

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2130-2
(12/2020)

Inspección de las estaciones radioeléctricas

Serie SM
Gestión del espectro



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de los Informes UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REP/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro

Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2021

© UIT 2021

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

INFORME UIT-R SM.2130-2

Inspección de las estaciones radioeléctricas

(2008-2017-2020)

1 Introducción

El objeto de este Informe es ofrecer directrices generales para planificar y realizar actividades de inspección en diversos tipos de estaciones radioeléctricas. Las actividades de inspección que se consideran aquí son las que se llevan a cabo *in situ*, visitando el emplazamiento del transmisor, e incluyen a menudo el examen y la verificación de las condiciones técnicas y administrativas asignadas a una estación radioeléctrica o a otro usuario del espectro.

Aunque se utiliza el término «con licencia» a lo largo del Informe, puede considerarse en este caso que dicho término incluye no sólo a las estaciones con licencias emitidas por la autoridad reglamentaria sino también otros usuarios del espectro autorizados (por ejemplo, los que explotan equipos «exentos de licencia» tales como dispositivos de radiocomunicaciones de baja potencia y dispositivos de RF que funcionan con arreglo a las normas de homologación del equipo).

En los Anexos figuran algunos casos específicos de ciertos servicios que proporcionan ejemplos de la forma en que pueden aplicarse estas directrices generales. El Informe debe considerarse como un documento de orientación general para la planificación de las inspecciones.

2 Cometido y organización de las actividades de inspección

El valor del espectro radioeléctrico cada vez es más importante en el desarrollo económico y social de muchos países. El control de este espectro por las autoridades de reglamentación de las telecomunicaciones ha pasado a ser una tarea incluso de mayor relevancia puesto que las administraciones nacionales pretenden maximizar la utilización eficaz del espectro, controlar la interferencia y promover nuevas tecnologías sin repercutir negativamente en las ya existentes.

Los reglamentos de radiocomunicaciones técnicos y administrativos de una administración ayudan a garantizar que los servicios radioeléctricos pueden funcionar sin producir interferencia. Los usuarios del espectro cuyos equipos no cumplen sus parámetros autorizados pueden generar interferencia a otros usuarios por diversas causas (tales como interferencia cocanal y de canal adyacente, armónicos y otras emisiones no esenciales). Normalmente las autoridades de reglamentación utilizan varios métodos para ayudar a garantizar que el espectro se emplea de una manera adecuada y eficaz. Esos métodos incluyen la comprobación técnica y las mediciones del espectro realizadas a distancia, las inspecciones/mediciones *in situ* de las estaciones radioeléctricas y la promulgación de especificaciones de obligado cumplimiento para ciertos equipos (tanto radioeléctricos como no radioeléctricos que generan energía espectral de RF). Las administraciones han utilizado con éxito alguna combinación de estos métodos, seguida de la aplicación de sanciones ejecutivas (notificación formal de infracciones) a causa de los problemas descubiertos, para ayudar a controlar la utilización eficaz del espectro.

Según la administración, estas funciones:

- puede llevarlas a cabo un solo departamento de la autoridad/organización de reglamentación (por ejemplo, un departamento ejecutivo que realice la comprobación técnica y las inspecciones y que aplique las sanciones correspondientes); o
- pueden efectuarlas distintas partes de la misma autoridad/organización de reglamentación (con una unidad de comprobación técnica separada, unidad de inspección y una unidad de aplicación de sanciones), o

- a veces distintas organizaciones (por ejemplo, las inspecciones de radiodifusión puede llevarlas a cabo una autoridad/organización completamente distinta a la que realice las inspecciones y la comprobación técnica para otros servicios).

La forma en que las administraciones organizan esta inspección viene determinada a menudo por la reglamentación nacional, por el número de titulares de licencias u otros usuarios del espectro autorizados, por el número de estaciones privadas en comparación con el número de estaciones explotadas por el gobierno y por otras razones. Si bien puede lograrse cierta eficacia si todas estas funciones se agrupan en la misma unidad o subunidad, el factor más importante es que las diferentes partes de la organización responsable de cada área se comuniquen y coordinen entre sí a fin de identificar, establecer prioridades, llevar a cabo y elaborar informes sobre el trabajo. Sin embargo, se hace cada vez más difícil distinguir estrictamente entre las inspecciones *in situ* y la comprobación técnica del espectro. Por una parte, la comprobación técnica de los dispositivos de baja potencia requiere prácticamente estar *in situ* y, por otra parte, la inspección *in situ* de un transmisor de radiodifusión puede comprender la determinación de su potencia radiada, lo que a su vez puede requerir una distancia de medición de unos pocos kilómetros.

