

**PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE
LOS PARÁMETROS DE POTENCIA EN LOS
EMPLAZAMIENTOS DE REDES DE COMUNICACIONES
MÓVILES, CON EL OBJETIVO DE CUMPLIR LOS NIVELES
DE EXPOSICIÓN A LOS CAMPOS
ELECTROMAGNÉTICOS EN EL MARCO DE LA
REGULACIÓN COLOMBIANA**

(Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Telecomunicaciones y
Regulación TIC)

ANDRES GERMAN CASALLAS GÜIZA

Director:

Ing. Angela Tatiana Zona Ortiz PhD.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES Y REGULACIÓN TIC
BOGOTÁ, 2018

Dedicado a mi madre Gladys Güiza y a la memoria de mi padre y abuelo Jorge Güiza.

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios, a mi madre, mi hermosa familia y amigos por el apoyo incondicional, respaldo y confianza en el desarrollo en este nuevo proyecto personal y profesional.

Esta tesis no hubiera sido posible sin la guía, orientación y el constante apoyo académico, técnico y humano de mi directora Angela Tatiana Zona Ortiz quien fue fundamental en el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Por último, agradezco a la Universidad Santo Tomas, a la facultad de ingeniería de telecomunicaciones, a los docentes del posgrado y a mis compañeros de estudio quienes también son parte integral de lograr esta meta.

TABLA DE CONTENIDO

1	MARCO GENERAL DEL PROYECTO	11
1.1	OBJETIVOS.....	11
1.2	ALCANCE	12
2	EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y LAS COMUNICACIONES MÓVILES.....	13
2.1	RADIACIÓN IONIZANTE Y NO IONIZANTE	15
2.2	COMUNICACIONES MÓVILES	16
2.2.1	<i>ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO PARA REDES MÓVILES EN COLOMBIA.....</i>	<i>19</i>
3	EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	22
3.1	BASE BIOLÓGICA PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN A CEM (100 KHz – 300 GHz).....	23
3.2	JUSTIFICACIÓN GENERAL DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD	24
3.3	LIMITES DE LA ICNIRP FRENTE A LA EXPOSICIÓN A LOS CEM	25
3.4	RECOMENDACIONES DE LA ITU FRENTE A LA EXPOSICIÓN A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	27
3.4.1	<i>RECOMENDACIÓN ITU-K52. ORIENTACIÓN SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....</i>	<i>31</i>
3.4.2	<i>RECOMENDACIÓN ITU-K61. DIRECTRICES SOBRE LA MEDICIÓN Y PREDICCIÓN NUMÉRICA DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PARA COMPROBAR QUE LAS INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES CUMPLEN CON LOS LIMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS</i>	<i>36</i>
3.4.3	<i>RECOMENDACIÓN ITU-K62. EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD DE LAS EMISIONES RADIADAS POR UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES MEDIANTE MODELOS MATEMÁTICOS.....</i>	<i>38</i>
3.4.4	<i>RECOMENDACIÓN ITU-K70. TÉCNICAS PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN HUMANA A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN CERCANÍAS A ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIONES</i>	<i>39</i>
3.4.5	<i>RECOMENDACIÓN ITU-K83. SUPERVISIÓN DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO</i>	<i>40</i>
3.4.6	<i>RECOMENDACIÓN ITU-K91. ORIENTACIÓN PARA LA VALORACIÓN, EVALUACIÓN Y EL SEGUIMIENTO DE LA EXPOSICIÓN HUMANA A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS GENERADOS POR RADIOFRECUENCIAS</i>	<i>40</i>
3.4.7	<i>RECOMENDACIÓN ITU-K100. MEDICIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA PARA DETERMINAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS CUANDO SE PONE EN SERVICIO UNA ESTACIÓN DE BASE</i>	<i>40</i>

3.4.8	RECOMENDACIÓN ITU-K113. GENERACIÓN DE MAPAS DE CAMPO DE RADIOFRECUENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS	42
3.5	INFORME SOBRE LAS ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS RELATIVAS A LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE LA ITU	42
4	VIGILANCIA Y CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A CEM	46
4.1	PROCEDIMIENTOS PARA EL CALCULO Y LA MEDIDA DE EXPOSICIÓN A CEM	47
4.1.1	PROCEDIMIENTOS PARA EVALUAR LA CONFORMIDAD DE LAS FUENTES	50
4.1.2	PROCEDIMIENTOS DE CALCULOS NUMÉRICOS.....	57
4.1.3	PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS CON MULTIPLES FUENTES	61
4.1.4	PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE UN SISTEMA COMPLEJO CON MODELOS MATEMÁTICOS	62
4.1.5	PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA.....	70
4.2	SISTEMAS DE MONITOREO INTERNACIONALES EN AMÉRICA LATINA.....	72
4.2.1	EVALUACIÓN Y CONCEPTOS DE LOS SISTEMAS EN AMÉRICA LATINA	73
4.3	SISTEMA DE MONITOREO DE LA ANE - COLOMBIA.....	74
4.3.1	EVALUACIÓN Y CONCEPTOS DEL SISTEMA	76
4.4	ACTORES INVOLUCRADOS EN EL ECOSISTEMA DE LAS REDES MÓVILES Y LA EXPOSICIÓN A CEM ..	77
5	PARAMETROS DE POTENCIA RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN A CEM EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DE COMUNICACIONES MOVILES.....	79
5.1	MARCO LEGAL INTERNACIONAL	79
5.2	MARCO LEGAL NACIONAL	80
5.3	PARAMETROS DE POTENCIA	84
6	PROCEDIMIENTOS DE CALCULO Y MEDIDAS SELECCIONADOS EN EL CONTEXTO COLOMBIANO	85
6.1	PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN APLICADOS AL SISTEMA	85
6.1.1	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	85
6.1.2	PROCEDIMIENTO DE CALCULO SIMPLIFICADO PARA LA CONFORMIDAD DE EMPLAZAMIENTOS	88
6.1.3	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN CON EL METODO DEL MODELO DE PUNTO DE ORIGEN O FUENTE PUNTUAL (K.52, K.61 y K.70).....	91
6.1.4	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE CAMPO LEJANO (RECOMENDACIÓN K.52)	92
6.1.5	EVALUACIÓN PARA MULTIPLES FUENTES.....	95
6.1.6	PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	96

7	INDICADORES BÁSICOS DEL SISTEMA	97
8	DISEÑO BÁSICO DEL SISTEMA.....	99
8.1	PROCESO PARA EL CALCULO DE VALORES DE NIVELES DE EXPOSICIÓN A CEM	99
8.2	INTEGRACIÓN AUTOMÁTICA Y MANUAL DE DATOS DE LOS OPERADORES DE TELECOMUNICACIONES	101
8.3	MAPAS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	101
9	ARQUITECTURA PROPUESTA	105
9.1	MÓDULO DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	106
9.2	MÓDULO DE ADMINISTRACIÓN	107
9.3	MÓDULO DE REPORTES.....	109
9.4	MÓDULO DE AUTENTICACIÓN	110
9.5	MÓDULO DE ENTRADA DE DATOS.....	110
9.6	MÓDULO GUI	112
10	CONCLUSIONES	115

ACRÓNIMOS

Abreviatura	Termino
-------------	---------

3GPP	3rd Generation Partnership Project (Proyecto de Asociación de Tercera Generación)
ADN	Ácido desoxi - ribonucleico
AM	Amplitud modulada
ANE	Agencia Nacional del Espectro
ANTV	Autoridad Nacional de Televisión
CCARS	Comité Científico Asesor en Radiofrecuencias y Salud - España
CEM	Campos electromagnéticos
CEPT	Conferencia europea de correos y telecomunicaciones
CRC	Comisión de Regulación de Comunicaciones
DCER	Declaración de conformidad de emisión radioeléctrica
EB	Estación base
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM)
EMC	Electromagnetic Compatibility (compatibilidad electromagnética)
EMF	Electromagnetic Field (campos electromagnéticos)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo)

FCC	Federal Communications Commission (Comisión General de Comunicaciones de los Estados Unidos de Norteamérica)
FDMA	Frequency Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de frecuencia)
FM	Frecuencia modulada
GHZ	Giga hertzios
GMSK	Gaussian Minimum Shift keying (Modulación por desplazamiento mínimo Gaussiano)
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio general de paquetes vía radio)
GPS	Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
GSM	Global System for Mobile Communication (Sistema global para las comunicaciones móviles)
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access (Acceso de alta velocidad de bajada de paquetes)
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access (Acceso de alta velocidad de subida de paquetes)
HSPA+	High Speed Packet Access (Acceso de alta velocidad de paquetes)
ICNIRP	International Commission on non-Ionizing Radiation Protection (Comisión internacional para la protección de la radiación no ionizante)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas)
INIRC	International Non-ionizing Radiation Committee (Comité internacional para las radiaciones no ionizantes)

ITU	International Telecommunication Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
IRPA	International Radiation Protection Association (Asociación internacional para la protección contra la radiación)
KHZ	Kilo hertzios
LTE	Long Term Evolution (Evolución a largo plazo)
MHZ	Mega hertzios
MINTIC	Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de Naciones Unidas
PER	Potencia Equivalente Radiada
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (Potencia isotrópica radiada equivalente)
PDI	Punto de investigación
POT	Plan de ordenamiento territorial
PRA	Potencia radiada aparente
RAE	Resumen analítico especializado
RNI	Radiaciones no ionizantes
RF	Radio frecuencia
RMS	Root Mean Square (valor cuadrático medio o valor eficaz)
SA	Specific Absorption (absorción específica)

SAR	Specific Absorption Rate (Tasa de absorción específica)
SECOM	Secretaria de comunicaciones de Argentina
TDMA	Time division multiple Access (Acceso múltiple por división de tiempo)
TER	Total exposure ratio (Tasa de exposición total)
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente

RESUMEN

Palabras clave: Radiación no ionizante; espectro electromagnético y radio eléctrico; telecomunicaciones móviles, exposición a campos electromagnéticos.

En esta tesis se procede con un análisis del marco técnico, normativo y jurídico que permite identificar los límites de exposición a CEM generados por la infraestructura de telecomunicaciones móviles a nivel internacional y aplicable en el contexto colombiano. Posteriormente y a través del análisis de las experiencias y modelos internacionales así como de la evaluación y estudio de las recomendaciones técnicas generadas por la ITU basadas en los estudios de la ICNIRP avalados por la OMS, se plantea un sistema que permite dar seguimiento al cumplimiento de los niveles de potencia en los emplazamientos de redes móviles y se exponen los procedimientos técnicos que permiten llegar a los resultados y datos necesarios para el funcionamiento del sistema sustentado en los lineamientos de la ITU. Finalmente se expone un modelo de la arquitectura del sistema, sus funciones y características.

ABSTRACT

Keywords: Non-ionizing radiation; electromagnetic spectrum and electric radio; mobile telecommunications, exposure to electromagnetic fields.

This thesis proceeds with an analysis of the technical, regulatory and legal framework to identify the limits of exposure to EMF generated by mobile telecommunications infrastructure at the international level and applicable in the context Colombian. Subsequently and through the analysis of international experiences and models as well as the evaluation and study of technical recommendations generated by the ITU based on the studies of the ICNIRP endorsed by the OMS, a system is proposed that allows to monitor the compliance of the power levels in the mobile network sites and they expose the technical procedures that allow to reach the results and data necessary for the operation of the system supported by the ITU guidelines. Finally, a model of the architecture of the system, its functions and characteristics is exposed.

INTRODUCCIÓN

Las ondas electromagnéticas posibilitan el transporte de señales de telecomunicaciones y brindan grandes ventajas, así como beneficios al no utilizar medios guiados para transmitir las señales, permitiendo mayor libertad y menor costo. Su utilización ha crecido exponencialmente con la convergencia de servicios y ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías como las redes de comunicaciones móviles. Las redes móviles en Colombia, al igual que las comunicaciones móviles internacionales IMT utiliza las bandas de espectro radioeléctrico comprendidas entre los 700 MHz hasta los 2500 MHz, definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU. Como consecuencia de la utilización de estos campos, se genera una exposición para el ser humano la cual varía dependiendo del tipo de radiación que puede ser ionizante o no ionizante. El problema en este contexto es ¿Cómo controlar el cumplimiento de las condiciones de operación en relación con la potencia radiada en la infraestructura de telecomunicaciones móviles frente a la exposición a los campos electromagnéticos? Para dar una solución, se plantea la propuesta de un sistema que permita controlar el cumplimiento de los niveles y límites de potencia definidos para la exposición a campos electromagnéticos CEM de radiación no ionizante generados por la ICNIRP y avalados por la OMS y la ITU. Todo el proceso de análisis y evaluación desarrollo de este trabajo esta soportado en el marco jurídico colombiano y la normatividad generada por los entes de control y vigilancia.

1 MARCO GENERAL DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es dar solución al problema inicial planteado: ¿Cómo controlar el cumplimiento de las condiciones de operación en la infraestructura de telecomunicaciones para redes móviles frente a la exposición a los campos electromagnéticos y la radiación no ionizante?

Para dar solución al problema planteado se presenta la formulación con este proyecto de la propuesta para un sistema seguimiento de los parámetros de potencia en los emplazamientos de redes de comunicaciones móviles, con el objetivo de cumplir los niveles de exposición a los campos electromagnéticos en el marco de la regulación colombiana y para lograr el cumplimiento del proyecto se determinan los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVOS

Proponer un modelo de sistema seguimiento de los parámetros de potencia en los emplazamientos de redes de comunicaciones móviles, con el objetivo de cumplir los niveles de exposición a los campos electromagnéticos en el marco de la regulación colombiana.

- Identificar los actores involucrados y sus relaciones, además de los procedimientos relacionados con el seguimiento de exposición a campos electromagnéticos.
- Establecer los parámetros de potencia relacionados con exposición a campo electromagnéticos, mediante la recopilación y análisis de documentos, normas, leyes y estándares internacionales.
- Determinar y establecer el procedimiento de medida de los parámetros identificados según las técnicas y estándares internacionales.
- Construir de manera general los indicadores que posibiliten la toma de decisiones y seguimiento para garantizar los niveles de exposición a campos electromagnéticos debido a emplazamientos de telefonía móvil.
- Modelar un sistema de seguimiento de los parámetros de potencia de los emplazamientos teniendo en cuenta los diferentes actores.

1.2 ALCANCE

El alcance del proyecto es proponer un sistema de seguimiento de los parámetros de potencia en los emplazamientos de redes de comunicaciones móviles, con el objetivo de cumplir los niveles de exposición a los campos electromagnéticos en el marco de la regulación colombiana el cual tendrá las siguientes características:

- Alimentación de datos generada por los operadores de manera ágil y eficiente.
- Los datos generados por el operador son básicos y no generan mayor complejidad como administrador de su infraestructura.
- Verificación del cumplimiento de los niveles determinados en la resolución 754 de 2016.
- Cumplimiento de los parámetros e indicadores determinados de acuerdo con los límites definidos por la ICNIRP.
- El sistema podría generar una serie de alertas y notificaciones basado en los umbrales e indicadores predeterminados.
- El sistema permitirá alojar un histórico de datos y del cumplimiento de las condiciones definidas para los operadores.
- La propuesta del sistema contempla que este pueda ser visualizado vía web en tiempo real.

2 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y LAS COMUNICACIONES MÓVILES

El ser humano ha presentado en su entorno una exposición constante a los campos del espectro electromagnético día a día, sin embargo, muchos de estos campos no son visibles para el ojo humano. Esta exposición aumentó de manera exponencial con el desarrollo de las fuentes de energía, la tecnología y las telecomunicaciones. El crecimiento de los avances y nuevas tecnologías ha sido determinante en especial con el desarrollo de los nuevos estándares, sistemas de telecomunicaciones inalámbricos y móviles utilizando las ondas electromagnéticas como medio de transporte para los datos, que han permitido la integración de dispositivos a la vida cotidiana del ser humano actual que años atrás no existían pero que hoy en día hacen parte de la vida laboral, social y familiar como se muestra en la Figura 1.

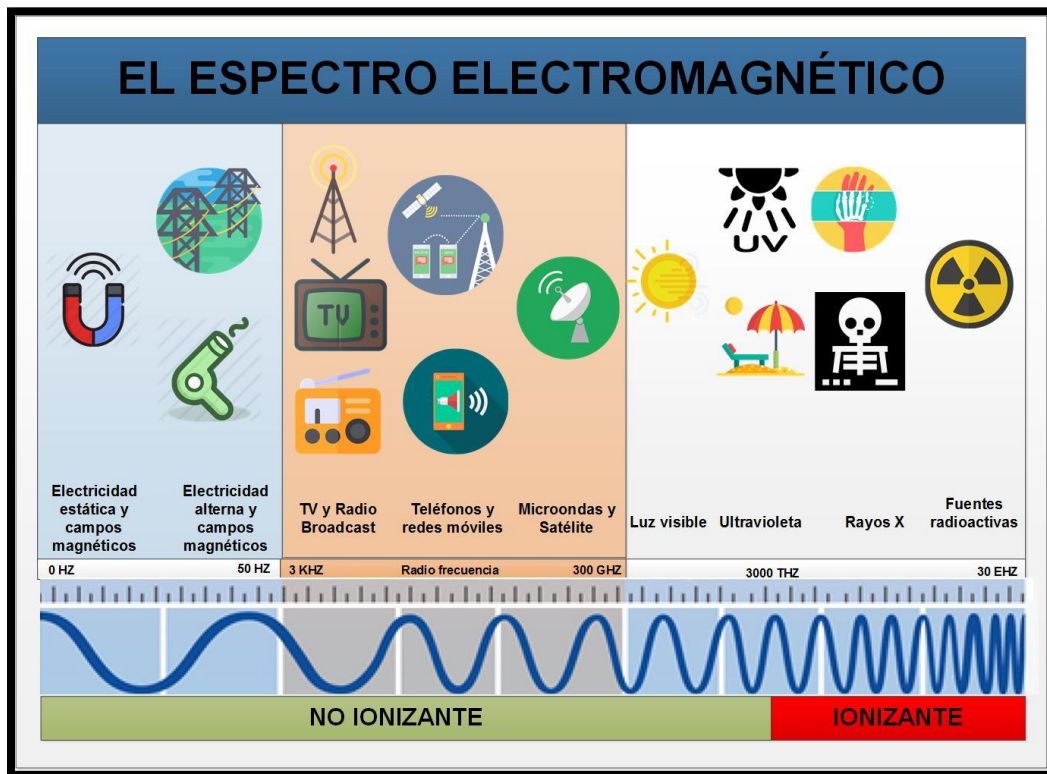


Figura 1. El espectro electromagnético

Fuente: Elaboración propia basada en el informe técnico del grupo de ciudades inteligentes de la ITU[1].

Las ondas electromagnéticas constituyen uno de los sistemas de transporte de señales de telecomunicaciones para servicios como la telefonía móvil, y brindan una gran ventaja al no utilizar medios físicos para guiar la señal, mayor libertad y menores costos[2].

El espectro radioeléctrico es un subconjunto de frecuencias que hacen parte del espectro electromagnético. Las frecuencias radioeléctricas en general, no son de libre uso, sino que se asignan por un organismo que tiene competencia en la materia, de tal manera que se haga un uso lo mejor posible de ellas, se eviten interferencias entre distintos sistemas y se reserven algunas bandas para aplicaciones específicas, como lo son servicios públicos, servicios de emergencia, aplicaciones militares, etc. Esta asignación de frecuencias puede variar de unas regiones geográficas a otras, ya que el mundo se ha dividido en tres regiones para dicha asignación:

- Región 1 para Europa y Asia.
- Región 2 para América.
- Región 3 para Asia y Oceanía.

El espectro radioeléctrico se define como el rango de frecuencias utilizables para las comunicaciones, lo que lo convierte en un recurso escaso y limitado. Debido a las interferencias y a otros factores el rango de frecuencias empleadas para uso civil y militar va de los 9 KHz a los 50 GHz, y hasta 400 GHz para uso experimental [2]. La Tabla 1 detalla la distribución de bandas de frecuencias dentro del espectro radioeléctrico.

