

PODER EJECUTIVO

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

NORMA Oficial Mexicana NOM-088/2-SCT1-2002, Telecomunicaciones-Radiocomunicación-Equipos de microondas para sistemas del servicio fijo multicanal punto a punto y punto a multipunto-Parte II: Transporte.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes.- Comisión Federal de Telecomunicaciones.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-088/2-SCT1-2002, TELECOMUNICACIONES-RADIOCOMUNICACION-EQUIPOS DE MICROONDAS PARA SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO MULTICANAL PUNTO A PUNTO Y PUNTO A MULTIPUNTO- PARTE II: TRANSPORTE.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, por conducto de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, con fundamento en los artículos 16, 17 y 36 fracción XII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 7 fracción III de la Ley Federal de Telecomunicaciones; 1o., 38 fracción II, 40 fracciones XIII y XVI, 41 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 37 bis fracciones I y XXVIII del Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; segundo fracción I y quinto fracción IV del Decreto por el que se crea la Comisión Federal de Telecomunicaciones; por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones de fecha 11 de septiembre de 2002; y de conformidad con el Acuerdo número P/040303/16 de fecha 4 de marzo de 2003, expide la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-088/2-SCT1-2002, Telecomunicaciones -Radiocomunicación-Equipos de microondas para sistemas del servicio fijo multicanal punto a punto y punto a multipunto-Parte II: Transporte.

México, D.F., a 4 de marzo de 2003.- El Presidente de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, **Jorge Arredondo Martínez.**- Rúbrica.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM088/2-SCT1-2002,
TELECOMUNICACIONES-RADIOCOMUNICACIONES -EQUIPOS DE MICROONDAS PARA
SISTEMAS FIJO MULTICANAL PUNTO A PUNTO Y PUNTO A MULTIPUNTO -PARTE II:
TRANSPORTE**

TELECOMMUNICATIONS -RADIOCOMMUNICATIONS-MICROWAVE EQUIPMENTS FOR FIXED
MULTICHANNEL POINT TO POINT AND POINT TO MULTIPPOINT SYSTEMS-SECTION II:
TRANSPORTATION NETWORK

PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

- ALCATEL INDETEL
- AVANTEL
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA ELECTRONICA DE TELECOMUNICACIONES E INFORMATICA, A.C. (CANIETI)
- COLEGIO DE INGENIEROS MECANICOS Y ELECTRICISTAS, A.C. (CIME)
- ERICSSON TELECOM, S.A. DE C.V.
- IUSACELL
- MIDITEL
- NEC DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- NORMALIZACION Y CERTIFICACION ELECTRONICA, A.C. (NYCE)
- OPERADORA UNEFON
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT)
- COMISION FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES (COFETEL)
- SERVICIOS ALESTRA, S. DE R.L. DE C.V.

INDICE

- 0. Introducción
- 1. Objetivo y campo de aplicación
- 2. Referencias
- 3. Símbolos y abreviaturas
- 4. Terminología
 - 4.1 Ancho de banda de referencia
 - 4.2 Banda de frecuencias
 - 4.3 Canal adyacente
 - 4.4 Canal radioeléctrico
 - 4.5 Decibel
 - 4.5.1 Bel
 - 4.5.2 Decibel
 - 4.5.3 dBc
 - 4.5.4 dBi
 - 4.5.5 dBm
 - 4.5.6 dBW
 - 4.6 Emisión
 - 4.7 Emisiones no esenciales
 - 4.8 Enlace radioeléctrico
 - 4.9 Equipo bajo prueba
 - 4.10 Factor de forma del filtro del receptor de medición
 - 4.11 Frecuencia intermedia
 - 4.12 Ganancia de la antena
 - 4.13 p.i.r.e
 - 4.14 Potencia máxima de transmisión
 - 4.15 Potencia media P
 - 4.16 Radiación radioeléctrica
 - 4.17 Tolerancia de frecuencia
- 5. Especificaciones
 - 5.1 Bandas de frecuencia específicas en 7 GHz/10,5 GHz/15 GHz/23 GHz y 38 GHz
 - 5.2 Emisiones no esenciales
 - 5.3 Potencia máxima de salida del transmisor
 - 5.4 Tolerancia de frecuencia
- 6. Métodos de prueba
 - Medición de bandas
 - Condiciones previas que deben de guardar los equipos
 - 6.1 Frecuencia de operación y separación entre canales de la banda 2 300 MHz -2 450 MHz
 - 6.1.1 Procedimiento
 - 6.2 Emisiones no esenciales
 - 6.2.1 Equipo empleado
 - 6.2.2 Métodos de medición
 - 6.2.2.1 Medición de la potencia de las emisiones no esenciales aplicada a la terminal de la antena.
 - 6.2.2.2 Medición de la p.i.r.e. de las emisiones no esenciales
 - 6.3 Potencia media
 - 6.3.1 Procedimiento
 - 6.4 Tolerancia de frecuencia
 - 6.4.1 Procedimiento

7. Bibliografía
8. Concordancia con normas internacionales
9. Evaluación de la conformidad y vigilancia de cumplimiento

APENDICE A. Plano de tierra

APENDICE B. Procedimiento de validación del sitio de prueba al aire libre para el intervalo de frecuencia de 30 MHz a 1 000 MHz

APENDICE C. Base para el criterio de 4 dB para la aceptación del sitio

0. Introducción

El continuo desarrollo de las telecomunicaciones en el país, aunado al incremento de su población, así como de las compañías que demanda la transferencia de información han sido factores determinantes en la creciente demanda de los enlaces de microondas para enlaces punto a punto en las bandas licitadas.

Su instalación, operación y explotación requieren de un instrumento normativo que establezca las especificaciones técnicas que permitan la optimización del servicio a fin de contribuir al uso eficiente del espectro radioeléctrico

Los enlaces de microondas para enlaces punto a punto en México, utilizan dos clases de tecnología la denominada analógica y la actualmente más utilizada digital. Esta última mejora las características de operación de los equipos, optimizando la transmisión de las señales de voz, datos, imágenes, etcétera, entre las que podemos mencionar la relación portadora/interferencia (C/I), susceptibilidad a la distorsión, la capacidad de una red para enlaces punto a punto y/o punto a multipunto y la regulación de la potencia de transmisión.

El desarrollo, implantación y operación de los sistemas de radiocomunicación del servicio fijo multicanal denominado comúnmente microondas es de gran trascendencia para el desarrollo socioeconómico, cultural, político, etcétera, de un país, ya que llevan las comunicaciones antes señaladas, utilizando tecnologías que proporcionan cada día un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, reduciendo los anchos de banda necesarias, las potencias de operación, optimizando la relación portadora/ruido, diseñando los equipos menos susceptibles al desvanecimiento por trayectos múltiples y utilizando técnicas de modulación multiestados.

Por lo anterior la Secretaria de Comunicaciones y Transportes edita la Norma Oficial Mexicana para Telecomunicaciones -Radiocomunicaciones-Equipos de microondas para sistemas fijos multicanal punto a punto y punto a multipunto. La presente es un instrumento dinámico, por lo que debe de ser actualizada de acuerdo al avance de la ciencia y de las telecomunicaciones.

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y sus correspondientes métodos de prueba que deben cumplir los equipos de radiocomunicación de microondas a utilizar para sistemas fijo multicanal punto a punto y punto multipunto que operan en las bandas de:

a) 7 GHz

7,1245 GHz-7,2365 GHz/7,2855 GHz -7,3975 GHz

7,4525 GHz-7,5645 GHz/7,6135 GHz -7,7255 GHz

b) 10,5 GHz

10,1500 GHz -10,3000 GHz/10,5000 GHz -10,6500 GHz

c) 15 GHz

14,5010 GHz -14,5850 GHz/15,2290 GHz -15,3130 GHz

14,6480 GHz -14,8440 GHz/14,9630 GHz -15,1590 GHz

d) 23 GHz

21,2275 GHz -21,6475 GHz/22,4595 GHz -22,8795 GHz

21,8000 GHz -22,3000 GHz/23,0000 GHz -23,5000 GHz

e) 38 GHz

37,0580 GHz -37,2260 GHz/38,3180 GHz -38,4860 GHz

2. Referencias

Esta Norma se complementa con la siguiente Norma Oficial Mexicana vigente:

3. Símbolos y abreviaturas

Para los efectos de la presente Norma se establecen los siguientes símbolos y abreviaturas:

| Abreviaturas | Significado |
|--------------|---|
| dBc | Decibeles relativos a la portadora |
| dBi | Decibeles relativos a una antena isotrópica |
| dBm | Decibeles relativos a 1 mW |
| dBW | Decibeles relativos a 1 W |
| EBP | Equipo bajo prueba |
| FI | Frecuencia intermedia |
| G | Ganancia |
| p.i.r.e | potencia isotrópica radiada equivalente |
| ppm | partes por millón |
| RF | Radiofrecuencia |

Las designaciones de las unidades que aparecen en esta Norma deben ser de acuerdo con lo establecido en la NOM-008-SCFI.

4. Terminología

Para los efectos de la presente Norma se establecen los siguientes términos y sus definiciones.

4.1 Ancho de banda de referencia

Ancho de banda en el que se especifican los niveles de las emisiones no esenciales.

4.2 Banda de frecuencias

Conjunto continuo de frecuencias comprendidas entre dos frecuencias identificadas como límite inferior y superior.

4.3 Canal adyacente

Canal radioeléctrico que en el espectro de frecuencias está inmediatamente por encima o por debajo del canal radioeléctrico considerado.

4.4 Canal radioeléctrico

Parte del espectro radioeléctrico que se destina para una emisión y que puede definirse por su frecuencia central y el ancho de banda asociado.

4.5 Decibel

4.5.1 Bel

El bel, de símbolo B, sirve para expresar la relación entre dos potencias mediante el logaritmo decimal de esta relación. Tal unidad, caída en desuso, apenas se utiliza. En la práctica, se emplea el *decibel*, de símbolo dB, que es la décima parte del bel.

4.5.2 Decibel

El decibel permite expresar la relación entre dos magnitudes de campo, como una tensión, una corriente, una presión acústica, un campo eléctrico, una velocidad o una densidad de carga, cuyo cuadrado es proporcional a una potencia en los sistemas lineales. Para obtener el mismo valor numérico que con una relación de potencias, el logaritmo de la relación de las magnitudes de campo se multiplica por el factor 20, suponiendo que las impedancias sean iguales.

La correspondencia entre una relación de corrientes o de tensiones y la de las potencias respectivas, depende de las impedancias. Por consiguiente, si las impedancias no son iguales, no conviene utilizar el decibel a menos que se incluyan los datos relativos a las mismas.

Por ejemplo, si P_1 y P_2 son dos potencias, su relación expresada en decibeles es:

$$10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

Si P_1 y P_2 representan las potencias disipadas por las corrientes I_1 e I_2 en las resistencias R_1 y R_2 :

$$10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \log_{10} \frac{I_1^2 R_1}{I_2^2 R_2} = 20 \log_{10} \frac{I_1}{I_2} + 10 \log_{10} \frac{R_1}{R_2}$$

4.5.3 dBc

Decibeles relativos a la potencia de la portadora sin modular de la emisión. En los casos en que no haya portadora, como por ejemplo en algunos esquemas de modulación digital en los que la portadora no es accesible a los fines de medición, el nivel de referencia equivalente a dBc son decibeles relativos a la potencia media P .

4.5.4 dBi

Es una expresión utilizada para indicar la ganancia de la antena con relación a la antena isotrópica.

4.5.5 dBm

Es aquél cuyo nivel cero de referencia está basado en 1mW a través de una resistencia de carga especificada.

4.5.6 dBW está basado en un watt, o sea que su nivel cero de referencia se relaciona con esa potencia.

4.6 Emisión

Radiación radioeléctrica producida por una estación transmisora radioeléctrica.

4.7 Emisiones no esenciales

Emisión de una o varias frecuencias situadas fuera del ancho de banda necesario, cuyo nivel puede reducirse sin afectar la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de conversión de frecuencia están comprendidos dentro de las emisiones no esenciales, pero están excluidas las emisiones fuera de banda.

4.8 Enlace radioeléctrico

Medio de telecomunicación de características específicas entre dos puntos, que utiliza ondas radioeléctricas.

4.9 Equipo bajo prueba

Equipo representativo que se usa para propósitos de evaluación de esta Norma.

4.10 Factor de forma del filtro del receptor de medición

El factor de forma es un parámetro de selectividad de un filtro paso banda y generalmente se define como la relación del ancho de banda de rechazo deseado con respecto al ancho de banda de paso deseada. En un filtro ideal esta relación sería igual a 1. Sin embargo, los filtros prácticos tienen una caída de atenuación alejada de ese valor ideal. Por ejemplo, los analizadores de espectro que se aproximan a los filtros gaussianos por la utilización de filtros de sintonía múltiple para responder a señales cuando se encuentran en el modo barrido, definen típicamente una relación de -60 dB a -3 dB que varía de 5:1 a 15:1.

