

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.1107\*

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO PARA CALCULAR LA INTERFERENCIA AL SERVICIO FIJO CAUSADA POR SATÉLITES QUE OCUPAN LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA**

(Cuestión UIT-R 116/9)

(1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) ha atribuido a varios servicios por satélite, que funcionan en la órbita geoestacionaria, espectro que está atribuido también al servicio fijo (SF);
- b) que las emisiones de estaciones espaciales que funcionan en la órbita geoestacionaria y comparten el mismo espectro pueden producir interferencia a estaciones receptoras del SF;
- c) que puede no ser práctico efectuar la coordinación entre las numerosas estaciones terrenales y las numerosas estaciones espaciales y que, por tanto, deben establecerse criterios de compartición para excluir la necesidad de una coordinación detallada;
- d) que al desarrollar estos criterios de compartición, hay que tener en cuenta las necesidades operacionales y técnicas de las redes de servicios por satélite, así como las necesidades del SF y las medidas disponibles;
- e) que se ha determinado que los criterios de compartición elaborados a partir de una base probabilística dan como resultado una utilización más eficaz del espectro que los criterios formulados utilizando el análisis del caso más desfavorable;
- f) que es difícil y gravoso reunir suficiente información estadísticamente exacta sobre las estaciones reales existentes y proyectadas de sistemas terrenales y por satélite;
- g) que las simulaciones por computador del SF y de los servicios por satélite que funcionan en la órbita geoestacionaria pueden generar información estadísticamente exacta adecuada para determinar criterios de compartición en una amplia variedad de situaciones de compartición,

*recomienda*

1. que la información obtenida a partir de simulaciones por computador del SF y de servicios por satélite que funcionan en la órbita geoestacionaria y utilizan el mismo espectro puede ser adecuada para elaborar criterios de compartición;
2. que se tenga en cuenta el material del anexo 1 al obtener información para formular criterios de compartición.

## ANEXO 1

**Método para elaborar criterios de compartición destinados a proteger el SF contra emisiones de estaciones espaciales que funcionan en la órbita geoestacionaria****1. Introducción**

La CAMR-92 atribuyó al servicio de radiodifusión por satélite (radiodifusión sonora y de televisión), al servicio móvil por satélite y a los servicios científicos espaciales espectro que es compartido también por el SF. Asimismo, la CAMR-92 aprobó varias Resoluciones y Recomendaciones en las que se pide al UIT-R que resuelva los aspectos de compartición resultantes de las distintas atribuciones. En este anexo se describe una metodología que ayudará a elaborar criterios de compartición entre el SF y los servicios por satélite prestados desde la órbita geoestacionaria.

---

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las siguientes Comisiones de Estudio de Radiocomunicaciones: 4 (GT 4-9S), 7, 8 (GT 8D), 10 y 11 (GT 10-11S) y 2 (GTE 2/2).

En la Recomendación UIT-R SF.358 se proponen niveles de densidad de flujo de potencia (dfp) de protección para el SF en algunas porciones del espectro. De igual manera, los números 2561 a 2580.1 del artículo 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones establecen límites definitivos de dfp para bandas similares. Sin embargo, ninguna referencia consigna todas las bandas indicadas por la CAMR-92 ni proporciona información suficiente sobre cómo extender los criterios, de otra manera que no sea por extrapolación, a diferentes situaciones de compartición de los servicios fijos y por satélite.

En el apéndice 1 al anexo 1 de la Recomendación UIT-R SF.358 sí se indica que son aceptables los métodos de simulación estadística para determinar los niveles de dfp con miras a proteger al SF contra los satélites que funcionan en la órbita geoestacionaria, pero no proporciona una metodología detallada para elaborar los datos. En el presente anexo se describen las consideraciones relativas a la geometría necesarias para calcular los datos. Se proporciona también una descripción y el código de origen del lenguaje básico para un programa que puede generar datos representativos de muchas de las situaciones de compartición que existen actualmente o que resultarán de las atribuciones hechas por la CAMR-92. Se pueden analizar los datos resultantes del programa para determinar los efectos de los niveles de dfp de los satélites sobre el SF en varios casos. Las diferencias de las situaciones pueden ser determinadas por parámetros que el usuario introduce en el programa. En el apéndice 1 al presente anexo se proporcionan algunos ejemplos sobre cómo se pueden utilizar los datos del programa de simulación para ayudar a resolver los aspectos resultantes de las atribuciones de la CAMR-92 u otros similares.

## 2. Consideraciones relativas a la geometría

Para calcular la interferencia causada a una red de relevadores radioeléctricos por los satélites en la órbita geoestacionaria, es necesario identificar todos los satélites visibles para cada estación de relevador radioeléctrico. Esto se puede realizar determinando los límites de la órbita geoestacionaria visible para cada estación y, en consecuencia, todos los satélites entre estos límites serían visibles.

La fig. 1 proporciona una representación de la geometría de la órbita geoestacionaria y una estación de relevadores radioeléctricos. Algunos de los importantes parámetros que se necesitan para calcular la interferencia a la estación de relevadores radioeléctricos son:

$\theta$ : ángulo de elevación del satélite por encima del horizonte

$\beta$ : arco esférico subtendido por el punto subsatelital, S', y la estación de relevadores radioeléctricos, P

$\Omega$ : ángulo subtendido por  $\beta$  visto desde el satélite, S.

Si la antena del relevador radioeléctrico tiene una elevación de  $0^\circ$  y no se conoce la difracción, el desplazamiento acimutal  $A$ , medido desde el Sur, a la intersección del horizonte con la órbita geoestacionaria se puede calcular como sigue:

$$|A| = \cos^{-1} \left( \text{tg } \varphi / (K^2 - 1)^{1/2} \right) \quad (1)$$

donde:

$$K = R/a$$

$a$ : radio de la Tierra

$R$ : radio de la órbita geoestacionaria

$\varphi$ : latitud de la estación de relevador radioeléctrico.

La separación longitudinal relativa entre la estación de relevador radioeléctrico y la ordenada plano horizontal/órbita geoestacionaria puede expresarse como sigue:

$$\lambda = \text{sen}^{-1} \left( \text{sen } A (1 - K^{-2})^{1/2} \right) \quad (2)$$

Como la órbita estacionaria visible es simétrica alrededor de la línea acimutal de  $0^\circ$ , el número total de satélites visibles para la estación aparecerá en el tramo longitudinal de la órbita igual a  $2\lambda$ .