Además, las actividades de inspección deben estar soportadas por las leyes pertinentes y por la reglamentación aprobada oficialmente que proporcione el desarrollo detallado de dichas leyes. La reglamentación debe contemplar la cobertura de la organización, la tecnología y procedimientos de inspección, los derechos y obligaciones de los inspectores y de los usuarios del espectro, las disposiciones para resolver los conflictos entre las autoridades de inspección y los usuarios del espectro, etc. Las obligaciones de los usuarios del espectro deben incluir disposiciones que garanticen a los inspectores el libre acceso a las instalaciones radioeléctricas así como medidas para evitar cualquier obstáculo en su trabajo. Estas disposiciones normalmente forman parte de la reglamentación nacional. Las credenciales que lleva un inspector a fin de identificarse como persona autorizada para llevar a cabo inspecciones en nombre de la autoridad reglamentaria generalmente se basan en esta reglamentación.

La función de inspección, al menos durante la etapa inicial de su implementación, puede combinarse de manera eficaz con la función de comprobación «por el aire» (a distancia) basada en la uniformidad de los equipos de comprobación técnica y de medición y otras instalaciones utilizadas tanto para las tareas de comprobación técnica como para las tareas de inspección *in situ*.

La oferta de procedimientos de medición normalizados podría ser útil no sólo para las administraciones, a fin de asegurar la calidad de las inspecciones realizadas por los diferentes agentes encargados de velar por la aplicación de la ley, sino también para los proveedores de servicios y los usuarios del espectro, a fin de proporcionar unas bases en las que todos los titulares de licencias puedan confiar para realizar sus propias mediciones y asegurar la calidad de los datos proporcionados en apoyo de las actividades de gestión del espectro.

Por diversas razones, unas pocas administraciones no llevan a cabo inspecciones radioeléctricas. A largo plazo, sin embargo, la ausencia de un programa de inspección puede tener consecuencias negativas muy importantes. Sin realizar inspecciones, no puede garantizarse la integridad y fiabilidad del registro nacional de asignación de frecuencias ya que uno de los objetivos de la inspección es verificar que la estación radioeléctrica está realmente instalada y explotada de conformidad con los parámetros asignados. Los datos de referencia válidos para la subsiguiente comprobación técnica del espectro (tales como los valores de intensidad de campo de referencia) a menudo no pueden obtenerse fácilmente. Estos dos factores disminuyen considerablemente la eficacia de los sistemas automáticos de gestión del espectro a la hora de detectar infracciones y utilizaciones no autorizadas. Desde el punto de vista administrativo, la ausencia de inspecciones se traduce en una influencia perniciosa sobre los usuarios del espectro ya que éstos podrían pensar que pueden ignorar el cumplimiento de los parámetros que figuran en su licencia, puesto que el riesgo de detección es inferior si no se realizan

inspecciones *in situ*. A este respecto, incluso la realización de inspecciones limitadas puede aumentar considerablemente la responsabilidad de los usuarios del espectro.

3 Técnicas de inspección

Las *técnicas de inspección* utilizadas por las administraciones pueden definirse generalmente como factores de decisión, etapas de planificación y métodos de implementación empleados por las administraciones para planificar y llevar a cabo las inspecciones en la estación. A la hora de llevar a cabo estas inspecciones deben tomarse varias decisiones relativas a los servicios radioeléctricos que deben inspeccionarse, al número de servicios que se debe inspeccionar, a la frecuencia de dichas inspecciones y a qué nivel de detalle debe llegarse en cada inspección.

Existe una gama de técnicas utilizadas por las administraciones para organizar sus planes de inspección que van desde inspeccionar a todas las estaciones a inspeccionar sólo unas cuantas o ninguna. En los siguientes puntos se presentan algunos ejemplos de organización.

– **Inspección de todas las estaciones**

Algunas administraciones establecen como objetivo (o tienen como requisito en sus reglamentaciones o políticas) la inspección de todas las estaciones de ciertos servicios o, en ocasiones, de todos los servicios dentro de cierto periodo de tiempo. A menudo se limita la adopción de este procedimiento debido a la creciente proliferación de dispositivos radioeléctricos y a los limitados recursos de que disponen las administraciones, pero puede resultar útil en ciertos casos, como cuando se establece un censo de todos los usuarios, y permite la corrección sistemática y exhaustiva de los errores de las bases de datos sobre usuarios con licencia.

– **Inspección de un determinado porcentaje**

La inspección de un determinado porcentaje de las estaciones sólo reduce rápidamente la carga de trabajo de los inspectores y las molestias para los titulares de las licencias.

– **Inspección basada en métodos estadísticos**

Algunas administraciones utilizan métodos estadísticos para estimar las tasas de cumplimiento globales, y los resultados se utilizan para planificar futuros niveles de inspección. En su forma más simple, al inspeccionar una pequeña muestra de todas las estaciones, el cumplimiento global puede inferirse por la tasa de cumplimiento en la muestra. Una tasa de cumplimiento elevada, por ejemplo, puede dar lugar a menos inspecciones (muestreo más bajo) en ese servicio radioeléctrico en el año siguiente. Estos métodos reducen la carga de trabajo de los inspectores y las molestias para el titular de la licencia.