4.11 Frecuencia intermedia

Frecuencia resultante de la mezcla o combinación de la señal recibida y una señal de origen local y, por lo general, igual a la diferencia entre las frecuencias de dichas señales.

4.12 Ganancia de la antena

La relación que existe entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión, para que ambas antenas produzcan, en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma intensidad de flujo de potencia a la misma distancia, expresada en decibeles.

4.13 p.i.r.e

Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia con relación a una antena isotrópica en una dirección dada (ganancia isotrópica o absoluta).

4.14 Potencia máxima de transmisión

El nivel máximo de la potencia suministrada a una antena por un transmisor que opere en estas bandas
7 GHz/10,5 GHz/15 GHz/23 GHz/y 38 GHz.

4.15 Potencia media P

Potencia media (de un transmisor radioeléctrico): la media de la potencia suministrada a la línea de alimentación de la antena por un transmisor en condiciones normales de funcionamiento, evaluada durante un intervalo de tiempo suficientemente largo comparado con el periodo correspondiente a la frecuencia más baja que existe realmente como componente en la modulación.

4.16 Radiación radioeléctrica

Flujo saliente de energía de una fuente cualquiera en forma de ondas radioeléctricas.

4.17 Tolerancia de frecuencia

Desviación máxima admisible entre la frecuencia asignada y la situada en el centro de la banda de frecuencias ocupada por una emisión, o entre la frecuencia de referencia y la frecuencia característica de una emisión.

5. Especificaciones

5.1 Bandas de frecuencia específicas en 7 GHz/10,5 GHz/15 GHz/23 GHz y 38 GHz.

a) 7 GHz

7,1245 GHz-7,2365 GHz/7,2855 GHz - 7,3975 GHz

7,4525 GHz-7,5645 GHz/7,6135 GHz - 7,7255 GHz

b) 10,5 GHz

10,1500 GHz - 10,3000 GHz/10,5000 GHz - 10,6500 GHz

c) 15 GHz

14,5010 GHz - 14,5850 GHz/15,2290 GHz - 15,3130 GHz

14,6480 GHz - 14,8440 GHz/14,9630 GHz - 15,1590 GHz

d) 23 GHz

21,2275 GHz - 21,6475 GHz/22,4595 GHz - 22,8795 GHz

21,8000 GHz - 22,3000 GHz/23,0000 GHz - 23,5000 GHz

e) 38 GHz

37,0580 GHz - 37,2260 GHz/38,3180 GHz - 38,4860 GHz

Comprobándose con lo establecido en el método de prueba 6.1.

5.2 Emisiones no esenciales

El valor límite máximo permisible es:

70 dBc o $43 + 10 \log(P)$

En donde P es la potencia media expresada en watts.

Comprobándose con lo establecido en el método de prueba 6.2.

5.3 Potencia media

Banda de 7 GHz Tx: 2 W

Banda de 10,5 GHz

Estación Base Tx: 4 W

Terminal Tx: 500 mW

Banda de 15 GHz Tx: 1 W

Banda de 23 GHz Tx: 1 W

Banda de 38 GHz Tx: 1 W

Comprobándose con lo establecido en el método de prueba 6.3.

5.4 Tolerancia de frecuencia

La tolerancia de frecuencia es de ± 20 ppm para los equipos transmisores.

Comprobándose con lo establecido en el método de prueba 6.4.

6. Métodos de prueba

Las mediciones se deben efectuar en un sitio de pruebas y condiciones de operación normalizados.

Para las mediciones de potencia y emisiones no esenciales se debe considerar la atenuación debida a los cables, conectores y el atenuador.

Condiciones normalizadas

Condiciones atmosféricas normalizadas para las mediciones y las pruebas.

El intervalo normalizado de las condiciones atmosféricas para la ejecución de mediciones y pruebas es la señalada en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones atmosféricas normalizadas

| Temperatura | Humedad relativa |
|----------------|------------------|
| De 15°C a 35°C | De 25% a 75% |

El equipo que puede ser utilizado en cada medición es el que se indica en la tabla 2:

Tabla 2. Equipo de medición

| Mediciones Equipo | Emisiones no esenciales | Potencia media | Tolerancia de frecuencia | Frecuencia de operación |
|---|-------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| - Cables y conectores | SI | SI | SI | SI |
| - Atenuador/Acoplador o equipo similar (según el EBP) | SI | SI | SI | SI |
| - Antena caracterizada (patrón) | SI | NO | NO | SI |
| - Medidor de frecuencias | NO | NO | SI | NO |
| - Medidor de Potencia | NO | SI | NO | NO |
| - Analizador de espectro | SI | SI | SI | SI |

Condiciones previas que deben de guardar los equipos.

Para frecuencia de operación y tolerancia de frecuencia, la exactitud en frecuencia del equipo de medición debe de mantener una relación 2:1 o mejor.

Para la medición de potencia media y emisiones no esenciales, la exactitud en nivel debe ser al menos $\pm 0,4\text{dBm}$.

Los EBP y de medición deben mantenerse encendidos durante el tiempo previo a las pruebas recomendado por el fabricante en su manual. En el caso de que este tiempo no sea especificado, los equipos deben de estar encendidos al menos durante 30 minutos antes de realizar las pruebas.

6.1 Frecuencia de operación

Las mediciones se deben efectuar en un sitio de pruebas y condiciones de operación normalizados.

6.1.1. Procedimiento

- Armar el arreglo mostrado en la figura 1.
- Seleccionar cada uno de los canales correspondientes a las bandas de frecuencia de 7 GHz, 10,5 GHz, 15 GHz, 23 GHz y 38 GHz, verificando el cumplimiento de la frecuencia de operación dependiendo de la banda, el ajuste de las frecuencias en el EBP.

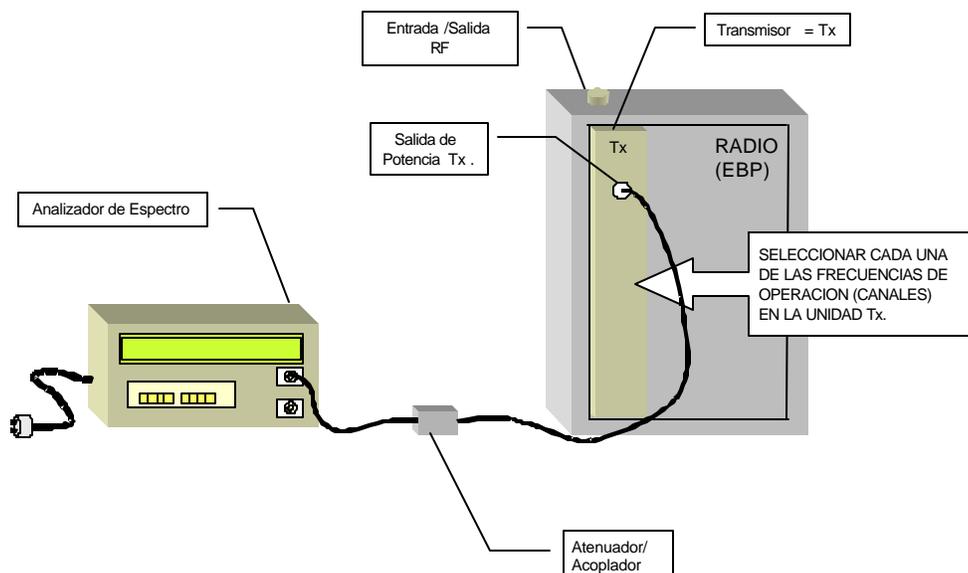


Figura 1. Configuración para bandas y tolerancia de frecuencia

Método 2 (opcional).

Medición de frecuencias de operación después de la antena (radiada).

Consideraciones

En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques del arreglo de prueba para la medición de la p.i.r.e.

- Se fija la imagen del equipo de medición y se busca el pico máximo en la gráfica del analizador y se toma la lectura correspondiente en frecuencia.

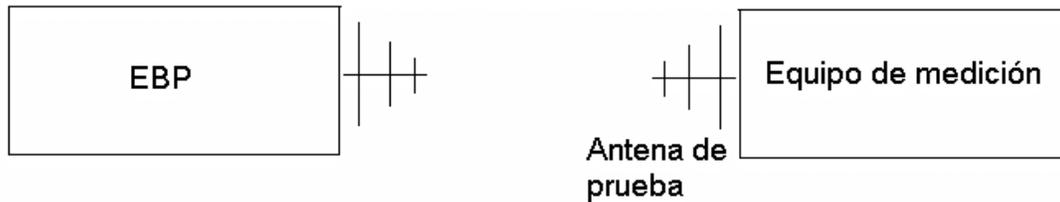


Figura 2. Configuraciones básicas para mediciones del método opcional

Los resultados de esta prueba deben cumplir con lo especificado en el punto 5.1.

6.2 Emisiones no esenciales

Las mediciones se deben efectuar en un sitio de pruebas y condiciones de operación normalizados.

6.2.1 Equipo empleado

- Analizador de espectro con funciones de ponderación media pico, ancho de banda de referencia de 1 MHz.

Ancho de banda de resolución.

Como regla general, los anchos de banda de resolución (medida en los puntos de -3 dB del filtro de FI final) del receptor de medición debe ser igual al ancho de banda de referencia señalado en el párrafo anterior.

Los anchos de banda de resolución deben estar cercanos a los valores recomendados. Se debe introducir un factor de corrección que depende del ancho de banda de resolución real del receptor de medición (por ejemplo, ancho de banda de resolución de -6 dB) y de la naturaleza de la emisión no esencial medida (por ejemplo señales de pulsos o ruido gaussiano).

Ancho de banda de video

El ancho de banda de video debe tener como mínimo la amplitud del ancho de banda de resolución, y ser preferiblemente tres a cinco veces más amplio que el ancho de banda de resolución.

- Filtro de rechazo de la frecuencia fundamental

La relación de potencia de la frecuencia fundamental y la potencia de las emisiones no esenciales puede estar en el orden de 70 dB o más. Una relación de este orden puede producir a menudo no linealidades en el receptor selectivo. Por consiguiente, se requiere un filtro para atenuar la frecuencia fundamental a la entrada del dispositivo de medición (si la frecuencia de la emisión no esencial no está demasiado cercana a la frecuencia fundamental). Para intervalos de frecuencias muy por encima de la frecuencia fundamental (para frecuencias armónicas por ejemplo), es también posible utilizar un filtro paso banda o paso alto. La pérdida de inserción de este filtro para frecuencias de emisión no esenciales no debe ser demasiado elevada. Sin embargo, la respuesta de frecuencia del filtro debe estar muy bien caracterizada.

Los filtros de rechazo de circuitos concentrados de frecuencia variable típicos en la gama de ondas métricas/decimétricas sólo tienen una pérdida de inserción de 3 dB a 5 dB, y menor, alrededor de 2 dB a 3 dB de pérdida por encima de 1 GHz.

Se dispone de filtros de cavidad paso banda de cuarto de onda sintonizables para intervalos de frecuencias por encima de 50 MHz debido a su tamaño físico, y poseen pérdidas de inserción del orden de menos de 1 dB. Los filtros de muesca de cavidad tendrán aproximadamente la misma pérdida una vez que la frecuencia de interés esté alejada más de 10% aproximadamente de la frecuencia de la muesca.

Los receptores que deben cubrir muchas bandas requieren generalmente filtrado variable que efectúa el seguimiento de la frecuencia sintonizada del sistema que se somete a la medición. Los tipos de filtros variables que son adecuados para la medición de emisiones no esenciales son sintonizadores varactores o filtros YIG (granate de hierro e itrio). Estos filtros tienen más pérdida de inserción que los filtros fijos, pero tienen menor banda de paso lo que permite la medición de las señales que se encuentra más cerca de las frecuencias del transmisor.

Los sintonizadores varactores se recomiendan típicamente para frecuencias entre 50 MHz y 1 GHz. Proporcionan un ancho de banda de 3 dB que es de alrededor de 5% de la frecuencia sintonizada y tiene una pérdida de inserción de unos 5 dB a 6 dB.

Los filtros YIG se recomiendan típicamente para frecuencias entre 1 GHz y 18 GHz aproximadamente. Proporcionan un ancho de banda de 3 dB que es de 15 MHz a 2 GHz RF y de 30 MHz de ancho a 18 GHz RF. La pérdida de inserción es de 6 dB a 8 dB.

- Dispositivo de acoplamiento

Las mediciones se efectúan utilizando un acoplador direccional con capacidad para manejar la potencia de la emisión fundamental. La impedancia de este acoplador se debe adaptar a la impedancia del transmisor en la frecuencia fundamental.

- Carga terminal

Si para medir la potencia de las emisiones no esenciales se utiliza el procedimiento del punto 6.2.2.1, el transmisor se debe conectar a una carga de prueba o carga terminal. El nivel de la emisión no esencial depende de la adaptación de impedancias adecuada entre la etapa final del transmisor, la línea de transmisión y la carga de prueba.

- Antena de medición

Las mediciones se efectúan con una antena dipolo sintonizada o una antena de referencia con una ganancia conocida referida a una antena isotrópica.