El acimut  $A_z$  para cada satélite visible es:

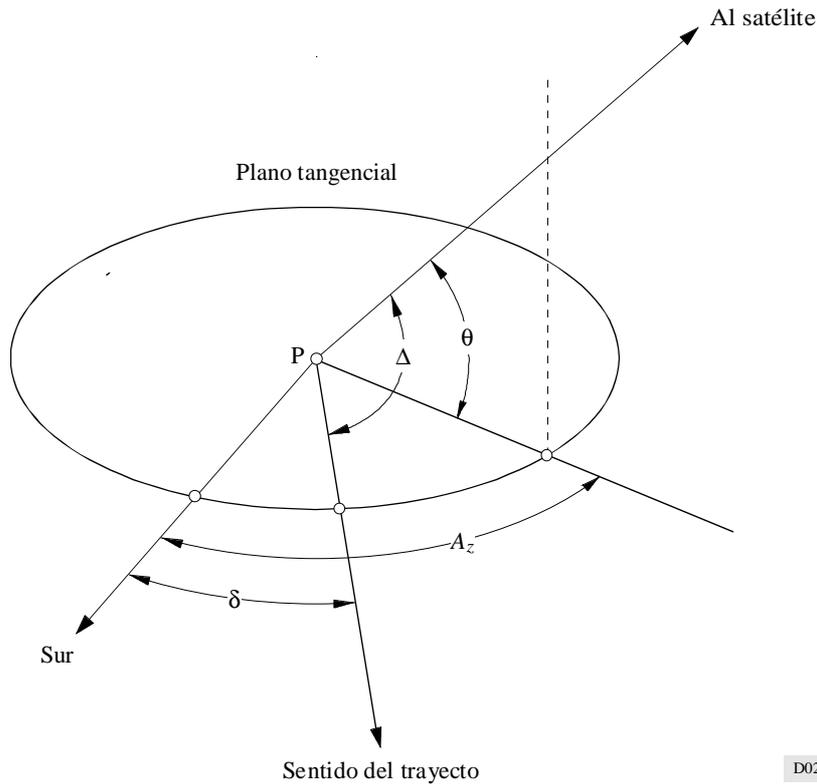
$$A_z = \text{tg}^{-1} (\text{tg } \lambda_r / \text{sen } \varphi) \quad (3)$$

donde  $\lambda_r$  es la diferencia entre la longitud del satélite y la estación de relevador radioeléctrico, es decir, la longitud relativa.



FIGURA 2

Geometría que determina al ángulo fuera del haz en la dirección de un satélite



D02

El UIT-R suele limitar o definir los niveles de dfp procedentes de un satélite en función del ángulo de elevación,  $\theta$ . El ángulo puede determinarse como sigue:

$$\theta = (\pi/2) - (\beta + \Omega) \quad (4)$$

donde:

$$\beta = \cos^{-1} (\cos \varphi \cos \lambda_r) \quad (5)$$

$$\Omega = \text{tg}^{-1} \left( \text{sen } \beta / (K - \cos \beta) \right) \quad (6)$$

Generalmente, la densidad de flujo de potencia (pfd – power flux density) se define como sigue:

$$F(\theta) = \begin{cases} pfd_{low} & \text{para } 0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ pfd_{low} + 0,05 (pfd_{hi} - pfd_{low}) (\theta - 5) & \text{para } 5^\circ \leq \theta \leq 25^\circ \\ pfd_{hi} & \text{para } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (7)$$

donde:

$pfd_{low}$ : nivel admisible para ángulos de llegada bajos, usualmente expresados en dB con respecto a  $1 \text{ W/m}^2$  en una banda de 4 kHz

$pfd_{hi}$ : nivel admisible para ángulos de llegada altos también expresado en dB con respecto a  $1 \text{ W/m}^2$  en una banda de 4 kHz.

Por último, el ángulo  $\Delta$  entre la incidencia del nivel de pfd del satélite interferente y la dirección de puntería del receptor de la estación de relevadores radioeléctricos (fig. 2) se puede determinar mediante:

$$\Delta = \cos^{-1} \left( \cos \theta \cos (A_z - \delta) \right) \quad (8)$$

donde  $\delta$  es la dirección de puntería del receptor de la estación de relevadores radioeléctricos con respecto al Sur.

Si se supone que la ganancia de la antena receptora del relevador radioeléctrico es igual en todos los planos (horizontal a vertical), la ganancia en la dirección del satélite,  $G(\Delta)$ , se puede determinar a partir de las ecuaciones de diagramas de ganancia de antena de la Recomendación UIT-R F.699.

### 3. Cálculos de interferencia

La potencia de interferencia total recibida en el receptor del relevador radioeléctrico se puede determinar sumando las contribuciones procedentes de cada satélite visible. Cada contribución se puede determinar como sigue:

$$I_B = f(\theta) \times g(\Delta) \times \lambda^2 / 4\pi h \quad (9)$$

donde:

$$f(\theta) = 10^{F(\theta)/10} \quad (10)$$

$$g(\Delta) = 10^{G(\Delta)/10} \quad (11)$$

$\lambda$ : longitud de onda de la portadora

$h$ : pérdida de la línea de alimentación.

La ecuación (9) contiene el factor  $\lambda / 4\pi h$  porque  $f(\theta)$  se expresa en unidades de W/m<sup>2</sup> por 4 kHz.

### 4. Simulación de red para determinar la interferencia

La selección de una metodología para elegir valores de dfp con miras a proteger el SF está limitada por consideraciones de orden muy práctico. Por ejemplo, es teóricamente posible determinar los efectos de la interferencia de un servicio por satélite sobre el SF realizando un cálculo exacto que comprende la convolución de todas las transmisiones existentes y proyectadas del servicio por satélite contra todos los receptores existentes y proyectados del SF a la vez que se tienen en cuenta factores temporales, espaciales y espectrales. Sin embargo, al acumular los datos requeridos para este cálculo, incluso para un tipo de situación de compartición, las consideraciones prácticas excluyen generalmente esta posibilidad.

Otros métodos para calcular criterios de protección, tales como la utilización del análisis del «caso más desfavorable», pueden ser, en determinados casos, demasiado conservadores para determinar el uso de un recurso valioso y limitado. Además, los experimentos realizados en laboratorio no se prestan para dar soluciones convenientes por motivos espaciales y cuantitativos. Por último, debido a la incertidumbre de poder anticipar todas las situaciones que se pueden plantear, en relación con nuevos servicios o cuando se produce la evolución continua de servicios existentes, los resultados de cualquiera de las técnicas mencionadas anteriormente están sujetos a una reevaluación constante.

Por estos motivos, una simulación analítica por computador del problema es el método más apropiado para obtener resultados útiles. Las simulaciones por computador que emplean los métodos de Monte Carlo para generar realizaciones representativas de servicios pueden crear datos simulados que se pueden utilizar en lugar de bases de datos reales o medidos.

El apéndice 1 contiene un listado y descripción de una simulación por computador realizada con métodos Monte Carlo que permite examinar varias situaciones de compartición del SF y los servicios por satélite. El programa se puede utilizar para probar la calidad de funcionamiento de sistemas específicos del SF con configuraciones específicas de satélite que emiten niveles específicos de dfp. Se pueden utilizar pasadas repetidas del programa para determinar las adaptaciones de los parámetros de sistema que permitirían la compartición.

