i)]+Y[-\cos(an)*\sin(i)]+Z[\cos(i)]$                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Acimut para la estación terrena desde el punto de vista del satélite (grados)                     | az      | -7,338344 | atg(sat x/sat y)                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Elevación de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (grados)                    | el      | 41,25547  | atg(sat z/(raíz cuadrada de (sat x <sup>2</sup> +sat y <sup>2</sup> )))                                                   |
| Escoger la dfp a partir de la curva para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG; debido a que la anchura de banda de la frecuencia OSG VLA es muy grande puede haber varios conjuntos de curvas con frecuencias que se superponen y toda esta información debe incluirse. |                                                                                                   |         |           |                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | dfp de la frec. 1 del satélite no OSG con acimut y ángulo de elevación para la estación terrena   | dfp1    | -140      | ejemplo                                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | dfp de la frec. 2 del satélite no OSG con acimut y ángulo de elevación para la estación terrena   | dfp2    | -131      | ejemplo                                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                   | ...     |           |                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | dfp de la frec. $n$ del satélite no OSG con acimut y ángulo de elevación para la estación terrena | dfpn    | -140      | ejemplo                                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Cálculo de la dfpe del caso más desfavorable (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))                       | dfpe    | -191,2207 | $10 \log(10^{((dfp1+G(X)-G(Máx))/10)}+10^{((dfp2+G(X)-G(Máx))/10)}+\dots+10^{((dfpn+G(X)-G(Máx))/10)})$                   |



#### 4 Caso 3

En el Caso 3 se describe la situación en la que la zona de exclusión se define dentro la latitud  $\pm X^\circ$  con respecto a la del punto subsatelital del satélite no OSG. Cuando el satélite no OSG se encuentra dentro de la zona de exclusión no puede transmitir a ninguna estación terrena. La geometría del caso más desfavorable para este caso se ilustra en la Fig. 3 donde el satélite no OSG se encuentra al borde de la zona de exclusión transmitiendo hacia estaciones OSG y no OSG coubicadas. Esta geometría produce un caso de interferencia de haz principal del satélite no OSG a lóbulo lateral y del satélite OSG. Normalmente, esta técnica de reducción de la interferencia podría utilizarse con una constelación de satélites MEO, aunque también funcionaría con una constelación HEO. El algoritmo para calcular el valor de la  $dfpe_{\downarrow}$  exige que se siga el siguiente procedimiento:

- Paso 1:* Datos de partida: radio de la Tierra, radio de la órbita no OSG, inclinación de la órbita del satélite no OSG, latitud del satélite no OSG, longitud del satélite OSG, inclinación del satélite OSG, radio de la órbita OSG, latitud de la estación terrena OSG, longitud de la estación terrena OSG, máxima ganancia de la antena de la estación terrena OSG.
- Paso 2:* Se calcula el mínimo ángulo con respecto al eje desde la estación terrena OSG hasta el satélite no OSG (esta función se lleva a cabo en una macro que desplaza el satélite no OSG en longitud a lo largo de la latitud de corte, calcula el ángulo con respecto al eje y luego registra el valor mínimo).
- Paso 3:* Se calcula la latitud y la longitud del punto subsatelital del satélite no OSG en el mínimo ángulo con respecto al eje.
- Paso 4:* Se calcula el ángulo de recepción con respecto al eje y la ganancia en la estación terrena OSG.
- Paso 5:* Si las curvas de  $dfp$  del satélite no OSG se presentan en forma de longitud alfa y delta (véase la Recomendación UIT-R S.1503 para las definiciones de longitud alfa y delta).
- A partir de las curvas de  $dfp$  se elige la  $dfp$  para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG para  $\alpha = \alpha_0$  o  $X = X_0$  y la diferencia de longitud entre el satélite OSG y el satélite no OSG.
  - Como el satélite OSG tiene una anchura de banda muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas de  $dfp$  con frecuencias que se superponen. Toda esta información debe incluirse.
  - Se calcula la  $dfpe$  tal como se define en el número 22.5C del RR.
- Paso 6:* Si las curvas de  $dfp$  del satélite no OSG se presentan en forma acimutal y de elevación (véase la Recomendación UIT-R S.1503 para las definiciones de acimut y elevación).
- Se calculan las coordenadas fijas con centro en la Tierra (FCT) del satélite OSG, la estación terrena y el satélite no OSG.
  - Se desplaza y se gira el vector situado entre el satélite no OSG y la estación terrena OSG desde las coordenadas FCT hasta las coordenadas con centro en el satélite.
  - Se calcula el acimut y la elevación desde el satélite no OSG hasta la estación terrena OSG.
  - A partir de las curvas de  $dfp$  se selecciona la  $dfp$  para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG para el acimut y el ángulo de elevación desde el satélite no OSG hasta la estación terrena OSG.