- Condición de modulación

Toda vez que sea posible, las mediciones se deben efectuar con la máxima modulación nominal en condiciones normales de funcionamiento. Algunas veces puede ser útil comenzar las mediciones sin aplicar modulación con el fin de detectar algunas frecuencias no esenciales concretas. En este caso, se debe señalar que no todas las frecuencias de emisiones no esenciales se pueden detectar y la modulación aplicada puede producir otros componentes de frecuencias no esenciales.

- Limitaciones de la medición

- Limitaciones de ancho de banda

Los límites de $\pm 250\%$ del ancho de banda necesario determinan el comienzo de la banda de frecuencias de medición para las emisiones no esenciales como se menciona más adelante. En algunos casos esto no es posible pues se pueden producir errores de medición importantes debido a la inclusión de emisiones distintas a las no esenciales. A fin de establecer nuevos límites para el ancho de banda de medición de emisiones no esenciales, se puede justificar una nueva separación de frecuencias distinta de $\pm 250\%$ del ancho de banda necesaria. Alternativamente, se puede utilizar un ancho de banda de menor resolución con el $\pm 250\%$ del ancho de banda necesaria.

El nuevo límite y ancho de banda de resolución se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ancho de banda de resolución} \times [(\text{Factor de forma} - 1)] \leq 2 [(\text{Límite fuera de banda}) - (\text{Ancho de banda necesario})/2]$$

De la expresión anterior surge claramente que si el ancho de banda de resolución no varía se debe calcular un nuevo límite fuera de banda. El caso opuesto también es verdadero.

Sea una señal con un ancho de banda necesario de 16 kHz, y un límite fuera de banda de $\pm 250\%$ (es decir 40 kHz) que no puede ser modificado. Si el filtro de medición de ancho de banda de resolución tiene un factor de forma de 15:1 y el rechazo requerido de la potencia en banda de la portadora es de 60 dB, el ancho de banda de resolución será de 4,5 kHz aproximadamente, aplicando la siguiente relación:

$$\text{Ancho de banda de resolución requerido} \leq 2 [(\text{Límite fuera de banda}) - (\text{Ancho de banda necesario})/2] / (\text{Factor de forma} - 1)$$

por tanto:

$$\text{Ancho de banda de resolución requerido} \leq 2 (40 - 16/2) / (15 - 1)$$

por consiguiente:

$$\text{Ancho de banda de resolución requerido} < 4,5 \text{ kHz}$$

Por otra parte, dada la misma señal y parámetros del receptor de medición, si el ancho de banda de resolución se fija en 100 kHz se calcula entonces un nuevo límite fuera de banda reordenando la fórmula precedente. En este caso, si el ancho de banda de resolución se fija en 100 kHz, el nuevo límite será 708 kHz.

- Limitación de sensibilidad

En determinadas condiciones, la sensibilidad de los analizadores de espectro disponibles en el mercado junto con las pérdidas de cables y las pérdidas de transición, pueden conducir a una insuficiente sensibilidad de medición. Esto se puede remediar mediante la utilización de un amplificador de bajo ruido.

En casos extremos, típicamente por encima de 26 GHz y principalmente debido a la utilización de mezcladores externos en el montaje de prueba, no sería posible obtener la sensibilidad suficiente para verificar que el equipo sometido a prueba satisfaga los requisitos de especificación en condiciones de modulación. La medición de las emisiones no esenciales en la condición de onda continua se puede corregir, para las emisiones que están sujetas al proceso de modulación, en una cantidad igual a la pérdida de modulación del EBP.

- Limitaciones de tiempo

Para cualquier señal deseada, en la que la amplitud de salida varía en el tiempo (por ejemplo, modulación del envolvente no constante), se pueden utilizar diez o más mediciones promedio por razones de consistencia.

Los límites de las emisiones no esenciales deben aplicarse en frecuencias por encima o debajo de la frecuencia de transmisión fundamental pero separadas de la frecuencia central de la emisión por el 250% del ancho de banda necesaria. Sin embargo, esta separación de frecuencias puede depender del tipo de modulación utilizado, de la máxima velocidad binaria en el caso de modulación digital, del tipo de

transmisor, y de los factores de coordinación de frecuencia. Por ejemplo, en el caso de algún sistema digital o de banda ancha, puede ser necesario que la separación de frecuencias difiera del factor $\pm 250\%$.

6.2.2 Métodos de medición

6.2.2.1 Medición de la potencia de las emisiones no esenciales aplicada a la terminal de antena

Este método constituye la medición de la potencia de las emisiones no esenciales suministradas a la terminal de antena del equipo sometido a prueba. Este método se debe utilizar toda vez que sea práctico y apropiado.

No es necesario utilizar un sitio de prueba o recinto anecoico, pues la interferencia electromagnética no debe afectar los resultados de las pruebas. Siempre que sea posible, la medición debe incluir el cable de alimentación. Este método no tiene en cuenta la atenuación debida a la desadaptación de antena e ineficiencias de radiación presentadas a cualquier radiación parásita, o la generación activa de radiaciones parásitas producidas por la propia antena. La figura 3 muestra el diagrama de bloques del dispositivo de montaje para la medición de la potencia de las emisiones no esenciales en la terminal de antena.

- Esquema de conducción directa.

En este esquema, se requiere calibrar individualmente todos los componentes de medición (filtro o filtros, acoplador, cables), o calibrar estos dispositivos de conexión en forma global. En cualquier caso, la calibración se efectúa mediante un generador calibrado de nivel ajustable conectado a la entrada del receptor de medición. En cada frecuencia, f , el factor de calibración, k_f , se determina mediante la siguiente expresión:

$$k_f = I_f - O_f$$

donde:

k_f : factor de calibración (dB) a la frecuencia f .

I_f : potencia de entrada (entregada por el generador calibrado) (dBW) o (dBm), a la frecuencia f .

O_f : potencia de salida (determinada por el receptor de medición) en la misma unidad que I_f , a la frecuencia f .

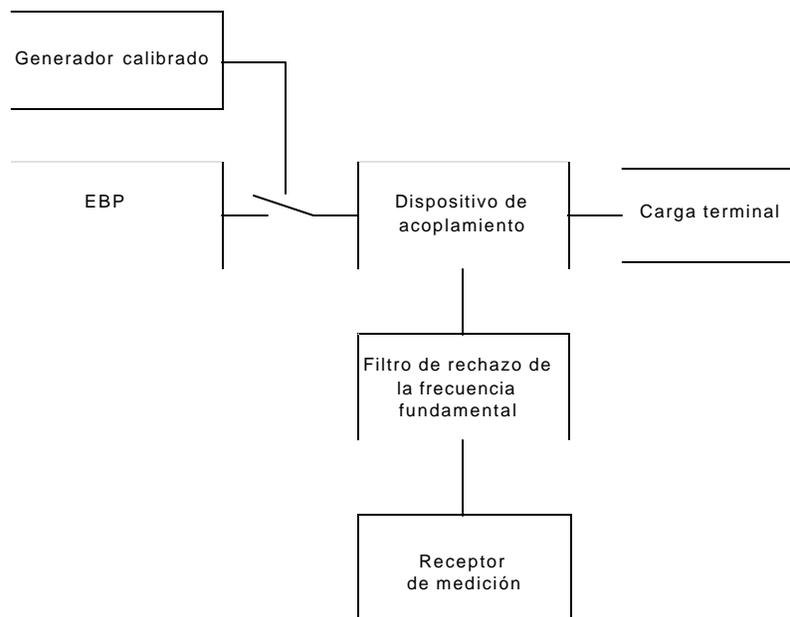


Figura 3.- Configuración para la medición de la potencia de emisiones no esenciales aplicada al terminal de antena

Este factor de calibración representa la pérdida de inserción total de todos los dispositivos conectados entre el generador y el receptor de medición.

Si se efectúan mediciones de calibración individual de los dispositivos, la calibración del montaje de medida en su totalidad se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$k_{ms, f} = \sum_i k_{i, f}$$

donde:

$k_{ms, f}$: factor de calibración (dB) del montaje de medida, a la frecuencia f .

$k_{i,f}$: factor de calibración individual (dB) de cada dispositivo en la cadena de medición, a la frecuencia f .

Durante la medición de los niveles no esenciales reales, $P_{r,f}$ (dBW) o (dBm) es la potencia (indicada en el receptor de medición) de la emisión no esencial en la frecuencia f . La potencia de la emisión no esencial $P_{s,f}$ (la misma unidad que para $P_{r,f}$) en la frecuencia f , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_{s,f} = P_{r,f} + k_{ms,f}$$

- Esquema de sustitución.

Este método no requiere calibración de todos los componentes de medición, sino que se registra la potencia de salida de la radiación no esencial producida por el dispositivo de medición. Este nivel de potencia se hace coincidir con una señal producida por un generador de señales calibrado que se sustituye para el EBP. La potencia suministrada por el generador será igual entonces a la potencia de la emisión no esencial.

6.2.2.2. Medición de la p.i.r.e. de las emisiones no esenciales

Este método se debe utilizar sólo cuando la antena sea parte integral del equipo y no se tenga acceso a puntos de medición, además, constituye la medición de la p.i.r.e., que utiliza un sitio de prueba adecuado.

Los sistemas que utilizan guías de onda deben emplear este método, pues las guías de onda de terminación en un dispositivo de transición pueden producir muchos problemas de prueba.

La figura 4 muestra el diagrama de bloques de la disposición de montaje para la medición de la p.i.r.e. de emisiones no esenciales.

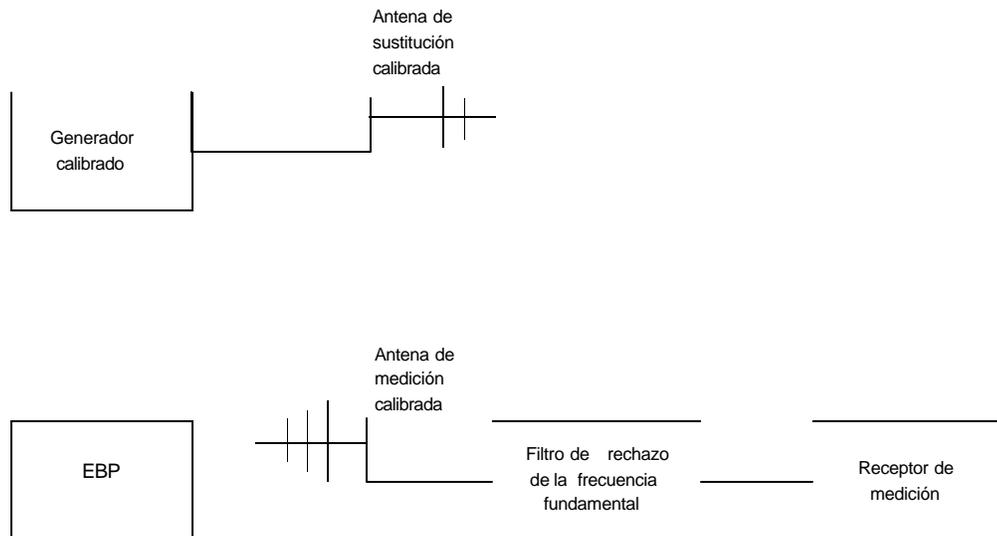


Figura 4.- Configuración para la medición de la p.i.r.e. de emisiones no esenciales

Las mediciones se deben efectuar en el campo lejano.

- Sitio de medición para mediciones radiadas.

Los sitios de prueba se validarán efectuando mediciones de atenuación del sitio para los campos de polarización horizontal y vertical. Un sitio de medición se considera aceptable si las mediciones de atenuación del sitio en los campos horizontal y vertical están dentro de ± 4 dB de la atenuación teórica del sitio.

El sitio de prueba será característicamente plano, libre de conductores aéreos y de estructuras reflectoras cercanas, suficientemente amplio para permitir ubicar la antena a la distancia especificada y proporcionar una separación adecuada entre la antena, el equipo bajo prueba y las estructuras reflectoras. Se dice que una estructura es reflectora cuando su material de construcción es principalmente conductor. El sitio de prueba debe estar provisto de un plano de tierra metálico horizontal, y debe

satisfacer los requisitos de atenuación del sitio de prueba en zonas abiertas como se indica en el apéndice A.

Las pruebas también se pueden realizar en cámaras blindadas con revestimiento absorbente. En este caso, las paredes de una cámara blindada están cubiertas con materiales absorbentes que impiden la reflexión de las ondas. Las mediciones de validación de estas cámaras anecoicas son muy importantes para asegurar que las mediciones de atenuación del sitio se puedan efectuar dentro de los criterios de ± 4 dB.

El plano de tierra conductor se debe extender 1 m como mínimo de la periferia del equipo bajo prueba y de la antena de medición más grande, y abarcar la zona entera entre el EBP y la antena. Debe ser de metal sin orificios ni aberturas, con dimensiones mayores que un décimo de la longitud de onda a la frecuencia más elevada de medición. Si los requisitos de atenuación del sitio de prueba no se satisfacen, puede ser necesario un plano de tierra conductor de mayor dimensión. Estos requisitos también se aplican en el caso de cámaras semianecoicas.