En las figs. 3 a 7 se muestran los resultados de ejemplos apropiados de situaciones de compartición del SF y el servicio por satélite.

## Descripción de un ejemplo de programa de simulación por computador

### 1. Hipótesis relativas a la red

En los modelos de satélite y relevadores radioeléctricos utilizados en el programa, se supone que:

- la órbita está completamente llena con plataformas espaciadas uniformemente, que funcionan con el mismo nivel de potencia radiada aparente y que producen la misma dfp en la superficie de la Tierra;
- la red de relevadores radioeléctricos se compone de rutas de 50 tramos distribuidas aleatoriamente en una superficie de aproximadamente  $65^\circ$  de longitud por  $22,5^\circ$  de latitud. Todos los receptores tienen la misma temperatura de ruido, característica de antena (Recomendación UIT-R F.699) y separación (50 km);
- se utilizan los cálculos en el espacio libre. No se consideran las ventajas atribuibles a la atmósfera y a la polaridad.

### 2. Entrada/salida

El programa de simulación permite al operador seleccionar y controlar los siguientes parámetros de entrada:

- latitud del centro de las rutas (rumbo),
- temperatura de ruido del receptor,
- ganancia máxima de la antena del receptor,
- número de rutas de relevadores radioeléctricos que han de analizarse,
- separación entre satélites,
- evitación de la órbita,
- dfp de ángulo bajo,
- dfp de ángulo alto.

El programa produce dos ficheros de salida que contienen bases de datos que el usuario puede analizar.

La primera base de datos (RAD\_RTS.DAT) se utilizaría adecuadamente para analizar los efectos de la interferencia de redes de relevadores radioeléctricos analógicos para distintas configuraciones de redes de satélite. El fichero es una serie de registros donde cada registro da la interferencia de banda de base total (pW) en una anchura de banda de 4 kHz para una ruta de relevadores radioeléctricos de 50 tramos. Los datos se podrían utilizar más generalmente para proporcionar gráficos de distribución acumulada que muestran la magnitud de la degradación de interferencia que experimentarían porcentajes de redes analógicas en función de los niveles de interferencia. El tamaño del fichero es dos veces el número de rutas de relevadores radioeléctricos analizadas, porque hay dos sentidos para cada ruta. El tamaño máximo del fichero será de 600 registros y es función del número máximo de rutas que pueden ser tratadas por el programa, que es de 300.

El segundo fichero de base de datos (RAD\_STE.DAT) se puede utilizar también para analizar los efectos de la interferencia de satélites en redes digitales del SF. Cada registro del fichero es la interferencia ( $I$ ) (W) causada a un receptor del emplazamiento de relevadores radioeléctricos. Los registros se disponen en grupos de 50 de modo que se pueda efectuar el análisis para cada ruta completa de 50 tramos, en ambos sentidos. Cada ruta producirá 100 registros ( $50 \times 2$ ). El tamaño máximo del fichero contendrá 30 000 registros ( $50 \times 2 \times 300$ ).

En caso de que los ficheros de tamaño máximo de una pasada de computador no sean una muestra de datos suficientemente grande, se puede pasar el programa de nuevo y se añadirán automáticamente los datos subsiguientes.

### 3. Funcionamiento del programa

El programa comienza seleccionando la latitud introducida por el usuario para el centro de la ruta de relevadores radioeléctricos y calcula después la longitud como una variable aleatoria (circunscrita por los límites de superficie de  $65^\circ$ ) del centro de la ruta. El acimut (con respecto al Sur) de la dirección o rumbo de la ruta, se calcula

como una variable aleatoria con una distribución uniforme entre 0 y  $2\pi$ . La ubicación del primer relevador radioeléctrico se determina a partir de la altitud, longitud y ángulo de rumbo. Se calcula después la suma de la interferencia al receptor de la ubicación desde todos los satélites visibles y se almacena para uso ulterior.

La ubicación del próximo emplazamiento en las rutas se determina suponiendo que su dirección es una variable aleatoria distribuida uniformemente dentro de  $\pm 25^\circ$  del rumbo de la ruta y que la longitud de la ruta es de 50 km. Se calcula de nuevo la interferencia causada al receptor del nuevo emplazamiento desde todos los satélites visibles como se describe anteriormente.

La selección del siguiente emplazamiento y los cálculos de interferencia se repiten para los 50 tramos de la ruta, una nueva ruta se selecciona aleatoriamente y el proceso del cálculo de la interferencia se repite hasta 300 veces. En caso de que haya que considerar la evitación de la órbita (opción del usuario), el programa prueba cada emplazamiento para determinar si el sentido del emplazamiento cae dentro de la gama que ha de evitarse. Si es así, se descarta la ubicación del emplazamiento y se elige un nuevo sentido y un nuevo emplazamiento.

La información de interferencia almacenada se utiliza para crear los ficheros de salida (RAD\_RTS.DAT, RAD\_STE.DAT).

En el caso de redes analógicas, la interferencia en banda de base es la información deseada. El programa obtiene esta información suponiendo que hay una relación lineal entre la relación interferencia/ruido a la entrada del receptor y la relación interferencia/ruido de banda de base, como sigue:

$$i_c/n_c = i_b/n_b \quad (12)$$

o:

$$i_b = (i_c/n_c) n_b \quad (13)$$

La interferencia a la entrada del receptor es determinada por las características de la red, como se explica anteriormente en el § 3 del texto principal del anexo 1. Por tanto:

$$i_c = I_s \text{ (véase la ecuación (9))}$$

El ruido térmico a la entrada del receptor es una función de la temperatura de ruido del sistema de relevadores radioeléctricos.

$$n_c = k T_s b$$

donde:

$k$ : constante de Boltzmann

$T_s$ : temperatura de ruido del sistema

$b$ : anchura de banda de canal vocal (4 kHz).

La Recomendación UIT-R SF.358 indica que para un modelo de relevador radioeléctrico apropiado, la potencia de ruido térmico de canal es:

$$n_b = 25 \text{ pW0p}$$

El programa utiliza este valor para determinar la interferencia de banda de base para cada receptor del emplazamiento por ecuación (13) y suma las interferencias de los 50 emplazamientos para cada ruta con el fin de determinar la interferencia total por ruta.