- e) Como el satélite OSG tiene una anchura de banda muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas de dfp con frecuencias que se superponen. Toda esta información debe incluirse.
- f) Se calcula la dfpe tal como se define en el número 22.5C del RR.

Se ha elaborado una hoja de cálculo Excel con ecuaciones y cálculos apropiados previamente programados. En el Cuadro 4 se ilustra la página de cálculo del Caso 3. Los valores introducidos para el sistema de satélites no OSG son ficticios y no representan ningún sistema en particular.

CUADRO 4

Hoja de cálculo Excel del Caso 3

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                     |               |          |                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|----------------------------|
| <b>Caso 3: El satélite no OSG NO PUEDE transmitir cuando se encuentra por encima o por debajo de cierta latitud. Un satélite MEO transmitiría entre + o - X de latitud. Un satélite HEO no transmitiría por debajo de una latitud de +X o por encima de una latitud de -X, dependiendo del hemisferio del apogeo</b> |                                                                                                     |               |          |                            |
| Caso más desfavorable: El satélite no OSG se encuentra a una latitud específica y transmite directamente a la estación terrena OSG                                                                                                                                                                                   |                                                                                                     |               |          |                            |
| Alfa = $a_0$ o $X = X_0$                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                     |               |          |                            |
| <b>Nota: En lo que respecta al satélite HEO, la información que se necesita para calcular el radio de la órbita del satélite no OSG es el radio de la órbita HEO a una latitud crítica</b>                                                                                                                           |                                                                                                     |               |          |                            |
| <b>Datos de partida</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                     |               |          |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Radio de la Tierra (km)                                                                             | Re            | 6 378,15 |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Radio de la órbita OSG (km)                                                                         | Rg            | 42 164   |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Inclinación del satélite no OSG (grados)                                                            | i             | 55       |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Radio de la órbita no OSG (km)                                                                      | Rn            | 23 958   |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Latitud crítica del satélite no OSG (grados)                                                        | $\beta$       | -45      |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ¿La latitud crítica es positiva y negativa? (1 = Sí o 2 = No)                                       |               | 1        |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Longitud del satélite OSG (grados)                                                                  | Long. OSG     | -30      |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Inclinación del satélite OSG (grados)                                                               | OSG_inc       | 5        |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Latitud de la estación terrena (grados)                                                             | $\phi$        | 38       |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Longitud de la estación terrena (grados)                                                            | Long. terrena | -77      |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Máxima ganancia de la antena de la estación terrena (dB)                                            | G(máx)        | 70       |                            |
| <b>Cálculos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                     |               |          |                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Cálculo del mínimo ángulo con respecto al eje                                                       | $\beta$       | 44,09438 | macro                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Longitud del satélite no OSG en el mínimo ángulo con respecto al eje                                | Long. no OSG  | -32      | macro                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Latitud del satélite no OSG en el mínimo ángulo con respecto al eje                                 | Lat. no OSG   | 45       | macro                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Cálculo de la ganancia de la estación terrena a $\theta$ grados con respecto a la línea de puntería | G( $\beta$ )  | -15,33   | Recomendación UIT-R S.1428 |