- Esquema directo

En este esquema, se requiere calibrar individualmente todos los componentes de medición (filtro o filtros, cables), o calibrar el conjunto de medición en su totalidad. Para la determinación del factor de calibración del conjunto de medición en la frecuencia f , refiérase al esquema de conducción directa del método 6.2.2.1.

La p.i.r.e. de la emisión no esencial, $P_{S, f}$, a la frecuencia f , viene para las condiciones en el espacio libre por la siguiente ecuación:

$$P_{S, f} = P_{r, f} + k_{MS, f} - G_f + 20 \log f + 20 \log d - 27,6$$

donde:

$P_{r, f}$: potencia de la emisión no esencial indicada por el receptor de medición en la frecuencia f (dBW o dBm, mismas unidades que $P_{S, f}$).

$k_{MS, f}$: factor de calibración del conjunto de medición en la frecuencia f (dB).

G_f : ganancia de la antena de medición calibrada en la frecuencia f (dBi).

f : frecuencia de la emisión no esencial (MHz).

d : distancia (m) entre la antena transmisora y la antena de medición calibrada.

- Esquema de sustitución

En este esquema, se utiliza una antena de sustitución calibrada y un generador calibrado; la fuente de prueba se ajusta a la misma señal no esencial recibida.

- Medición de la radiación del gabinete del equipo

Para medir las radiaciones no esenciales del gabinete del transmisor, se puede utilizar lo descrito en 6.2.2.2. Este método requiere el reemplazo de la antena del equipo sometido a prueba por una carga terminal calibrada, y continuar con los esquemas enumerados anteriormente para lo descrito en 6.2.2.2, para obtener el caso p.i.r.e. La carga artificial de terminación se debe colocar en un pequeño recinto blindado separado de modo tal que las radiaciones reflejadas procedentes de la carga no interfieran la medición de la radiación procedente del gabinete sometido a prueba. Asimismo, los cables de conexión pueden emitir energía y afectar las mediciones en forma adversa; esto se puede evitar utilizando cables de blindaje doble o emplear el recinto blindado también para los cables.

Los resultados de esta prueba deben cumplir con lo especificado en el punto 5.2.

6.3 Potencia media.

Las mediciones se deben efectuar en un sitio de pruebas y condiciones de operación normalizados.

6.3.1 Procedimiento

- a) Armar el arreglo mostrado en la figura 5.
- b) Medir la potencia directamente a la salida del transmisor del EBP con el medidor de potencia. La potencia de salida debe corresponder según la banda de frecuencia de acuerdo al punto 5.3.

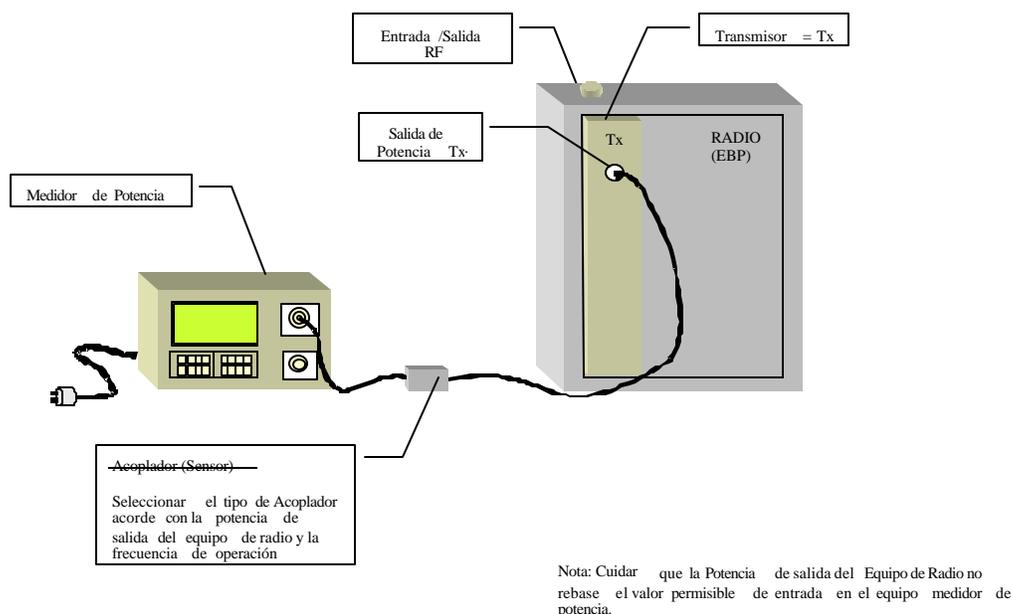


Figura 5.- Configuración para potencia máxima de transmisión

6.4 Tolerancia de frecuencia.

Las mediciones se deben efectuar en un sitio de pruebas y condiciones de operación normalizados.

6.4.1 Procedimiento

- Armar el arreglo de la figura 1.
- Verificar que la desviación de la frecuencia medida no sea mayor a 20 ppm con respecto a la frecuencia central del canal seleccionado.

Los resultados de esta prueba deben cumplir con lo especificado en el punto 5.4.

7. Bibliografía

Reglamento de Radiocomunicaciones, elaborado por la Secretaría General de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra 1990.

Recomendación ITU-R F.403-3 (1978) Características de frecuencia intermedia para la interconexión de relevadores radioeléctricos analógicos.

Recomendación ITU-R F.385-6 (1994) Disposición de radiocanales para sistemas de relevadores radioeléctricos que funcionan en la banda de 7 GHz.

Recomendación ITU-R F.636-3 (1994) Disposición de radiocanales para sistemas de relevadores radioeléctricos que funcionan en la banda de 15 GHz.

Recomendación ITU-R F.637-3 (1999) Disposición de radiocanales para sistemas de radioenlaces que funcionan en la banda de 23 GHz.

Recomendación ITU-R F.749-1 (1994) Disposición de radiocanales para sistemas de relevadores radioeléctricos que funcionan en la banda de 38 GHz.

Recomendación ITU-R F.1191-1 (1997) Anchuras de bandas y emisiones no esenciales de los sistemas de relevadores radioeléctricos digitales.

Recomendación ITU-R SM.328-10 (1999) Espectros y anchuras de bandas de las emisiones.

Recomendación ITU-R SM.329-7 (1997) Emisiones no esenciales .

Recomendación ITU-R SM.1045-1 (1997) Tolerancia de frecuencia en los transmisores.

Recomendación ITU-R V.574-3 (1990) Uso del decibelio y neperio en Telecomunicaciones.

Diccionario enciclopédico de términos técnicos (1995) – Javier L. Collazo – Editorial McGraw Hill.

8. Concordancia con normas internacionales

Los parámetros establecidos en esta Norma concuerdan con aquellos aplicables indicados en las recomendaciones de la UIT mencionadas en el capítulo 7.

9. Evaluación de la conformidad y vigilancia de cumplimiento

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), a través de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), es la encargada de vigilar el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana.

La evaluación de la conformidad debe ser realizada por personas acreditadas y aprobadas en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento o por la COFETEL, de conformidad con las políticas y procedimientos que para tal efecto expida la SCT a través de la COFETEL.

APENDICE A

(Informativo)

Plano de tierra

A.1 Plano de tierra

El plano de tierra puede estar compuesto de un amplio intervalo de material de tierra hasta material metálico altamente conductor. El plano puede estar a nivel de la tierra o elevado en una plataforma medida adecuadamente o en el techo. Es preferible un plano de tierra metálico, pero puede que cierto equipo y aplicaciones no sea recomendado por ciertas publicaciones de productos. La calidad del plano de tierra metálico depende de que el sitio de prueba cumpla con los requerimientos de validación del sitio mencionados en el párrafo A.2. Si no se usa material metálico, se requiere precaución al seleccionar un sitio que no cambie sus características reflectivas con el tiempo, la condición del clima, o debido al material metálico enterrado como pipas, conductos, y suelo no homogéneo. Dichos sitios generalmente dan características de atenuación de sitio diferentes a aquellas superficies metálicas.

A.2 Procedimiento de validación del sitio al aire libre

El procedimiento de validación y los requerimientos para la atenuación normalizada del sitio dada aquí, se usa para calificar un sitio de prueba cuando se especifique un plano de tierra metálico. Para otros sitios de prueba, el procedimiento de validación es de una naturaleza informativa y, en general, también identificará posibles irregularidades en el sitio, que deben ser investigadas. El procedimiento de validación no es aplicable a los recintos absorbentes alineados. Dicho procedimiento requiere especificaciones más detalladas y está bajo consideración.

La validación de un sitio de prueba al aire libre es ejecutada con dos antenas orientadas vertical y horizontalmente con respecto a la tierra, como se muestra en las figuras A.1 y A.2, respectivamente. La atenuación del sitio al aire libre es obtenida de la frecuencia de la tensión de origen (V_i) conectada a la antena de transmisión, y la tensión recibida (V_r) como se midió en las terminales de la antena de recepción. Las mediciones de la tensión son ejecutadas en un sistema a 50Ω . Las correcciones adecuadas para las pérdidas de cable se requieren si V_T y V_R no se miden en la entrada y salida de la antena de transmisión y recepción, respectivamente. La frecuencia de atenuación del sitio se divide entonces entre el producto de los factores de la antena, para las dos antenas usadas. La respuesta resultante es la atenuación normalizada del sitio (ANS) y es expresada en dB. El sitio se considera adecuado cuando las ANS vertical y horizontal estén dentro de ± 4 dB de los valores dados en las tablas B.1, B.2, y B.3, como sea adecuado. Si se excede el criterio de ± 4 dB, el sitio de prueba debe ser investigado en el párrafo B.4 del apéndice B.

Nota: la base para el criterio de aceptación del sitio de 4 dB se da en el apéndice C.

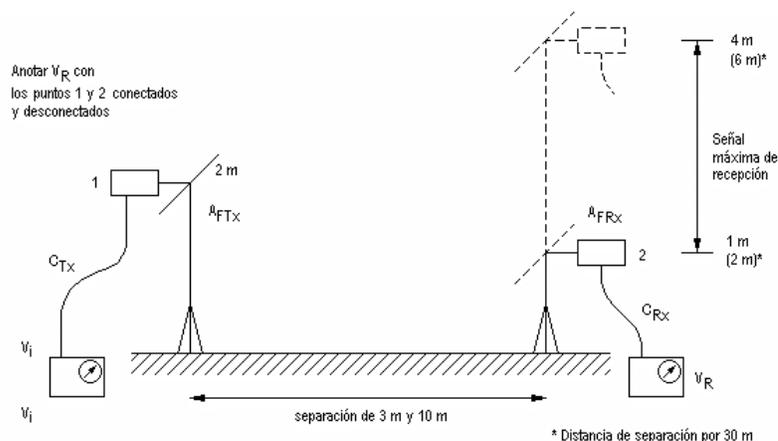


Figura A.1. Sitio de prueba al aire libre con dos antenas orientadas vertical y horizontalmente con respecto a tierra

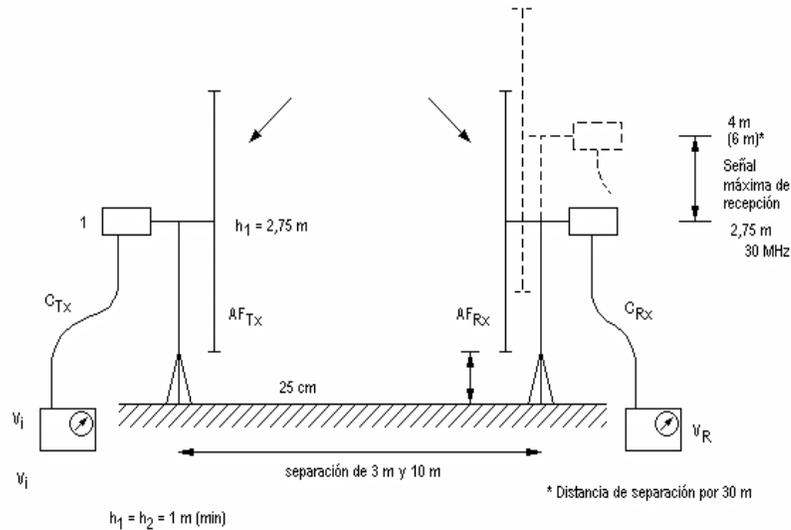


Figura A.2. Sitio de prueba al aire libre con dos antenas orientadas vertical y horizontalmente con respecto a tierra

La desviación entre un valor de ANS medido y el valor teórico no debe ser usado como una corrección para una intensidad de campo del EBP medido. Este procedimiento debe usarse sólo para validar un sitio de prueba.

La tabla B.1 se usa para las antenas de banda ancha tal como los arreglos periódicos de registro y bicónicos, ambos alineados horizontal y verticalmente con respecto al plano de tierra. La tabla B.2 es para dipolos sintonizados a media onda, alineados horizontalmente con respecto al plano de tierra. La tabla B.3 es para los dipolos sintonizados a media onda, alineados verticalmente con respecto al plano de tierra. Note que en la tabla B.3, hay restricciones en la altura de barrido h_2 . Esto toma en cuenta el hecho de que la punta del dipolo de recepción se mantenga a 25 cm, o más, del plano de tierra.