– **Inspecciones provocadas**

Las inspecciones provocadas se inician por hechos específicos tales como quejas de interferencia, parámetros que no cumplen la reglamentación descubiertos por la comprobación técnica del espectro o cualquier otra indicación de posible infracción. Además, las inspecciones pueden desencadenarse por sucesos especiales (por ejemplo, acontecimientos deportivos importantes) o por la necesidad de determinar el nivel de cumplimiento de una característica en particular (por ejemplo, la precisión de coordinación de la torre).

– **Inspecciones limitadas**

Las inspecciones limitadas pueden verificar únicamente un elemento específico que interesa a la autoridad reglamentaria; por ejemplo, un cierto registro administrativo de la estación o la potencia de salida de un transmisor.

– **Inspecciones basadas en el riesgo**

Algunas licencias pueden considerarse de «alto riesgo». Estas licencias se refieren a estaciones radioeléctricas que tienen muchas posibilidades de provocar interferencia a otras estaciones. Esas licencias de «alto riesgo» pueden incluir emplazamiento con una elevada concentración de transmisores de RF, licencias en frecuencias adyacentes a los servicios de seguridad o licencias en una parte del espectro utilizada por transmisores con un nivel de potencia elevado y bajo. Las administraciones pueden hacer mayor hincapié en la inspección de estaciones que tienen «licencias de alto riesgo».

Cuando una administración inicia sus actividades de inspección, especialmente si carece de experiencia, conviene centrar los recursos de la inspección en varias áreas que ofrecerán a esa administración las mayores ventajas en cuanto a utilización eficaz del espectro. A continuación, se sugieren algunas prioridades para planificar la inspección:

- inspecciones de todas las estaciones de reciente instalación;
- inspección de los transmisores más potentes (tales como los transmisores de radiodifusión);
- inspecciones de los servicios en los que las estadísticas muestran un mayor número de violaciones. Basándose en las experiencias de otras administraciones, normalmente se trata de las estaciones de radiocomunicaciones móviles privadas.

A continuación, aparece un breve ejemplo de un programa de inspección:

- Inspeccionar al menos el 15% de las estaciones de base radioeléctricas de los servicios personales móviles.
- Inspeccionar al menos el 15% de los transceptores utilizados por las redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC).
- Inspeccionar al menos el 15% de las estaciones fijas y móviles de los servicios de radiotaxi.
- Inspeccionar el 100% de los servicios de investigación científica.
- Inspeccionar al menos el 15% de las estaciones terrenas de satélite.
- Inspeccionar el 100% de las estaciones autorizadas utilizadas para los servicios fijo y móvil cuyas licencias han expirado o expirarán en el año en curso.
- Inspeccionar al menos el 20% de los parámetros técnicos de las estaciones fijas y móviles.
- Realizar, en un máximo de 30 días antes de conceder la licencia, la inspección de las estaciones nuevas o modificadas.
- Inspeccionar o verificar para el funcionamiento continuado, al menos el 15% de todas las estaciones cuyas licencias han expirado o se han suprimido del sistema nacional de base de datos.

En este ejemplo, pueden observarse cómo se han tenido en cuenta algunos elementos de las categorías anteriores y cómo algunos factores pueden basarse en las regulaciones de la administración, en las políticas gubernamentales y en los resultados de inspecciones precedentes. Normalmente, las directrices deberían evaluarse y ajustarse anualmente basándose en los resultados de los programas de inspección del año anterior.

Además, en el ejemplo anterior puede verse que los tamaños de la muestra son distintos para las diferentes categorías de estaciones. Ello puede deberse a varios factores, incluido el número de estaciones autorizadas en el servicio, el historial de cumplimiento y los objetivos o políticas de la administración en la clase de servicio radioeléctrico específico de que se trate.

4 Parámetros técnicos

Generalmente, todo elemento especificado en la licencia de una estación o en las condiciones de funcionamiento debe ser un elemento medible o verificable durante una inspección. Los parámetros de funcionamiento de una estación son importantes para controlar la interferencia y para permitir la coexistencia de varias estaciones en las mismas frecuencias y/o en las mismas zonas geográficas y son útiles para asegurar una utilización eficaz del espectro. Los parámetros especificados son importantes a la hora de determinar la zona de cobertura de una estación y la cantidad de espectro ocupado. La siguiente lista indica los parámetros técnicos que pueden verificarse durante las inspecciones.

- Frecuencia (desplazamiento y estabilidad).
- Potencia de salida del transmisor.
- Potencia radiada.
- Coordenadas geográficas.
- Armónicos, productos de intermodulación y emisiones no esenciales.
- Intensidad de campo eléctrico, magnético y electromagnético.
- Anchura de banda.
- Altura de la antena.
- Dirección del lóbulo principal.
- Diagrama de antena.
- Inclinación de la antena.
- Parámetros de modulación.
- Densidad de flujo de potencia.