Tabla 1. Composición del espectro radioeléctrico

Rango de frecuencias	Sigla	Interpretación de la sigla	Usos
3 a 30 KHz	VLF	Very Low Frequency	Radionavegación, seguridad, emergencias
30 a 300 KHz	LF	Low Frequency	
300 a 3000 KHz	MF	Medium Frequency	Radio AM, radioaficionados
3 a 30 MHz	HF	High Frequency	
30 a 300 MHz	VHF	Very High Frequency	Radio FM, TV, móviles
300 a 3000 MHz	UHF	Ultra High Frequency	
3 a 30 GHz	SHF	Super High Frequency	Móviles, satélite, inalámbricas
30 a 300 GHz	EHF	Extremly High Frequency	Radioastronomía, investigación

Fuente: Telecomunicaciones, tecnologías, redes y servicios [2]

Para la gestión del espectro radioeléctrico existen una serie de normas creadas a nivel internacional por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU. Este organismo perteneciente a la Organización de Naciones Unidas ONU, con sede en Ginebra (Suiza) es el encargado de organizar el uso de las frecuencias radioeléctricas y de promover una serie de normativas para que la gestión del espectro radioeléctrico se haga uniforme y eficientemente, sin que su uso perjudique o interfiera sobre otros. La asignación de las diferentes bandas y usos que se destinan se viene discutiendo en la conferencia mundial de radiocomunicaciones[2].

2.1 RADIACIÓN IONIZANTE Y NO IONIZANTE

Las ondas electromagnéticas se diferencian unas de otras, principalmente en la frecuencia en la que oscila la señal y en la energía que esta transporta. La propagación por el espacio es libre, salvo obstáculos que pueda encontrar en su camino y en todo diseño y planificación de red se deben tener en cuenta las características de propagación para evitar que queden zonas o sectores sin cobertura implementando las antenas en número suficiente y en lugares estratégicos. Según el tipo de radiación, dependiendo de su intensidad y el tiempo de exposición, se producen unos efectos biológicos que entran en la categoría de ionizantes o de no ionizantes. Si la radiación es de baja frecuencia en el cuerpo humano (compuesto en un 70% de agua) se inducen corrientes muy débiles que solo pueden ocasionar efectos nerviosos o dar lugar a generación de calor en las células, mientras que si la radiación es de alta densidad, se puede llegar a la rotura de los enlaces moleculares, como las que producen los rayos X o los rayos gamma[2].

La radiación ionizante es la radiación con la energía necesaria para arrancar electrones de los átomos. Cuando un átomo queda con exceso de carga eléctrica, ya sea positiva o negativa, se dice que se ha convertido en un ion (positivo o negativo). Estas radiaciones pueden provocar reacciones y cambios químicos con el material con el cual interactúan; así, por ejemplo, son capaces de romper los enlaces químicos de las moléculas o generar cambios genéticos en células reproductoras[2].

La radiación no ionizante es la radiación que no es capaz de producir iones al interactuar con los átomos de un material. Las radiaciones no ionizantes se pueden clasificar en dos grandes grupos: los campos electromagnéticos y las radiaciones ópticas. Dentro de los

campos electromagnéticos se pueden distinguir aquellos generados por líneas de corriente eléctrica (de baja frecuencia) o por campos eléctricos estáticos. Otros ejemplos son las ondas de radiofrecuencia utilizadas en las emisoras de radio y televisión, la telefonía móvil en sus transmisiones y las microondas utilizadas en electrodomésticos y en el área de las telecomunicaciones[2].

En la Tabla 2 se detallan las fuentes que generan los principales tipos de ondas de radiación no ionizante.

Tabla 2. Fuentes que generan los diferentes tipos de ondas de radiación no ionizante

Frecuencia	Fuente que la genera
Frecuencias extremadamente bajas	Líneas de alto voltaje. Tratamiento térmico de metales.
Muy bajas frecuencias	Radiocomunicación. Tratamiento térmico de metales.
Radiofrecuencias	Radiocomunicación. Televisión. Radar.
	Alarmas. Sensores. Fisioterapia. Calentamiento y secado de materiales. Soldadura eléctrica.
Microondas	Telecomunicación. Transmisiones. Radar. Fisioterapia. Calentamiento y secado de materiales.
Ultrasonidos	Soldadura de plástico. Limpieza de piezas. Aceleración de procesos.
Radiación infrarroja	Cuerpos incandescentes y muy calientes.
Radiación visible	Lámparas incandescentes de alta intensidad. Arco de soldadura. Tubos de neón, fluorescentes y de flash. Antorchas de plasma.
Radiación ultravioleta	Lámparas: germicidas, de luz negra, de fototerapia.
Láser	Aparatos de generación de rayos láser.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 COMUNICACIONES MÓVILES

La telefonía móvil inicia a principios de la década de los 80 y la infraestructura tecnológica en los primeros sistemas era analógica (1G): AMPS, NMT, ETAC, etc., pero a partir de la década de los 90, se implementa la tecnología digital (2G,3G,4G)[2]. La primera generación de telefonía móvil o 1G, contaba con características generales como: sistema análogo basado en conmutación de circuitos, comunicación de voz y acceso FDMA entre otros. La conferencia europea de correos y telecomunicaciones CEPT formo en 1982, el grupo

especial móvil, con el objetivo de desarrollar un sistema de radio celular europeo. En 1989, la responsabilidad del grupo fue transferida al instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo ETSI, y la fase 1 de las especificaciones del GSM fue publicada en 1990. En este momento nació la segunda generación de redes móviles o 2G cuyo estándar más conocido es GSM. Con la aparición del internet en los años 80 y con su ulterior popularización en los años 90 surgió la necesidad de la comunicación de datos en las redes móviles. Aunque el sistema GSM fue concebido para la transmisión de voz, la transmisión de datos es posible, pero a una baja velocidad: 9,6 Kbps. Esta velocidad se mejoró con la introducción de los esquemas de código, logrando velocidades de 14 Kbps[3]. Estas velocidades eran bajas, por tanto, la comunidad tecnológica continuó trabajando en mejorar esta característica y a mitad de los años 90 aparecieron las redes móviles de datos llamadas 2.5 GPRS y 2.75 EDGE. Ambas tecnologías, GPRS y EDGE, crearon la necesidad de una ruta para los datos, lo que se resolvió colocando las unidades SGSN Y GGSN, pero se utilizó el mismo camino para la voz con el que operaba GSM; por lo tanto, estos cambios fueron presentados como una migración de la red GSM. Como la tecnología GPRS utiliza la misma modulación que GSM, el aumento de la velocidad en los datos se logró sumando hasta 8 intervalos de tiempo de una misma portadora en una sola comunicación. Lo que llevo a una migración del software de las estaciones base. En cambio, EDGE introdujo una nueva modulación, requiriendo el cambio de equipamiento en las estaciones base, pero mejorando la eficiencia espectral de 1 bit/Hz a 3 bits/Hz. Debido al requerimiento de mayor velocidad de datos por parte de los usuarios, se introdujeron a finales de los años 90 las redes 3G o UMTS. Las redes 3.5G HSDPA y 3.75 HSUPA aparecieron en el 2002 y 2005, respectivamente[3].

A finales de 2007 se introducen las redes HSPA+. El 3GPP, creado a finales de 1998, es el ente que estandariza los sistemas de comunicaciones móviles. En el año 2008 termino de estandarizarse LTE o 4G. El 3GPP estandarizo posteriormente LTE avanzado o de nueva generación. En la Tabla 3 se listan las características más relevantes de cada generación de telefonía móvil[3].

Tabla 3. Características de las generaciones de redes móviles.

Generación	Características
1	- Sistema análogo basado en conmutación de circuitos. - Posibilidad de comunicaciones de voz. - Acceso FDMA.
2 - GSM	- Sistema digital basado en conmutación de circuitos. - Posibilidad de comunicaciones de voz. - Sistema de seguridad avanzado y posibilidad de roaming. - Acceso TDMA(FDMA/TDMA). - Modulación GMSK. - Portadoras de 200 KHz. - 8 intervalos de tiempo por portadora. - Las celdas utilizan diferentes frecuencias. - Rehusó de frecuencia con factores de 3 y 9 para evitar interferencias.
2.75 GPRS - 2.75G EDGE	- Sistema basado en conmutación de paquetes. - Acceso TDMA(FDMA/TDMA). - Modulación GMSK (GPRS) 8 PSK (EDGE). - Portadoras de 200 KHz. - 8 intervalos de tiempo por portadora. - Caminos separados para voz y datos. - Velocidad máxima de 160 Kbps.
3G UMTS	- Acceso W-CDMA. - Portadoras de 5 MHz. - Caminos separados para voz y datos. - Modulación QPSK. - Velocidad máxima 2Mbps. - Rehusó de frecuencia de 1, la misma portadora en toda la red. - No requiere planeación de frecuencias. - Se utiliza el código scrambling para diferenciar las celdas. - Macrodiversidad: estaciones vecinas pueden sumar las diferentes señales recibidas al usuario, a fin de mejorar el nivel de recepción. - Handover suave, que utiliza recursos tanto en la celda de origen como de destino, para garantizar que handover sea exitoso.
3.5G HSDPA - 3.75G	- Acceso W-CDMA. - Portadoras de 5 MHz. - Caminos separados para voz y datos. - Modulación QPSK y 16QAM. - Velocidad máxima 14Mbps en downlink y de 5,8 Mbps en uplink.
HSPA+	- Acceso W-CDMA. - Portadoras de 5 MHz. - Caminos separados para voz y datos. - Modulación QPSK y 64QAM. - Velocidad máxima 42 Mbps. - MIMO.
4G LTE	- Acceso OFDMA en el downlink y SCFDMA en el uplink - Ancho de banda flexible. - El mismo camino para voz y datos: tráfico IP. - Modulación adaptativa: desde QPSK hasta 64QAM. - Velocidad máxima 170 Mbps y 320 Mbps con MIMO 4*4. - MIMO: múltiples antenas en entrada y salida. - Beamforming: orientación del haz hacia el usuario - SON: optimización automática de red.

Fuente: Comunicaciones móviles de última generación[3].

2.2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO PARA REDES MÓVILES EN COLOMBIA

Actualmente, Colombia cuenta con 5 operadores móviles y una red de telefonía celular que permite la interoperabilidad de la red 4G - LTE con las redes de segunda y tercera generación debido a condiciones de despliegue de infraestructura, cobertura y mercado a nivel nacional. En la Tabla 4 se encuentran listadas las bandas de frecuencia que utiliza cada operador que cuenta con su propia infraestructura de telecomunicaciones para brindar el servicio a los usuarios. En la tabla no se incluyen los operadores móviles virtuales (Éxito, Virgin, Uff, ETB) quienes no poseen emplazamientos para la red móvil:

Tabla 4. Frecuencias por operador

Operador	Banda (MHz)	Frecuencia (MHz)
Claro	850	850
Movistar	850	850
Movistar	1700 - 2100	1800
Tigo -ETB	1700 - 2100	1800
Avantel	1700 - 2100	1800
Movistar	1900	1900
Claro	1900	1900
Tigo	1900	1900
UNE	2500	* Entregada a MINTIC
Claro	2500	2500
Directv	2500	2500

Fuente: elaboración propia

La telefonía móvil en Colombia ha tenido un gran auge desde su salida a operación con gran penetración en el mercado nacional y ha logrado una estabilidad en el crecimiento porcentual año a año. Como se observa en el informe del segundo trimestre de 2017, el número de abonados en servicio de telefonía móvil en Colombia alcanzó un total de 59.751.590, y un índice de penetración del 121,2%, presentando un aumento de 2,4 puntos porcentuales con relación al índice de penetración del mismo trimestre del año anterior, el cual se ubicó en el 118,8%[4] como se observa en la Figura 2.

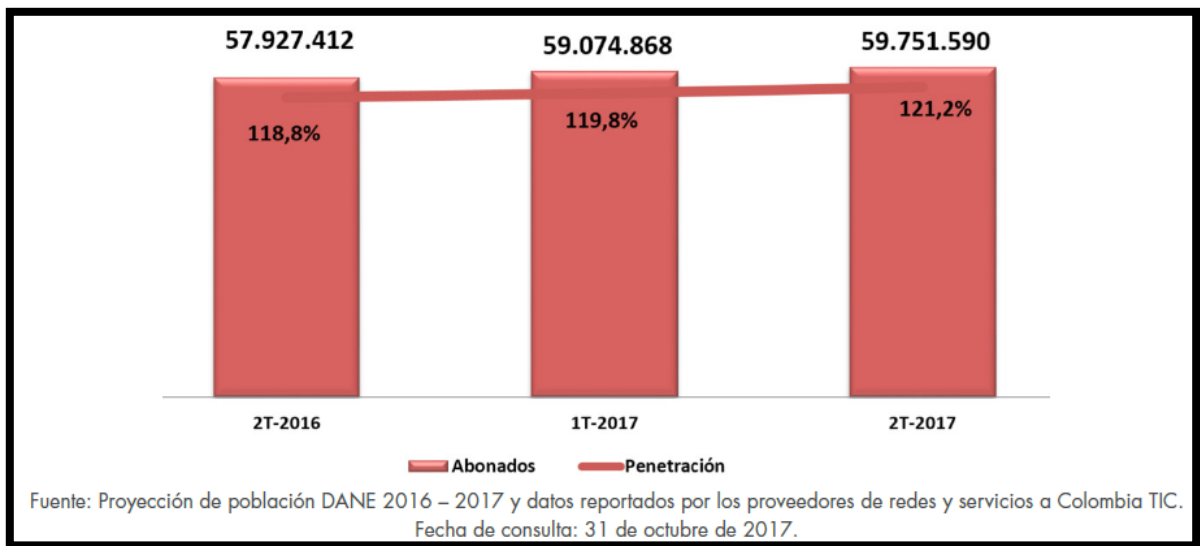


Figura 2. Penetración de la telefonía móvil en Colombia segundo trimestre 2017.

Fuente: Boletín trimestral de las TIC, Cifras segundo trimestre 2017 MINTIC[4].

Sin embargo, y a pesar de las cifras de penetración antes mencionadas que demuestran un mercado en crecimiento y una inclusión de la tecnología en nuestro entorno, Colombia presenta un atraso significativo en el despliegue de infraestructura como se manifiesta en las cifras de la asociación de la industria móvil de Colombia ASOMOVIL que en su reporte 2016, registran que mientras Tokio tiene 1 antena de telefonía móvil por cada 99 personas, en Bogotá existe una antena por cada 731 personas[5], [6], situación que ha motivado una percepción negativa del servicio por parte de los usuarios del país pero paradójicamente también genera en el ciudadano del común una preocupación sobre los efectos en la salud que puedan producir estos elementos a los seres humanos. Esta situación se suma a la imperceptibilidad de los CEM, junto a una dificultad de comprensión en temas científicos, desinformación y mitos urbanos que han generado en el público en general temor a los posibles riesgos para la salud y que finalmente pueden terminar entorpeciendo la instalación y cobertura de la tecnología que como resultado genera una ampliación de la brecha digital[7] , este proceso se observa claramente en el diagrama de flujo de la Figura 3.

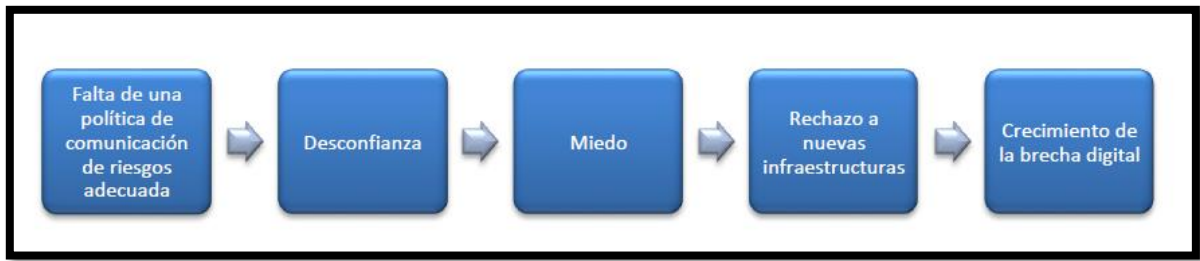


Figura 3. Gestión de la aceptación social de nuevas tecnologías e infraestructura

Fuente: Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético, aplicación de la recomendación ITU-T K.83[7].

3 EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

A medida que aumenta el uso de las tecnologías inalámbricas en las telecomunicaciones, también aumenta la percepción para el público en general el impacto que puede generar en la salud la exposición a los CEM generados por estas fuentes. Publicaciones como la recomendación de la ICNIRP, proveen directrices, lineamientos y recomendaciones para proteger a los seres humanos contra los efectos adversos a la salud. Un efecto adverso puede causar un deterioro de la salud de los individuos expuestos y un efecto biológico puede o no resultar en un efecto adverso para la salud. Los estudios generados por la OMS identifican efectos directos e indirectos de la exposición a los CEM. Los efectos directos son el resultado de la interacción directa de los campos con el cuerpo, los efectos indirectos envuelven la interacción de un objeto a un potencial eléctrico diferente del cuerpo. Los resultados de los estudios de laboratorio y epidemiológicos permiten determinar los criterios básicos de exposición y los niveles referencia para la evaluación practica en las recomendaciones presentadas por entidades como la ICNIRP y que se aplican para exposición ocupacional y poblacional[8].

Las restricciones básicas a la exposición a los CEM están definidas y se pueden medir utilizando parámetros como la densidad de corriente, la tasa de absorción específica de energía SAR y la densidad de potencia; con estos lineamientos se definen los niveles de referencia. Los niveles de referencia son utilizados con el propósito de evaluar en forma práctica las exposiciones a CEM para determinar si es probable que las restricciones básicas sean excedidas. Algunos niveles de referencia son derivados de restricciones básicas relevantes usando técnicas de medición y/o computacionales y algunas están basadas en percepciones y efectos indirectos adversos por la exposición a los CEM. En cualquier escenario de exposición a CEM, los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades pueden ser comparados con el nivel de referencia apropiado y al respetar los niveles de referencia, se asegura que se respeten las restricciones básicas relevantes. Si los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades exceden los niveles de referencia, no necesariamente son excedidas las restricciones básicas, sin embargo, siempre que un nivel de referencia sea excedido, es necesario evaluar el cumplimiento de la restricción básica relevante y determinar si son necesarias medidas de protección adicionales[8].

3.1 BASE BIOLÓGICA PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN A CEM (100 KHZ – 300 GHZ)

Para generar un consenso internacional sobre los impactos generados por la exposición a los CEM, se ha determinado que la OMS y la ICNIRP efectúen los estudios pertinentes del impacto que pueda generar sobre la salud de los individuos en escenarios ocupacionales y público en general. Entre los estudios sobre los efectos directos de la exposición a CEM se encuentran los siguientes resultados:

- Los estudios epidemiológicos demuestran que no se encontraron efectos estadísticos significativos en casos de reproducción que pudieran incidir sobre el aborto o malformación y los resultados son generalmente negativos[8].
- Los estudios efectuados sobre el riesgo de cáncer son limitados y cuentan con falta de evaluación cuantitativa más exacta de la exposición. Los estudios brindan información limitada sobre riesgo al cáncer, sin embargo, los estudios no pudieron demostrar un aumento de tumores cancerígenos asociados a la exposición a CEM[8].
- En estudios de laboratorio sobre voluntarios se demuestra que conforme la frecuencia aumenta, se presenta un efecto dominante de la exposición a los CEM de alta densidad, cambia el estímulo del nervio y del musculo a la calefacción, es decir por temperatura. En 100 KHz la sensación primaria era que el nervio zumbaba y a una frecuencia de 10 MHz se podía observar un efecto de calor en la piel. Esto deriva que en este rango los criterios de protección básicos deben ser evitar el estímulo de tejidos excitables y los efectos térmicos. En las frecuencias a partir de 10 MHz a 300 GHz la temperatura es el efecto principal de la absorción de energía electromagnética y las subidas de temperatura se dan entre 1-2 grados centígrados y el efecto generado sería un agotamiento por calor. Estos efectos impactan generalmente sobre los teléfonos móviles si se aumenta su potencia de transmisión y/o recepción[8].

3.2 JUSTIFICACIÓN GENERAL DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD

Existe información insuficiente sobre los efectos biológicos producidos en personas y animales debido a la exposición a CEM como para proporcionar factores de seguridad estrictos en todos los rangos de frecuencia y modulaciones. Adicionalmente, parte de la incertidumbre con respecto al factor de seguridad apropiado proviene de la falta de conocimiento frente a la dosimetría[8]. Por ello se tuvieron en cuenta las siguientes variables para determinar los factores de seguridad en campos de alta frecuencia:

- Efectos debido a la exposición a CEM bajo condiciones ambientales adversas (temperaturas altas, etc.) y/o niveles de actividad altos[8].
- La sensibilidad térmica potencialmente más alta en ciertos grupos de población frágil como ancianos o niños, y personas con enfermedades que puedan afectar su tolerancia térmica[8].

Otros factores adicionales fueron tomados para la obtención de los niveles de referencia para campos de alta frecuencia:

- La absorción de la energía electromagnética varía según el tamaño y la orientación del campo.
- Se puede producir una mayor absorción localizada de la energía, debido a la reflexión, concentración y dispersión del campo incidente.