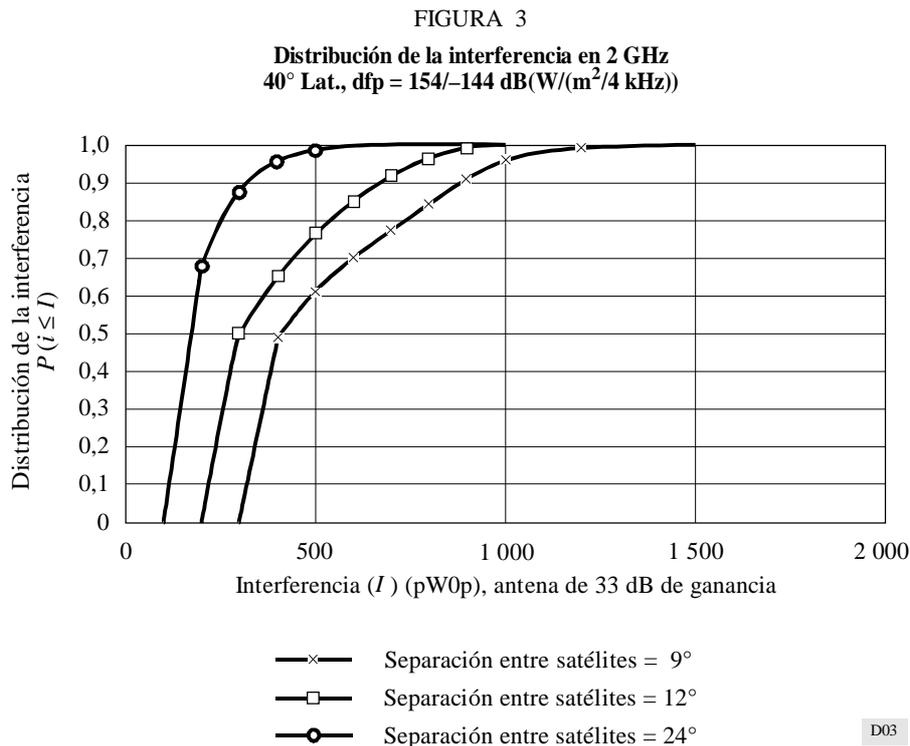
El segundo fichero (RAD\_STE.DAT) creado por el programa es una compilación de los valores de  $I_s$  calculados.

Los cálculos efectuados mediante el programa vienen limitados por los supuestos siguientes:

- el punto central de un trayecto debe situarse en latitudes comprendidas entre  $15^\circ$  y  $70^\circ$ ,
- el programa presupone satélites ubicados exactamente en el plano ecuatorial, y no admite órbitas inclinadas.

#### 4. Resultados del caso de ejemplo

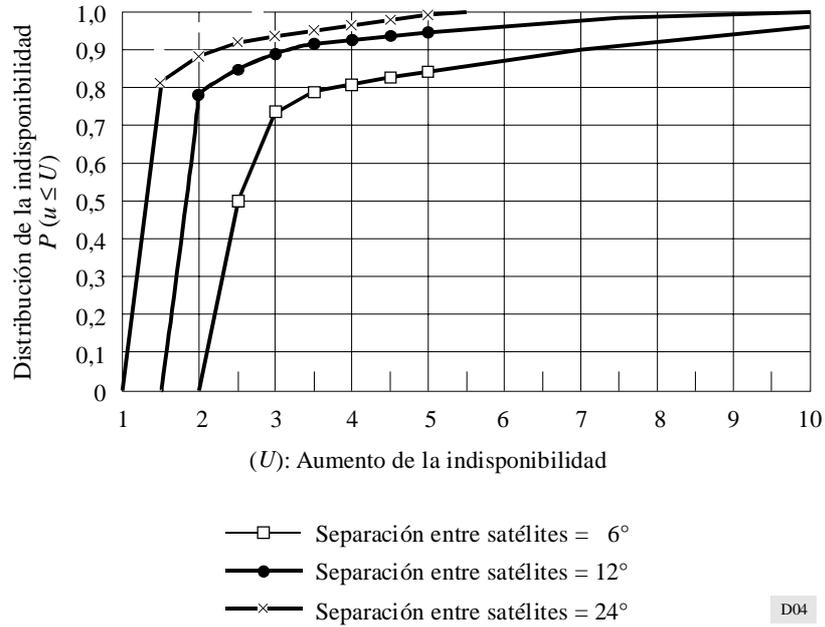
La fig. 3 muestra los resultados de un análisis de los datos de RAD\_RTS.DAT para tres situaciones de compartición en 2 GHz. Se supuso que todos los sistemas fijos eran rutas MDF de 50 tramos realizadas con antenas con una ganancia en recepción de 33 dB y receptores con temperatura de ruido de 1750 K. Estos parámetros del SF son representativos de los descritos en la Recomendación UIT-R F.758. Los tres modelos de redes de satélite considerados limitan los niveles de dfp de  $-154$  a  $-144$  dB(W/m<sup>2</sup>) en una anchura de 4 kHz y sólo difieren en la ocupación orbital máxima (separaciones de 9°, 12° y 24°).



Los resultados indican que para separaciones de satélite de 6° o más, los sistemas MDF del SF experimentarían una interferencia inferior a 1 000 pW aproximadamente en el 95% de las rutas, suponiendo una distribución uniforme de los sentidos de las rutas. Asimismo, los resultados indican que el SF pudiera aceptar niveles más altos de dfp de los satélites con ocupación orbital reducida y que satisfacerían aún los criterios del 10%.

La fig. 4 ilustra el resultado de un análisis de los datos de RAD\_STE.DAT. En este caso, la base de datos de interferencia resultante se aplicó a un supuesto sistema del SF que comparte el espectro con rutas digitales del SF, con diversidad en el espacio, 2 GHz, 64 MAQ, caso típico de la Recomendación UIT-R F.758. Utilizando las técnicas descritas en la Recomendación UIT-R PN.530, se obtuvieron gráficos que trazan el efecto acumulado sobre la indisponibilidad (la cantidad de tiempo en que la tasa de errores fue inferior a  $1$  en  $10^{-3}$ ). La abscisa de la fig. 4 es un factor que aumenta la indisponibilidad de rutas digitales de 50 tramos con diversidad en el espacio, como resultado de la interferencia de satélites. Por ejemplo, aproximadamente el 80% de las rutas que experimentan interferencia de la constelación de satélites con una separación de 24° tendría menos de un 50% de aumento en la indisponibilidad. Este análisis da cierta visión de la sensibilidad aparente de los sistemas fijos digitales e indica que se comprenda la repercusión sobre la compartición cuando se consideran los cambios a la definición de indisponibilidad (es decir, Recomendación UIT-T G.826) para sistemas digitales.