Los elementos específicos que deben verificarse variarán según el tipo de estación/servicio radioeléctrico, reglamento de radiocomunicaciones del país y políticas de la administración de reglamentación. Otros factores que influyen en la verificación podrían ser: problemas que han aparecido anteriormente, elementos que se considera que pueden causar interferencia o elementos relacionados con un problema de interferencia real señalado. Como factores indirectos pueden citarse temas relativos al personal/carga de trabajo de la administración de la reglamentación o disponibilidad de equipos. Las administraciones que planifican trabajos de inspección se centrarán normalmente en los elementos que van a verificarse basándose en estos factores.

5 Complemento de equipos

A continuación, aparece una lista recomendada de equipos normalmente utilizados durante la inspección de una estación radioeléctrica:

Equipo primario:

- Medidor de frecuencias.
- Medidor de potencia/acopladores direccionales.
- Analizador de espectro/receptor de medición.
- Antenas.

Utilizando estos instrumentos pueden medirse los parámetros más importantes tales como la frecuencia de funcionamiento, la potencia del transmisor y las propiedades espectrales de RF.

Equipo adicional:

- Medidor de intensidad de campo.
- Medidor de densidad de flujo de potencia con sensor de campo E y H isótropo.
- Analizadores de modulación y protocolo.
- Medidor de distancia/telémetro.
- Cintas de medición de distancia.
- Goniómetro/inclinómetro.
- GPS.
- Soportes/trípodes de antena.
- Carga resistiva de potencia.
- Cables, conectores y accesorios.

Algunos de estos elementos se utilizan para confirmar las alturas/emplazamientos de la torre y la orientación de la antena y para medir parámetros especiales específicos a un servicio particular de comunicaciones (por ejemplo, TV o analizador de modulación digital).

Las administraciones han observado que pueden ser necesarios algunos equipos especiales de medición adicionales para realizar ciertas inspecciones, dependiendo de los tipos de emisión, las frecuencias asignadas, la introducción de nuevas tecnologías de comunicaciones y las tareas de inspección. Por ejemplo, puede que en algunas inspecciones sea preciso utilizar un modelo reciente de analizador de radiocomunicaciones con características de modulación digital avanzadas para detectar y medir adecuadamente las portadoras digitales que utilizan nuevas técnicas de modulación/acceso al espectro, si la administración requiere ese tipo de medición.

Un factor importante que debe considerarse al utilizar cualquier instrumento es la precisión de la calibración y la incertidumbre de la medición del equipo. Deben consultarse las directrices del fabricante del equipo para determinar los requisitos de calibración.

Las prácticas de medición generales incluyen la aplicación de tolerancias a las mediciones realizadas en las inspecciones basadas en la incertidumbre/repetibilidad de la medición del instrumento de medición. Una práctica recomendada al planificar la inspección es agrupar los equipos que van a utilizarse (junto con sus manuales de funcionamiento y guía de procedimiento de medición) y verificar su funcionamiento adecuado antes de llevar a cabo las actividades de inspección.

Puede utilizarse un *software* de control de equipos para obtener mediciones normalizadas y repetibles en las inspecciones. Este *software* puede constituir una herramienta útil para garantizar que se tienen en cuenta todas las consideraciones sobre tolerancias de la medición. El *software*, ejecutado en una computadora portátil, ayuda al agente de inspección durante el proceso de medición. Utilizando una interfaz, la computadora portátil puede comunicarse con el equipo de medición y recopilar todos los datos necesarios, comparando a continuación automáticamente los resultados con los datos que figuran en la licencia y elaborando un informe.

Dependiendo de la forma en que la administración tenga organizado el servicio de inspección de la administración, también pueden verificarse otros elementos técnicos y administrativos (tales como seguridad del tendido eléctrico, condiciones peligrosas de radiación de radiofrecuencia, seguridad de la torre y otros elementos).

En el Cuadro 1 aparece un resumen de los equipos complementarios y de los parámetros medidos indicados más arriba.

CUADRO 1

Resumen de los equipos utilizados y parámetros medidos

Equipo	Parámetro medido
Analizador de espectro/receptor de medición, antena	Frecuencia, anchura de banda, intensidad de campo, armónicos, productos de intermodulación y emisiones no esenciales
Analizador de señal, antena	Frecuencia, anchura de banda, potencia, armónicos, productos de intermodulación y emisiones no esenciales y parámetros de modulación
Medidor de frecuencias, antena	Frecuencia y desplazamiento de frecuencia
Medidor de potencia, acoplador direccional, carga resistiva	Potencia de salida del transmisor (directa y reflejada)
Medidor de intensidad de campo con antena/cable calibrado	Intensidad de campo
Medidor de densidad de flujo de potencia	Intensidad de campo eléctrico, magnético y electromagnético
Analizador de modulación	Parámetros de modulación de tipos específicos de señales y presencia de señales adicionales
Medidor de distancia o telémetro	Distancias, incluida la altura de antena
Cintas de medición	
Goniómetro	Acimut de antena
Inclinómetro	Inclinación de la antena
GPS	Coordenadas del emplazamiento

6 Examen de los registros

La licencia de la estación y las condiciones de funcionamiento de la misma son algunos de los principales registros administrativos examinados cuando se inspeccionan las estaciones. Estos textos deben estudiarse antes de llevar a cabo las inspecciones porque los equipos de medición necesarios dependen de los parámetros técnicos que han de evaluarse. Algunos parámetros técnicos no pueden deducirse a partir de la documentación de la licencia; por ejemplo, el tipo de conectores utilizados en un transmisor de alta potencia, y por consiguiente deben determinarse mediante investigaciones adicionales.