Las restricciones básicas están definidas por diferentes bases científicas para cada rango de frecuencia:

- Entre 1 Hz y 10 Hz, las restricciones básicas están dadas en términos de la densidad de corriente para prevenir daños en el sistema nervioso.
- Entre 100 KHz y 10 GHz, las restricciones son proveídas en términos del SAR para prevenir el estrés térmico y el calentamiento localizado.
- Entre 100 KHz y 100 MHz, las restricciones son proveídas en términos de corriente y del SAR.
- Entre 10 y 300 GHz, las restricciones son proveídas en términos de densidad de potencia para prevenir el calentamiento excesivo en los tejidos o cerca de la superficie del cuerpo.

Los niveles de referencia son obtenidos a partir de las restricciones básicas mediante el uso de modelos matemáticos y por extrapolación de los resultados de las investigaciones de laboratorio en frecuencias específicas[8].

3.3 LÍMITES DE LA ICNIRP FRENTE A LA EXPOSICIÓN A LOS CEM

En 1974, la Asociación internacional para la protección contra la radiación IRPA, formó un grupo de trabajo para radiaciones no ionizantes, el cual examinó los problemas suscitados en el campo de la protección contra los varios tipos de radiaciones no ionizantes RNI. En el congreso de la IRPA en París en 1977, este grupo de trabajo se convirtió en el Comité Internacional para las radiaciones No Ionizantes INIRC. En cooperación con la División de Salud Ambiental de la Organización Mundial de la Salud OMS, la IRPA/INIRC desarrollo un numero de documentos sobre criterios de salud en relación con las RNI, como parte del programa de criterios de salud ambiental de la OMS, auspiciado por el programa de naciones unidas para el ambiente UNEP. Cada documento incluye una versión panorámica de las características físicas, mediciones e instrumentación, fuentes y aplicaciones de la RNI, una revisión total de la literatura sobre los efectos biológicos y una evaluación de los riesgos a la salud provenientes de la exposición a las RNI. Estos criterios de salud han proveído la base de datos científica para el subsiguiente desarrollo de los límites de exposición y los códigos de practica relacionados a las RNI. En el octavo congreso internacional de la IRPA en 1992, fue establecida una nueva organización científica independiente, la Comisión Internacional para la protección contra las Radiaciones No Ionizantes ICNIRP como sucesora de la IRPA / INIRC. Las funciones de la ICNIRP son investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de RNI, desarrollar recomendaciones internacionales sobre límites de exposición para las RNI, y tratar todos los aspectos sobre protección contra las RNI. Los efectos biológicos reportados como resultado de la exposición a campos eléctricos y magnéticos estáticos y de frecuencia extremadamente baja- ELF han sido revisados por la UNEP / OMS / IRPA (1984, 1997) [8].

Estas publicaciones y otras incluyendo la UNEP /OMS/ IRPA proveen la base científica para la recomendación: directrices para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz) de la ICNIRP, la cual determina los límites de referencia para exposición a CEM a nivel ocupacional y público en general determinado por dichos

estudios tal como se evidencia en la Tabla 5 y que es tomada como referencia en las recomendaciones internacionales.

Tabla 5. Límites de la ICNIRP

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente (W/m ²)
Ocupacional	Hasta 1 Hz	-	$2 * 10^5$	-
	1-8 Hz	20000	$2 * 10^5 / f^2$	-
	8-25 Hz	20000	$2 * 10^4 / f$	-
	0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	-
	0,82-65 kHz	610	24,4	-
	0,065-1 MHz	610	1,6/f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10-400 MHz	61	0,16	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{0,5}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0,36	50
Público en general	Hasta 1 Hz	-	$2 * 10^4$	-
	1-8 Hz	10000	$2 * 10^4 / f^2$	-
	8-25 Hz	10000	5000/f	-
	0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	-
	0,8-3 kHz	250/f	5	-
	3-150 KHz	87	5	-
	0,15 -1 MHz	87	0,73/f	-
	1-10 MHz	$87/f^{0,5}$	0,73/f	-
	10-400 MHz	28	0,073	2
	400-2000 MHz	$1,375f^{0,5}$	$0,0037f^{0,5}$	$f/200$
	2-300 GHz	61	0,16	10

Fuente: Directrices para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz) de la ICNIRP [8]

NOTA 1 – **f** corresponde a la frecuencia indicada en la columna gama de frecuencias.

NOTA 2 – Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos.

NOTA 3 – Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$). Para impulsos de duración t_p , la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como $f = 1/(2t_p)$.

NOTA 4 – Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta a 10 MHz. Para valores que sobrepasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta, promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite **Seq**, o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 5 – Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo de promediación es de $68/f^{1,05}$ minutos (f en GHz).

3.4 RECOMENDACIONES DE LA ITU FRENTE A LA EXPOSICIÓN A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

La ITU es la organización más importante de las Naciones Unidas en lo que concierne a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), y es el punto de convergencia mundial para la creación de redes y servicios por parte de los gobiernos y el sector privado. Fundada en 1865, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) pasó a ser un organismo especializado de las Naciones Unidas en 1947. Proporciona a sus 193 estados miembros y a sus más de 700 miembros asociados y miembros de los sectores procedentes de la industria, las organizaciones internacionales y regionales y más de 100 instituciones académicas, un foro internacional que les permite colaborar en la mejora y el empleo racional de las telecomunicaciones y las radiocomunicaciones del mundo[9]. La ITU cumple esta misión fundamental por medio de una división estructurada en tres sectores:

- Sector de Radiocomunicaciones (ITU-R).
- Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU -T).
- Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones (ITU -D)[9].

La ITU define series de recomendaciones para cada sector clasificadas por letras que abarcan diferentes aspectos de las telecomunicaciones en general las cuales se encuentran listadas en el Anexo B. Específicamente el grupo de normalización de las

telecomunicaciones ITU-T, generó una serie de recomendaciones que contemplan los aspectos técnicos pertinentes a la exposición a los campos electromagnéticos la cual se denomina Serie K: protección contra las interferencias y que se observan en la Figura 4.

Estas recomendaciones están orientadas a la exposición a los campos electromagnéticos y la radiación no ionizante emitidas por la infraestructura de telecomunicaciones. En ellas se establecen los lineamientos técnicos como factor a controlar y limitar para garantizar las condiciones de salud de los usuarios, ciudadanos, personal técnico de los operadores de telecomunicaciones y de los ciudadanos en general.

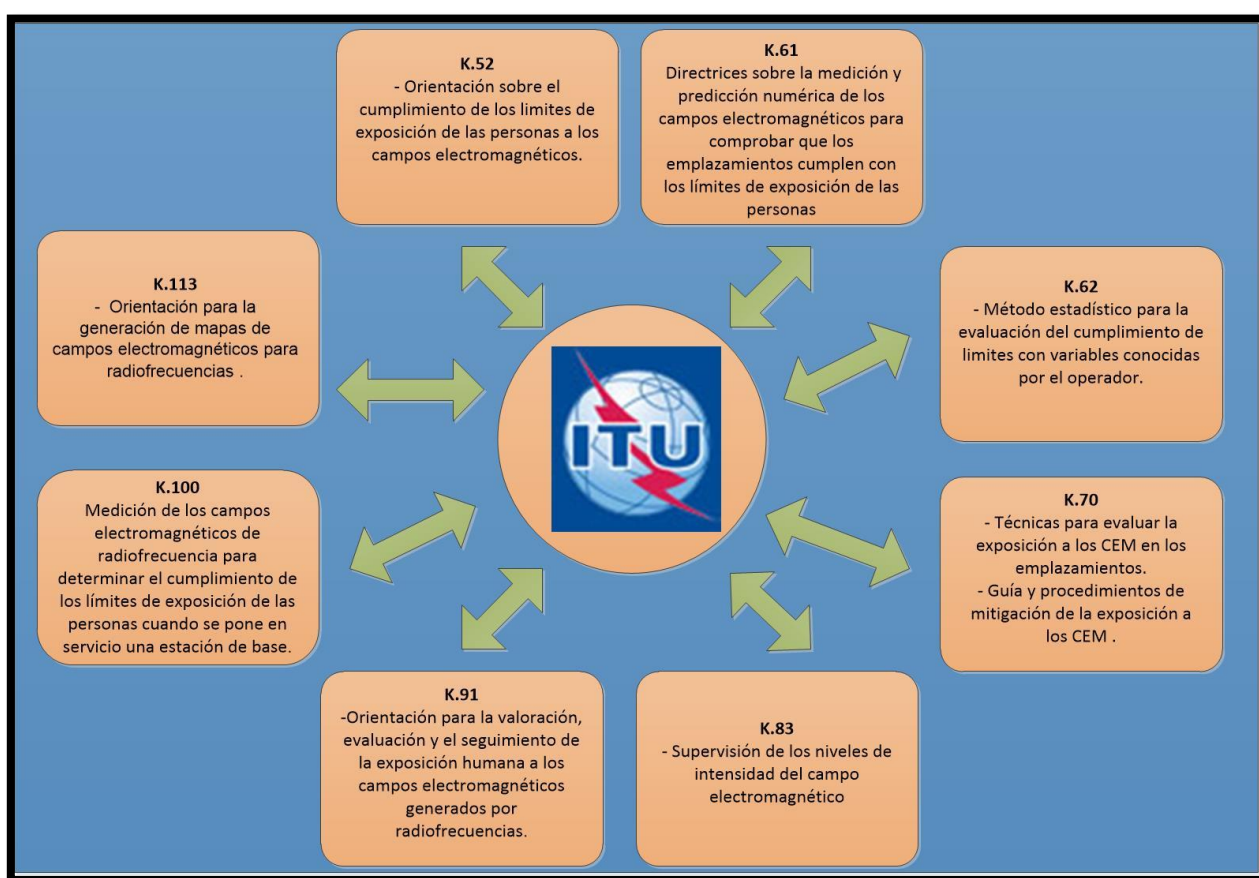


Figura 4. Recomendaciones de la ITU-T sobre exposición a CEM

Fuente: Elaboración propia

Cada recomendación tiene un ámbito de aplicación y una referencia, algunas toman referencias de otras recomendaciones de la misma serie y apoyan su contenido en ellas.

Estructuralmente las recomendaciones base frente a la exposición a los CEM son la K.52 y la K.61. La recomendación K.70 toma como base y parte de sus referencias a las recomendaciones K.52 y la K.61. La recomendación K.91 toma como base y parte de sus referencias a las recomendaciones K.70, la K.61 y la K.52. La recomendación K.100 toma como base y parte de sus referencias a las recomendaciones K.91, K.70, K.61 y K.52. La recomendación K.113 y la K.83 toman como base y parte de sus referencias a las recomendaciones K.91, K.70, K.61 y K.52. La recomendación K.62 no toma como referencia a las otras recomendaciones ya que describe un procedimiento a través de un método estadístico para demostrar la conformidad de las emisiones de RF radiadas por sistemas de telecomunicaciones. Estas relaciones se encuentran interpretadas a través de la Figura 5 donde se observa que algunas recomendaciones contienen la información de otras de manera jerárquica, otras como la recomendación K.62 son relacionadas, pero no toman como referencia a las demás recomendaciones del grupo.

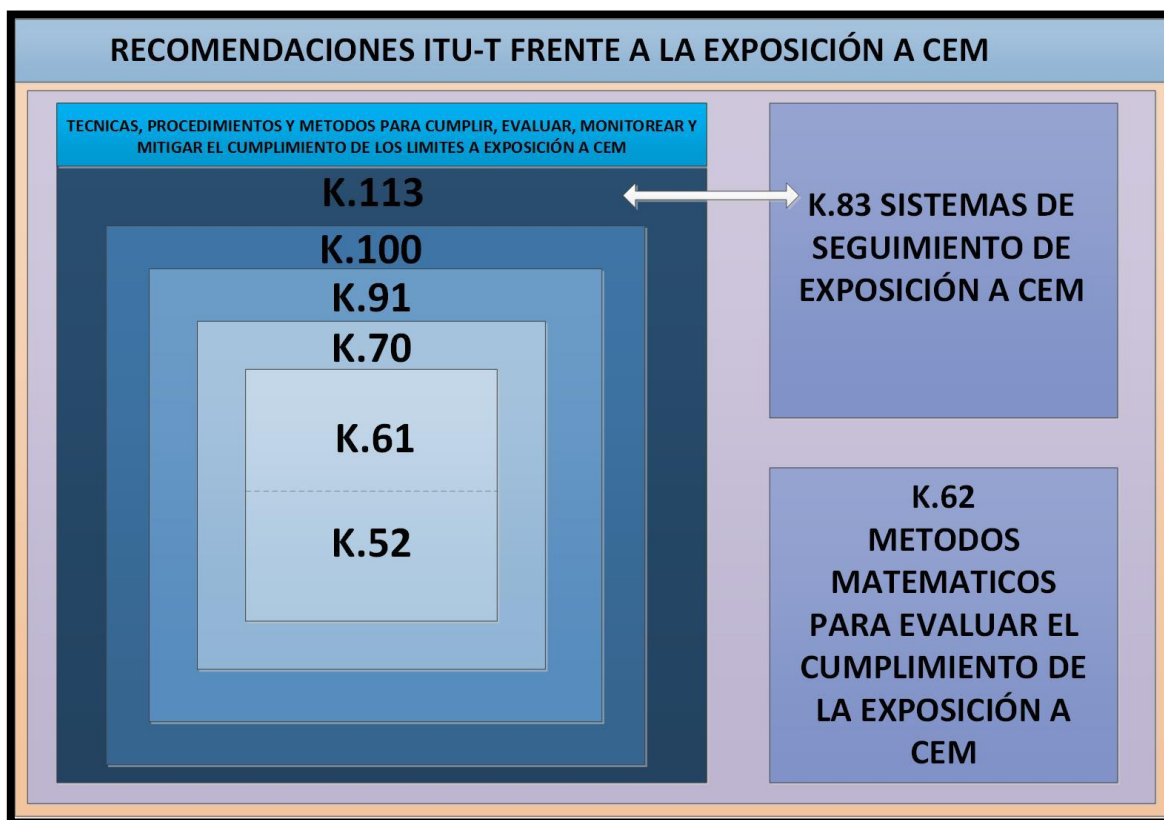


Figura 5. Interpretación de las recomendaciones de la ITU sobre exposición a CEM

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se encuentra un resumen de las recomendaciones generadas por la ITU, su objetivo principal, el alcance frente a los actores del sistema y las referencias técnicas que hacen parte de cada recomendación en su proceso de construcción.

Tabla 6. Características principales de las recomendaciones de la ITU sobre la exposición a CEM

RECOMENDACIÓN ITU-T	CONCEPTO	ALCANCE FRENTE A LOS ACTORES	REFERENCIAS TÉCNICAS RELACIONADAS
K.52	Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos	Aplica a personal del operador de telecomunicaciones y al público en general	Límites de la ICNIRP
			K.61
K.61	Directrices sobre la medición y predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen con los límites de exposición de las personas	Aplica a personal del operador de telecomunicaciones y al público en general	Límites de la ICNIRP
			K.52
K.62	Evaluación de la conformidad de las emisiones radiadas por un sistema de telecomunicaciones mediante modelos matemáticos	Aplica a personal del operador de telecomunicaciones y al público en general	CISPR 22
			Recomendación ITU-R P.525-2
			Recomendación ITU-R P.526-8
K.70	Técnicas para limitar la exposición humana a los campos electromagnéticos en cercanías a estaciones de radiocomunicaciones	Aplica en áreas cercanas a estaciones, y se enfoca en el operador, pero puede generar información para el público en general	Límites de la ICNIRP
			K.52
			K.61
K.83	Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético	Público en general	Límites de la ICNIRP
K.91	Orientación para la valoración, evaluación y el seguimiento de la exposición humana a los campos electromagnéticos generados por radiofrecuencias	Público en general	Límites de la ICNIRP
			K.52
			K.61
			K.70
K.100	Medición de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia para determinar el cumplimiento de los límites de exposición de las personas cuando se pone en servicio una estación de base	Operadores	K.83
			Límites de la ICNIRP
			K.52
			K.61
			K.70
K.113	Generación de mapas de campos electromagnéticos para radiofrecuencia	Operadores	K.91
			Límites de la ICNIRP
			K.52
			K.61
			K.70
			K.83
			K.91
			K.100

Fuente: elaboración propia

La recomendación ITU-R P.525-2 corresponde a las fórmulas pertinentes para el cálculo de la atenuación en el espacio libre[10].

La recomendación ITU-R P.526-8 determina información técnica para el cálculo de las intensidades de campo sobre los trayectos de propagación por difracción, así como los métodos descritos para efectuar el cálculo de las intensidades de campo en trayectos de propagación por difracción, que pueden corresponder a la superficie de una tierra esférica o a terrenos irregulares con diferentes tipos de obstáculos y recomienda su utilización práctica[11].

En este capítulo se listan y destacan los aspectos más relevantes de las recomendaciones relacionadas frente a la exposición de los campos electromagnéticos.

3.4.1 RECOMENDACIÓN ITU-K52. ORIENTACIÓN SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Esta recomendación es la referencia para la normatividad a nivel nacional e internacional y hace alusión sobre la orientación para el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos CEM. Uno de sus objetivos es facilitar el cumplimiento de los límites de seguridad de las instalaciones de telecomunicaciones y de los teléfonos móviles u otros dispositivos que emiten radiaciones cuando existe una exposición de las personas a CEM. Como parte de sus elementos presenta un método de cálculo y un procedimiento para la evaluación de las instalaciones, este procedimiento de evaluación esta soportado con base en los límites de seguridad que proporciona la recomendación de la ICNIRP el cual permite determinar las probabilidades de que las instalaciones sean conformes de acuerdo a criterios como accesibilidad, propiedades de las antenas y la potencia del elemento emisor[12].

El alcance de la recomendación comprende los campos electromagnéticos producidos por infraestructura de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz. Cuando existen leyes, normas o directrices nacionales sobre los límites de exposición a los CEM, y los procedimientos aplicados presentan variaciones frente a esta recomendación, las leyes, normas o directrices nacionales tendrán precedencia sobre los procedimientos presentados en esta recomendación. Existen documentos nacionales e internacionales que

indican límites de seguridad de exposición de las personas a los CEM. Aunque estos documentos difieren en los detalles, la mayoría tiene varios principios básicos en común entre los que se hayan el uso de límites básicos y derivados, el uso de límites de exposición a dos niveles, tiempos promedio y consideración separa de la baja y alta frecuencia[12].

La mayoría de los documentos exigen que se consideren los efectos de múltiples fuentes. Debido al efecto fisiológico diferente de las fuentes de frecuencias más bajas y las fuentes de frecuencias más altas, deben considerarse por separado. En las frecuencias más bajas (ordinariamente inferiores a 10 MHz), los efectos fisiológicos importantes se deben a la densidad de corriente inducida, mientras que a las frecuencias más altas (ordinariamente superiores a 100 KHz), los efectos fisiológicos importantes se deben a la SAR. Para considerar los efectos de las múltiples fuentes, la mayoría de los documentos requieren que las fuentes se consideren en una suma ponderada, en la que cada fuente individual se prorratee de acuerdo con el límite aplicable a su frecuencia[12].

La duración de la exposición es un punto relevante en procedimiento de medición de la exposición. Para ello se define el tiempo de exposición en las recomendaciones como tiempo de promediación, los límites de la ICNIRP determinan que este tiempo es igual a 6 minutos, los cuales también aplican para la definición de los límites de exposición a CEM[12].

Los límites de exposición a CEM que utilizan las entidades a nivel general corresponden a los definidos por la ICNIRP. Es de libre elección de cada entidad encargada de la vigilancia y control del espectro, definir si adopta estos límites o toma límites diferentes como referencia, aunque el análisis de los casos y pilotos a nivel internacional demuestran la unidad internacional para la aplicación de dichos límites[12].

Al definir los límites de exposición a CEM, se debe verificar la conformidad de su cumplimiento, por ello para que exista conformidad deben adoptarse las siguientes medidas:

- Identificar los límites de conformidad adecuados.
- Determinar si es necesaria la evaluación de la exposición a los CEM para la instalación del equipo en cuestión.

- Si es necesaria la evaluación de exposición a los CEM, puede realizarse mediante cálculos o medición.
- Si la evaluación de la exposición a los CEM indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas en las que puede haber presentes personas, deben aplicarse medidas de reducción o evitar el acceso del personal a menos que sea estrictamente necesario[12].