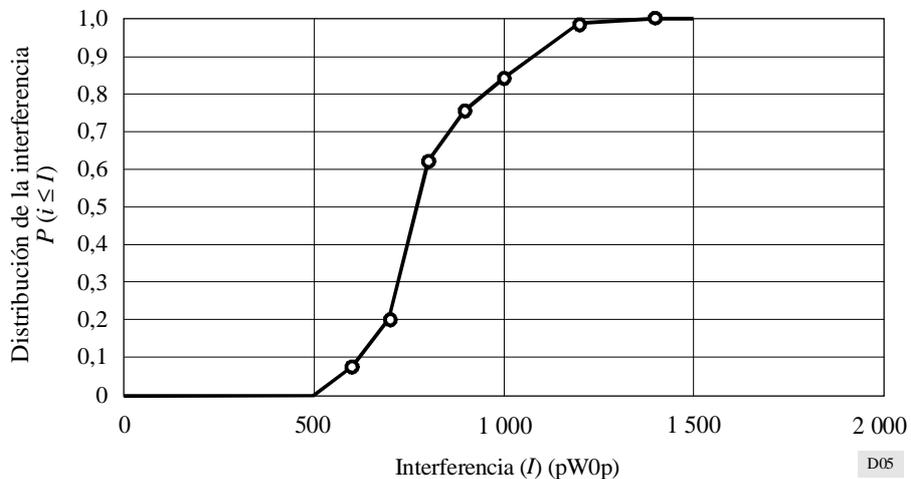
FIGURA 4  
 Distribución de la indisponibilidad en 2 GHz  
 40° Lat., dfp = -154/-144 dB(W/(m<sup>2</sup>/4 kHz)),  
 33 dB/Div. espacial



D04

La fig. 5 muestra los resultados de la compartición del espectro entre un supuesto sistema de satélite con una separación de 60° (posiblemente sistemas de radiodifusión sonora por satélite o sistemas del servicio móvil por satélite) y una configuración representativa de un sistema fijo analógico en la banda 1,5 GHz. Se supone que el nivel admisible de dfp de ángulo alto del satélite es -135 dB(W/m<sup>2</sup>) en 4 kHz. La dfp de ángulo bajo se mantuvo en -154 dB(W/m<sup>2</sup>). La dfp de ángulo alto es 9 dB superior que los niveles de dfp en bandas adyacentes. Los resultados (de RAD\_RTS.DAT) indican que más del 85% de los sistemas fijos tendrían menos de 1 000 pW de interferencia para esa configuración.

FIGURA 5  
 Distribución de la interferencia, en 1,5 GHz y una separación entre satélites = 60°  
 1,5 GHz, dfp = -154/-134 dB(W/(m<sup>2</sup>/4 kHz)), 25° Lat.



D05

Las figs. 6 y 7 muestran los resultados de un estudio parcial, cuya finalidad fue analizar de manera cuantitativa la sensibilidad de las distribuciones de interferencia del SF a los cambios en los niveles de dfp del satélite y a los cambios en la banda de trabajo, suponiendo que se mantuvieron constantes otros parámetros en la situación de compartición. Los resultados indican que hay que elegir con cuidado los sistemas del SF seleccionados para funcionar en un entorno compartido, si ha de mantenerse en todas las bandas el mismo nivel de calidad de funcionamiento.

FIGURA 6  
 Estudio de la interferencia entre servicios por satélite y el servicio fijo, en 1,5 GHz  
 40° Lat., separación entre satélites = 45°, dfp = dB(W/(m<sup>2</sup>/4 kHz))

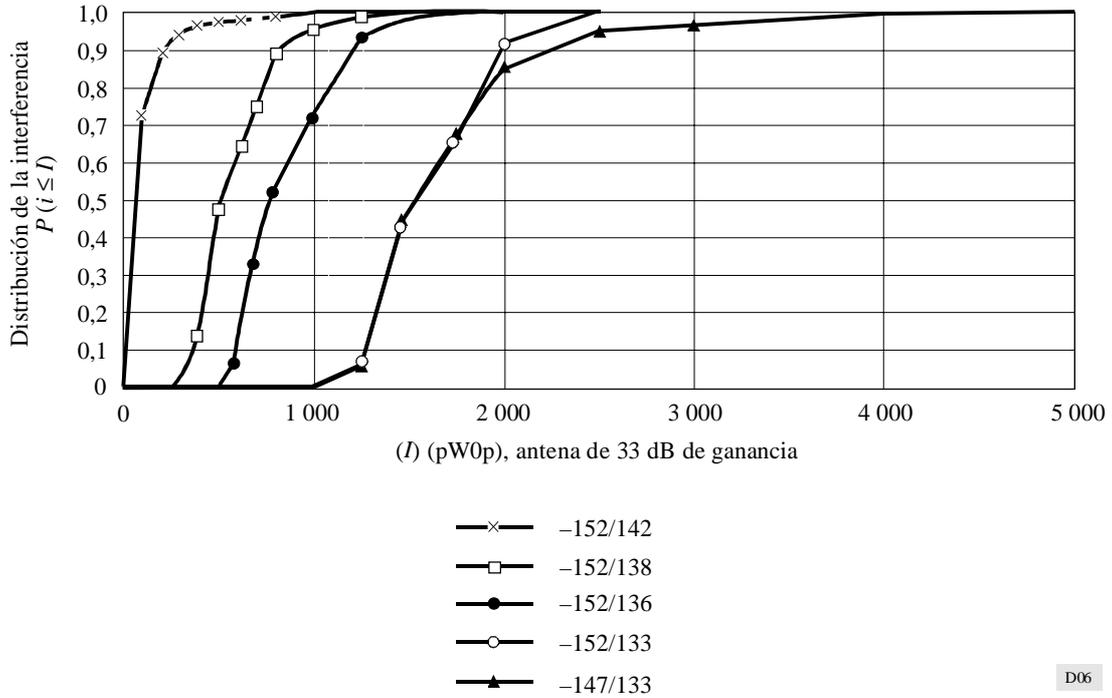
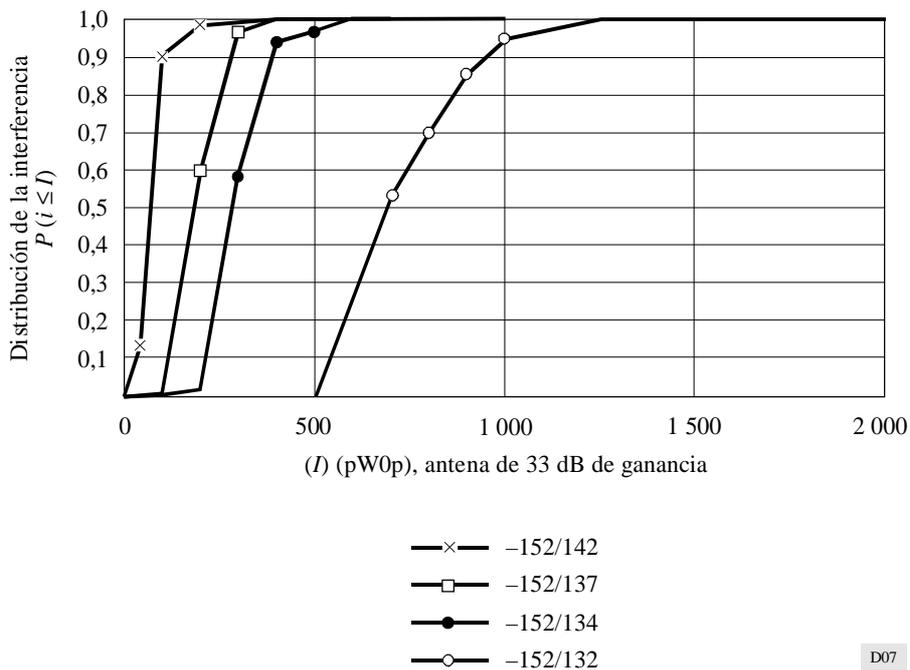