Un objetivo importante de la inspección es confirmar que la estación funciona de conformidad con los parámetros asignados por la administración para la utilización del espectro de frecuencias. Los parámetros medidos u observados se comparan con los parámetros que figuran en la licencia para determinar si la estación está de conformidad. Otros exámenes de los registros incluyen: certificaciones/estado de aprobación de los equipos instalados, registros relativos a las operaciones cotidianas, (tales como registros de funcionamiento del transmisor y registros de programación) y otros registros especiales que pueden ser necesarios para ciertos tipos de estaciones.

Los resultados de la inspección se anotan normalmente en un formulario adecuado o en una lista de verificación (sobre papel, en un dispositivo portátil o en una computadora portátil) diseñada para recopilar la información importante determinada por la administración. Generalmente ello incluirá la verificación de los parámetros de la licencia discutidos previamente, adaptaciones relativas al incumplimiento o desviaciones de los parámetros de la licencia, descripción del emplazamiento del transmisor (incluyendo fotos si es necesario), personal presente durante la inspección, equipo utilizado y comentarios del inspector describiendo acciones posteriores si es preciso. Las condiciones

irregulares de comportamiento se señalan a la atención de la estación para su corrección y se anotan en el informe de inspección y en los registros de las inspecciones de la administración o en la base de datos de cumplimiento. La información contenida en estos registros (niveles de cumplimiento u otros resultados de la inspección) puede utilizarse para ajustar en el futuro los planes de inspección.

Los resultados de la inspección también los emplean algunas administraciones para verificar o mejorar la precisión de las bases de datos de licencias existentes. Ello puede servir de ayuda cuando la base de datos de la administración ha perdido información o contiene información distinta de la observada en la inspección y se determina que la base de datos contiene errores.

7 Comprobación técnica del espectro e inspecciones *in situ*

Algunos parámetros fundamentales de la estación tales como la frecuencia, la desviación de frecuencia, la anchura de banda, el exceso de potencia y el consiguiente grado de incumplimiento de los parámetros de la estación comparados con los que establece su licencia así como la disciplina operacional del operador pueden verificarse de manera eficaz utilizando estaciones de comprobación técnica fijas o móviles. Las ventajas de este método radican en que pueden supervisarse varias estaciones desde un emplazamiento si el nivel de la señal es suficiente y en que no es necesario entrar en contacto o empeñar en dichas tareas a los operadores de la estación.

Especialmente los transmisores de radiodifusión en ondas métricas y decimétricas pueden medirse eficazmente a distancia. La intensidad de campo medida o la tensión de entrada en el receptor pueden compararse con los resultados de una herramienta de planificación o, mejor aún, con resultados previos que ya están almacenados en la base de datos. Cualquier anomalía se detecta inmediatamente. Cabe señalar que no deben despreciarse las variaciones en las condiciones de propagación, especialmente a las frecuencias más bajas.

Hay que indicar igualmente que los resultados de la comprobación técnica del espectro no siempre pueden considerarse legalmente válidos. A veces, deben corroborarse mediante inspecciones *in situ* complementarias.

Algunos tipos de estaciones cuentan con redes complejas de filtrado y combinación que hacen difícil la conexión directa de los instrumentos y los resultados de las mediciones a veces son inciertos. Además, las conexiones directas con la salida del transmisor no comprenden el diagrama de antena y, por consiguiente, no revelan ninguna anomalía que pueda producirse en los sistemas de antenas. La medición de la máxima desviación de frecuencia o la potencia múltiple en las estaciones de radiodifusión de FM requiere reflexiones bajas y suficiente atenuación de las otras señales de radiodifusión. Por razones evidentes estas mediciones se realizan mediante la comprobación técnica del espectro sin la participación del operador.

Como ya se indicó en el § 2, hay una transición fluida entre la función de comprobación técnica de las radiocomunicaciones y la función de inspección *in situ*, y la definición de una tarea de medición depende a menudo de las estructuras tradicionales.

8 Calibración

El problema de la calibración de los equipos destinados a fines de inspección exige una atención especial. Sobre todo, los resultados de la inspección pueden dar lugar a graves medidas coercitivas de conformidad con la legislación nacional, tales como fuertes multas, confiscación de fuentes de emisión (como transmisores de radiocomunicaciones, instalaciones industriales, médicas o científicas, etc.), e incluso la apertura de un procedimiento judicial. Por lo tanto, las autoridades de inspección de las frecuencias radioeléctricas que efectúen las mediciones deben estar totalmente seguras de que los resultados de las mediciones cumplen las normas de medición reconocidas y se

realizan con equipos que se ajustan plenamente a las características y parámetros declarados, que deben estar debidamente validados y documentados.