Como parte del proceso se debe determinar la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones ya que los equipos pueden clasificarse como emisores de CEM intencionales o no intencionales de acuerdo con las definiciones y como parte del procedimiento de evaluación de la exposición a CEM. Los emisores no intencionales pueden producir exposición a los CEM debido a emisiones espurias y existen normas de emisión de compatibilidad electromagnética EMC, que limitan la magnitud de estos campos espurios. Los campos producidos por equipos de telecomunicaciones que son emisores no intencionales suelen estar apreciablemente por debajo de los límites de seguridad establecidos por las normas de la ICNIRP y las normas nacionales. Los límites establecidos de conformidad EMC, están a órdenes de magnitud por debajo de los límites de seguridad de la exposición a los CEM. Los emisores intencionales utilizan campos electromagnéticos para la transmisión de señales. Producen un CEM que puede sobrepasar los límites de seguridad en algunas regiones, dependiendo de la potencia de funcionamiento, ganancia, frecuencia, orientación y directividad de la antena de transmisión. Es posible tener en cuenta estos parámetros y el entorno operativo de la instalación para determinar la necesidad y el procedimiento apropiado de evaluación de la exposición. La recomendación K.52 de la ITU, presenta un método de evaluación de riesgos basado en la clasificación de las zonas de exposición que deben ser verificadas como parte del procedimiento[12].

Si se determina que se necesita una evaluación de la exposición a los CEM debido a la presencia de transmisores intencionales, esta evaluación debe realizarse en todos los lugares en los que las personas están expuestas a CEM. El objetivo de la evaluación es clasificar la exposición potencial a los CEM dependiendo de la ubicación del ser humano el cual puede estar ubicado en una de las zonas de exposición con respecto a la antena como se observa en la Figura 6.

- **Zona de conformidad:**
En la zona de conformidad, la exposición a los CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional /controlada y a la exposición no controlada al público en general.
- **Zona ocupacional:**
En la zona ocupacional, la exposición potencial a los CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada al público en general.
- **Zona de rebasamiento:**
En la zona de rebasamiento, la exposición potencial a los CEM sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general.

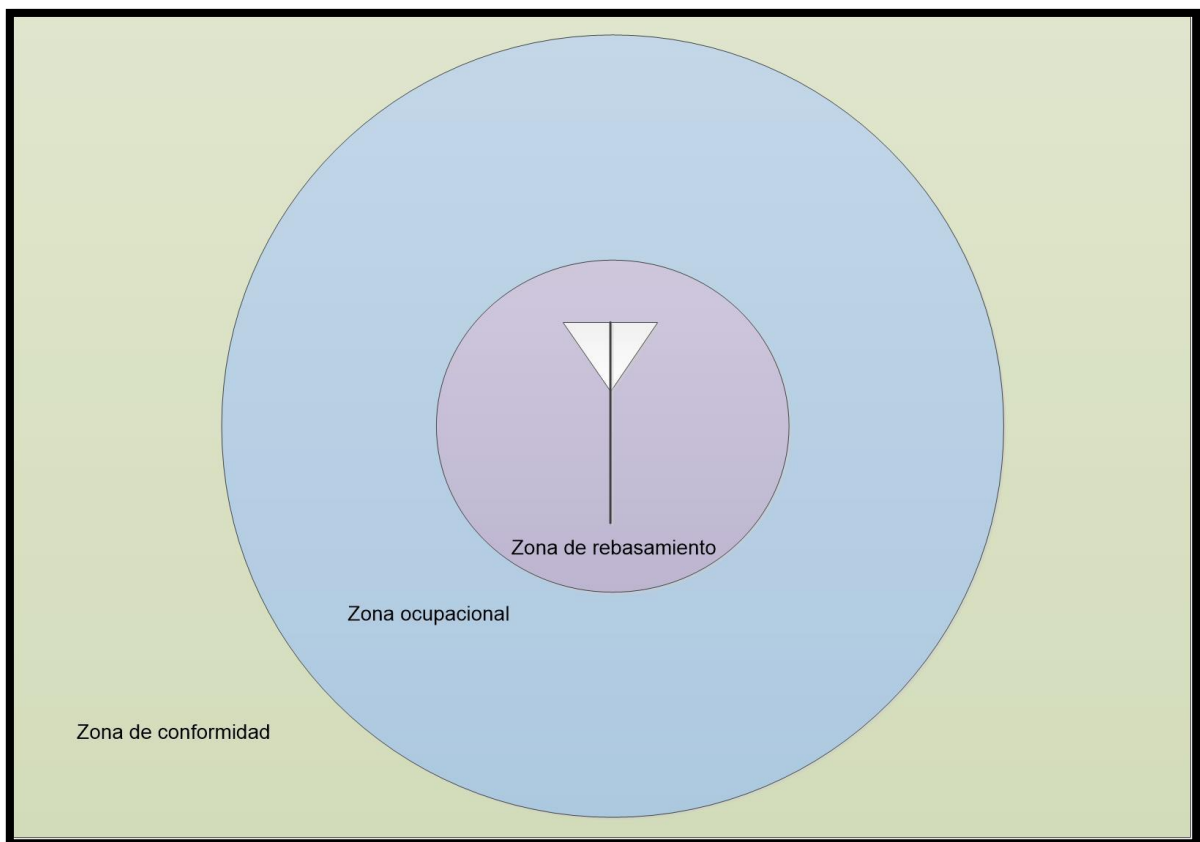


Figura 6. Zonas de exposición.

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

Para los emplazamientos donde exista la ambigüedad para clasificar en una categoría, se debe realizar cálculos y mediciones adicionales. Además de los métodos básicos se recomienda la utilización de la recomendación K.61 la cual contiene directrices para la selección de métodos numéricos apropiados en la predicción de la exposición a CEM en diferentes escenarios. Las mediciones son útiles para los casos donde los campos son difíciles de calcular o cuando los cálculos se acercan a los umbrales de límites de exposición[12].

Para los casos de donde la exposición a CEM sobrepasa los límites de seguridad, se debe controlar la exposición. Cuando no es posible modificar ninguna característica del sistema, la única recomendación es restringir el acceso a las zonas donde se sobrepasan los límites. Las medidas tomadas dependerán de cada zona:

- Zona de ocupación: si la exposición a los CEM sobrepasa los límites de exposición no controlada del público en general, pero no los límites de exposición de ocupación, debe restringirse el acceso al público en general, pero permitir a los operarios el acceso a la zona e informarles de esta situación. Se recomienda no colocar puestos fijos de trabajo en esta zona.
- Zona de rebasamiento: Cuando la exposición a los CEM sobrepasa los límites de exposición ocupacional, se tendría que restringir el acceso a los operarios y al público en general.

Si se requiere que los operarios ingresen a la zona, deben tomarse medidas para controlar la exposición como son:

- Reducción temporal de la potencia del equipo emisor.
- Control del tiempo de exposición teniendo presente que la exposición promediada se encuentre dentro de los límites de seguridad.
- Blindaje para los operarios y/o utilizar ropa que permita protegerlos de la exposición.

En el anexo A de la recomendación se presenta un diagrama de flujo para la evaluación de una sola fuente de campos electromagnéticos. Solo es útil para emplazamientos o estaciones terrenas. En el anexo B de la recomendación se detalla la clasificación de una instalación con base a los límites de la ICNIRP. Los criterios se basan en una estimación

de la exposición a los CEM en las diversas situaciones. En el apéndice I de la recomendación, se presentan los límites de las directrices para limitar la exposición a los campos eléctrico, magnético y electromagnético como referencia de la recomendación.

3.4.2 RECOMENDACIÓN ITU-K61. DIRECTRICES SOBRE LA MEDICIÓN Y PREDICCIÓN NUMÉRICA DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PARA COMPROBAR QUE LAS INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES CUMPLEN CON LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS

Esta recomendación brinda herramientas que colaboran con los operadores de telecomunicaciones para verificar el cumplimiento de las normas de exposición a CEM establecidas por las autoridades locales o nacionales y evaluar acertadamente dicho cumplimiento. Adicionalmente también brinda directrices sobre como seleccionar métodos numéricos acertados para predecir la exposición de los seres humanos a los CEM. La recomendación define herramientas, métodos y procedimientos que se emplean para evaluar el cumplimiento de los límites de exposición. La recomendación también indica que la conformidad con las normas relativas a la exposición de las personas a elementos emisores de radiofrecuencia puede determinarse midiendo la intensidad del campo electromagnético con instrumentos y equipos donde se definan los umbrales y la incertidumbre de la medición[13].

El alcance de esta recomendación comprende las mediciones utilizadas para evaluar que la intensidad de los campos magnéticos de radiofrecuencias producidos por las instalaciones de telecomunicaciones que operan en las frecuencias de 9KHz a 300 GHz no rebasan los límites de exposición de las personas. Esta recomendación proporciona orientaciones sobre las mediciones y cálculos para la exposición a CEM adicionalmente a las indicadas en la recomendación K.52. Estos métodos aplican en casos de mayor precisión o situaciones complejas donde los límites de la recomendación K.52 no son suficientes[13].

En la documentación y estudios referenciados se establecen los límites de seguridad en términos de límites básicos y niveles de referencia. Los límites básicos se refieren a cantidades fundamentales que determinan la respuesta fisiológica de las personas a los campos electromagnéticos y se aplican en situaciones en las que el cuerpo humano está presente en el campo electromagnético. Los límites básicos para la exposición de las

personas a los campos electromagnéticos vienen expresados por la SAR, la SA y la densidad de corriente. Como las cantidades básicas son difíciles de medir directamente, la mayoría de los documentos proporcionan niveles de referencia para el campo eléctrico, el campo magnético y la densidad de potencia. Los niveles de referencia se aplican a situaciones en las que el campo electromagnético resulta influenciado por la presencia de un cuerpo[13]. En el proceso de las mediciones se pueden presentar los siguientes escenarios:

- 1) Se conoce la fuente del campo electromagnético y por lo menos una de sus características. El campo electromagnético de otras fuentes es mínimo y/o despreciable para la evaluación de conformidad.
- 2) Las fuentes emisoras de los campos electromagnéticos son desconocidas. El objetivo en este caso es determinar la conformidad de un emplazamiento o verificar los campos electromagnéticos en la región fuera de la banda determinada para confirmar que se pueden despreciar otras fuentes electromagnéticas.
- 3) El objetivo es determinar la conformidad del emplazamiento y si se observa que no existe la conformidad, determinar la contribución de otras fuentes a la no conformidad[13].

Para la situación 1 deben conocerse los siguientes datos:

- Banda de frecuencias de emisión.
- Potencia transmitida.
- Polarización y diagrama de la antena (de forma aproximada).

Las mediciones pueden concentrarse en las gamas de frecuencia de interés. La recomendación K.52 debe emplearse para obtener una estimación de campo y elegir la instrumentación adecuada para la medición[13].

Para la situación 2 puede que sean necesario conocer todo el espectro de frecuencias. Se puede efectuar una medición con una sonda de banda ancha para integrar varias de las frecuencias que se requieren evaluar[13].

El tercer escenario es una ampliación del caso 2, por tanto, si las mediciones iniciales dan como resultado que no hay conformidad es necesario efectuar mediciones específicas de frecuencia apoyados en una antena y un generador de espectro[13].

Los métodos de cálculo pueden variar de acuerdo con las necesidades de la medición, en el apéndice I de la recomendación se proporcionan orientaciones para seleccionar los métodos de cálculo a fin de estimar los posibles niveles peligrosos de campos electromagnéticos[13]. Existen varios métodos útiles para determinar la conformidad con los límites de exposición:

- Diferencia finita en el dominio del tiempo (FDTD, finite-difference time-domain).
- Región múltiple de diferencia finita en el dominio del tiempo (MR/FDTD, multiple-region finite-difference time-domain).
- Modelo de trazado de rayos.
- Métodos híbridos de trazado de rayos/FDTD.
- Modelos de antena de campo cercano tales como el método de los momentos (MOM, method of moments) o el código electromagnético numérico (NEC, numeric electromagnetic code)[13].

La selección del método numérico adecuado depende de los siguientes factores:

- La zona de campo donde se necesita evaluar la exposición.
- Las cantidades que van a evaluarse (SAR en función de los campos de referencia).
- La topología del entorno donde se produce la exposición.

3.4.3 RECOMENDACIÓN ITU-K62. EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD DE LAS EMISIONES RADIADAS POR UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES MEDIANTE MODELOS MATEMÁTICOS

Esta recomendación permite que los operadores de telecomunicaciones puedan demostrar el cumplimiento de las emisiones radiadas generadas por sistemas de telecomunicaciones y se describe un método estadístico para evaluar la conformidad de las emisiones radiadas sin realizar mediciones prácticas el cual aplica un modelo estadístico a las variables base conocidas del operador lo que genera como resultado conocer el nivel de emisiones que va generar el sistema en distribuciones de probabilidad y probabilidad acumulada. Estas

distribuciones podrán permitir definir los niveles de aceptación con un soporte estadístico matemático. El método es adecuado para el análisis de sistemas extensos donde la medición sería costosa y difícil de manejar[14].

El alcance de esta recomendación describe un procedimiento a través de un método estadístico para demostrar la conformidad de las emisiones de RF radiadas por sistemas de telecomunicaciones. El método se aplica con variables conocidas por el operador lo que permitiría descubrir el nivel de emisiones del sistema. Cuando un sistema está formado por varios equipos y cada uno emite a una misma frecuencia, la superposición de todas las múltiples emisiones podría llegar a generar un nivel de emisión más alto al nivel del equipo. Este es uno de los principales problemas que presentan los operadores quienes tratan de gestionar la compatibilidad eléctrica de los sistemas. Si se conocen los niveles de emisión de cada equipo que forma el sistema, a través de métodos matemáticos se pueden predecir los niveles de emisiones radiadas por el sistema para esa frecuencia común[14].

3.4.4 RECOMENDACIÓN ITU-K70. TÉCNICAS PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN HUMANA A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN CERCANÍAS A ESTACIONES DE RADIOCOMUNICACIONES

En esta recomendación se definen las técnicas que los operadores de telecomunicaciones pueden utilizar para evaluar la relación de exposición acumulada (total) cerca de estaciones transmisoras e identificar la principal fuente de radiación. Contiene orientación sobre métodos de mitigación que permiten reducir el nivel de radiación para cumplir los límites de exposición[15].

El alcance de esta recomendación consiste en proveer una guía de técnicas de mitigación para limitar la exposición proveniente de las instalaciones de radiocomunicaciones especialmente en entornos con múltiples fuentes. También se presentan métodos para la evaluación de la distribución de la intensidad de campo para ambientes con múltiples fuentes y como reducir dichos niveles. Los límites tomados como referencia son los de la ICNIRP. Adicionalmente se anexa un apéndice con un software que aplica las técnicas y metodología de la recomendación, el software no es apropiado para la certificación de equipos[15].

3.4.5 RECOMENDACIÓN ITU-K83. SUPERVISIÓN DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Esta recomendación brinda indicaciones sobre el método a utilizar para efectuar mediciones a largo plazo para el control de exposición a los CEM en zonas públicas con el fin de garantizar que los campos se encuentran dentro de los límites permitidos[16]. En esta recomendación se sugieren dos métodos, la medición selectiva de frecuencias o la medición de banda ancha. En ambos casos las mediciones efectuadas deben cumplir tres requisitos: ser objetivas, fiables y deben ser mediciones continuas[16].

El alcance de esta recomendación es describir los métodos y características para un sistema que realizara el control continuo de campos electromagnéticos emitidos por infraestructura de telecomunicaciones para la banda de frecuencia entre los 9KHz y los 300GHz[16].

3.4.6 RECOMENDACIÓN ITU-K91. ORIENTACIÓN PARA LA VALORACIÓN, EVALUACIÓN Y EL SEGUIMIENTO DE LA EXPOSICIÓN HUMANA A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS GENERADOS POR RADIOFRECUENCIAS

En esta recomendación se brindan orientaciones sobre cómo evaluar y controlar la exposición de las personas a los CEM de radiofrecuencias en zonas cercanas a instalaciones de radiocomunicaciones en función de la exposición existente y las normas que se han de respetar para la gama de frecuencias entre 9 kHz a 300 GHz[17].

El alcance de esta recomendación es brindar una orientación sobre como evaluar y monitorear la exposición humana a los CEM generados por emisores de radiofrecuencia en áreas cercanas a las instalaciones basado en los estándares de cumplimiento en el rango de frecuencia de 9 KHz a 300 GHz[17].

3.4.7 RECOMENDACIÓN ITU-K100. MEDICIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA PARA DETERMINAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS CUANDO SE PONE EN SERVICIO UNA ESTACIÓN DE BASE

Esta recomendación proporciona información sobre las técnicas y procedimientos de medición para evaluar el cumplimiento de los límites de exposición de los CEM del público

en general cuando se pone en servicio una nueva estación base que tiene en cuenta los efectos del medio ambiente y otras fuentes de radiofrecuencia relevantes presentes en su entorno. El alcance de esta recomendación es proporcionar técnicas y procedimientos para evaluar el cumplimiento de los límites de exposición a CEM en una nueva estación base[18].

En la recomendación también se definen los lineamientos del procedimiento de evaluación cuando en una estación base o BS (por sus siglas en inglés), el equipo bajo prueba (EUT) se instala y pone en servicio un nuevo emplazamiento, es el descrito en el paso a paso de los numerales 6 a 10 de la recomendación para evaluar el cumplimiento de los límites de exposición. Para permitir evaluaciones precisas y eficientes, son posibles diferentes rutas dependiendo de la característica del EUT o del tipo de instalación. En algunos casos específicos, el cumplimiento de los límites de exposición relevantes puede evaluarse sin la necesidad de realizar mediciones (por ejemplo, debido a la baja potencia transmitida, o debido a la posición u orientación de los transmisores o antenas con respecto a las áreas accesibles al público en general, o porque se pueden usar métodos de cálculo más simples K.52. Tanto el equipo de banda ancha como el equipo selectivo de frecuencia pueden utilizarse para la evaluación. Sin embargo, las mediciones realizadas con equipos de banda ancha pueden conducir a resultados excesivamente conservadores. Si se encuentra que el nivel de exposición en áreas accesibles al público en general está por encima de los límites por medio de mediciones de banda ancha, entonces el cumplimiento debe verificarse con equipos de frecuencia selectiva. De lo contrario, se aplicarán las técnicas de mitigación descritas en la recomendación K.70[18].

Los datos pertinentes por recolectar para equipos en evaluación EUT son:

- Tecnología, banda de frecuencia y ancho de banda de canal [por ejemplo, acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA), banda 4: 2 110 MHz-2 170 MHz, 2 164,7 MHz-2 169,7 MHz.
- Nivel de potencia en el zócalo de entrada y ganancia para cada antena EUT. Cuando se necesitan evaluaciones completas que respalden la extrapolación al tráfico máximo (véase la cláusula 9.4), se puede utilizar la siguiente información para el sistema global de comunicaciones móviles GSM, WCDMA y LTE.
- GSM: frecuencia central del canal de control de difusión (BCCH) y número de operadores (canales) utilizados por el EUT.

- WCDMA: Frecuencia de canal piloto común (CPICH) y nivel de potencia con respecto a la potencia total.
- LTE: frecuencia central de los canales EUT y ancho de banda[18].

3.4.8 RECOMENDACIÓN ITU-K113. GENERACIÓN DE MAPAS DE CAMPO DE RADIOFRECUENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS

Esta recomendación proporciona una orientación para la generación de mapas de campo para radiofrecuencia electromagnética y para evaluar los niveles de exposición a campos electromagnéticos existentes en grandes áreas de ciudades o territorios. Otro de los objetivos de la recomendación es que la información y los resultados obtenidos sean de divulgación pública, de manera apropiada, simple y comprensible para el ciudadano del común. El alcance de esta recomendación es describir los métodos y características para los sistemas utilizados para generar mapas de campos electromagnéticos generados por radio frecuencia y conocer los niveles de exposición que las personas pueden experimentar en algunas áreas[19].

3.5 INFORME SOBRE LAS ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS RELATIVAS A LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE LA ITU

En 2014 la ITU genero un informe con las estrategias y políticas relativas a la exposición de CEM de las personas donde recopila y analiza las políticas de reglamentación que han sido adoptadas o están siendo estudiadas por diferentes países con el objetivo de autorizar la instalación de equipos de radiocomunicaciones. Este proyecto nace de la percepción de las personas del común de que existe un riesgo derivado de la exposición prolongada a las emisiones de los equipos de radiocomunicaciones[20]. En este informe se generan las siguientes conclusiones:

- Se recomienda a los estados miembros adoptar las directrices sobre CEM estipuladas por la ICNIRP, en lugar de fijar sus propios umbrales. La OMS, a través del proyecto Internacional CEM, ha establecido un marco para el desarrollo de normas sanitarias para los CEM, a las que se puede recurrir en caso de que las normas nacionales difieran de las recomendaciones internacionales. La OMS

reconoce que los países pueden decidir adoptar otras políticas de gestión de riesgos para la exposición a las RF[20].