FIGURA 7  
 Estudio de la interferencia entre servicios por satélite y el servicio fijo,  
 en 2,5 GHz 40° Lat., separación entre satélites = 45°, dfp = dB(W/(m<sup>2</sup>/4 kHz))



## 5. Listado de RAD\_REL.BAS

El siguiente listado se ha compilado exitosamente con un compilador comercial (Microsoft QuickBasic, versiones 4 y 4.5). Otros compiladores pueden requerir alguna modificación del código para el funcionamiento apropiado. Como se indica en el § 1 de este apéndice, se pueden ajustar los parámetros de red para redes tanto de relevadores radioeléctricos como de satélite, de modo que se pueda analizar una variedad de situaciones de compartición.

Debe tenerse cuidado de que las instrucciones numeradas a continuación que tienen más de una línea de código sean introducidas sin caracteres de control, es decir, sin «retorno del carro» o «cambio de renglón».

REFERENCIA: A.S. MAY Y M.J. PAGONES. MODEL FOR COMPUTATION OF INTERFERENCE FROM GEOSTATIONARY SATELLITES. BSTJ, VOL. 50, NO. 1, ENERO DE 1971, PÁG. 81-102.

```
'      MAINPROGRAM

100    CLS : SCREEN 9

155    RANDOMIZE TIMER: RTS = 49:
      STS = 50:RTS=# RR ROUTES, STS=# STATION SITES PER ROUTE

160    CLS : PI = 3.141593: RA = .01745329#:
      DE = 57.29578: T = 22.48309
'      T = MAXIMUM GREAT CIRCLE LENGTH (DEG) OF ONE 50 HOP ROUTE

162    K = 6.629957: K2 = K * K: K4 = 1 / (K2 - 1) ^ .5:
      K2I = 1 / K2: PI2 = PI / 2

165    GOSUB 1650'ENTER LATITUDE OF SYSTEMS

170    GOSUB 1700'ENTER FREQUENCY

175    GOSUB 1750'ENTER RR RECEIVER NOISE TEMP

180    GOSUB 1800'ENTER RR RECEIVE MAXIMUM ANTENNA GAIN

185    GOSUB 3000'ENTER # OF RR ROUTES

190    GOSUB 4000'ENTER AMOUNT OF ORBIT AVOIDANCE

195    GOSUB 5000'ENTER SATELLITE ORBIT SEPARATION

200    GOSUB 6000'ENTER LOW/HIGH ANGLE PFD LIMIT VALUES

210    GOSUB 7000'MAKE REVISIONS OF ABOVE ENTRIES

215    PF = .005 * (PFH - PFL): PFDL = 10 ^ (.1 * PFL):
      PFDH = 10 ^ (.1 * PFH)

220    CLS : DIM A!(RTS, STS): DIM B!(1 + 2 * RTS): DIM C!(RTS, STS)

225    FOR Q = 0 TO RTS: FOR V = 0 TO STS: A(Q, V) = 0: C(Q, V) = 0:
      NEXT: NEXT

227    FOR Q = 0 TO (1 + 2 * RTS): B(Q) = 0: NEXT

230    MU = 1.6212E+18 / (FREQ ^ 2 * NTEMP)

235    MU1 = kTb1/Nc
'      MU=Nc((c/FREQ)^2/4Pi)/kTb1, MU1 = kTb1/Nc
'
'      Where:
'
'              Nc=voice channel noise power
'                  = 25 picowatts
'
'              c/FREQ=transmission wavelength
'
'              k=Boltzmann's constant, 1.3805E-23
```



```

390  GOSUB 2360
395  IF GAMMAW < AVOID OR GAMMAE < AVOID
    THEN A(M, N) = 0: C(M, N) = 0: GOTO 340
400  LONS = LONS - SEP: LOOP
'    Calculate location of next RR site
411  J = LONGR: L = LATR
420  P = (SIN(LATR * RA)) * COS(.4496 * RA) -
    (COS(LATR * RA)) * (SIN(.4496 * RA)) * (COS(RRD))
430  Q = P / (1 - P * P) ^ .5
435  LATR = DE * ATN(Q) 'LATITUDE OF THE NEXT RR SITE
440  R = SIN(.4496 * RA) * SIN(RRD) / (1 - P * P) ^ .5:
    S = R / (1 - R * R) ^ .5: DELLONGR = ATN(S) * DE
450  LONGR = LONGR + DELLONGR 'LONGITUDE OF NEXT RR SITE
'    Calculate satellite horizon for the new RR site
470  A = K4 * TAN(LATR * RA): A2 = ((1 - A * A) ^ .5) / A
480  AZMUTH = ATN(A2)
    'Azimuth= angle to horizon from south at RR point, South reference
490  AZ = SIN(AZMUTH) * ((1 - K2I) ^ .5)
500  LONGHOR = ATN(AZ / ((1 - AZ * AZ) ^ .5))
'    LONGHOR is the longitude of the RR horizon/orbit intercept
520  LONHOR = LONGHOR * DE
'    Print RR route on screen
530  'Y1 = ((L - LATR) / T) * 155: X1 = (DELLONGR / (3 * T)) * 480
540  'LINE (X, Y)-(X + X1, Y + Y1)
550  'X = X + X1: Y = Y + Y1
555  NEXT ' Do next RR site
560  NEXT ' Do next RR route
'    Calculate the output files
600  FOR M = 0 TO RTS
610      FOR N = 1 TO STS
620          B(M) = B(M) + A(M, N)
630      NEXT N
640  NEXT M
650  FOR G = 0 TO RTS
660      FOR H = 0 TO STS - 1
670          B(RTS + 1 + G) = B(RTS + 1 + G) + C(G, H)
680      NEXT H
690  NEXT G
700  OPEN "RAD_RTS.DAT" FOR APPEND AS #1
710  FOR M = 0 TO 1 + (2 * RTS)