Además, la falta de condiciones adecuadas de trazabilidad y reproducibilidad de las actividades de medición puede invalidar técnicamente los resultados obtenidos. En estas circunstancias, el usuario/propietario del equipo emisor puede recurrir las sanciones impuestas, y las autoridades de inspección de las frecuencias radioeléctricas pueden perder el recurso presentado por el usuario/propietario del equipo emisor y, por lo tanto, las medidas coercitivas aplicadas resultarían ineficaces.

Así pues, durante el proceso de inspección, al menos las mediciones críticas que puedan dar lugar a la imposición de medidas coercitivas graves deben realizarse con equipos de medición que hayan sido verificados y calibrados por una organización de medición con la correspondiente acreditación de su estado, que deberá estar debidamente validada y documentada. El certificado correspondiente debe contener al menos la siguiente información:

- la identificación de la organización que ha llevado a cabo la verificación y calibración de los equipos de medición, junto con los datos relativos a la acreditación del estado de la organización;
- el lugar y la fecha de verificación/calibración;
- la indicación del método de verificación/calibración utilizado;
- la confirmación de que el equipo cumple rigurosamente los requisitos necesarios para realizar la medición indicada;
- la fecha de la próxima verificación/calibración.

Puede encontrarse información adicional sobre este tema en la sección 2.7.5 «Calibración» del Manual de la UIT sobre comprobación técnica del espectro, edición de 2011.

9 Conclusión

Este Informe proporciona información que deben considerar las administraciones a la hora de planificar las inspecciones de las estaciones radioeléctricas. Hay que señalar que no es posible desarrollar un plan de inspecciones detallado, específicamente definido y que sea adecuado para todas las administraciones, para todos los servicios de radiocomunicaciones y en todas las circunstancias. En lugar de ello, el objetivo de este Informe es presentar orientaciones generales para la planificación, ejemplos de casos específicos y un procedimiento para la planificación de inspecciones que puedan utilizar las administraciones adaptándolo a sus requisitos específicos.

En el Anexo 1 se incluyen descripciones más detalladas de los procedimientos de inspección que también pueden ser útiles a las administraciones para entender y organizar sus actividades.

Anexo 1

Criterios para determinar el tamaño de la muestra a fin de planificar las inspecciones

1 Introducción

Evidentemente, no es posible examinar todos los equipos radioeléctricos de todos los usuarios en un solo año. Teniendo debidamente en cuenta los aspectos económicos (inversión en términos de coste y tiempo) y el objetivo consistente en obtener resultados definitivos, la aplicación de muestreo para verificar la utilización de las frecuencias se considera oportuna. El método descrito a continuación lo utiliza la Agencia de la Red Federal de Alemania. Permite extraer consecuencias relativas al conjunto total a partir de los resultados de un examen parcial (muestreo). Las cuestiones que deben responderse en este caso se refieren al tamaño de la muestra y a la forma en que deben seleccionarse los objetos que van a examinarse.

2 Métodos para determinar el tamaño de la muestra

La determinación del tamaño de la muestra y la selección de los objetos que van a probarse deben basarse en un método estadístico reconocido que proporcione información regular y precisa sobre el cumplimiento de las condiciones de asignación en una aplicación radioeléctrica. En principio, ese método puede aplicarse a todas las aplicaciones radioeléctricas. El método de muestreo es un método de prueba económica para determinar el *statu quo*. Un requisito previo para la aplicación de este método es la especificación de las siguientes condiciones límite:

Equidistribución de las muestras:

Para garantizar una selección representativa, cada elemento (asignación) del conjunto global (número de asignaciones) debe escogerse con la misma probabilidad.

Aspectos temporales:

Debe especificarse el periodo durante el cual va a probarse la muestra y la frecuencia en que se va a realizar dicha prueba. Ello tiene una influencia decisiva en los gastos de personal.

Criterios espaciales:

Existe una diferencia entre un resultado relativo a todo un país y otro relativo a regiones individuales. La cantidad de muestras necesarias aumenta considerablemente si los resultados tienen por objeto ilustrar las diferencias regionales.

Criterios estadísticos:

Los resultados del análisis proporcionan el porcentaje, P , de redes radioeléctricas/asignaciones con fallos. El requisito del tamaño mínimo de la muestra depende en gran medida de la probabilidad de certidumbre especificada, S , y del valor del error tolerable, e . La probabilidad complementaria $Q = 1 - P$ indica el porcentaje de asignaciones sin fallos.

Error tolerable:

Un error de, por ejemplo, el 5% significa que cada valor de la muestra (por ejemplo, el 30%) puede desviarse un 5% por encima o por debajo del valor real de la certeza básica; es decir, el valor real puede oscilar entre el 25% y el 35%.