- A nivel nacional, la normativa destinada a limitar la exposición de las personas a los CEM puede clasificarse como un instrumento de carácter voluntario u obligatorio[20].
- Entre los instrumentos voluntarios, figuran las directrices, instrucciones y recomendaciones que no están establecidas por ley y que, por lo general, carecen de valor jurídico (por ejemplo, las directrices internacionales desarrolladas por la ICNIRP). Estas proporcionan orientación a los organismos nacionales y solo adquieren un carácter jurídicamente vinculante cuando el país las transpone a su propia legislación[20].
- Los instrumentos de obligatorio cumplimiento o jurídicamente vinculantes incluyen leyes, actos, reglamentos, ordenanzas, resoluciones, decretos, y requieren un marco legislativo[20].
- En el proyecto internacional CEM de la OMS, se estima que sería más útil promover las normas internacionales vigentes en un modelo legislativo que permita a las autoridades nacionales que lo deseen transponerlas a sus legislaciones. Además, la legislación modelo de la OMS permitiría que los estados que quisieran desarrollar sus propias normas nacionales pudieran hacerlo dentro de ese marco[20].
- La autoridad competente en materia de gestión del espectro será la encargada de aplicar los reglamentos sobre niveles máximos de NIR procedentes de dispositivos de telecomunicación, aprovechando sus conocimientos técnicos especializados en dicho campo. Las experiencias internacionales demuestran que, en la mayoría de los casos, la aplicación de estas es competencia de las autoridades encargadas de la concesión de licencias[20].
- El Manual de gestión del espectro recomienda efectuar las mediciones de las radiaciones no ionizantes (NIR) del siguiente modo:
 - Asociándolas a la expedición de una licencia de radiocomunicaciones;
 - Periódicamente, con arreglo a un plan de control y comprobación técnica de las NIR.
 - Por razones de interés social, es decir, porque exista una reclamación pública u oficial[20].

- Los emisores sujetos a mediciones serán:
 - Las estaciones de base celulares y de radiodifusión.
 - Las estaciones de radioaficionados.
 - Los terminales de mano (en este caso, se verificarán únicamente las especificaciones técnicas, ya que la medición de estos dispositivos puede resultar muy costosa)[20].
- Es importante que la información elaborada sobre los cálculos, mediciones o evaluaciones sean accesibles para el público, en consecuencia, podrían divulgarse a través de los medios de comunicación de los que disponga el país. Las cantidades medidas y calculadas han de compararse. Si los valores medidos o calculados superan los niveles de la ICNIRP, se hará constar en el informe y se adoptarán las disposiciones pertinentes de conformidad con el reglamento en vigor[20].
- Cuando se genere un informe sobre la medición se recomienda que incluya la siguiente información:
 - Fin y objetivos de las mediciones.
 - Fecha y hora de inicio y finalización.
 - Coordenadas geográficas, altura sobre el terreno y características peculiares de los emplazamientos objeto de evaluación.
 - Relación de los transmisores identificados.
 - Equipos utilizados con sus números de serie e información detallada sobre su calibración.
 - Incertidumbre de las mediciones.
 - Protocolo o normas de medición; y temperatura o condiciones meteorológicas, incluida la humedad[20].
- Para que el informe resulte más inteligible, conviene representar gráficamente los resultados por medio de mapas, diagramas y fotos. A través de estos medios, se presentarán los resultados de las evaluaciones realizadas en los emplazamientos, así como la posición relativa de los principales transmisores y zonas de interés (tales como escuelas, hospitales o viviendas)[20].
- En lo que respecta a la sensibilización pública, es importante proporcionar información a la población sobre los productos que generan CEM, con el fin de reducir la percepción del peligro derivado de la exposición a los mismos. Se puede

informar al público acerca de la importación de equipos de medición de campos electromagnéticos al país facilitándole las SAR. En este sentido, la coordinación regional entre los países vecinos es fundamental para controlar el tráfico de estos dispositivos, de forma que un país solo admita equipos autorizados[20].

- Existe una diferencia entre las estaciones de base instaladas por los proveedores de servicios y los teléfonos celulares portátiles, adquiridos en base a decisiones personales. El control de estos dispositivos se efectúa a distintos niveles (proveedores de servicios y clientes) y precisa de la colaboración y el intercambio de información entre ambos. Se recomienda, por tanto, que la SAR de cada teléfono móvil esté disponible para el público en general, a fin de que todo el mundo pueda tomar una decisión fundamentada[20].

La información generada como parte de este informe también está apoyada con el manual sobre técnicas informáticas para la gestión del espectro[21].

4 VIGILANCIA Y CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A CEM

La vigilancia y control del espectro en Colombia, está a cargo de Agencia Nacional del Espectro ANE. La Comisión de Regulación de Comunicaciones CRC, dicta disposiciones enfocadas hacia el despliegue de la infraestructura en general como los emplazamientos de redes móviles y las antenas para las redes de telecomunicaciones. La resolución 754 de 2016, hace un compendio de las disposiciones generales de la vigilancia, control al espectro y la reglamentación de las estaciones radioeléctricas que cumplen la misión de controlar los niveles de exposición de las personas a CEM. Entre estas directrices se encuentra:

- La Ley 1753 de 2015 con la que se expide el plan nacional de desarrollo 2014-2018 dispone en su artículo 43 que la ANE expedirá las normas relacionadas con el despliegue de antenas las cuales contemplaran los límites de exposición a las personas a CEM y las condiciones técnicas para cumplir dichos límites, exceptuando lo que corresponda a infraestructura pasiva y su compartición que estará bajo competencia de la CRC[22].
- De acuerdo con el artículo 193 de la ley 1753 de 2015, es deber del estado garantizar la prestación continua oportuna y de calidad de los servicios de telecomunicaciones y para ello velara por el despliegue de la infraestructura en las entidades territoriales. Esta infraestructura deberá cumplir los parámetros y normatividad y reglamentación expedida por la ANE y la CRC[22].
- En el decreto 1078 de 2015 se establecen los lineamientos a tener en cuenta para la protección a radiación no ionizante y adopta los niveles de la ICNIRP como ente reconocido por la OMS[23].
- De acuerdo con el artículo 43 de la ley 1753 de 2015, la ANE es ahora la entidad competente para expedir las normas relacionadas con el despliegue de antenas, las cuales deben contemplar tanto la potencia máxima de transmisión como los límites.
- La Ley 1341 de 2009 determina la creación y funciones de la ANE así como la disposición de que la infraestructura para las telecomunicaciones móviles deberá propender por la salud de los ciudadanos[24].
- El código de buenas prácticas para el despliegue de la infraestructura de comunicaciones de la CRC – ANE – MINTIC permite definir directrices para

garantizar que la infraestructura cumpla la normatividad colombiana frente a la exposición a CEM[25].

Teniendo en cuenta las directrices anteriores, la ANE con el objetivo de controlar los niveles de exposición a CEM, condensa la normatividad y expide la resolución 754 de 2016 como ente de vigilancia y control sobre el espectro en Colombia y se complementa con el decreto 1078 de 2015 y el código de buenas prácticas para el despliegue de la infraestructura de comunicaciones de la CRC.

La ANE genero el documento “Manual de gestión del espectro” relacionado al monitoreo del espectro radioeléctrico donde se definen la necesidad de verificación, funciones y el papel principal de la ANE. Los beneficios y ventajas de los planes y sistemas de gestión del espectro no se pueden evidenciar cuando los actores del sistema incumplen la normatividad y los reglamentos o los lineamientos de las licencias de operación. Las normas deben incluir las acciones que se tomaran en caso de que los usuarios violen la normatividad con base en la gravedad de las violaciones. En estos casos se pueden determinar penas que van desde advertencias, multas, revocación de las licencias, cancelación de la operación y dependiendo de lo que se defina en la legislación nacional, el procesamiento judicial. Si los procedimientos no son efectivos, la integridad del proceso de gestión, control y vigilancia del espectro se verá comprometida. La capacidad de la entidad encargada del control, la vigilancia y la administración para verificar el cumplimiento de las normas y reglamentación propia de un sistema de comunicaciones depende tanto de un sistema efectivo de gestión del espectro, así como de un sistema efectivo de gestión, seguimiento, control, y vigilancia[26].

4.1 PROCEDIMIENTOS PARA EL CALCULO Y LA MEDIDA DE EXPOSICIÓN A CEM

Los procedimientos para la medida de CEM están basados en los cálculos matemáticos con parámetros conocidos por el operador o es posible efectuar mediciones con dispositivos o estaciones de monitoreo. Como lo indica la recomendación K.52 antes de aplicar un procedimiento de cálculo o medición y al definir los límites de exposición a CEM, se debe verificar la conformidad de su cumplimiento, por ello para que exista conformidad deben adoptarse las siguientes medidas:

- Identificar los límites de conformidad adecuados.
- Determinar si es necesaria la evaluación de la exposición a los CEM para la instalación del equipo en cuestión.
- Si es necesaria la evaluación de exposición a los CEM, puede realizarse mediante cálculos o medición.
- Si la evaluación de la exposición a los CEM indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas en las que puede haber presentes personas, deben aplicarse medidas de reducción o evitar el acceso del personal a menos que sea estrictamente necesario.

La recomendación K.52 presenta un diagrama de flujo donde se define una propuesta del paso a paso para la evaluación de la exposición a CEM que se observa en la Figura 7.

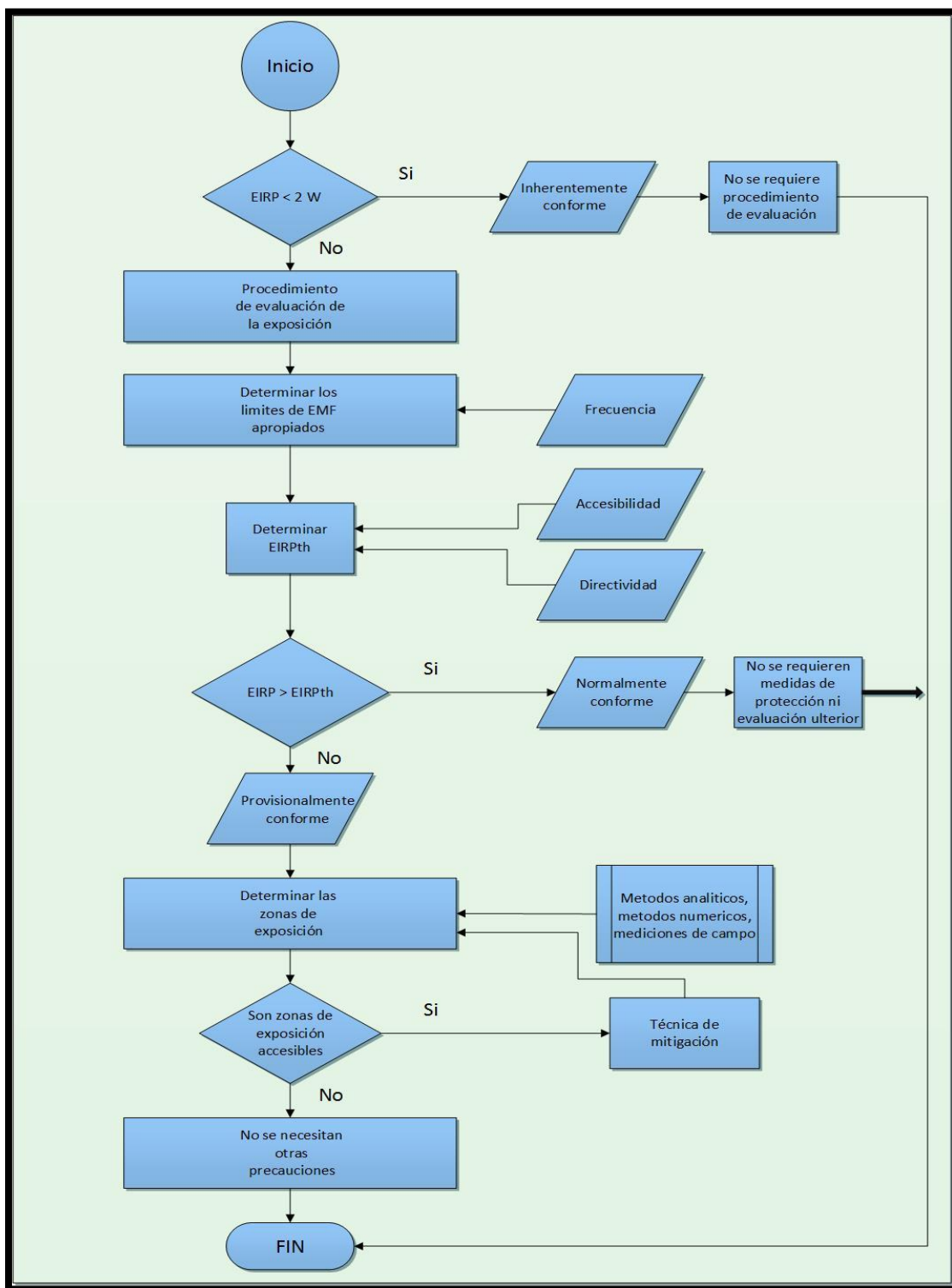


Figura 7. Diagrama de flujo de evaluación de una fuente emisora de CEM

Fuente: Recomendación K.52[12].

Inicialmente entonces se debe validar si la fuente es:

- Inherentemente conforme
- Normalmente conforme.
- O si se debe efectuar el cálculo simplificado.

Si estos tres pasos indican que se superan los límites, se deberá continuar con la evaluación a través de cálculos numéricos o mediciones. En resumen, los procedimientos se dividen en procedimientos de cálculo y procedimientos de medida.

4.1.1 PROCEDIMIENTOS PARA EVALUAR LA CONFORMIDAD DE LAS FUENTES

Inicialmente entonces se debe validar si la fuente es:

- Inherentemente conforme
- Normalmente conforme.
- Se debe efectuar el cálculo simplificado.

La fuente es inherentemente conforme si el EIRP es menor a 2W, en estos casos no se estima ninguna acción adicional. En caso de que no sea así, se debe proceder con la evaluación de si la fuente es normalmente conforme. En este caso se debe validar la accesibilidad y la directividad de la antena, así como la frecuencia del campo radiado.

Para evaluar la accesibilidad y la clasificación de la instalación con base a los límites de la ICNIRP. Los criterios se basan en una estimación de la exposición a los CEM en las diversas situaciones o escenarios que puedan presentarse. Los emisores de una EIRP máxima de 2W o menos se clasificarán como fuentes inherentemente conformes. No se estima necesaria ninguna otra acción. Si la potencia de radiación total es de 100 mW o menos y se emplean antenas de microondas de muy pequeña abertura o de ondas milimétricas, se puede considerar el emisor como inherentemente conforme y no se estima necesaria ninguna otra acción. Cuando el emisor está construido de manera que el acceso a cualquier zona en la que puedan sobrepasarse los límites de exposición está impedido por la construcción del dispositivo radiante, se clasifica como inherentemente conforme.

Los criterios indicados para determinar si una instalación es normalmente conforme comprenden tres características de las instalaciones: la accesibilidad, la directividad de la

antena y la frecuencia del campo radiado. Para determinar la categoría de accesibilidad a través de parámetros como la altura y la distancia. En la Tabla 7 se encuentran listadas las categorías de accesibilidad con su respectiva representación gráfica en las figuras 8 a la 12.

Tabla 7. Categorías de accesibilidad

Categoría de accesibilidad	Circunstancias de la instalación	Figura de referencia
1	La antenna está instalada en una torre inaccesible. El centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Existe la constricción h>3 . La antenna está instalada en una estructura públicamente accesible (por ejemplo: en un tejado), el centro de radiación está a una altura h por encima de la estructura.	Figura 8
2	La antenna está instalada al nivel del suelo. El centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general y de una altura aproximada h situado a una distancia d de la antenna a lo largo de la dirección de propagación. Existe la constricción h>3 .	Figura 9
3	La antenna está instalada al nivel del suelo. El centro de radiación está a una altura h(h>3m) sobre el suelo. Hay un edificio adyacente o estructura accesible al público en general de aproximadamente h' situado a una distancia d de la antenna a lo largo de la dirección de propagación.	Figura 10
4	La antenna está instalada en una estructura a una altura h(h>3m) . Hay una zona de exclusión asociada con la antenna. Se definen dos geometrías para la zona de exclusión: - Una zona circular con un radio a rodea la antenna. - Una zona rectangular de tamaño a * b delante de la antenna.	Figura 11 Figura 12

Fuente: Recomendación ITU-K52[12].

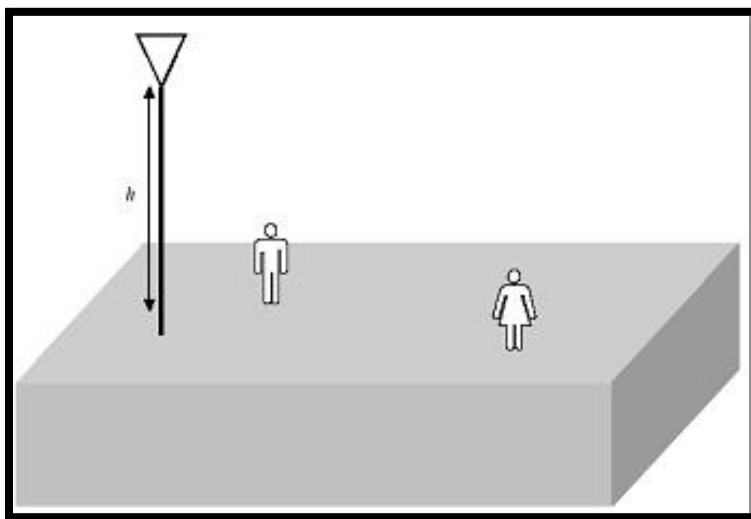


Figura 8. Categoría de accesibilidad 1

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

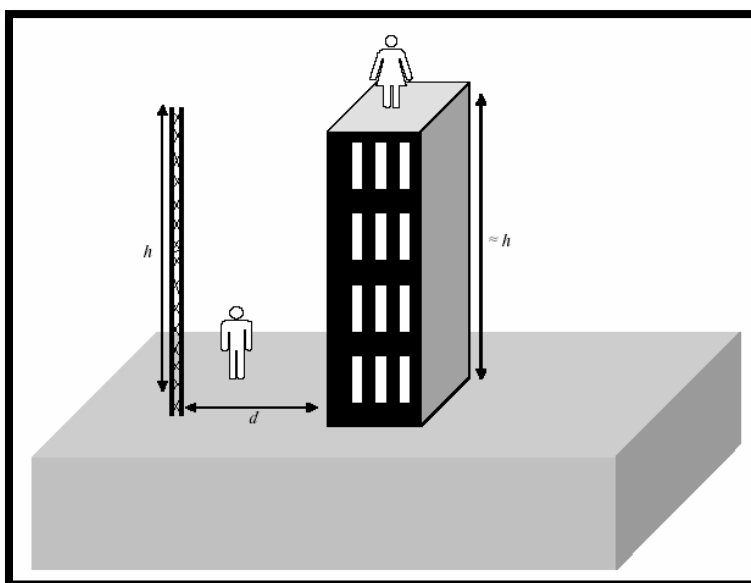


Figura 9. Categoría de accesibilidad 2

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

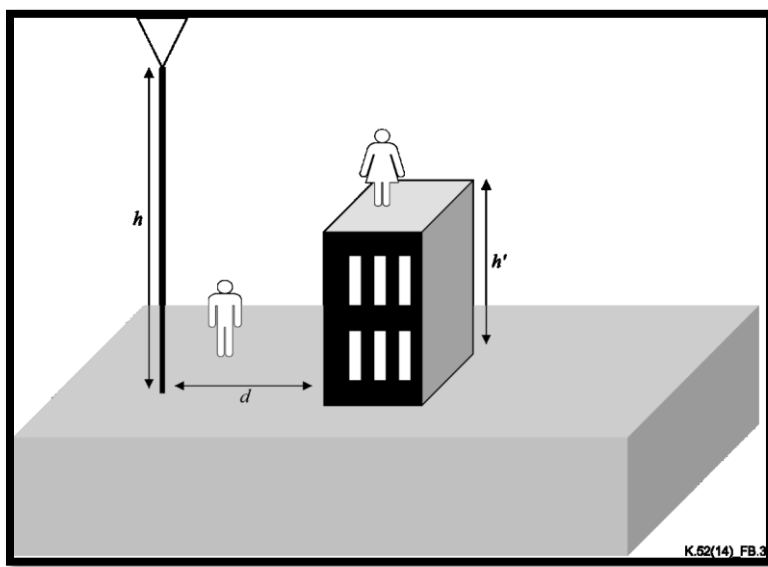


Figura 10. Categoría de accesibilidad 3

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

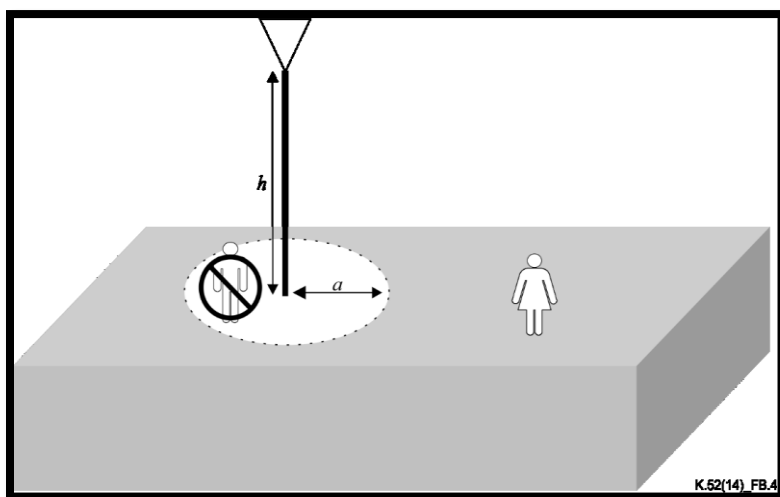


Figura 11. Categoría de accesibilidad 4, área de exclusión circular

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

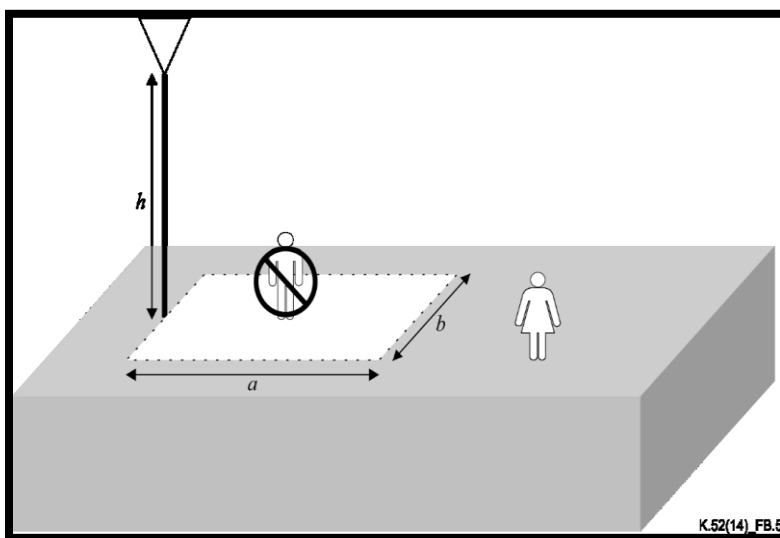


Figura 12. Categoría de accesibilidad 4, área de exclusión rectangular

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

La frecuencia portadora determina el límite de exposición para la densidad de potencia radiada $S_{lim}(f)$ que se indica en las normas de exposición a campos electromagnéticos.