Nota: la razón para las diferentes tablas B.1 y B.2/B.3 es que los diferentes parámetros geométricos sean elegidos para una antena de banda ancha y un dipolo sintonizado a media banda, principalmente debido a las restricciones prácticas necesarias para éste.

Las ANS para frecuencias que no sean aquellas mostradas en las tablas, pueden ser encontradas usando la interpolación de línea directa entre los valores tabulados.

La leyenda de cada una de las tablas es como sigue:

- R distancia de separación horizontal entre la proyección de las antenas de transmisión y recepción en el plano de tierra (metros).
- H_1 altura del centro de la antena de transmisión por arriba del plano de tierra (metros).
- H_2 Intervalo de alturas del centro de la antena de recepción por arriba del plano de tierra (metros). La señal máxima recibida en este intervalo de barrido de altura se usa para las mediciones ANS.
- F_m Frecuencia en MHz.
- A_N ANS (ver ecuación 1 abajo).

Nota: el espacio R entre las antenas de arreglo periódico por registro, se mide desde la proyección hasta el plano de tierra del punto medio del eje longitudinal de cada antena.

Es recomendable que las mediciones ANS horizontales se ejecuten primero. Ya que dichas mediciones son menos sensibles a las anomalías de prueba, que para la polarización vertical, la medición ANS debe estar lista dentro de ± 4 dB de la mostrada en las tablas B.1, B.2 y B.3. Si no, vuelva a revisar la técnica de medición, derivación de la instrumentación y las calibraciones del factor de antena. Si el criterio ± 4 dB aún se excede, se presenta una anomalía significativa en el sitio, para la cual se debe llevar a cabo la acción correctiva aparentemente fácil, antes de proceder con la medición de la ANS de polarización vertical.

A.2.1 Medición general de ANS

Para cada medición de polarización, el procedimiento ANS requiere dos mediciones diferentes de V_R que es la tensión recibida. La primera lectura de V_R es con los dos cables coaxiales desconectados de las dos antenas y conectados entre sí vía un adaptador. La segunda lectura de V_R se toma con los cables coaxiales reconectados a sus respectivas antenas, y la señal máxima medida cuando la antena receptora sea barrida en altura (distancias de separación de 1 m a 4 m para 3 m y 10 m, y la separación de 1 m a 4 m o 2 m a 6 m para 30 m). Para ambas mediciones, la tensión de origen de la señal, V_i se mantiene constante. La primera lectura de V_R es llamada V_{DIRECT} y la segunda es V_{SITE} . Estas se usan en la siguiente ecuación (1) para la ANS medida, A_N ; todos los términos están en dB.

$$A_N = V_{DIRECT} - V_{SITE} - AF_T - AF_R - AF_{TOT} \quad (1)$$

donde:

- AF_T es el factor de la antena de transmisión.
- AF_R es el factor de antena de recepción.
- AF_{TOT} es el factor de corrección de impedancia mutua.

Note que los primeros dos términos representan la medición actual de la atenuación del sitio, es decir, $V_{DIRECT} - V_{SITE}$ es igual a la vista clásica del sitio de atenuación, la cual está constituida por la pérdida de inserción de la trayectoria de propagación con la inclusión de las propiedades de las dos antenas usadas. Los valores teóricos para AF_{TOT} se dan en la tabla B.4. AF_T y AF_R deben medirse.

$$\text{Note que } V_{DIRECT} = V_i - C_T - C_R$$

donde:

C_T y C_R son las partes de los cables que no necesitan ser medidos por separado. El factor de corrección de impedancia mutua de la tabla B.4, se aplica sólo a la geometría del sitio recomendado con 3m de separación, polarización horizontal y el uso de dipolos sintonizados en onda media.

Para completar estas mediciones ANS se pueden utilizar dos técnicas, dependiendo de la instrumentación disponible, y si se usa una banda ancha o un dipolo sintonizado. Ambos métodos dan resultados esencialmente iguales si se usan correctamente como se indica en el apéndice B. Cada método es descrito brevemente como sigue:

a) Método de frecuencia discreto

Para este método se mide cada una de las frecuencias específicas dadas en las tablas B.1, B.2 o B.3. En cada frecuencia, la antena de recepción es barrida sobre el intervalo de altura dado en la tabla correspondiente para aumentar la señal recibida. Estos valores de parámetros medidos son insertados en la tabla para aumentar la señal recibida. Estos valores de parámetro medidos son insertados en la ecuación (1) para obtener la ANS medida. El apéndice B contiene un procedimiento sugerido semejante, para registrar los datos, calcular la ANS medida, y luego compararla con la ANS teórica.

b) Método de frecuencia de barrido

Para este método, las mediciones que usan las antenas de banda ancha pueden hacerse usando el equipo de medición automático, que tiene una retención de pico (retención máxima), capacidad de almacenamiento, y un generador de barrido. En este método, tanto la altura de la antena como la frecuencia, son barridas o escaneadas sobre los intervalos requeridos. La velocidad de barrido de la frecuencia debe ser mayor a la frecuencia de barrido de la altura de la antena. De otra manera, el procedimiento es el mismo que en el inciso a). Se da un procedimiento detallado en el apéndice B.

A.2.2 Determinación del factor de antena

Los factores precisos de la antena son necesarios en la medición de la ANS. En general, los factores de la antena proporcionados con ésta son inadecuados a menos que sean específica o individualmente medidos. Se requieren antenas polarizadas linealmente. El apéndice B contiene un método de calibración de antena útil. Los factores de antena que vienen de fábrica pueden tener pérdidas debido al balún entre otras características. Si el balún separado o cualquier otro cable asociado se usan, sus efectos deben ser justificados. El apéndice B también contiene la fórmula que se va a usar para los dipolos de onda media.

A.2.3 Desviaciones de atenuación del sitio

Si las mediciones de ANS se desvían por más de ± 4 dB, primero deben volverse a revisar varios puntos:

- a) Procedimiento de medición;
- b) Precisión de los factores de antena;
- c) Derivación en la señal de origen, o precisión del receptor o atenuador de entrada del analizador de espectro y lectura.

Si se encuentran errores en los incisos a), b) y c), entonces el sitio tiene falla y es conveniente hacer una investigación detallada de las posibles causas por las que varía el sitio. El apéndice B contiene los errores que pueden ocurrir con las mediciones ANS.

Note que, ya que la polarización vertical generalmente es la medición más crítica, las anomalías del sitio deben ser investigadas usando esta medición más sensible, en lugar de los resultados de polarización horizontal. Los puntos clave para investigar incluyen:

- a) Insuficiencia en el tamaño y construcción del plano de tierra;
- b) Objetos en el perímetro del sitio, que pueden causar una dispersión indeseable;
- c) Cubierta de protección contra intemperie;
- d) Discontinuidad del plano de tierra en la circunferencia de la mesa giratoria cuando la superficie de ésta es conductiva y está a la misma altura que el plano de tierra;
- e) Cubiertas del plano de tierra dieléctricas;
- f) Aberturas en el plano de tierra para las escaleras de caracol.

A.3 Disponibilidad del sitio de prueba alternativo

Hay diferentes sitios de prueba e instalaciones que han sido construidas para hacer mediciones de emisión radiada. La mayoría están protegidos de los efectos adversos y climáticos del ambiente de radiofrecuencia. Estos incluyen todos los sitios de prueba al aire libre protegidos contra intemperie y recintos blindados absorbentes.

Cada vez que se incluya material de construcción en el sitio de prueba, existe la posibilidad de que los resultados de una medición única de atenuación normalizada del sitio (ANS), como se especificó en el párrafo A.2, no sea adecuada para mostrar la aptitud de dicho sitio alternativo.

El siguiente procedimiento es recomendado para demostrar la aptitud del sitio de prueba. Esto se basa en hacer múltiples mediciones ANS a través de un volumen ocupado por el EBP. Estas mediciones ANS deben estar comprendidas dentro de la acumulación de errores de ± 4 dB que van a ser juzgados como aptos y equivalentes a un sitio de prueba al aire libre.

La discusión en esta sección concierne a los sitios de prueba alternativos que tienen un plano de tierra de conducción.

A.3.1 Atenuación normalizada del sitio para los sitios de prueba alternativos

Para un sitio de prueba alternativo es insuficiente una sola medición ANS, para medir posibles reflexiones de la construcción y/o material que absorbe RF, comprendido en las paredes y techo del sitio. Para estos sitios se define un volumen de prueba como el volumen rastreado por el equipo más grande, o por el sistema que va a ser probado de acuerdo a como se gire con respecto a su localización central a 360°, tal como una mesa giratoria. Al evaluar la polarización horizontal y vertical, tal como se ilustra en las figuras A.3 y A.4, puede que se requiera un máximo de 20 mediciones de atenuación de sitios separados, es decir, cinco posiciones en el plano horizontal (centro, izquierda, derecha, adelante y atrás, medidas con respecto al centro y a la línea dibujada del centro a la posición de la antena de medición), para dos polarizaciones (horizontal y vertical), y para dos alturas (1 m y 2 m horizontal, 1 m y 1,5 m vertical).

Estas mediciones se llevan a cabo con una antena de banda ancha, y se miden las distancias con respecto al centro de la antena. Las antenas de transmisión y recepción deben estar alineadas con los elementos de antena paralelos entre sí, y octagonal al eje de medición.

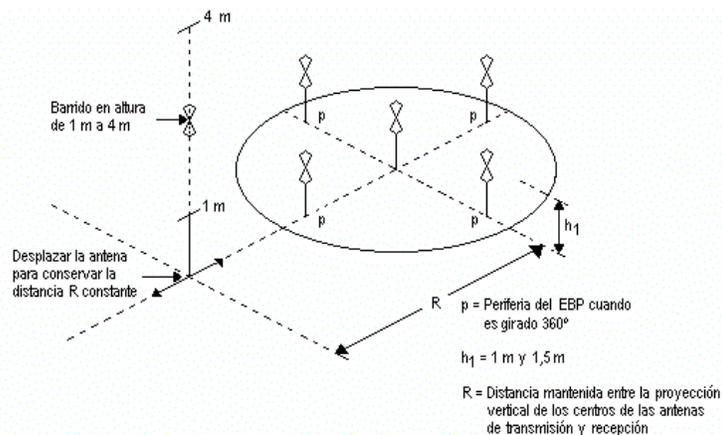


Figura A.3. Polarización horizontal y vertical

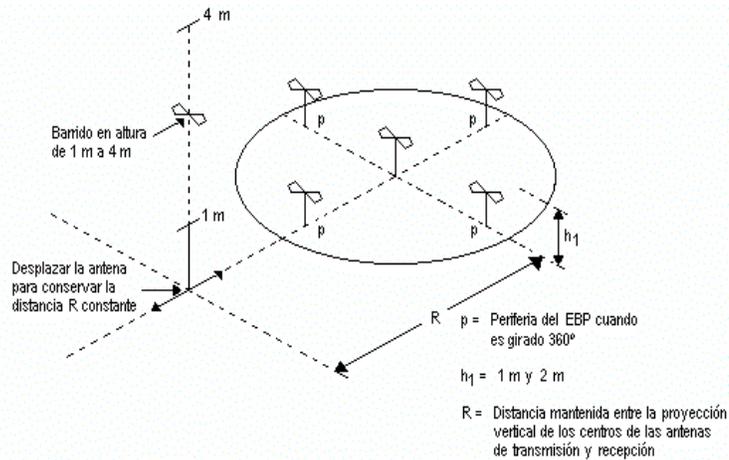


Figura A.4. Polarización horizontal y vertical

Para polarización vertical, las posiciones de la antena de transmisión fuera del centro están en la periferia del volumen de prueba. Además, la punta más baja de la antena debe ser mayor a 25 cm del piso, lo cual puede requerir que el centro de la antena sea ligeramente más alto que 1 m para la medición de altura más baja.

Para las mediciones de polarización horizontal en las posiciones izquierda y derecha, si la distancia entre el material de construcción y/o absorción de las paredes y la periferia del EBP es menor a 1 m, el centro de la antena es movido hacia la posición central, de modo que la punta extrema de la antena esté en la periferia, o distante de ésta por no más de 10% del diámetro del volumen de prueba. Las posiciones de adelante y de atrás están en la periferia del volumen de prueba.

El número de mediciones requeridas puede reducirse bajo las siguientes circunstancias:

- a) las mediciones de polarización, verticales y horizontales en la parte posterior, pueden ser omitidas si el punto más cercano del material de construcción y/o absorción está a una distancia mayor a 1 m del borde posterior del volumen de prueba.

NOTA: se ha mostrado que las fuentes de emisión radiada, localizadas cerca de las interfaces dieléctricas, tienen variaciones en la distribución de corriente, que pueden afectar las propiedades radiadas de la fuente en esa localización. Cuando el EBP pueda ser localizado cerca de estas interfaces, las mediciones adicionales de atenuación del sitio son requeridas.