La certeza de una muestra indica el número de casos en el que el método de muestreo obtiene resultados «correctos» y precisos. Una certeza de, por ejemplo, el 90% implica que si se aplica el método 100 veces se obtendrán resultados «incorrectos» únicamente en 10 aplicaciones, pero estos resultados no obstante son suficientemente próximos al valor «correcto», por ejemplo $\pm 5\%$.

3 Número de muestras necesarias

El mínimo número de muestras necesarias para lograr el nivel de certidumbre deseado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$n \geq \frac{N}{1 + \frac{(N-1) \cdot e^2}{z^2 \cdot P \cdot Q}}$$

siendo:

- n : mínimo tamaño de la muestra necesario
- N : número total de asignaciones
- e : error tolerable seleccionado
- z : valor de la probabilidad de certeza especificada, S , calculado a partir de la probabilidad central de la distribución normal

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z e^{-t^2/2} dt$$

$$S(z) = 2 \cdot \Phi(z) - 1$$

- P : porcentaje de asignaciones en que las condiciones de la asignación no se cumplen (fallo)
- Q : $Q = 1 - P$, porcentaje de asignaciones en que se satisfacen las condiciones de la asignación (éxito)

Para un gran número de asignaciones (30 como mínimo), la ecuación para obtener n se simplifica en:

$$n \geq \frac{z^2 \cdot P \cdot Q}{e^2}$$

Puede deducirse de la fórmula que el tamaño mínimo necesario de la muestra depende en gran medida del producto $P \cdot Q$. Para $P = 50\%$ y $Q = 50\%$ el término $P \cdot Q$ es máximo. En la Agencia de la Red Federal de Alemania, se han supuesto los siguientes valores:

Probabilidad de certeza:	90%
Error tolerable:	5%

Ejemplo:

En una cierta zona existen 8 000 redes de una aplicación radioeléctrica específica. Se sabe por investigaciones anteriores que aproximadamente el 30% de estas redes no cumplen los requisitos. ¿Cuántas redes radioeléctricas deben inspeccionarse para poder identificar la proporción de redes defectuosas entre estas 8 000 redes con una probabilidad del 90%? La tasa de error del resultado no debe rebasar un valor máximo del 5%.

Con $S(z)=90\%$ se obtiene $\Phi(z)=0,95$. Para ello, el valor $z=1,645$ puede obtenerse del cuadro matemático pertinente o calcularse mediante un programa de hoja de cálculo. Si $N=8\,000$, $e=5\%$, $P=30\%$ y $Q=70\%$, entonces $n=221$ muestras o redes, respectivamente.

4 Número de muestras en una red radioeléctrica

Si las consideraciones anteriores se aplican coherentemente al número de instalaciones radioeléctricas en las redes individuales, se obtendrían volúmenes de prueba irrazonables. En el caso de una red con 20 instalaciones radioeléctricas, deberían probarse 19 redes e incluso en el caso de una red con 100 instalaciones radioeléctricas aún deberían probarse 73 unidades.

Por consiguiente, es más razonable, en el caso de las radiocomunicaciones móviles privadas (RMP), probar todas las instalaciones radioeléctricas fijas y sólo un número limitado de los equipos radioeléctricos móviles. Si el número de defectos rebasa ostensiblemente el valor medio, puede aumentarse el número de equipos radioeléctricos comprobados en la red.

5 Selección de los objetos que van a probarse

Aunque cada muestra debe seleccionarse aleatoriamente sin reposición entre una población finita o infinita, es evidente que en la práctica no es posible realizar una selección totalmente aleatoria de los objetos de van a probarse. Por esta razón se utiliza un método de selección sistemática. Si N es el número total de asignaciones y n el número de redes que van a comprobarse, el k -ésimo elemento se selecciona a partir de la base de datos siendo $k = N/n$. Este método exige que los elementos en la base de datos estén ordenados según un cierto criterio, por ejemplo de acuerdo con el nombre del titular de la asignación.

Ejemplo: Las asignaciones en la base de datos se clasifican de acuerdo con la oficina regional, código postal y nombre. Las asignaciones que van a probarse se seleccionan mediante un generador aleatorio. Las asignaciones que ya han sido examinadas en los últimos dos años quedan excluidas.

La experiencia ha demostrado que no es posible probar todas las redes seleccionadas en el periodo de prueba. Algunas de las asignaciones de frecuencia han sido devueltas a la agencia o la red radioeléctrica ha cesado el servicio sin que se haya devuelto la asignación de frecuencia. Para lograr la precisión estadística necesaria a pesar de estas circunstancias, en tales casos es preciso seleccionar más objetos de prueba. En la práctica ha sucedido que ha debido seleccionarse el doble número de redes antes de lograr el número necesario n que podría comprobarse.