La directividad de la antena es importante porque determina el diagrama de exposición potencial. Una alta directividad significa que la mayor parte de la potencia radiada está concentrada en un haz estrecho, lo que puede permitir el control adecuado de las zonas de exposición. El diagrama de antena es determinante primordial y un factor frecuentemente variante al determinar el campo. En la Tabla 8 se presenta una descripción para facilitar la clasificación de antenas en categorías genéricas. El parámetro más importante para determinar la exposición debida a antenas elevadas es el diagrama de antena vertical (de elevación). El diagrama horizontal (acimut) no es pertinente, ya que la evaluación de la exposición supone una exposición a lo largo de la dirección de máxima radiación en el plano horizontal. Es relevante indicar que los diagramas vertical y horizontal determinan la ganancia de la antena, y que el diagrama horizontal determina la zona de exclusión para la categoría de accesibilidad 4. La Figura 13 y la Figura 14 complementan la Tabla 8.

Tabla 8. Categorías de directividad de las antenas

Categoría de directividad	Descripción de la antena	Parámetros pertinentes
1	Dipolo de media onda	Ninguno (Figura 13)
2	Antena de cobertura amplia (omnidireccional o seccional), como las que se utilizan para la comunicación inalámbrica o la radiodifusión.	Anchura de haz a potencia mitad vertical: θ_{bw} Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: Asl Inclinación del haz: α Figura 14
3	Antena de haz elevada ganancia que produce un lápiz (haz circularmente simétrico), como los utilizados para la comunicación punto a punto o las estaciones terrenas.	Anchura de haz a potencia mitad vertical: θ_{bw} Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: Asl Inclinación del haz: α Figura 14

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

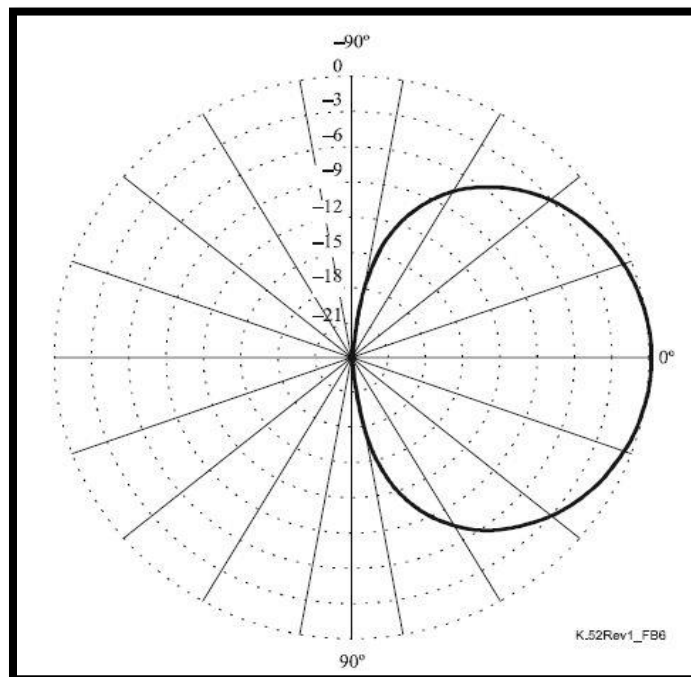


Figura 13. Diagrama vertical para un dipolo de media onda

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

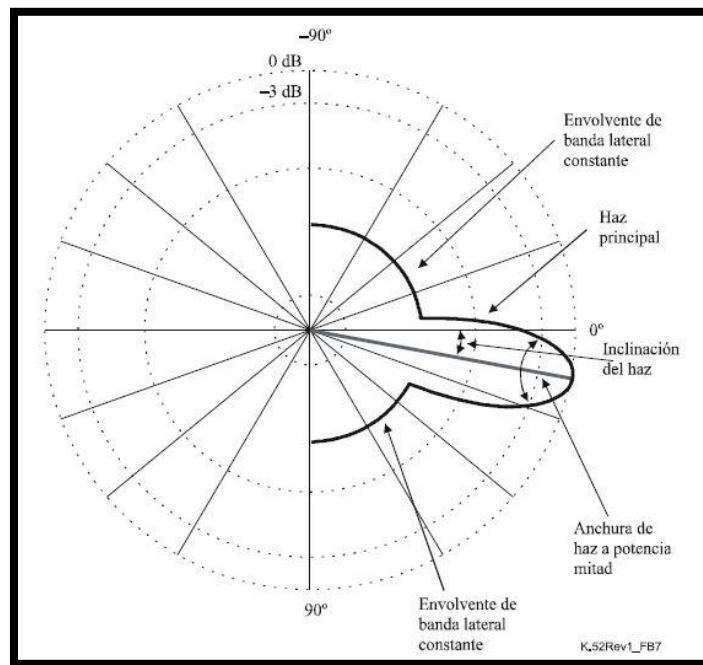


Figura 14. Diagrama de la antena y terminología

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

Para la categoría de accesibilidad 4 se tienen varias zonas de exclusión las cuales dependen del diagrama horizontal de la antena. El parámetro pertinente es la cobertura horizontal de la antena. En la Tabla 9 se presentan las zonas de exclusión para algunos valores típicos de la cobertura horizontal para antenas omnidireccionales, seccionales o de haz estrecho.

Tabla 9. Zona de exclusión en función de la cobertura horizontal

Cobertura horizontal	Zona de exclusión
Omnidireccional	Zona circular (Figura 11)
120°	Zona rectangular (Figura 12) / $b=0,866a$
90°	Zona rectangular (Figura 12) / $b=0,707a$
60°	Zona rectangular (Figura 12) / $b=0,5a$
30°	Zona rectangular (Figura 12) / $b=0,259a$
Menos de 5°	Zona rectangular (Figura 12) / $b=0,09a$

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

Teniendo en cuenta las condiciones de accesibilidad y directividad de la antena, se deberán efectuar los cálculos necesarios con las tablas incluidas en el Anexo C que para cada caso muestra las expresiones de EIRPth (W) de acuerdo con el rango de frecuencias entre los 400 – 300000 MHz.

Adicionalmente a este procedimiento, existe el procedimiento de cálculo simplificado para identificar si una fuente cumple con los límites de exposición sin la necesidad de seguir procesos generales o exhaustivos de evaluación de la exposición. Esto es relevante, por ejemplo, debido a la baja potencia transmitida o debido a la posición de los transmisores o antenas (EUT y fuentes relevantes) con respecto al público en general. Los procedimientos de evaluación simplificados se basan en el conocimiento de la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) del EUT y según el nivel EIRP, las características de instalación de la antena, como la altura de montaje, la dirección del lóbulo principal y la distancia a otras fuentes ambientales.

4.1.2 PROCEDIMIENTOS DE CALCULOS NUMÉRICOS

Los procedimientos de cálculos numéricos se encuentran definidos en las recomendaciones K.52 y K.61, estos se listan en la Tabla 10.

Tabla 10. Procedimientos de cálculo numérico de las recomendaciones K.52 y K.61

METODO	ESPECIFICACIÓN
FDTD	El método FDTD es el más útil para evaluar la exposición en las proximidades de la antena o en emplazamientos cerrados con un entorno de dispersión complejo. El algoritmo FDTD es el método de cálculo más ampliamente aceptado para el modelo SAR. El método FDTD ofrece una gran flexibilidad a la hora de modelar estructuras no homogéneas de tejidos y órganos anatómicos. El método FDTD puede utilizarse para predecir los valores de campo en entornos de dispersión complejos especificando las condiciones de frontera adecuadas o para predecir la SAR especificando las propiedades dieléctricas y las dimensiones de las personas, así como las condiciones de frontera adecuadas para espacios cerrados o abiertos. Para llevar a cabo los cálculos se utiliza normalmente una onda sinusoidal como fuente de excitación en el punto de alimentación de la antena. Se permite que la señal se propague e interactúe con los objetos modelados en el dominio de cálculo mediante iteraciones numéricas. El algoritmo FDTD itera la propagación del campo en el espacio y en el tiempo hasta que las condiciones de campo en el dominio de cálculo alcancen un estado sinusoidal estacionario. El campo total en los lugares de tejido seleccionado puede calcularse para determinar la SAR. A fin de mantener la estabilidad numérica en los algoritmos de cálculo, se utiliza la condición de Courant que proporciona la mínima relación para seleccionar las resoluciones temporal y espacial empleadas en el cálculo. La velocidad de iteración y los errores de cálculo esperados están relacionados con los parámetros utilizados para satisfacer la condición de Courant.
MR/FDTD	El algoritmo MR/FDTD resuelve las ineficacias de cálculo del FDTD para geometrías que incluyen amplias regiones dispersas. En el algoritmo MR/FDTD el espacio se divide en varias subregiones independientes distribuidas en lo que sería el espacio libre. Los campos en las subregiones se determinan utilizando las retículas FDTD localizadas.
Trazado de rayos	El trazado de rayos es útil para evaluar los campos en grandes zonas abiertas y en entornos urbanos donde aparecen múltiples fuentes de dispersión. Este modelo proporciona precisión en el caso de zonas ilimitadas abiertas sobre superficies planas. Si se trata de entornos de dispersión más complejos en los que aparecen reflexiones provocadas por los edificios, fluctuaciones en las elevaciones del suelo, etc., es necesario utilizar complicados algoritmos multi rayo. El inconveniente principal del trazado de rayos es que se trata fundamentalmente de una técnica de campo lejano. Además, supone que el tamaño del elemento de dispersión es grande en comparación con la longitud de onda. El trazado de rayos no es adecuado para realizar los cálculos con longitudes de onda largas donde la difracción es importante. El trazado de rayos no permite el cálculo de la SAR.
FDTD/ trazado de rayos	La técnica híbrida FDTD/trazado de rayos pretende aprovechar las ventajas de ambos métodos. Se utiliza el trazado de rayos para determinar el campo incidente y FDTD para evaluar la SAR en el cuerpo.

MOM	El método de los momentos (MOM) es útil para evaluar la intensidad de campo procedente de antenas u otros tipos de estructuras conductoras de hilo delgado y para calcular el campo disperso procedente de estructuras metálicas de hilo delgado. La utilización del MOM para determinar la dispersión producida por superficies planas conductoras exige la representación de dichas superficies mediante una malla de hilos. El MOM es útil para cálculos de campo cercano y campo lejano. Deben conocerse los detalles de la construcción y geometría de la antena, así como de la geometría de los objetos que producen la dispersión. El MOM no es útil para determinar la penetración del campo a través de cuerpos dieléctricos y, por lo tanto, no es adecuado para calcular la SAR. Existen aplicaciones comerciales y no comerciales del MOM.
-----	---

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12] y ITU-K.61[27].

El método propuesto y utilizado en la recomendación ITU-T K.52 es un modelo de dos rayos sencillo.

Las recomendaciones K.70 y K.91 especifican los métodos sugeridos para efectuar los cálculos de acuerdo con la complejidad de las mediciones y los datos que se deben tener para cada caso y se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Procedimientos de cálculo numérico de las recomendaciones K.70 y K.91

METODO	ESPECIFICACION
Modelo de punto de origen o fuente puntual	El modelo de fuente puntual es un modelo simple pero muy efectivo que se puede usar para calcular niveles de exposición que se utilizarán en comparación con los niveles de referencia
Modelo sintético	En el modelo sintético se considera que cada antena es un conjunto de fuentes elementales que tienen parámetros idénticos. Tal enfoque es natural, por ejemplo, para antenas de transmisión que generalmente contienen conjuntos (hasta 64) de paneles idénticos que funcionan como una antena transmisora. En el caso de los paneles GSM (o antenas similares), se puede dividir en "parches" (que generalmente contienen un dipolo con una pantalla) y cada uno de ellos puede ser considerado como una fuente radiante separada. Este modelo se puede emplear para distancias más allá de distancia de campo cercano, que se calcula con respecto al tamaño máximo de una fuente de radiación elemental (parche en GSM, panel en la radiodifusión) y no el tamaño de todo el sistema.

Métodos de onda completa	La precisión más alta del cálculo de los niveles de referencia se logra mediante el modelado numérico utilizando uno de los métodos de onda completa basado en la resolución de ecuaciones de Maxwell en frecuencia o dominio de tiempo. Incluye el método de momentos (MoM), dominio de tiempo de diferencia finita (FDTD) y muchos otros. Dichos métodos de cálculo se pueden usar para cualquier fuente en una región. Ellos usan modelos de sistemas segmentados detallados en los que el modelo segmentado más detallado conduce a una mayor precisión de la distribución del campo evaluado. Una estación transmisora típica o estación base consiste en muchas antenas transmisoras. La zona requerida para su consideración es generalmente grande y no homogéneos. En tal caso, el método de los momentos (MoM) es más conveniente que otros métodos.
--------------------------	--

Fuente: Recomendación ITU-K.70[15] y ITU-K.91[17].

La evaluación de la exposición mediante cálculo en todos los casos requiere información sobre las fuentes radiantes. En general, cuanto más detallada sea la información, más precisos serán los resultados de los cálculos. Estos datos son necesarios para cada frecuencia operativa (o planificada). Los datos requeridos están en orden del nivel cada vez que se requiera mayor precisión de la evaluación de la exposición por cálculo.

Los datos mínimos requeridos para el cálculo, que conducen al enfoque más conservador, son:

- Frecuencia de operación.
- Distancia a la antena transmisora.
- EIRP máximo.

En este caso, el modelo de fuente puntual con antena isotrópica se puede usar para la evaluación de la exposición. Posteriormente si se requiere ampliar los resultados de los cálculos se podrá solicitar.

- Diagramas de radiación de la antena transmisora.

Estos datos adicionales permiten el uso del modelo de fuente puntual tomando en cuenta patrones de radiación. Muchas antenas transmisoras se construyen como sistemas que

contienen muchos elementos radiantes idénticos (paneles en difusión o parches en comunicación móvil). Los datos adicionales que permiten resultados más precisos son:

- Geometría de la antena transmisora (posición espacial de cada panel o parche).
- Patrón de radiación del panel o parche individual.
- Disposición de alimentación (amplitud o potencia y fase de cada panel o alimentación de parche).

Estos datos permiten el uso del modelo sintético para la evaluación de la exposición. Los datos que permiten los cálculos más precisos contienen adicionalmente:

- Ubicación exacta de cada parte metálica y dieléctrica de la antena transmisora.
- Información sobre cada excitación en el sistema de antena.
- Ubicación exacta de las partes metálicas y dieléctricas de la torre de antena y la estructura de soporte en las proximidades de la antena transmisora.

Estos datos permiten el cálculo utilizando métodos de onda completa como el método de momentos (MoM) o dominio de tiempo de diferencia finita (FDTD).

4.1.3 PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS CON MULTIPLES FUENTES

En la mayoría de los casos, una estación transmisora típica contiene muchos sistemas de transmisión que funcionan en muchas frecuencias. En este caso, en el área alrededor de la torre de antena, el campo electromagnético tiene una estructura compleja con muchos componentes de diferentes frecuencias y diferentes intensidades de campo, variando de punto a punto. Por ejemplo, una estación base celular típica contiene transmisión antenas de dos rangos de frecuencia (por ejemplo, 900 MHz y 1800 MHz), que operan en muchas portadoras de radio y es compartido frecuentemente por varios operadores, lo que implica la presencia de transmisiones adicionales antenas y portadores de radio[18].

Las estaciones base celulares a menudo se montan en la antena de transmisión torres que generalmente contienen equipos de transmisión para las bandas de FM, VHF y UHF. De estos entornos de múltiples fuentes, el cuerpo humano está expuesto a la radiación emitida simultáneamente por todas las fuentes radiantes. La evaluación de la exposición en el

entorno de múltiples fuentes, de acuerdo con los estándares existentes como la recomendación K.52, requiere el cálculo del acumulado exposición W (en algunos estándares también llamada relación de exposición total).

4.1.4 PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE UN SISTEMA COMPLEJO CON MODELOS MATEMÁTICOS

Si se requiere hacer una evaluación de sistemas en función del tiempo, se pueden utilizar los procedimientos de la recomendación K.62.

- Mapa del sistema: Se debe generar un mapa del sistema a escala donde se represente las posiciones de los equipos que los conforman y sus límites y fronteras. La frontera por lo general se define como el límite físico a partir del cual las emisiones radiadas pueden degradar la recepción de servicios radioeléctricos. En general una frontera en un sistema está entre un área cerrada y controlada por un operador y un espacio público donde los demás operadores pueden instalar sus equipos. En resumen, la frontera del sistema queda determinada por su naturaleza y su ubicación[28].
- Composición del sistema: se debe generar un inventario de los equipos que componen el sistema y registrar[28]:
 - Función del equipo.
 - Nombre del equipo.
 - Fabricante.
 - Número de equipos iguales en el sistema.
- Emisiones del equipo: información relativa a las características de las emisiones radiadas por cada equipo. Fundamentalmente, se necesitan cuatro datos para cada emisión radiada[28]:
 - La frecuencia.
 - La polaridad (horizontal o vertical).
 - El nivel.
 - La distancia de medición.

Si se dispone de informes de pruebas EMC para los equipos, éstos podrían servir para identificar esta información en el caso de las emisiones radiadas más altas

medidas (estando éstas por debajo del límite máximo de las emisiones para las que se diseñó el equipo). Si no se dispone de estos informes, se puede medir las emisiones radiadas de un elemento del equipo para determinar las frecuencias y los niveles en los cuales se midieron las emisiones radiadas más altas (estando éstas por debajo del límite máximo de las emisiones para las que se diseñó el equipo). En ambos casos, se debe poner especial cuidado cuando se compile esta información para garantizar que la configuración del equipo durante las pruebas es lo más representativa posible de su instalación en el sistema[28]. Durante las pruebas se debe poner especial atención a:

- La colocación: el equipo se debe ubicar en la misma ranura/estantería que se utilizará en el sistema.
- El cableado: la configuración del equipo debe tener las mismas conexiones que cuando esté instalado en el sistema, con los mismos tipos de cable y la misma señalización (simulada o real).
- El funcionamiento: el equipo se hará funcionar del mismo modo que funcionará cuando esté instalado en el sistema (lo cual está relacionado con el cableado, según se ha dicho antes).