- b) El número total de mediciones de polarización horizontal, junto con el diámetro del volumen de prueba uniendo las posiciones izquierda y derecha, puede ser reducido al número máximo necesario para que las huellas de la antena cubran el 90% del diámetro.
- c) Las mediciones de polarización vertical, a la altura de 1,5 m, pueden ser omitidas si la parte superior del EBP, incluyendo el montaje de la mesa, es menor a 1,5 m de altura.
- d) Si el volumen de prueba no es mayor a 1 m de profundidad, por 1,5 m de ancho, por 1,5 m de altura, incluyendo la mesa, si se usa, las mediciones de polarización horizontal necesitan ser hechas sólo en las posiciones central, frontal y posterior, pero a la altura de 1 m y 2 m. Si el inciso a) anterior aplica, la posición posterior puede ser omitida. Esto requerirá un mínimo de mediciones:
 - cuatro posiciones de polarización vertical (izquierda, centro, derecha y frontal) para una altura, y
 - cuatro posiciones de polarización horizontal (centro y frente) para dos alturas; ver las figuras A.5 y A.6.

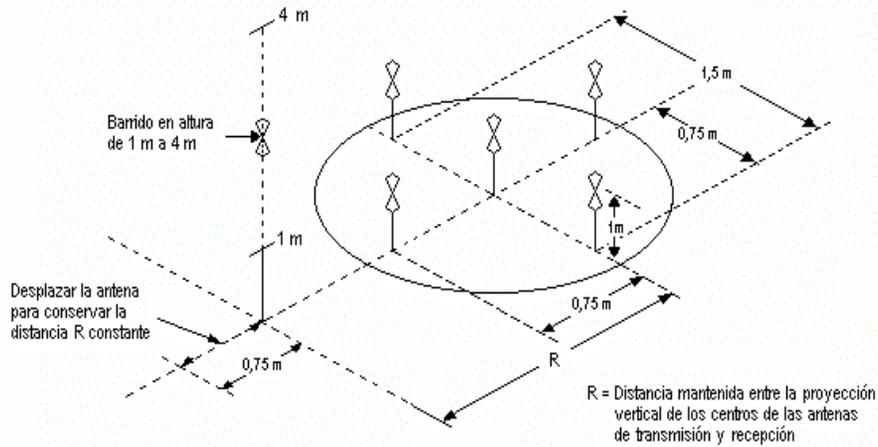


Figura A.5.- Validación del sitio al aire libre

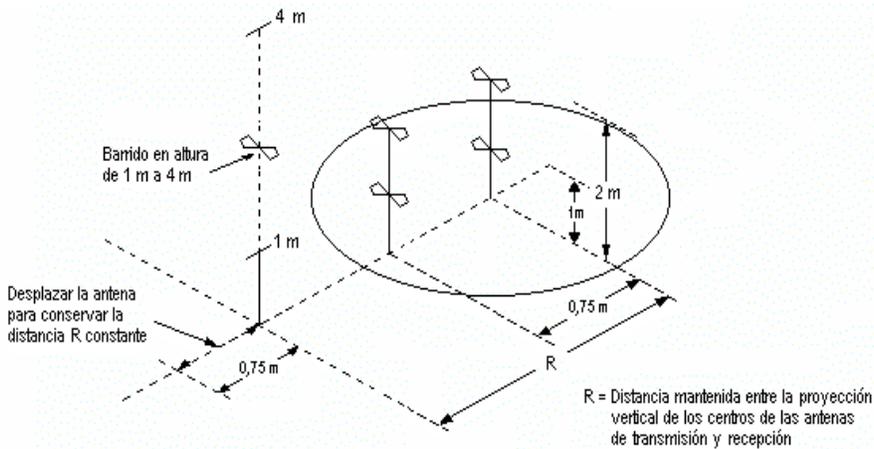


Figura A.6. Validación del sitio al aire libre

Las mediciones ANS deben hacerse manteniendo constante la separación de la antena de recepción y transmisión. Note que estas tablas han sido modificadas para adaptarlas a las mediciones de ANS, añadiendo valores para una altura adicional de transmisión y para limitar la altura de barrido de 30 m entre 1 m y 4 m. La antena receptora debe ser movida para mantener la separación adecuada junto a una línea hacia el centro de la mesa giratoria (ver las figuras A.3, A.4, A.5 y A.6). El sitio de prueba alternativo se considera adecuado para llevar a cabo la prueba de emisión radiada si todas las mediciones ANS, prescritas arriba, cumplen con los requerimientos del párrafo A.3.2 y con los requerimientos del plano de tierra del párrafo A.3.3.

NOTA: Se están haciendo estudios para determinar si se requiere alguna prueba adicional, para mostrar la aptitud del sitio de prueba alterno.

A.3.2 Atenuación del sitio

Un sitio de medición debe considerarse aceptable para las mediciones del campo electromagnético radiado, si las mediciones del ANS vertical y horizontal medidas están dentro de ± 4 dB de la atenuación teórica del sitio normalizado para un sitio ideal.

A.3.3 Plano de tierra conductor

Se requiere un plano de tierra conductor en un sitio de prueba de emisión radiada. El plano de tierra conductor debe ampliarse por lo menos 1 m más allá de la periferia del EBP y de la antena de medición más grande, y cubrir el área total entre el EBP y la antena. Debe ser de metal sin orificios o espacios de dimensiones longitudinales mayores a un décimo de una longitud de onda en la frecuencia más alta de la medición. Puede que se requiera un plano de tierra conductor de tamaño más grande si las mediciones ANS no cumplen con el criterio de ± 4 dB.

NOTA: los estudios que están en curso pueden indicar la necesidad de especificar el tamaño mínimo del plano de tierra conductor.

Tabla A.1.- Atenuación normalizada del sitio
(Geometrías recomendadas para dipolos de media onda sintonizados
con polarización horizontal)

| Polarización | Horizontal | Horizontal | Horizontal |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| <i>R</i> | 3 m | 10 m | 30 m |
| <i>h</i>₁ | 2 m | 2 m | 2 m |
| <i>h</i>₂ | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m |
| <i>F</i>_m | <i>A</i>_N | | |
| MHz | dB | | |
| 30 | 11,0 | 24,1 | 41,7 |
| 35 | 8,8 | 21,6 | 39,1 |
| 40 | 7,0 | 19,4 | 36,8 |
| 45 | 5,5 | 17,5 | 34,7 |
| 50 | 4,2 | 15,9 | 32,9 |
| 60 | 2,2 | 13,1 | 29,8 |
| 70 | 0,6 | 10,9 | 27,2 |
| 80 | -0,7 | 9,2 | 24,9 |
| 90 | -1,8 | 7,8 | 23,0 |
| 100 | -2,8 | 6,7 | 21,2 |
| 120 | -4,4 | 5,0 | 18,2 |
| 140 | -5,8 | 3,5 | 15,8 |
| 160 | -6,7 | 2,3 | 13,8 |
| 180 | -7,2 | 1,2 | 12,0 |
| 200 | -8,4 | 0,3 | 10,6 |
| 250 | -10,6 | -1,7 | 7,8 |
| 300 | -12,3 | -3,3 | 6,1 |
| 400 | -14,9 | -5,8 | 3,5 |
| 500 | -16,7 | -7,6 | 1,6 |
| 600 | -18,3 | -9,3 | 0 |
| 700 | -19,7 | -10,6 | -1,4 |
| 800 | -20,8 | -11,8 | -2,5 |
| 900 | -21,8 | -12,9 | -3,5 |
| 1 000 | -22,7 | -13,8 | -4,5 |

Tabla A.2.- Atenuación normalizada del sitio*
(Geometrías recomendadas para antenas de banda ancha)

| Polarización | Horizontal | Horizontal | Horizontal | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical |
|---|--|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>R</i> | 3 m | 10 m | 30 m | 2 m | 3 m | 10 m | 30 m |
| <i>h₁</i> | 1 m | 1 m | 1 m | 1 m | 1,5 m | 1 m | 1 m |
| <i>h₂</i> | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m | 1 m a 4 m |
| <i>f_m</i> MHz | <i>A_w</i> dB | | | | | | |
| 30 | 15,8 | 29,8 | 47,8 | 8,2 | 9,3 | 16,7 | 26,0 |
| 35 | 13,4 | 27,1 | 45,1 | 6,9 | 8,0 | 15,4 | 24,7 |
| 40 | 11,3 | 24,9 | 42,8 | 5,8 | 7,0 | 14,2 | 23,5 |
| 45 | 9,4 | 22,9 | 40,8 | 4,9 | 6,1 | 13,2 | 22,5 |
| 50 | 7,8 | 21,1 | 38,9 | 4,0 | 5,4 | 12,3 | 21,6 |
| 60 | 5,0 | 18,0 | 35,8 | 2,6 | 4,1 | 10,7 | 20 |
| 70 | 2,8 | 15,5 | 33,1 | 1,5 | 3,2 | 9,4 | 18,7 |
| 80 | 0,9 | 13,3 | 30,8 | 0,6 | 2,6 | 8,3 | 17,5 |
| 90 | -0,7 | 11,4 | 28,8 | -0,1 | 2,1 | 7,3 | 16,5 |
| 100 | -2,0 | 9,7 | 27 | -0,7 | 1,9 | 6,4 | 15,6 |
| 120 | -4,2 | 7,0 | 23,9 | -1,5 | 1,3 | 4,9 | 14,0 |
| 140 | -6,0 | 4,8 | 21,2 | -1,8 | -1,5 | 3,7 | 12,7 |
| 160 | -7,4 | 3,1 | 19 | -1,7 | -3,7 | 2,6 | 11,5 |
| 180 | -8,6 | 1,7 | 17 | -1,3 | -5,3 | 1,8 | 10,5 |
| 200 | -9,6 | 0,6 | 15,3 | -3,6 | -6,7 | 1,0 | 9,6 |
| 250 | -11,7 | -1,6 | 11,6 | -7,7 | -9,1 | -0,5 | 7,7 |
| 300 | -12,8 | -3,3 | 8,8 | -10,5 | -10,9 | -1,5 | 6,2 |
| 400 | -14,8 | -5,9 | 4,6 | -14,0 | -12,6 | -4,1 | 3,9 |
| 500 | -17,3 | -7,9 | 1,8 | -16,4 | -15,1 | -6,7 | 2,1 |
| 600 | -19,1 | -9,5 | 0 | -16,3 | -16,9 | -8,7 | 0,8 |
| 700 | -20,6 | -10,8 | -1,3 | -18,4 | -18,4 | -10,2 | -0,3 |
| 800 | -21,3 | -12,0 | -2,5 | -20,0 | -19,3 | -11,5 | -11 |
| 900 | -22,5 | -12,8 | -3,5 | -21,3 | -20,4 | -12,6 | -17 |
| 1000 | -23,5 | -13,8 | -4,4 | -22,4 | -21,4 | -13,6 | -3,5 |

* Este dato aplica a las antenas que tienen por lo menos 25 cm de plano de tierra, cuando el centro de las antenas es de 1m por arriba del plano de tierra en polarización vertical.

APEDICE B

(Informativo)

Procedimiento de validación del sitio al aire libre para el intervalo de frecuencia de 30 MHz a 1 000 MHz

B.1 General

El párrafo A.2 contiene los requerimientos y procedimientos generales para determinar la validación del sitio usando las mediciones de atenuación del sitio normalizado. Este anexo proporciona, paso a paso, los procedimientos para llevar a cabo las mediciones ANS.

B.2 Método de Frecuencia Discreta

B.2.1 Instalación de medición

Refiérase a las figuras A.1 y A.2 para obtener detalles específicos de la instalación de prueba. El generador de señal es conectado a la antena de transmisión con una longitud adecuada de la línea de transmisión. La antena de transmisión es colocada en la ubicación deseada. La altura de la antena de transmisión es ajustada a h_1 (ver tablas B.1, B.2 y B.3 para los valores de h_1) y la polarización deseada es seleccionada. Si un dipolo cambiante es usado, la longitud es ajustada a la frecuencia requerida.

La antena de recepción es montada en un mástil que permita el barrido sobre el intervalo de altura de h_{2min} a h_{2max} , colocado a una distancia R de la antena de transmisión y conectado al receptor de medición o analizador de espectro vía una longitud adecuada del cable. Es seleccionada la misma polarización que para la antena de transmisión y, si se usa un dipolo cambiante, la antena es ajustada a la frecuencia requerida. La distancia de 25 cm es mantenida para los dipolos cambiantes orientados verticalmente (ver tabla B.3).

Para todas las mediciones ANS que usan dipolos cambiantes, se asume que estas antenas son cambiadas a cada frecuencia, incluyendo a aquellas que se encuentran dentro del intervalo de 30 MHz a 80 MHz.

B.2.2 Procedimiento de medición

Los siguientes pasos deben usarse para cada frecuencia indicada en las tablas B.1, B.2, y B.3. Primero se hacen las mediciones para las antenas alineadas horizontalmente y luego para las que están alineadas verticalmente, con la altura de la antena de transmisión ajustada a h_1 .