CUADRO 4 (Continuación)

| <b>Si las curvas de dfp del satélite se presentan en forma de longitud alfa y delta</b>                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Cálculo de la longitud delta entre los satélites OSG y no OSG (grados)              | delta          | 2          |                                                                                                               |
| Seleccionar la dfp a partir de la curva para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG; como la anchura de banda de la frecuencia de las estaciones OSG VLA es muy grande, puede haber varios conjuntos de curvas con frecuencias que se superponen y toda esta información debe incluirse |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | dfp de la frec. 1 del satélite no OSG con $\alpha = \alpha_0$ o $X = X_0$ y delta   | dfp1           | -140       | ejemplo                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | dfp de la frec. 2 del satélite no OSG con $\alpha = \alpha_0$ o $X = X_0$ y delta   | dfp2           | -131       | ejemplo                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                     | ...            |            |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | dfp de la frec. $n$ del satélite no OSG con $\alpha = \alpha_0$ o $X = X_0$ y delta | dfpn           | -140       | ejemplo                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Cálculo de la dfpe del caso más desfavorable                                        | dfpe           | -215,3562  | $10 \log(10^{((dfp1+G(X)-G(Máx))/10)} + 10^{((dfp2+G(X)-G(Máx))/10)} + \dots + 10^{((dfpn+G(X)-G(Máx))/10)})$ |
| <b>Si las curvas de dfp del satélite se presentan en forma de acimuts y ángulo de elevación</b>                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
| Cálculo de las componentes $x, y, z$ de la estación terrena en coordenadas FCT                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Valor $x$ de la estación terrena (km)                                               | Xe             | 1 130,62   | $Re * \cos(\varphi) * \cos(\text{Longitud de la estación terrena})$                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Valor $y$ de la estación terrena (km)                                               | Ye             | -4 897,23  | $Re * \cos(\varphi) * \sin(\text{Longitud de la estación terrena})$                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Valor $z$ de la estación terrena (km)                                               | Ze             | 3 926,78   | $Re * \sin(\varphi)$                                                                                          |
| Cálculo de las componentes $x, y, z$ de las coordenadas FCT del satélite no OSG                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Valor $x$ del satélite no OSG (km)                                                  | Xn             | 14 366,67  | $Rn * \cos(\delta) * \cos(\text{Longitud del satélite no OSG})$                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Valor $y$ del satélite no OSG (km)                                                  | Yn             | -8 977,29  | $Rn * \cos(\delta) * \sin(\text{Longitud del satélite no OSG})$                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Valor $z$ del satélite no OSG (km)                                                  | Zn             | 16 940,86  | $Rn * \sin(\delta)$                                                                                           |
| Cálculo del vector entre el satélite no OSG y la estación terrena                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Vector X (km)                                                                       | X              | -13 236,05 | $Xe - Xn$                                                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Vector Y (km)                                                                       | Y              | 4 080,057  | $Ye - Yn$                                                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Vector Z (km)                                                                       | Z              | -13 014,08 | $Ze - Zn$                                                                                                     |
| Cálculo de la longitud del nodo ascendente                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Diferencia entre la longitud del satélite y el nodo ascendente (grados)             | del            | 44,44366   | $\text{asen}(\text{tg}(\delta) / \text{tg}(i))$                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Longitud del nodo ascendente (grados)                                               | an             | -76,44     | Longitud del satélite no OSG - del                                                                            |
| Cálculo del argumento del perigeo más anomalía verdadera                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |                |            |                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Argumento del perigeo más anomalía verdadera (grados)                               | argp verdadera | 59,67984   | $\text{asen}(\text{sen}(\delta) / \text{sen}(I))$                                                             |