Si no se dispone de informes de prueba y no se realizan las mediciones de emisiones radiadas de un determinado equipo, se tomará como hipótesis por defecto que las emisiones del elemento del equipo están en el nivel del límite de emisiones para el cual se diseñó en toda la gama de frecuencias. Esta hipótesis por defecto corresponde a un caso límite, dado que los equipos de telecomunicaciones no emiten, por lo general, a niveles próximos a su límite de emisiones a lo largo de toda la gama de frecuencias correspondiente a ese límite, sino que, por el contrario, las emisiones de los equipos están cerca del límite sólo durante un pequeño porcentaje de la gama de frecuencias total correspondiente a ese límite. Se supondrá que cada equipo radia de manera completamente isotrópica en las frecuencias y niveles indicados en este método[28].

- Frecuencias de emisión comunes: La información recopilada en el ítem anterior, permite identificar las frecuencias de emisión comunes dentro del sistema, es decir, aquellas frecuencias en las cuales dos o más elementos del equipo emiten con la

misma polaridad. De este modo se puede determinar el valor de Nfc –el número de frecuencias de emisión comunes del sistema. Para cada frecuencia común, es necesario conocer la siguiente información[28]:

- La frecuencia.
 - El equipo que emite a esa frecuencia.
 - La polaridad.
- Puntos de evaluación: el mapa del sistema, la composición del sistema y las emisiones de los equipos se examinarán para generar un conjunto de puntos de evaluación. Éstos son posiciones en el mapa del sistema y fuera de los límites de este, en los cuales se han de evaluar las emisiones radiadas por los sistemas. Se recomienda que se examine una serie de puntos de evaluación (NEP), es decir, las emisiones de nivel de sistema no se deben examinar en un único punto. Asimismo, se recomienda que el número de puntos de evaluación aumente con el tamaño físico del sistema que se está evaluando[28]. Los factores que se han de considerar al seleccionar los puntos de evaluación son:
 - Las posiciones conocidas de los usuarios radioeléctricos existentes (este ítem requiere una atención especial).
 - Los ejemplares de los equipos que están ubicados cerca de la frontera del sistema (es decir, a una distancia menor o igual a la distancia en la cual se miden sus emisiones); esto es especialmente cierto si se ha determinado que estos equipos emiten a frecuencias de emisión comunes y cada emisión tiene un nivel relativamente alto.
 - Ubicaciones adyacentes a las fronteras del sistema en las que haya una gran probabilidad de que se hagan instalaciones radioeléctricas (por ejemplo, ubicaciones de alta densidad de sistemas en zonas urbanas, zonas residenciales para sistemas en zonas suburbanas).
 - Zonas de acceso público muy próximas a la frontera del sistema (cabe estudiar especialmente las posibles interferencias que pueda causar el sistema a los servicios radioeléctricos móviles públicos, por ejemplo, telefonía móvil).
- Matriz de separación: se debe crear una matriz de separación donde se documente la distancia de separación en línea recta entre cada uno de los equipos del sistema y cada punto de evaluación[28].

Para cada uno de los puntos de evaluación seleccionados en el sistema y para cada frecuencia de emisión común identificada debe determinarse las emisiones radiadas a través de los procedimientos que se listan a continuación[28]:

- Corrección I: Propagación

Se deberá consultar el mapa del sistema para determinar el trayecto de propagación entre cada elemento del equipo y cada punto de evaluación. La complejidad de los trayectos de propagación varía de un trayecto a otro. Considérense los siguientes ejemplos (en orden creciente de complejidad)[28]:

- Trayecto bloqueado: no existe un trayecto de propagación simple y en línea recta entre el equipo y el punto de evaluación –entre el equipo y el punto de evaluación hay algún tipo de estructura conductora que apantalla las emisiones del equipo.
- Trayecto directo: existe un trayecto de propagación simple y en línea recta entre el equipo y el punto de evaluación, de modo que no existen estructuras conductoras que puedan reflejar, difractar o bloquear la propagación de las emisiones del equipo hacia el punto de evaluación. Esta línea directa puede atravesar una serie de fronteras.
- Trayecto reflejado indirecto: existe un trayecto indirecto entre el equipo y el punto de evaluación en el que se produce al menos una reflexión de las emisiones del equipo en una estructura conductora adyacente.
- Trayecto difractado indirecto: existe un trayecto indirecto entre el equipo y el punto de evaluación en el que las emisiones del equipo se difractan por una estructura conductora adyacente.
- Trayecto complejo: existe un trayecto de propagación entre el equipo y el punto de evaluación en el que se producen una o varias de las dos situaciones anteriores y en cada una de ellas múltiples reflexiones o difracciones[28].

A medida que aumenta la complejidad del trayecto de propagación, también aumenta la reducción del nivel (es decir la atenuación por propagación) de las emisiones de los equipos que llegan hasta el punto de evaluación. Por consiguiente, es posible repetir varias veces el estudio de modo que cada vez se incluyan trayectos de propagación más complejos. En la primera iteración se consideraría

únicamente los trayectos bloqueados y directos. En la segunda se considerarían los bloqueados, los directos y los trayectos reflejados de primer orden (es decir trayectos reflejados que consisten en una única reflexión). En la tercera iteración se podrían considerar los trayectos bloqueados, directos y los reflejados de primer y segundo orden. Es necesario ajustar los niveles de emisión de los equipos indicados en el ítem emisiones del equipo, para tener en cuenta el trayecto de propagación entre el equipo y el punto de evaluación. Para realizar los ajustes puede utilizarse cualquier modelo de propagación radioeléctrica que se considere aplicable de acuerdo con la frecuencia de emisión y el trayecto de propagación que se esté estudiando[28]. Se puede utilizar el siguiente modelo:

$$E_0(d_2)E_0(d_2) = E_0(d_1)^{-20} \log_{10} \left\{ \frac{d_2}{d_1} \right\}$$

Siendo:

d1 la distancia de separación en metros entre el equipo y la antena de medición durante la medición de las emisiones radiadas

d2 la distancia de separación en metros entre el equipo y el punto de evaluación

E0(d1) la amplitud de la emisión del equipo (expresada en unidades logarítmicas) medido a la distancia d1.

E0(d2) la amplitud de emisión del equipo (expresada en unidades logarítmicas) prevista a la distancia d2 debido a la propagación entre d1 y d2.

El valor de d2 para cada elemento del equipo que emite en la frecuencia común se obtiene a partir de la matriz de separación[28].

- Corrección II: Atenuación en la frontera:

Cuando el trayecto de propagación entre el equipo y el punto de evaluación atraviesa una o más fronteras físicas (una pared, una valla prefabricada, etc.) los niveles de emisión del equipo identificados en el ítem emisiones del equipo, pueden

corregirse mediante los correspondientes valores de atenuación en la frontera, si éstos se conocen. Si dichos valores no se conocen, el operador puede utilizar valores "típicos" derivados de experiencias anteriores. Asimismo, es posible suponer que no hay atenuación en la frontera, lo que tendrá como efecto que el nivel de emisiones del sistema sea mayor[28].

- Evaluación I: Emisión a nivel de sistema más alta

Una vez completados la corrección I y II, ya se dispone de los niveles de emisión de los equipos corregidos en los puntos de evaluación considerados. Para cada frecuencia de emisión de interés, se calcula el límite superior del nivel de emisiones del sistema. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{MAX} = \sum_{i=1}^N E_{0i}$$

siendo:

N: el número de equipos diferentes dentro del sistema que emiten a la frecuencia común y con la polaridad considerada.

E_{0i}: la amplitud ajustada (es decir, la amplitud en el punto de evaluación, expresada en unidades lineales) de las emisiones del i-ésimo tipo de equipo a la frecuencia común considerada.

EMÁX: el límite superior del nivel de emisiones del sistema (expresado en unidades lineales) a la frecuencia de emisiones común considerada.

El nivel superior de las emisiones del sistema se compara con el límite máximo de emisiones del sistema. Si el nivel superior de emisión del sistema es igual o inferior al límite de emisiones del sistema, las emisiones del sistema cumplen sin lugar a duda el límite para la frecuencia y polaridad consideradas. De ser así, no es necesario evaluar nada más para la frecuencia de emisiones común considerada y el punto de evaluación considerado. Si, por el contrario, el nivel superior de emisión del sistema sobrepasa el límite de emisión del sistema, será necesario pasar a la siguiente evaluación[28].

- Evaluación II: análisis de Montecarlo:

Si el nivel superior de emisión del sistema obtenido mediante la ecuación de la evaluación I sobrepasa el límite de emisión del sistema, se pueden utilizar técnicas

de simulación de Monte Carlo para calcular numéricamente la PD y la CPD que describe el nivel de emisión del sistema. La CPD se utiliza para obtener la probabilidad de conformidad del nivel de emisión del sistema con el límite de emisión del sistema[28].

Si la probabilidad de conformidad es mayor o igual al 80%, se considera que las emisiones del sistema cumplen el límite de emisión del sistema para la frecuencia y polaridad consideradas. Si la probabilidad de ocurrencia es inferior al 80%, se recomienda que el operador de telecomunicaciones examine en primer lugar el nivel de detalle que ha tenido en cuenta al realizar la evaluación. Si en la evaluación se considera que todos los elementos de equipo emiten en su nivel límite a lo largo de toda la gama de frecuencias del límite, se recomienda que se repita el análisis para determinar las frecuencias comunes y las características de las emisiones del equipo que emiten a esas frecuencias. Si en la evaluación sólo se tuvo en cuenta la corrección de propagación mínima se recomienda repetir el análisis con correcciones de propagación más precisas. Si en la evaluación no se tuvieron en cuenta los valores de la atenuación en las fronteras independientemente de si hay fronteras físicas para el sistema considerado, se recomienda que se repita el análisis teniendo en cuenta los valores de la atenuación en las fronteras. Si después de haber tenido en cuenta estos factores, la probabilidad de conformidad sigue siendo inferior al 80% en el análisis, en este caso, y sólo en este caso, se recomienda que el operador de telecomunicaciones trate de reducir el nivel de emisión del sistema de modo que la probabilidad de conformidad sea al menos del 80%. Las técnicas de simulación de Monte Carlo permiten investigar los efectos que produce la aplicación de muchos cambios posibles. Se recomienda que se aplique al sistema el cambio más conveniente[28].

En la Figura 15 se detalla un diagrama de flujo con el método de cálculo para las emisiones de sistemas de telecomunicaciones.

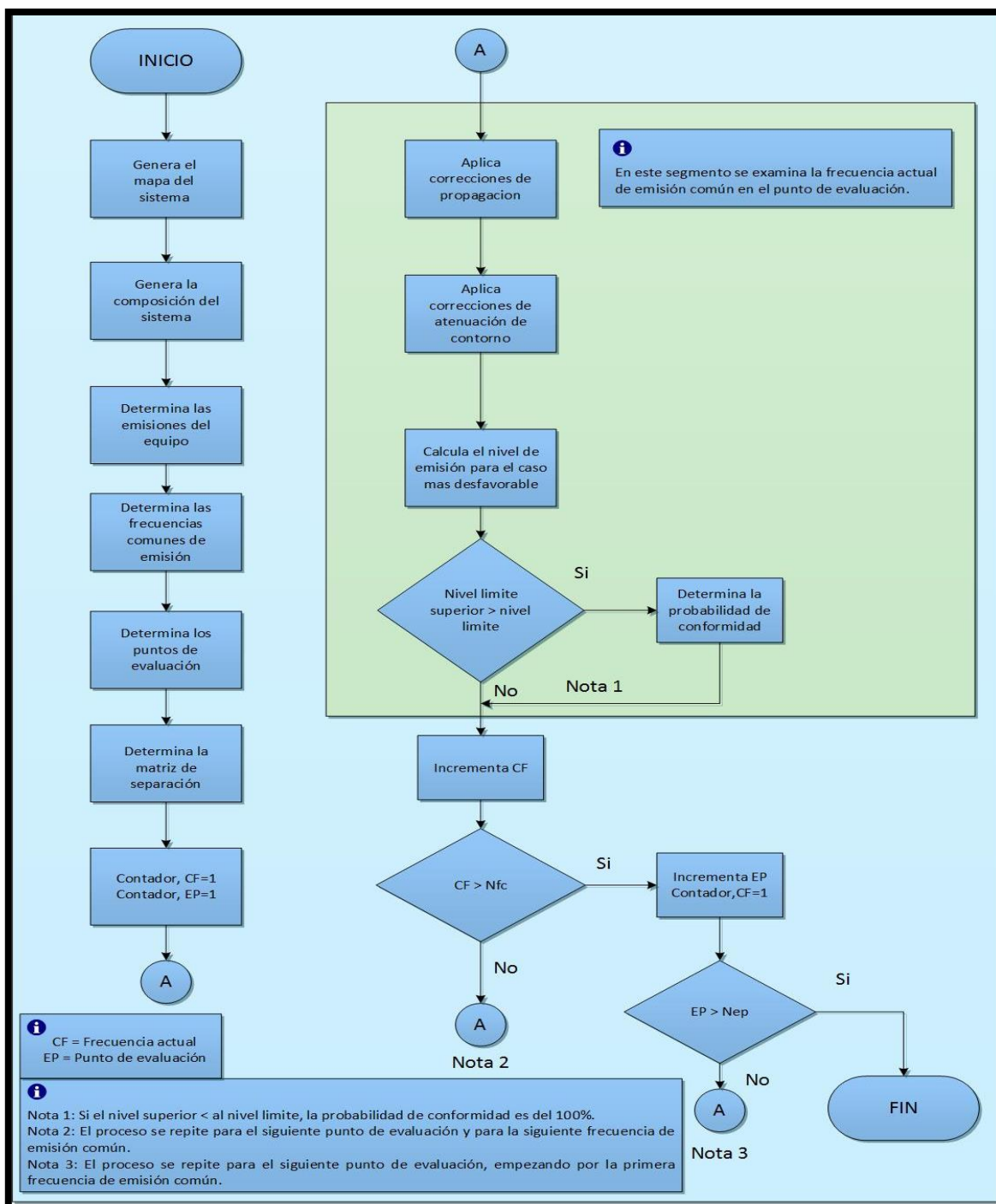


Figura 15. Método de cálculo de las emisiones de sistemas complejos

Fuente: recomendación K.62[28].

4.1.5 PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA

Los procedimientos de medida que se encuentran definidos en las recomendaciones K.83 y K.91 se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12. Procedimientos de medida de las recomendaciones K.83 y K.91.

METODO	ESPECIFICACIÓN
Medición de banda ancha	La medición de banda ancha de exposición a CEM de RF en la región de campo lejano es el método de medición más simple para la evaluación del cumplimiento. En este método, se suman las contribuciones de exposición a CEM de RF (eléctrica o campo magnético según el tipo de sonda) de todas las fuentes de radio dentro de un amplio rango de frecuencias. Pueden ocurrir problemas si las fuentes de radio operan fuera del rango de frecuencia de la sonda están presentes. En el mercado hay disponibles sondas de campo eléctrico que cubren estas bandas de frecuencia, por ejemplo, de 100 kHz a 6 GHz o de 3 MHz a 18 GHz. Estas bandas de frecuencia cubren el funcionamiento de casi todos los servicios de radiocomunicaciones más utilizados. Fuera de la banda de la primera sonda se encuentran muchos sistemas fijos punto a punto (FPP) (por ejemplo, 11 GHz, 13 GHz, 23 GHz, etc.). Sin embargo, los sistemas FPP irradian con haces muy estrechos, por lo que generalmente pueden ser descuidado en la evaluación de la exposición como sistemas que dan contribuciones muy pequeñas en las áreas accesible para las personas. Fuera de la banda de la segunda sonda están los sistemas de radiodifusión AM (LW, MW y SW) y algunos sistemas punto a punto (FPP) fijos (por ejemplo, banda de 23 GHz). Para la medición de banda ancha, la relación de exposición correspondiente a la referencia más restrictiva nivel en el rango de frecuencia considerado debe tomarse, a menos que el dispositivo de medición incorpore una función de ponderación coherente con los límites de exposición. Esto significa que la medición en el método de la banda ancha generalmente da resultados conservadores. Las mediciones de banda ancha son más simples y toman menos tiempo que la frecuencia selectiva unos, pero tienden a ser menos sensibles para la medición de exposiciones de bajo nivel. A pesar de que son menos precisos, sin embargo, se pueden aplicar en muchos casos. Si el nivel de exposición no es compatible con el límite, entonces se requieren las mediciones de frecuencia selectiva.
Evaluación de frecuencia selectiva	La medición selectiva de frecuencia puede proporcionar información sobre la intensidad de campo y el espectro de acuerdo con las características de la exposición generada por los campos electromagnéticos medidos. Estas medidas permiten el uso de los diferentes límites de exposición en los diferentes rangos de frecuencia, pero requieren un procesamiento posterior. Estas medidas dan información sobre las frecuencias de las fuentes medidas y sobre la contribución de cada una de ellas a la exposición total. Los resultados de la evaluación de la exposición utilizando las mediciones de frecuencia selectiva son más precisos en comparación con los resultados de las mediciones de banda ancha.

Evaluación de campo cercano	En la región de campo cercano, los componentes eléctricos (E) y magnéticos (H) no son proporcionalmente relacionados entre sí y dependen de las propiedades de fuente RF EMF. Por lo tanto, los componentes eléctricos y de campo magnético se medirán respectivamente. La exposición total para el componente combinado de campo eléctrico y el componente combinado de campo H se comparará con límites de exposición de forma independiente.
-----------------------------	---

Fuente: Recomendación ITU-K.83 [29]y ITU-K.91[17].

En general, las mediciones pueden realizarse sin un conocimiento completo de las fuentes radiantes si el equipo utilizado cubre la gama completa de frecuencias, sabiendo al menos el rango de frecuencias a medir. Si las mediciones se realizan con equipos de banda ancha (sin selección de frecuencia o respuesta conformada), los resultados de dicha medición serán conservadores porque se requiere el uso del valor límite, que es el más restrictivo. En todos los casos de mediciones, la información relativa a las fuentes radiantes es muy útil y hace que las mediciones sean más precisas y confiables. Los siguientes datos son muy útiles durante las mediciones (para cada fuente radiante):

- Frecuencia de funcionamiento: esto permite el uso de una sonda que tiene una banda que cubre todas las operaciones frecuencias.
- Distancia a la antena transmisora: esto permite determinar la región del campo (para cada frecuencia de operación) y para elegir un procedimiento de medición apropiado.
- ERP máximo: esto permite la estimación del rango dinámico requerido de la medición equipo y los niveles esperados de los valores medidos.
- Conocer si las antenas están funcionando a la potencia máxima del transmisor en el momento de las mediciones.
- Características de modulación, especialmente en modo pulsado, intermitente o continuo.
- Por lo general, esta información puede obtenerse de la documentación de los sistemas de transmisión. Algunos datos se pueden obtener durante la inspección del sitio (distancias a las antenas transmisoras, frecuencias basadas en los tipos y tamaños de las antenas transmisoras, etc.).

4.2 SISTEMAS DE MONITOREO INTERNACIONALES EN AMÉRICA LATINA

Una constante en América Latina es el rechazo a la instalación de infraestructura para las redes de telecomunicaciones. Muchas veces la resistencia popular a la instalación de redes, tiene como consecuencia normas municipales restrictivas, situación que se presenta en toda la región latinoamericana[7].

Proyecto piloto Argentina y la ITU

El sistema de monitoreo en Argentina inicio como un plan piloto entre ITU y la secretaria de comunicaciones de Argentina SECOM con el objetivo de disminuir la aprehensión social y lograr la aceptación de la infraestructura para redes inalámbricas con lo cual se creó el Sistema de monitoreo en continuo del SAT-FAM en Argentina, adicional al sistema también se hicieron mapas de RNI en algunas ciudades. Este programa piloto y sus resultados positivos, motivo al grupo CE5 de la ITU a desarrollar un estándar de estos sistemas de monitoreo continuo con lo que se generó la recomendación K.83. Finalizado el proyecto piloto de manera exitosa, el gobierno argentino estableció el sistema nacional de monitoreo continuo de las RNI[7].

Proyecto piloto de la ITU y COMTELCA en Centroamérica

Luego del éxito de la experiencia en Argentina, la comisión técnica regional de telecomunicaciones COMTELCA, solicitó apoyo a la ITU para efectuar un proyecto piloto similar al argentino para la creación de un sistema de monitoreo continuo de las RNI en Centroamérica al presentar problemáticas similares con la percepción negativa de la instalación de infraestructura de telecomunicaciones. Este proyecto tenía como objetivo comprender las causas del rechazo público para la instalación de redes móviles y orientar al gobierno para la generación de legislación. Con la colaboración de la ITU se efectuaron estudios en Honduras, el Salvador y Panamá. El proyecto piloto fue implementado en el Salvador con la dirección de la superintendencia general de electricidad y telecomunicaciones de el Salvador SIGET. Gracias al resultado exitoso de este plan piloto y los estudios efectuados en Honduras y Panamá, COMTELCA decidió promover la adopción e implementación de sistemas similares de monitoreo en el resto de la región de Centroamérica[7].