- 1) Ajustar el nivel de salida del generador de señal para obtener una pantalla de tensión recibida por arriba del ruido ambiente y del receptor de medición o analizador de espectro.
- 2) Desplazar la antena de recepción en el mástil a través de la placa de barrido h_2 como se indica en las tablas B.1, B.2 y B.3, según el caso.
- 3) Registrar el nivel máximo de señal. Este valor es V_{SITE} en la ecuación (1), en el párrafo A.2.1 del apéndice A.
- 4) Desconectar los cables de transmisión y recepción de sus antenas. Conectar directamente estos cables a un medio del adaptador.
- 5) Registrar el nivel de señal con los cables de transmisión y recepción conectados. Este valor es V_{DIRECT} en la ecuación (1), en el párrafo A.2.1 del apéndice A.
- 6) En cada frecuencia, y para cada polarización, introducir los valores de los pasos 3 y 5 de la ecuación (1) del párrafo A.2.1 del apéndice A.
- 7) Insertar los factores de la antena de transmisión y recepción en la frecuencia de medición como se muestra en la ecuación (1).
- 8) Insertar el factor de corrección de impedancia mutua AF_{TOT} de la tabla B.4, el cual aplica sólo para la geometría específica de la polarización horizontal que usa dipolos cambiantes separados por 3 m. $AF_{TOT} = 0$ para todas las otras geometrías.
- 9) Resolver la ecuación (1) para A_N , la cual es el ANS para la frecuencia de medición y polarización usada.
- 10) Restar el valor del paso 9 al ANS adecuado, contenido en las tablas B.1, B.2 y B.3, según sea el caso.
- 11) Si los resultados del paso 10 son menores a ± 4 dB, el sitio es considerado válido en esa frecuencia y polarización.
- 12) Repetir los pasos 1 a 11 para la siguiente combinación de frecuencia y polarización.

B.3 Método para el barrido de frecuencia

B.3.1 Instalación de medición

La instalación es similar a la contenida en el párrafo B.2.1, excepto que sólo se usan las antenas de banda ancha. No es necesaria la restricción en el movimiento de la antena de polarización vertical, debido al tamaño físicamente pequeño de dichas antenas de banda ancha.

B.3.2 Procedimiento de medición

Deben llevarse a cabo los siguientes pasos, usando el equipo automático de medición, el cual tiene una retención pico (retención máx.), capacidad de almacenamiento, y generador de barrido. En este método, tanto la altura de la antena de recepción h_2 como la frecuencia, son escaneadas o barridas sobre los intervalos de frecuencia requeridos. Los intervalos de frecuencia se determinan usualmente mediante el tipo de la antena de ancho de banda que es usada. La velocidad del barrido de frecuencia debe ser mucho mayor que la frecuencia de barrido de la altura de la antena. Ajustar la altura de la antena de transmisión a h_1 .

- 1) Ajustar el nivel de salida del generador de barrido, para obtener una pantalla de tensión recibida por arriba del ruido ambiente y del receptor de medición o analizador de espectro.
- 2) Desplazar la antena de recepción en el mástil, a una altura máxima del intervalo de barrido como se indica en la tabla B.1, según sea el caso.
- 3) Instalar el analizador de espectro para barrer el intervalo de frecuencia deseado. Asegurarse de que el analizador de espectro sea ajustado de modo que una señal similar de hasta 60 dB mayor pueda ser desplegada en la misma escala de amplitud. Esto permitirá el registro de los niveles del paso 5.
- 4) Bajar lentamente la antena de recepción a la altura mínima del intervalo de barrido, como se indica en las tablas adecuadas para la geometría del sitio. Almacenar y registrar la pantalla de tensión recibida V_R en dB(μ V). (El tiempo que toma bajar la antena debe ser mayor al tiempo de barrido del analizador de espectro).
- 5) Desconectar los cables de transmisión y recepción, y conectarlos directamente con un medio de enlace al adaptador. Almacenar y registrar la pantalla de tensión resultante.
- 6) En cada frecuencia, restar la tensión medida en el paso 4, de la tensión medida en el paso 5. También restar los factores de la antena de las antenas de transmisión y recepción, AF_T (dB/m) y AF_R (dB/m), respectivamente. (Los factores de la antena, como una función continua de frecuencia, pueden ser obtenidos mediante el uso de la curva lineal simple ajustada en un grupo de valores discretos del factor de antena). El resultado es el ANS medido en el intervalo de frecuencias usado, el cual debe ser trazado. También trazar la atenuación del sitio teórico normalizado para un sitio ideal mostrado en la tabla B.1.
- 7) Las diferencias encontradas entre el ANS teórico y el ANS medido debe caer dentro del criterio de ± 4 dB.

Nota: para ambos métodos de medición ANS, una discordancia de impedancia en la salida del origen de señal o en la entrada del receptor de medición o analizador de espectro puede tener como resultado reflexiones que pudieran causar errores. Esto se evitaría usando los atenuadores de compensación de 10 dB; uno en el extremo externo de cada cable de las antenas de recepción y transmisión. Estos atenuadores deben permanecer en los cables durante la medición completa para ANS.

B.4 Posibles causas para exceder los límites de aceptabilidad del sitio

Si la derivación excede el criterio de ± 4 dB, investigar lo siguiente:

Primero revise las calibraciones del sistema de medición. Si el generador de señal y la instrumentación de medición no se desvían durante las mediciones, los principales sospechosos son los factores de la antena. Las antenas también pueden estar defectuosas. Si todo esto es verificado, repetir la medición. Si las diferencias aún son mayores a ± 4 dB, el sitio y el área circundante son sospechosos. La atenuación del sitio vertical debe ser, en general, la más sensible a las anomalías del sitio. Si es así, usar esa medición como base para buscar las causas del problema. Los posibles problemas incluyen la construcción inadecuada en el terreno, así como el tamaño, objetos reflejantes más cercanos (bardas, edificios, postes de luz, etc.), desempeño degradado de los recintos de protección contra intemperie debido a la construcción inadecuada y técnicas de mantenimiento, y efectos a largo plazo como penetración de residuos contaminantes transportados por el aire.

B.5 Calibración de la antena

Los factores de antena usadas para hacer las mediciones de atenuación en el sitio, deben ser fáciles de encontrar en una norma nacional.* Los factores de la antena del fabricante no pueden ser lo

* Un procedimiento de calibración está bajo consideración.

suficientemente precisos como para llevar a cabo un buen acuerdo entre las atenuaciones del sitio normalizadas, calculadas y medidas. Los factores de antena usualmente cuentan para las pérdidas debidas al balún. Si se usa un balún separado, su efecto debe contarse. La experiencia ha demostrado que las variaciones de los factores de antena con polarización y geometría, generalmente son insignificantes para los tipos de antena de banda ancha, usados comúnmente para las mediciones EMC inferiores a 1 GHz (ej., antenas bicónicas, dipolos densos y registros periódicos), mientras la antena de transmisión esté a 1 m por arriba del suelo, por lo menos. Si las variaciones del factor de antena son sospechosas debido al uso de antenas o geometrías de medición inusuales, o a efectos tales como el acoplamiento mutuo o dispersión de las líneas de transmisión para antenas polarizadas verticalmente, especialmente a la distancia de medición de 3 m, los factores de la antena deben medirse primero usando estas geometrías.

Normalmente el sitio de atenuación es medido en un sistema de 50 Ω, es decir, el generador de señal y el receptor de medición tiene una impedancia de 50 Ω y las impedancias de radiación de las antenas de transmisión y recepción son equilibradas y cotejadas vía un balún.

Los factores de antena del fabricante, normalmente también son especificados a una impedancia de 50 Ω con respecto a la impedancia de radiación de la antena y, si aplica, la pérdida del balún usado también es contenida en el factor de antena dado.

Si se usan los dipolos de onda media sintonizados, sus factores de antena en espacio libre pueden ser calculados usando la siguiente ecuación:

$$AF = 20 \lg \left(\frac{2\pi f}{c} \right) + 10/G \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$$= 20 \lg F - 31,9 \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

donde:

f está en MHz.

NOTA: En la práctica, el factor de antena es afectado por la altura de la antena dipolar arriba del suelo, debido a la impedancia mutua del dipolo y su imagen en el suelo.

La pérdida promedio del balún para un dipolo de onda media sintonizado, bien diseñado, es de aproximadamente 0,5 dB. De aquí que la ecuación (2) se convierta en:

$$AF = 20 \lg F - 31,4 \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

Esta pérdida de balún debe medirse conectando espalda con espalda el dipolo de transmisión y el de recepción, antes de que sean instalados en sus cubiertas. La pérdida por balún es de 1/2 de la pérdida total medida, asumiendo que los dos baluns sean iguales.

Es importante verificar que estos valores calculados sean representativos de los valores para los dipolos sintonizados particulares usados para las mediciones ANS. La verificación más simple es medir el VSWR con las antenas ensambladas y sus elementos sintonizados a la resonancia. La antena debe colocarse por lo menos a 4 m por arriba del piso, lo más alto si es posible, para minimizar el acoplamiento de la antena con el suelo. Sus elementos deben ser sintonizados a la resonancia que usan las mediciones mostradas en la tabla B.3. Es suficiente con verificar el VSWR de las antenas en las frecuencias del extremo inferior, medio y alto de sus intervalos de frecuencia.

La función de los baluns inferiores a 100 MHz también debe ser verificada removiendo los elementos, colocando una resistencia de 70 Ω a través de las terminales del bloque de montaje del elemento, y midiendo el VSWR del balún terminado. El VSWR debe ser inferior a 1,5 a 1.

**Tabla B.1-- Atenuación normalizada del sitio
(Geometrías recomendadas para las antenas de banda ancha)**

| Polarización | Horizontal | Horizontal | Horizontal | Horizontal | Vertical | Vertical | Vertical | Vertical |
|--------------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| R (m) | 3 | 10 | 30 | 30 | 3 | 10 | 30 | 30 |
| h_1 (m) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| h_1 (m) | 1 a 4 | 1 a 4 | 2 a 6 | 1 a 4 | 1 a 4 | 1 a 4 | 2 a 6 | 1 a 4 |
| f_m (MHz) | A_N (dB) | | | | | | | |
| 30 | 15,8 | 29,8 | 44,4 | 47,8 | 8,2 | 16,7 | 26,1 | 26,0 |
| 35 | 13,4 | 27,1 | 41,7 | 45,1 | 6,9 | 15,4 | 24,7 | 24,7 |
| 40 | 111,3 | 24,9 | 39,4 | 42,8 | 5,8 | 14,2 | 23,6 | 23,5 |
| 45 | 9,4 | 22,9 | 37,3 | 40,8 | 4,9 | 13,2 | 22,5 | 22,5 |
| 50 | 7,8 | 21,1 | 35,5 | 38,9 | 4,0 | 12,3 | 21,6 | 21,6 |
| 60 | 5,0 | 18,0 | 32,4 | 35,8 | 2,6 | 10,7 | 20,1 | 20 |
| 70 | 2,8 | 15,5 | 29,7 | 33,1 | 1,5 | 9,4 | 18,7 | 18,7 |
| 80 | 0,9 | 13,3 | 27,5 | 30,8 | 0,6 | 8,3 | 17,6 | 17,5 |
| 90 | -0,7 | 11,4 | 25,5 | 28,8 | -0,1 | 7,3 | 16,6 | 16,5 |
| 100 | -2,0 | 9,7 | 23,7 | 27 | -0,7 | 6,4 | 15,7 | 15,6 |
| 120 | -4,2 | 7,0 | 20,6 | 23,9 | -1,5 | 4,9 | 14,1 | 14,0 |
| 140 | -6,0 | 4,8 | 18,1 | 21,2 | -1,8 | 3,7 | 12,8 | 12,7 |
| 160 | -7,4 | 3,1 | 15,9 | 19 | -1,7 | 2,6 | 11,7 | 11,5 |
| 180 | -8,6 | 1,7 | 14,0 | 17 | -1,3 | 1,8 | 10,8 | 10,5 |
| 200 | -9,6 | 0,6 | 12,4 | 15,3 | -3,6 | 1,0 | 9,9 | 9,6 |
| 250 | -11,9 | -1,6 | 9,1 | 11,6 | -7,7 | -0,5 | 8,2 | 7,7 |
| 300 | -12,8 | -3,3 | 6,7 | 8,8 | -10,5 | -1,5 | 6,8 | 6,2 |
| 400 | -14,8 | -5,9 | 3,6 | 4,6 | -14,0 | -4,1 | 5,0 | 3,9 |
| 500 | -17,3 | -7,9 | 1,7 | 1,8 | -16,4 | -6,7 | 3,9 | 2,1 |
| 600 | -19,1 | -9,5 | 0 | 0 | -16,3 | -8,7 | 2,7 | 0,8 |
| 700 | -20,6 | -10,8 | -1,3 | -1,3 | -18,4 | -10,2 | -0,5 | -0,3 |
| 800 | -21,3 | -12,0 | -2,5 | -2,5 | -20,0 | -11,5 | -2,1 | -1,1 |
| 900 | -22,5 | -12,8 | -3,5 | -3,5 | -21,3 | -15,6 | -3,2 | -1,7 |
| 1 000 | -23,5 | -13,8 | -4,5 | 4,4 | -22,4 | -13,6 | -4,2 | -3,5 |

* Estos datos aplican a las antenas que tienen por lo menos 25 cm de separación del piso, cuando el centro de las antenas esté a 1 m del suelo en polarización vertical.