```

```

720 'PRINT "ROUTE"; M; : PRINT "="; B(M)
725 PRINT #1, B(M)
730 NEXT
735 CLOSE #1
740 OPEN "RAD_STE.DAT" FOR APPEND AS #2
750 FOR M = 0 TO RTS: FOR N = 0 TO STS
755 A(M, N) = A(M, N) * MU1
760 PRINT #2, A(M, N): NEXT: NEXT
765 PRINT #2, 0
770 FOR M = 0 TO RTS: FOR N = 0 TO STS
775 C(M, N) = C(M, N) * MU1
780 PRINT #2, C(M, N): NEXT: NEXT
790 CLOSE #2
830 'PRINT "PROGRAM COMPLETED, PRESS ANY KEY TO END"
840 A$ = INKEY$: IF A$ = " " THEN 840
850 IF A$ = "r" OR A$ = "R" THEN LOCATE 14, 1:
    PRINT STRING$(70, 0): GOTO 225 'REPEAT DATA BASE CALC.
860 IF A$ = "e" OR A$ = "E" THEN CLS : GOTO 1000
870 GOTO 830
1000 END ' END OF RAD_REL.BAS

```

'Subroutine for entering RR route latitude

```

1650 LOCATE 4, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 5, 1:
    PRINT STRING$(20, 0)
1660 LOCATE 4, 1: PRINT "1) ENTER NETWORK LATITUDE (15 to 70) "
1670 INLEN% = 6: GOSUB 14000
1680 LATREF = VAL(BUFF$)
    'LATREF is the latitude at the centre of the trend line
1690 IF (LATREF > 70! OR LATREF < 15!) THEN LOCATE 22, 1:
    PRINT "Out of Range, RE-ENTER, ": FOR C = 1 TO 100000:
    NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 1650
1695 RETURN

```

'Subroutine for entering frequency of operation

```

1700 LOCATE 6, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 7, 1:
    PRINT STRING$(20, 0)
1710 LOCATE 6, 1: PRINT "2) ENTER TRANSMIT CARRIER FREQUENCY <GHz>"
1720 INLEN% = 6: GOSUB 14000
1730 FREQ = VAL(BUFF$)'FREQ = FREQUENCY OF SHARING SCENARIO IN GHZ
1740 IF FREQ <= 0! OR FREQ > 100! THEN LOCATE 22, 1:
    PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER, ": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
    LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): GOTO 1700
1745 RETURN

```

'Subroutine - enter RR receiver noise temp.

```

1750  LOCATE 8, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 9, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

1760  LOCATE 8, 1:
      PRINT "3) ENTER AVE. VALUE OF RR RECEIVER NOISE TEMP <DEG
      KELVIN>"

1770  INLEN% = 6: GOSUB 14000

1780  NTEMP = VAL(BUFF$)'NTEMP=NOISE TEMP OF RR RECEIVERS

1790  IF NTEMP <= 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER,": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): GOTO 1750

1795  RETURN

```

'Subroutine - enter RR receive antenna gain and calculate intermediate parms.

```

1800  LOCATE 10, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 11, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

1805  LOCATE 10, 1:
      PRINT "4) ENTER MAX RADIO-RELAY RECEIVE ANTENNA DB GAIN"

1810  INLEN% = 6: GOSUB 14000

1820  GMAX = VAL(BUFF$)'GMAX is MAX RR rec. Antenna gain

1830  IF GMAX < 0 OR GMAX > 99 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 1800

1840  DLAMBDA = 10 ^ ((GMAX - 7.7) / 20)
      'DLAMBDA=RATIO OF REC. ANT DIA./ WAVELENGTH

1850  G1 = 2 + 15 * (LOG(DLAMBDA) / LOG(10))
      'PRINT "DLAMBDA="; DLAMBDA

1860  PHYM = (20 / DLAMBDA) * (GMAX - G1) ^ .5

1870  RETURN

```

' This Subroutine to calculate RR/sat elevation and separation angles and interference

```

2360  W = (LONS - LONGR):
      ASAT = ATN((TAN(W * RA)) / SIN(LATR * RA)): ASAT1 = ASAT
      '
      ASAT=AZMUTH ANGLE TO SUBSAT REFERENCED TO SOUTH

2370  U = COS(LATR * RA) * COS(W * RA):
      BETA = ATN((1 - U * U) ^ .5 / U)

2380  OMEGA = ATN(SIN(BETA) / (K - COS(BETA)))

2390  THETAR = PI2 - (BETA + OMEGA): THETA = THETAR * DE
      THETA=ELEVATION ANGLE TO SAT FROM RR

2400  VW = (COS(THETAR)) * COS(ASAT - RRD):
      GAMMAW = (PI2 - ATN(VW/SQR (1 - VW * VW))) * DE
      '
      GAMMAW = ANGLE BETWEEN SATELLITE AND WEST POINTING RECEIVER

2415  GAMMAE = 180 - GAMMAW
      '
      GAMMAE = ANGLE BETWEEN SATELLITE AND EAST POINTING RECEIVER

2420  IF GAMMAW < 0 THEN GAMMAW = 180 + GAMMAW

2425  IF GAMMAE < 0 THEN GAMMAE = 180 + GAMMAE

```

```

2430 IF (GAMMAW <= AVOID) OR (GAMMAE <= AVOID) THEN RETURN
2440 IF THETA >= 0 AND THETA < 5 THEN PFD = PFDL: GOTO 2500
2450 IF THETA >= 5 AND THETA < 25 THEN
PFD = (10 ^ (PFL * .1 + PF * (THETA - 5))): GOTO 2500
2460 IF THETA >= 25 THEN PFD = PFDH
2500 IF GAMMAW >= 0 AND GAMMAW <= PHYM THEN GTHETAW
= 10 ^ (.1 * (GMAX - .0025 * (DLAMBDA * GAMMAW) ^ 2)):
GOTO 2540
2510 IF GAMMAW >= PHYM AND GAMMAW < (100 / DLAMBDA) THEN
GTHETAW = 10 ^ (.1 * G1): GOTO 2540
2520 IF GAMMAW >= (100 / DLAMBDA) AND GAMMAW < 48 THEN
GTHETAW = 10 ^ (.1 * (52 - 10 * (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10) -
25 * (LOG(GAMMAW)) / LOG(10))): GOTO 2540
2530 IF GAMMAW >= 48 AND GAMMAW ≤ 180 THEN
GTHETAW = 10 ^ (1 - (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10))
2540 SINTW = MU * PFD * GTHETAW:
IF N > 0 THEN A(M, N) = A(M, N) + SINTW
'
SINTW = INTEFERENCE INTO WEST POINTING RECEIVERS
2550 IF GAMMAE >= 0 AND GAMMAE <= PHYM THEN GTHETAE
= 10 ^ (.1 * (GMAX - .0025 * (DLAMBDA * GAMMAE) ^ 2)):
GOTO 2590
2560 IF GAMMAE >= PHYM AND GAMMAE < (100 / DLAMBDA) THEN
GTHETAE = 10 ^ (.1 * G1): GOTO 2590
2570 IF GAMMAE >= (100 / DLAMBDA) AND GAMMAE < 48 THEN
GTHETAE = 10 ^ (.1 * (52 - 10 * (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10) -
25 * (LOG(GAMMAE)) / LOG(10))): GOTO 2590
2580 IF GAMMAE >= 48 AND GAMMAE ≤ 180 THEN
GTHETAE = 10 ^ (1 - (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10))
2590 SINTE = MU * PFD * GTHETAE: IF N < 50 THEN
C(M, N) = C(M, N) + SINTE
'
SINTE = INTERFERENCE INTO EAST POINTING RECEIVERS
2600 RETURN