CUADRO 4 (Fin)

| Cálculo de algunos valores para la matriz de transformación en coordenadas FCT XYZ de la estación terrena en coordenadas de satélite (con centro en el satélite) $x, y, z$                                                                                                                                                |         |            |                                                                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Coseno de la longitud del nodo ascendente                                                                                                                                                                                                                                                                                 | cos_an  | 0,234401   | cos(an)                                                                                                                               |  |
| Senos de la longitud del nodo ascendente                                                                                                                                                                                                                                                                                  | sen_an  | -0,97214   | sen(an)                                                                                                                               |  |
| Coseno de la inclinación del satélite no OSG                                                                                                                                                                                                                                                                              | cos_inc | 0,573576   | cos(i)                                                                                                                                |  |
| Senos del satélite no OSG                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | sen_inc | 0,819152   | sen(i)                                                                                                                                |  |
| Coseno del argumento del perigeo más anomalía verdadera                                                                                                                                                                                                                                                                   | cos_arg | 0,504831   | cos(arg)                                                                                                                              |  |
| Senos del argumento del perigeo más anomalía verdadera                                                                                                                                                                                                                                                                    | sen_arg | 0,863218   | sen(arg)                                                                                                                              |  |
| Valor $x$ de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)                                                                                                                                                                                                                                                | sat x   | -2 728,648 | $X[-\cos(an)*\sin(arg)-\sin(an)*\cos(i)*\cos(arg)]+$<br>$Y[\cos(an)*\cos(i)*\cos(arg)-\sin(an)*\sin(arg)]+$<br>$Z[\sin(i)*\cos(arg)]$ |  |
| Valor $y$ de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)                                                                                                                                                                                                                                                | sat y   | 18 668,32  | $X[-\cos(an)*\cos(arg)+\sin(an)*\cos(i)*\sin(arg)]-$<br>$Y[\sin(an)*\cos(arg)+\cos(an)*\cos(i)*\sin(arg)]-$<br>$Z[\sin(i)*\sin(arg)]$ |  |
| Valor $z$ de la estación terrena desde el punto de vista del satélite (km)                                                                                                                                                                                                                                                | sat z   | 2 292,286  | $X[\sin(an)*\sin(i)]+Y[-\cos(an)*\sin(i)]+Z[\cos(i)]$                                                                                 |  |
| Acimut para la estación terrena desde el punto de vista del satélite (grados)                                                                                                                                                                                                                                             | az      | -8,31573   | atg(sat x/sat y)                                                                                                                      |  |
| Elevación para la estación terrena desde el punto de vista del satélite (grados)                                                                                                                                                                                                                                          | el      | 6,927433   | atg(sat z/(raíz cuadrada de (x sat <sup>2</sup> +y sat <sup>2</sup> )))                                                               |  |
| Seleccionar la dfp a partir de la curva para la latitud más cercana a la del punto subsatelital del satélite no OSG; debido a que la anchura de banda de la frecuencia de las estaciones OSG VLA es muy grande, puede haber conjuntos de curvas con frecuencias que se superponen y toda esta información debe incluirse. |         |            |                                                                                                                                       |  |
| dfp de la frec. 1 del satélite no OSG con acimut y ángulo de elevación para la estación terrena                                                                                                                                                                                                                           | dfp1    | -140       | ejemplo                                                                                                                               |  |
| dfp de la frec. 2 del satélite no OSG con acimut y ángulo de elevación para la estación terrena                                                                                                                                                                                                                           | dfp2    | -131       | ejemplo                                                                                                                               |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ...     |            |                                                                                                                                       |  |
| dfp de la frec. $n$ del satélite no OSG con acimut y ángulo de elevación para la estación terrena                                                                                                                                                                                                                         | dfpn    | -140       | ejemplo                                                                                                                               |  |
| Cálculo de la dfpe del caso más desfavorable (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))                                                                                                                                                                                                                                               | dfpe    | -215,8165  | $10 \log(10^{((dfp1+G(X)-G(Máx))/10)}+10^{((dfp2+G(X)-G(Máx))/10)}+...+10^{((dfpn+G(X)-G(Máx))/10)})$                                 |  |