Tabla B.2.- Atenuación normalizada del sitio

(Geometrías recomendadas para dipolos de media onda sintonizados, polarización horizontal)

| Polarización | Horizontal | Horizontal | Horizontal |
|--------------|------------|------------|------------|
| R (m) | 3 | 10 | 30 |
| h_1 (m) | 1 | 1 | 1 |
| h_1 (m) | 1 a 4 | 1 a 4 | 2 a 6 |
| f_m (MHz) | A_N (dB) | | |
| 30 | 11,0 | 24,1 | 38,4 |
| 35 | 8,8 | 21,6 | 35,8 |
| 40 | 7,0 | 19,4 | 33,5 |
| 45 | 5,5 | 17,5 | 31,5 |
| 50 | 4,2 | 15,9 | 29,7 |
| 60 | 2,2 | 13,1 | 26,7 |
| 70 | 0,6 | 10,9 | 24,1 |
| 80 | -0,7 | 9,2 | 21,9 |
| 90 | -1,8 | 7,8 | 20,1 |
| 100 | -2,8 | 6,7 | 18,4 |
| 120 | -4,4 | 5,0 | 15,7 |
| 140 | -5,8 | 3,5 | 13,6 |
| 160 | -6,7 | 2,3 | 11,9 |
| 180 | -7,2 | 1,2 | 10,6 |
| 200 | -8,4 | 0,3 | 9,7 |
| 250 | -10,6 | -1,7 | 7,7 |
| 300 | -12,3 | -3,3 | 6,1 |
| 400 | -14,9 | -5,8 | 3,5 |
| 500 | -16,7 | -7,6 | 1,6 |
| 600 | -18,3 | -9,3 | 0 |
| 700 | -19,7 | -10,6 | -1,3 |
| 800 | -20,8 | -11,8 | -2,4 |
| 900 | -21,8 | -12,9 | -3,5 |
| 1 000 | 22,7 | -13,8 | -4,4 |

** En el caso de los dipolos sintonizados a media onda de acuerdo a la polarización horizontal de 3 m, es conveniente restar los factores de corrección de impedancia mutua (ver tabla B.4) de los valores medidos de atenuación normalizados del sitio, con el fin de poder compararlos con los valores teóricos de atenuación normalizados del sitio para un sitio ideal, dados en esta tabla.

TABLA B.3 - Atenuación normalizada del sitio

(Geometrías recomendadas para los dipolos de media onda sintonizados - polarización vertical)

| f_m MHz | $R=3\text{ m}$ $H_1 = 2,75\text{ m}$ | | $R=3\text{ m}$ $h_1 = 2,75\text{ m}$ | | $R=3\text{ m}$ $h_1 = 2,75\text{ m}$ | |
|--------------|---|-------|---|-------|---|-------|
| | h_2 | A_N | h_2 | A_N | h_2 | A_N |
| | (m) | (dB) | (m) | (dB) | (m) | (dB) |
| 30 | 2,75 a 4 | 12,4 | 2,75 a 4 | 18,8 | 2,75 a 6 | 26,3 |
| 35 | 2,39 a 4 | 11,3 | 2,39 a 4 | 17,4 | 2,39 a 6 | 24,9 |
| 40 | 2,13 a 4 | 10,4 | 2,13 a 4 | 16,2 | 2,13 a 6 | 23,8 |
| 45 | 1,92 a 4 | 9,5 | 1,92 a 4 | 15,1 | 2 a 6 | 22,8 |
| 50 | 1,75 a 4 | 8,4 | 1,75 a 4 | 14,2 | 2 a 6 | 21,9 |
| 60 | 1,50 a 4 | 6,3 | 1,50 a 4 | 12,6 | 2 a 6 | 20,4 |
| 70 | 1,32 a 4 | 4,4 | 1,32 a 4 | 11,3 | 2 a 6 | 19,1 |
| 80 | 1,19 a 4 | 2,8 | 1,19 a 4 | 10,2 | 2 a 6 | 18,0 |
| 90 | 1,08 a 4 | 1,5 | 1,08 a 4 | 9,2 | 2 a 6 | 17,1 |
| 100 | 1 a 4 | 0,6 | 1 a 4 | 8,4 | 2 a 6 | 16,3 |
| 120 | 1 a 4 | -0,7 | 1 a 4 | 7,5 | 2 a 6 | 15,0 |
| 140 | 1 a 4 | -1,5 | 1 a 4 | 5,5 | 2 a 6 | 14,1 |
| 160 | 1 a 4 | -3,1 | 1 a 4 | 3,9 | 2 a 6 | 13,3 |
| 180 | 1 a 4 | -4,5 | 1 a 4 | 2,7 | 2 a 6 | 12,8 |
| 200 | 1 a 4 | -5,4 | 1 a 4 | 1,6 | 2 a 6 | 12,5 |
| 250 | 1 a 4 | -7,0 | 1 a 4 | -0,6 | 2 a 6 | 8,6 |
| 300 | 1 a 4 | -8,9 | 1 a 4 | -2,3 | 2 a 6 | 6,5 |
| 400 | 1 a 4 | -11,4 | 1 a 4 | -4,9 | 2 a 6 | 3,8 |
| 500 | 1 a 4 | -13,4 | 1 a 4 | -6,9 | 2 a 6 | 1,8 |
| 600 | 1 a 4 | -14,9 | 1 a 4 | -8,4 | 2 a 6 | 0,2 |
| 700 | 1 a 4 | -16,3 | 1 a 4 | -9,7 | 2 a 6 | -1,0 |
| 800 | 1 a 4 | -17,4 | 1 a 4 | -10,9 | 2 a 6 | -2,4 |
| 900 | 1 a 4 | -18,5 | 1 a 4 | -12,0 | 2 a 6 | -3,3 |
| 1 000 | 1 a 4 | -19,4 | 1 a 4 | -13,0 | 2 a 6 | -4,2 |

Tabla B.4- Factores de corrección de acoplamiento mutuo para la geometría utilizada de los dipolos resonantes sintonizados, separados a 3m

A_{TOT} - Factor de corrección total en decibeles

| F_m (MHz) | Polarización Horizontal $R = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2 \text{ m}$ $h_2 = 1 \text{ m a } 4 \text{ m}$ | Polarización Vertical $R = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$ $h_2 = (\text{ver la tabla A.3})$ |
|----------------|---|---|
| 30 | 3,1 | 2,9 |
| 35 | 4,0 | 2,6 |
| 40 | 4,1 | 2,1 |
| 45 | 3,3 | 1,6 |
| 50 | 2,8 | 1,5 |
| 60 | 1,0 | 2,0 |
| 70 | -0,4 | 1,5 |
| 80 | -1,0 | 0,9 |
| 90 | -1,0 | 0,7 |
| 100 | -1,2 | 0,1 |
| 120 | -0,4 | -0,2 |
| 125 | -0,2 | -0,2 |
| 140 | -0,1 | 0,2 |
| 150 | -0,9 | 0,4 |
| 160 | -1,5 | 0,5 |
| 175 | -1,8 | -0,2 |
| 180 | -1,0 | -0,4 |

NOTAS

1. Los valores para los dipolos resonantes fueron calculados usando el método de momentos y el código electromagnético numérico (NEC) o el sistema computarizados MININEC.

G.J. Burke y A.J. Poggio, Código Electromagnético Numérico - Método de Momentos, Lawrence Livermore Laboratory, California, Enero, 1981.

J.W. Rockway, J.C. Logan, D.W.S. Tam, S.T. Li, El Sistema MININEC; Análisis de Microcomputadoras de Antenas de Alambre, Artech House, Boston, 1988.

Berry, J.; Pate, B., Knight: "Variaciones en los Factores de Corrección de Acoplamiento Mutuo para los Dipolos Resonantes Usados en las Mediciones de Atenuación del Sitio", Proc IEEE Sym en EMC, Washington, DC., 1990.

2. Se asumen los factores teóricos de la antena de libre espacio para los dipolos resonantes ideales, con una pérdida de balún de 0,5 Db (para cada antena).

3. Estos factores de corrección no describen completamente los factores de la antena medidos arriba del suelo, ej., en las alturas de 3 a 4 m, ya que estos factores de antena difieren de los factores de la antena de espacio libre en las frecuencia más bajas. Sin embargo, dentro de los márgenes de error descritos en la tabla C.1, los valores son adecuados para indicar las anomalías del sitio

4. El usuario es advertido acerca de que algunos dipolos de onda larga o antenas con balunes inusuales pueden exhibir características diferentes a las de la antena del párrafo B.5.

5. Los factores de corrección de acoplamiento mutuo para 10 m y 30 m están bajo consideración. Como un procedimiento provisional, se puede evaluar el sitio de prueba considerando que estos factores de corrección sean igual a cero.

APENDICE C

(Informativo)

Base para el criterio de 4 dB para la aceptación del sitio

C.1 General

Este anexo muestra la base para el criterio de aceptación de ± 4 dB, para las mediciones de atenuación del sitio normalizado requerido en el párrafo A.2 del apéndice A.

C.2 Análisis de Errores

El análisis de errores en la tabla C.1 aplica a los métodos de medición de atenuación del sitio normalizado dado en el párrafo A.2 del apéndice A. Los errores totales estimados son la base para el criterio de aceptación de ± 4 del sitio, que consta de una imprecisión aproximada de 3 dB, y 1 dB adicional para las imperfecciones del sitio.

La acumulación de errores en la tabla C.1 no incluye las imprecisiones en la estabilidad de la amplitud del generador de señal, del generador de seguimiento o cualquier amplificador que pueda ser usado, no incluye los errores potenciales en la técnica de medición. El nivel de salida de la mayoría de los generadores de seguimiento de señal derivará dependiendo del tiempo y temperatura, y la ganancia de la mayoría de los amplificadores derivarán cuando la temperatura cambie. Es imperativo que estas fuentes de error se mantengan en una cantidad insignificante o que sean corregidas al hacer las mediciones, de otro modo, el sitio puede fallar al cumplir con el criterio de aceptación debido a problemas con la instrumentación.

Tabla C.1.- Acumulación de Errores

| Causa de error | Método de medición | |
|--------------------------|-----------------------|---|
| | Método discreto dB | Método para el barrido de frecuencia dB |
| Factor de antena (Tx)* | ± 1 | ± 1 |
| Factor de antena (Rx)* | ± 1 | ± 1 |
| Vóltmetro | 0 | $\pm 1,6^{**}$ |
| Atenuador | ± 1 | 0 |
| Imperfecciones del sitio | ± 1 | ± 1 |
| Totales | ± 4 | $\pm 4,6$ |

* En las frecuencias superiores a 800 MHz, los errores AF pueden aproximarse a $\pm 1,5$ dB.

** De las instrucciones de operación

Por ejemplo, de las instrucciones de operación para algunos analizadores de espectro automáticos, si se hace todo para remover o compensar cada error potencial tanto como sea posible, los errores de amplitud restantes son:

- 1) $\pm 0,2$ dB de imprecisión del calibrador,
- 2) $\pm 1,0$ dB de linealidad de respuesta de frecuencia,
- 3) $\pm 1,0$ dB para la conmutación del atenuador de entrada,
- 4) $\pm 0,4$ dB de imprecisión sobre la ganancia RF y en frecuencia intermedia.

Esto da un error total potencial de $\pm 2,6$ dB. Esto no incluye la derivación de temperatura de $\pm 0,05$ dB/K. En práctica, cuando se ejecutan las mediciones del tipo de sustitución, los errores asociados con la linealidad de la respuesta de frecuencia y la conmutación del atenuador de entrada son usualmente 1 dB menos fiables, de modo que la banda total de error para el analizador de espectro que utiliza un voltímetro en dos terminales es $\pm 1,6$ dB o menos, este valor es usado en la tabla C.1.

La mayoría de los atenuadores tienen una precisión absoluta muy inferior, pero algunos son mejores. La acumulación total de error podría ser incrementada o disminuida en mediciones discretas. Si se usa un atenuador externo con el analizador de espectro automático en las mediciones de frecuencia de barrido, esta acumulación de error también es incrementada.

Estas acumulaciones de error no contienen errores inducidos de tiempo y temperatura de las ganancias, los niveles de salida, o respuestas de amplitud del equipo de prueba. Dichos errores pueden existir y los pasos que deben tomarse para evitarlos haciendo las mediciones tan rápido como sea posible.

En la práctica, los errores contados, indicados arriba, raramente están todos en la misma dirección. Un sitio bien construido y bien situado que cumpla con el criterio de ± 4 dB puede permitir actualmente una variación de anomalía en el sitio, superior a ± 1 dB del valor ideal.