```

'Subroutine - ALLOWS ENTRY OF # RR ROUTES (RTS)

```

3000 LOCATE 12, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 13, 1:
PRINT STRING$(20, 0)
3010 LOCATE 12, 1:
PRINT "5) ENTER NUMBER OF RADIO-RELAY ROUTES <300 MAX>"
3020 INLEN% = 3: GOSUB 14000
3030 RTS = VAL(BUFF$)
3033 IF RTS > 300 OR RTS < 1 THEN LOCATE 22, 1:
PRINT "Out of Range, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 3000
3035 IF RTS <= 300 THEN RTS = RTS - 1: RETURN

```

'Subroutine to specify orbit avoidance

```

4000  LOCATE 14, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 15, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

4040  LOCATE 14, 1:
      PRINT "6) ENTER ORBIT AVOIDANCE ANGLE, DEG. <ENTER>"

4050  INLEN% = 4: GOSUB 14000

4060  AVOID = VAL(BUFF$)

4070  IF AVOID < 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "Out of Range, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 4000

4080  RETURN

```

'Subroutine to determine satellite orbit separation

```

5000  LOCATE 16, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 17, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

5010  LOCATE 16, 1:
      PRINT "7) ENTER SATELLITE ORBIT SEPARATION (2 MIN), DEG.
      <ENTER>"

5060  INLEN% = 5: GOSUB 14000

5070  SEP = VAL(BUFF$)

5080  IF SEP < 2 THEN LOCATE 22, 1: PRINT "Out of Range, RE-ENTER":
      FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0):
      GOTO 5000

5090  RETURN

```

'Subroutine - Enter low/high angle pfd value

```

6000  LOCATE 18, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 19, 1:
      PRINT STRING$(20, 0): LOCATE 20, 1: PRINT STRING$(78, 0):
      LOCATE 21, 1: PRINT STRING$(20, 0)

6010  LOCATE 18, 1:
      PRINT "8A) ENTER MAXIMUM LOW ANGLE (0 <= THETA < 5°) PFD
      LEVEL"

6020  INLEN% = 5: GOSUB 14000

6030  PFL = VAL(BUFF$)

6040  IF PFL > 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, ENTER NEGATIVE VALUE":
      FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(50, 0):
      GOTO 6000

```

' - Enter high angle pfd value

```

6500  LOCATE 20, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 21, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

6510  LOCATE 20, 1:
      PRINT "8B) ENTER MAXIMUM HIGH ANGLE ( THETA >= 25°)
      PFD LEVEL"

6520  INLEN% = 5: GOSUB 14000

6530  PFH = VAL(BUFF$)

```

```

6540  IF PFH > 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, ENTER NEGATIVE VALUE":
      FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(50, 0):
      GOTO 6500

6545  PF = .005 * (PFH - PFL): PFDL = 10 ^ (.1 * PFL):
      PFDH = 10 ^ (.1 * PFH)

6550  RETURN

7000  LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 23, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

7010  LOCATE 22, 1:
      PRINT "REVISIONS? ENTER '1 - 8' OR '0' IF NONE "

7020  A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 7020

7030  IF A$ = "0" OR A$ = CHR$(13) THEN RETURN

7040  IF A$ = "1" THEN GOSUB 1650: GOTO 7000

7050  IF A$ = "2" THEN GOSUB 1700: GOTO 7000

7060  IF A$ = "3" THEN GOSUB 1750: GOTO 7000

7070  IF A$ = "4" THEN GOSUB 1800: GOTO 7000

7080  IF A$ = "5" THEN GOSUB 3000: GOTO 7000

7090  IF A$ = "6" THEN GOSUB 4000: GOTO 7000

7100  IF A$ = "7" THEN GOSUB 5000: GOTO 7000

7110  IF A$ = "8" THEN GOSUB 6000: GOTO 7000

7200  GOTO 7000

'Subroutine for entering numeric data

14000  TRUE = -1: FALSE = 0'Formatted numeric input subroutine

14005  POINT. = FALSE: DEC.CNT = 0: BUFF$ = " ":
      ERA$ = CHR$(29) + CHR$(95) + CHR$(29):
      PRINT STRING$(INLEN%, CHR$(95)); STRING$(INLEN%, CHR$(29));

14010  W$ = INPUT$(1): IF W$ >= "0" AND W$ <= "9" THEN 14100

14020  IF W$ <> CHR$(8) THEN 14040

14030  IF BUFF$ = "" THEN 14010 ELSE W$ = RIGHT$(BUFF$, 1):
      BUFF$ = LEFT$(BUFF$, LEN(BUFF$) - 1): PRINT ERA$: :
      IF W$ = "." THEN POINT. = FALSE: DEC.CNT = 0

14035  IF POINT. THEN DEC.CNT = DEC.CNT - 1: GOTO 14010 ELSE 14010

14040  IF W$ = CHR$(13) THEN RETURN

14070  IF W$ = "." THEN IF POINT. THEN 14010 ELSE IF
      LEN(BUFF$) = INLEN% THEN 14010 ELSE POINT. = TRUE: GOTO 14100

14080  IF W$ = "-" OR W$ = "+" THEN IF BUFF$ > " " THEN
      14010 ELSE 14100

14090  GOTO 14010

14100  IF LEN(BUFF$) = INLEN% OR DEC.CNT = 3 THEN
      14010 ELSE PRINT W$: : BUFF$ = BUFF$ + W$:
      IF POINT. THEN DEC.CNT = DEC.CNT + 1: GOTO 14010 ELSE 14010

```

'Subroutine - Enter alphanumeric data (not used)

```
14300 BKSPC$ = CHR$(8): CR.RET$ = CHR$(13):  
      ERA$ = CHR$(29) + " " + CHR$(29) 'String input routine  
14305 BUFF$ = " "  
14310 W$ = INPUT$(1): IF W$ >= "a" AND W$ <= "z" THEN  
      W$ = CHR$(ASC(W$) - 32): GOTO 14350  
14315 IF W$ >= " " AND W$ <= CHR$(127) THEN 14350  
14320 IF W$ = BKSPC$ THEN IF BUFF$ = " " THEN 14310 ELSE  
      BUFF$ = LEFT$(BUFF$, LEN(BUFF$) - 1): PRINT ERA$; :  
      GOTO 14310  
14340 IF W$ = CR.RET$ THEN RETURN ELSE 14310  
14350 IF LEN(BUFF$) = INLEN% THEN 14310 ELSE PRINT W$; :  
      BUFF$ = BUFF$ + W$: GOTO 14310
```

---