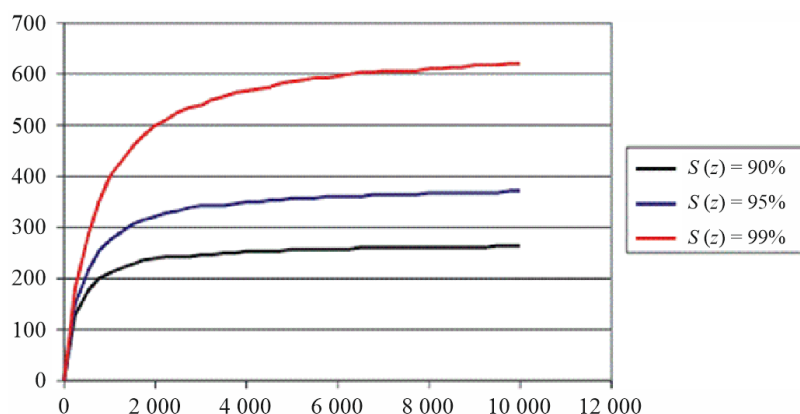
Como regla general, se informa al titular de la asignación de frecuencia en la primera etapa de las mediciones de manera que facilite el acceso a los equipos radioeléctricos.

6 Influencia de los parámetros sobre el volumen de prueba

La Fig. 1 indica que el número n de muestras necesarias apenas cambia a partir de un valor $N = 2\,000$. Por el contrario, el requisito de probabilidad de certeza tiene una influencia considerable en el volumen de la prueba.

La Fig. 1 representa el número de muestras frente al número de asignaciones de frecuencias necesarias para los distintos valores de la probabilidad de certidumbre S con un porcentaje de $P = 50\%$ de las asignaciones en que no se cumplan las condiciones de asignación (fallo).

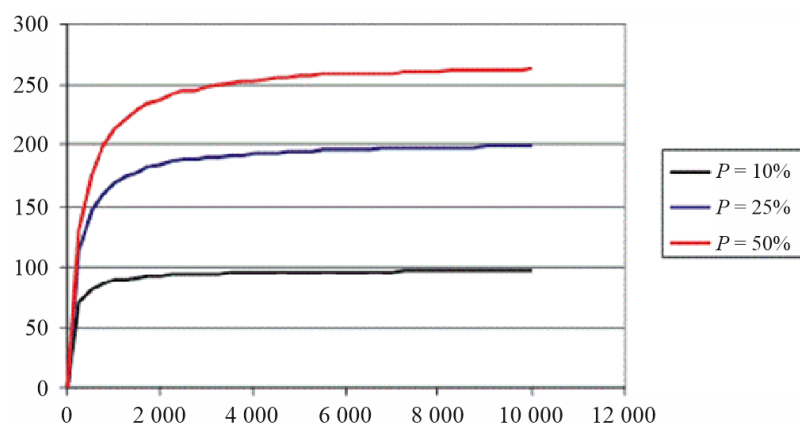
FIGURA 1



Informe SM.2130-01

La Fig. 2 representa el número de muestras frente al número de asignaciones de frecuencias necesarias para diversos valores de P con una probabilidad de certidumbre de $S = 90\%$.

FIGURA 2



Informe SM.2130-02

7 Estrategia

El método descrito anteriormente sirve fundamentalmente para determinar el *statu quo*. Por consiguiente, es importante no sólo incorporar los resultados en el cálculo del volumen de prueba para el siguiente periodo de prueba sino también extraer conclusiones adicionales.

En primer lugar, debe plantearse la cuestión de si el resultado es o no satisfactorio. ¿Se cumplen en su mayor parte las condiciones de la asignación o la tasa de redes deficientes es tan elevada que es necesario tomar medidas correctivas? Una tasa de deficiencias del 30% en las RMP es un valor realista. Pero si aproximadamente un tercio de las redes radioeléctricas presentan deficiencias el resultado no es satisfactorio.

Las siguientes acciones correctoras son simples ejemplos de posibles medidas:

- inspección de redes adicionales;
- inspección de todas las nuevas redes radioeléctricas en un año;
- repetición de la inspección al año siguiente de las redes en las que se han identificado deficiencias;

- difusión de folletos de información a los usuarios de frecuencias y a los comerciantes de equipos radioeléctricos.

Al evaluar las deficiencias para las diferentes regiones puede suceder, por ejemplo, que el personal de comprobación técnica o de aplicación de la ley en las diversas oficinas regionales utilice distintos métodos de trabajo o evalúe las desviaciones de manera diferente. Pero también es posible que los usuarios de frecuencias se comporten de manera distinta de una región a otra. En regiones montañosas, por ejemplo, pueden emplear frecuencias más elevadas o antenas excesivamente altas para ampliar su alcance. Tras este resultado debe examinarse el método de asignación de frecuencias. ¿Se satisfacen adecuadamente los requisitos del solicitante o deben introducirse cambios?

Como regla general, se informa al titular de la asignación de frecuencia en la primera etapa de las mediciones de manera que facilite el acceso a los equipos radioeléctricos.

8 Conclusión

El método descrito anteriormente permite determinar el tamaño mínimo de la muestra que se requiere para evaluar la conformidad de las redes radioeléctricas con los parámetros que se le han asignado, sobre la base de un método estadístico reconocido. Este método, sin embargo, sólo tiene sentido si se extraen conclusiones de los resultados.