Proyecto piloto en Ecuador para fortalecer el control de emisiones electromagnéticas

El amplio crecimiento y demanda de servicios de telecomunicaciones móviles en Ecuador, ha requerido la instalación de más infraestructura de telecomunicaciones que ha provocado la preocupación pública por los problemas de salud relacionados con los CEM. Teniendo en cuenta esta situación, la superintendencia de Telecomunicaciones de Ecuador SUPATEL, decidió implementar un proyecto piloto para la implementación de un sistema de seguimiento continuo de emisiones electromagnéticas con el fin verificar los niveles de exposición de CEM y que los ciudadanos pudieran acceder a esta información para su tranquilidad. El sistema se implementó con mediciones continuas diarias en la gama de frecuencia de los 100 KHz a 8 GHz en varias ciudades del país. El sistema se denominó, sistema automático de mediciones de radiaciones no ionizantes SAMRNI y fue publicado a través de internet apoyando su difusión al público en general con talleres y sesiones informativas[7].

Sistema nacional de monitoreo de las radiaciones no ionizantes en Argentina

La secretaria de comunicaciones de la nación argentina SECOM, creó el sistema nacional de monitoreo de las radiaciones SINMA, cuyo objetivo es la medición de los niveles de RNI y el cumplimiento del estándar nacional de seguridad para la exposición a radiofrecuencias. El sistema está adecuado de acuerdo con la recomendación K.83 y es abierto para que otros organismos nacionales puedan integrar sus propios monitores[7].

4.2.1 EVALUACIÓN Y CONCEPTOS DE LOS SISTEMAS EN AMÉRICA LATINA

Los sistemas implementados en América Latina toman las mismas referencias técnicas y se basan en las mismas recomendaciones teniendo como referencia el piloto inicial de Argentina. El sistema implementado en Argentina tiene un valor agregado al permitir la integración de otras fuentes de medición y recibir información no solo de las estaciones de monitoreo implementadas para el sistema sino tener la capacidad de recibir otras fuentes de información. Como puntos de mejora se encuentra que algunos de los sistemas no se encuentran actualizados y la información es muy limitada.

En la Tabla 13 se encuentra el resumen de los sistemas de seguimiento en América Latina con sus respectivas referencias técnicas y URL publicadas en el informe de supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético[7].

Tabla 13. Resumen sistemas de seguimiento en Latinoamérica

SISTEMA	PAÍS	PAGINA WEB	REFERENCIAS TÉCNICAS
Portal de Control del Sistema Nacional de Monitoreo Continuo de RNI	El Salvador	http://rni.siget.gob.sv/gmap/ElSalvador.html	Recomendación K.83 (K.100 -K.91 - K.70 -K.61 - K.62 - Limites de la ICNIRP)
Sistema automático de mediciones de radiaciones no ionizantes SAMRNI	Ecuador	http://suptel-rni.supertel.gob.ec/gmap/ecuador.html	Recomendación K.83 (K.100 -K.91 - K.70 -K.61 - K.62 - Limites de la ICNIRP)
Sistema nacional de monitoreo de las radiaciones no ionizantes en Argentina	Argentina	http://enacom.gob.ar/antenasamigables	Recomendación K.83 (K.100 -K.91 - K.70 -K.61 - K.62 - Limites de la ICNIRP)

Fuente: Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético, aplicación recomendación K.83[7].

4.3 SISTEMA DE MONITOREO DE LA ANE - COLOMBIA

El sistema de monitoreo de campos de radiación no ionizante es un portal web desarrollado por la Agencia Nacional del Espectro que permite monitorear los niveles de campos electromagnéticos en línea producidos por algunos emplazamientos de redes de telecomunicaciones móviles en el país dando cumplimiento a lo dispuesto en la resolución 754 de 2016. El portal se puede acceder a través de internet por la URL <http://medicionantenas.ane.gov.co:82/> y cuenta con un menú principal de 3 opciones y funcionalidades que se observan en la Figura 16[30]:

- Sistema de medición continua: en este módulo se pueden verificar los resultados de las mediciones de campos electromagnéticos producidos por las antenas que se

encuentran próximas a las estaciones de monitoreo y evaluar el cumplimiento de los límites de exposición a CEM de acuerdo con lo definido en la normatividad nacional y las recomendaciones internacionales.

- Niveles de exposición electromagnética por ciudad: en este módulo se deben visualizar los mapas de campos electromagnéticos generados en las ciudades principales y municipios de Colombia con el fin de que el ciudadano pueda conocer los niveles de campo existentes y el nivel de cumplimiento de los límites internacionales avalados por la ICNIRP y la OMS.
- Peticiones, quejas y reclamos: este módulo permite al ciudadano realizar un derecho de petición, quejas, reclamos, solicitudes de información y consultas relacionadas con la exposición a CEM y el cumplimiento de los límites de exposición en Colombia.

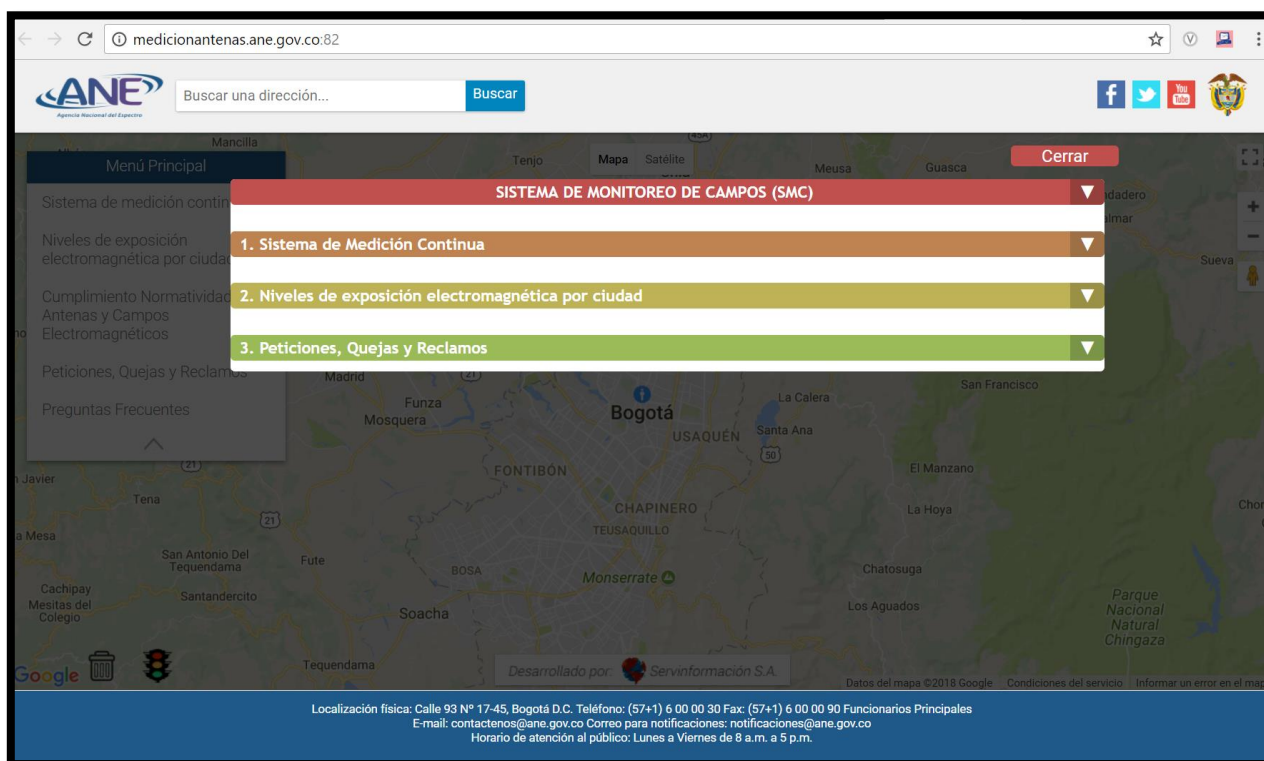


Figura 16. Sistema de monitoreo de campos de la ANE

Fuente: Agencia nacional del espectro[30].

4.3.1 EVALUACIÓN Y CONCEPTOS DEL SISTEMA

El sistema se encuentra implementado al público y cumpliendo las directrices básicas de la recomendación K.83 de la ITU y la resolución 754 de 2016 y se identifican las siguientes características y funcionalidades del servicio.

Puntos positivos del sistema:

- Cumple lineamientos de la recomendación K.83 de la ITU.
- Es de acceso libre para todos los actores del sistema a través de internet.

Puntos de mejora del sistema:

- Se tiene en cuenta solo la información de las estaciones de monitoreo fijas.
- Se tienen hasta el momento en operación 74 estaciones de medición.
- Al tener estaciones fijas de monitoreo, es de conocimiento del operador cuáles serán los emplazamientos que serán evaluados de acuerdo con la zona de cobertura que pueda cubrir cada estación.
- La información obtenida del sistema es solo de consulta, no se especifican las medidas preventivas o correctivas tomadas con los resultados generados.
- Se identifica que el módulo principal debe actualizar la información pues no pertinente.
- Se identifica que el módulo de niveles de exposición electromagnética por ciudad no se encuentra funcional.
- Adicional a los módulos principales, cuenta con una opción de cumplimiento de normatividad de antenas y campos electromagnéticos, pero no se genera ninguna información.
- Una de las razones de que el sistema no sea tan completo, es los costos derivados de la implementación de estaciones de monitoreo y medición.

El sistema tiene puntos de mejora en cuanto al manejo de la información que contiene actualmente. La implementación de un nuevo sistema más integral permitiría ampliar la información ya contenida y generar un comparativo de las mediciones efectuadas por las estaciones actuales a la entregada con los operadores y si se quiere, se podrían integrar

las mediciones efectuadas por otros actores. Otro punto de mejora sería la posibilidad de implementar de un mapa de campos de exposición a CEM con la información ya recopilada a través del sistema actual.

4.4 ACTORES INVOLUCRADOS EN EL ECOSISTEMA DE LAS REDES MÓVILES Y LA EXPOSICIÓN A CEM

El ecosistema de las redes móviles cuenta con tres actores principales que intervienen en su administración, gestión, funcionamiento, operación, vigilancia y control. También se encuentran los usuarios finales del servicio y los ciudadanos en general que pueden o no ser usuarios del servicio y que en ocasiones manifiestan su inconformidad con el despliegue de antenas e infraestructura de comunicaciones, debido a los efectos que puedan presentar en la salud las personas que se encuentran cerca a los emplazamientos o a dicha infraestructura. En la Tabla 14 se listan los actores, su clasificación y su función o papel en el ecosistema.

Tabla 14. Actores del ecosistema de redes móviles

ACTOR	CLASIFICACIÓN	FUNCIONES
MINTIC	Estatal	Entidad principal de las TIC en Colombia quien lidera las directrices del sector y determina las entidades de vigilancia y control del espectro en Colombia.
Entidades de control y vigilancia: ANE y CRC	Estatal	La vigilancia y control del espectro en Colombia, está a cargo de Agencia Nacional del Espectro ANE. La Comisión de regulación de comunicaciones CRC, dicta disposiciones enfocadas hacia el despliegue de la infraestructura en general como los emplazamientos de redes móviles y las antenas para las redes de comunicaciones móviles.
Operadores y proveedores de servicio	Privados	Provee los servicios de telecomunicaciones móviles y cuentan con su propia infraestructura de telecomunicaciones, no se incluyen los proveedores de servicio móviles virtuales.
Usuarios de los servicios móviles	Privados y públicos	Contempla a todo aquel que contrate el servicio de telecomunicaciones móviles con un operador.

Ciudadanos en general	Público en general	Contempla a todas las personas que son o no usuarios de los servicios de comunicaciones móviles. Al ser ciudadanos también tienen el derecho de conocer o solicitar que los operadores cumplan con las obligaciones de las entidades de control para la prestación de servicios de telecomunicaciones teniendo en cuenta que el espectro es un bien público.
-----------------------	--------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

Los actores que participan en el ecosistema de las redes móviles en Colombia tienen interacciones con otros actores del sistema dependiendo de sus funciones, deberes y obligaciones como se observa en la Figura 17.

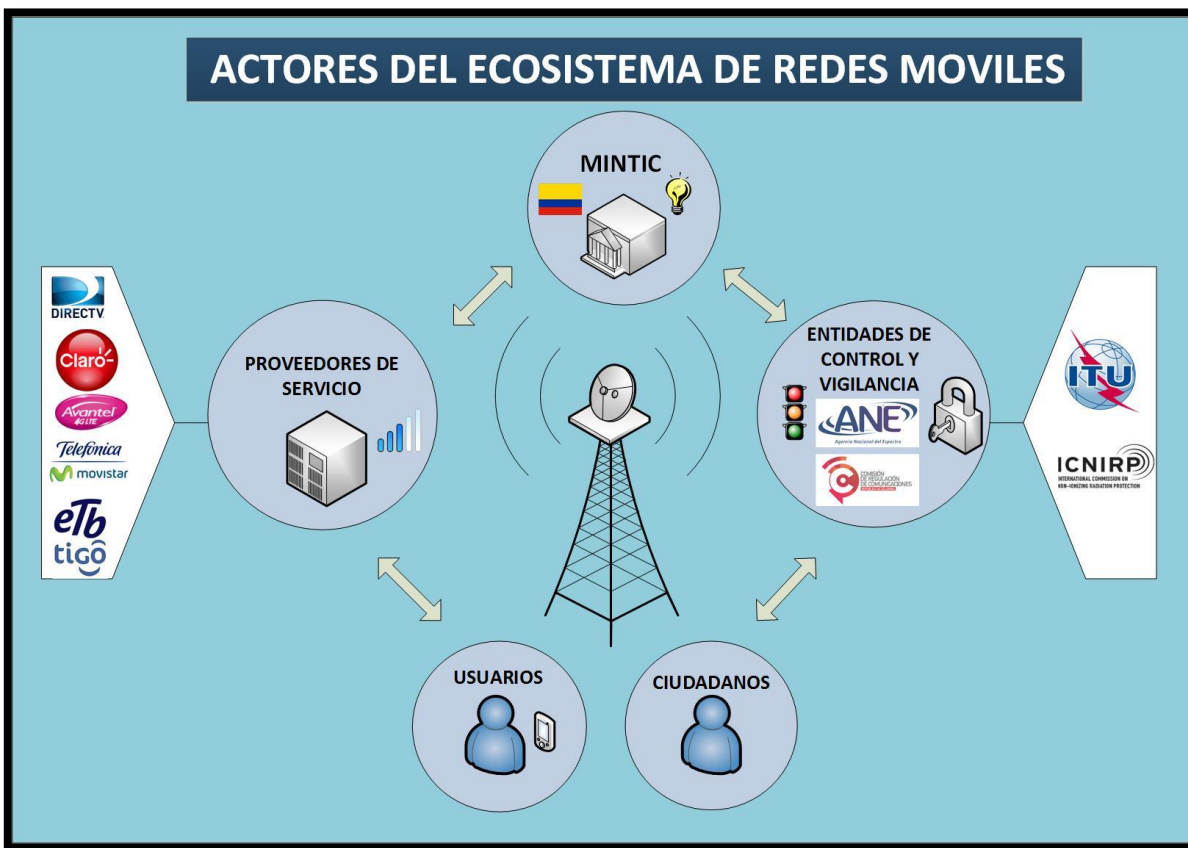


Figura 17. Actores del ecosistema de redes móviles

Fuente: Elaboración propia

5 PARAMETROS DE POTENCIA RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN A CEM EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DE COMUNICACIONES MOVILES

5.1 MARCO LEGAL INTERNACIONAL

A nivel internacional como en Colombia, se cuenta con legislación para la protección a la exposición de los CEM, por ejemplo, en Latinoamérica solo en diez países se cuenta con legislación que regula este tipo de exposición. En el caso de Europa, el Consejo de la Unión Europea creo la recomendación 1999/519/CE relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos en frecuencias de 0 Hz a 300 GHz donde se brindan directrices basadas en los límites y niveles de referencia de la ICNIRP. Esta recomendación sirve de referencia para directivas legislativas de la unión Europea como la directiva 2013/35/UE que establece disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los campos electromagnéticos y la directiva 2014/53/UE la cual regula los equipos terminales de radio y telecomunicaciones[31].

En la Tabla 15 se resumen algunas de las leyes internacionales referentes a la exposición a CEM.

Tabla 15. Regulación internacional sobre la exposición a CEM

PAIS	ENTIDAD	NORMAS	REFERENCIA TÉCNICA
ESPAÑA	Gobierno Español	Ley 9 2014 - Ley general de telecomunicaciones	Límites de la ICNIRP
		Ley 14 1986 - Ley general de sanidad	
		Real decreto 1066 2001	
		Orden ministerial CTE 23/2002	
ARGENTINA	Ministerio de salud - Secretaria de Comercio	Resolución MS 202/ 1995 - SeCom 530/2000	Límites de la ICNIRP
BRASIL	Agencia Nacional de Telecomunicaciones ANATEL	Resolución 303 sw 2 de julio de 2002	Límites de la ICNIRP
CHILE	Subsecretaría de telecomunicaciones SUBTEL	Decreto 594/00 - resolución 505/00	Límites de la ICNIRP
ECUADOR	CONATEL	Norma técnica	Límites de la ICNIRP -

			Recomendaciones ITU
MEXICO	Comisión federal de Telecomunicaciones COFETEL	PNN - 2005 - NOM 126	Límites de la ICNIRP - Recomendaciones ITU
PERU	Ministerio de transportes y comunicaciones	MTC 038 - 2003 - Resolución 120 - 2005 - MTC/03	Límites de la ICNIRP
VENEZUELA	Norma del comité venezolano COVENIN	NVC 2238 – 00	Límites de la ICNIRP

Fuente: elaboración propia, adaptado del código de buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de redes de comunicaciones y el informe de la CCARS radiofrecuencia y salud 2016[32].

5.2 MARCO LEGAL NACIONAL

Inicialmente la Constitución política de 1991 en los artículos 75,101 y 102 define el espectro radioeléctrico como un bien de uso público, inajenable, imprescriptible y otorga la administración, gestión y control a cargo del estado, por tanto, el estado ha generado normatividad que comprende los lineamientos generales para que las entidades nacionales a cargo lleven a cabo las labores de gestión del espectro, así como su administración y control, entre ellas se encuentra la ley 1341 de 2009 [33].

En el caso específico de Colombia en cuanto a la regulación y normatividad definida para la exposición a los campos electromagnéticos y la disposición de la infraestructura de telecomunicaciones, contamos con dos entidades que generan control en este ámbito, la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones CRC y La Agencia Nacional del Espectro ANE. En la Tabla 16 se relaciona el histórico de normatividad generada desde 2005 en Colombia.

Tabla 16. Normatividad vigente y derogada desde 2005

NORMA O RESOLUCIÓN	FECHA	ENTIDAD GENERADORA	VIGENTE	APORTE NORMAS VIGENTES
Código de buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de redes de comunicaciones	ago-16	CRC - ANE - MINTIC	SI	Actualiza la información técnica contenida en los códigos anteriores e incluye a MINTIC en la elaboración de la última versión.
Código de buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de redes de comunicaciones	oct-13	CRC - ANE	NO	No vigente
Código de buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de redes de comunicaciones	jun-12	CRC - ANE	NO	No vigente
Resolución 754	oct-16	ANE	SI	Condensa y actualiza la información y recomendaciones técnicas para que sirvan como referencia normativa.
Resolución 647	sep-16	ANE	NO	No vigente
Resolución 387	jun-16	ANE	NO	No vigente
Decreto 1078	may-15	MINTIC	SI	Condensa y actualiza la información y recomendaciones técnicas para que sirvan como referencia normativa.
Resolución 1645	nov-05	Ministerio de comunicaciones	NO	No vigente
Resolución 2643	nov-05	Ministerio de comunicaciones	NO	No vigente
Decreto 195	ene-05	Ministerio de comunicaciones	NO	No vigente

Fuente: elaboración propia

El marco jurídico nacional presenta diferentes normas con respecto a la exposición a CEM en Colombia, para este caso se generó un análisis para comprender la normatividad actual y vigente donde se incluyen las entidades que han generado dicha normatividad y su papel dentro del ecosistema con la interpretación de la Figura 18.

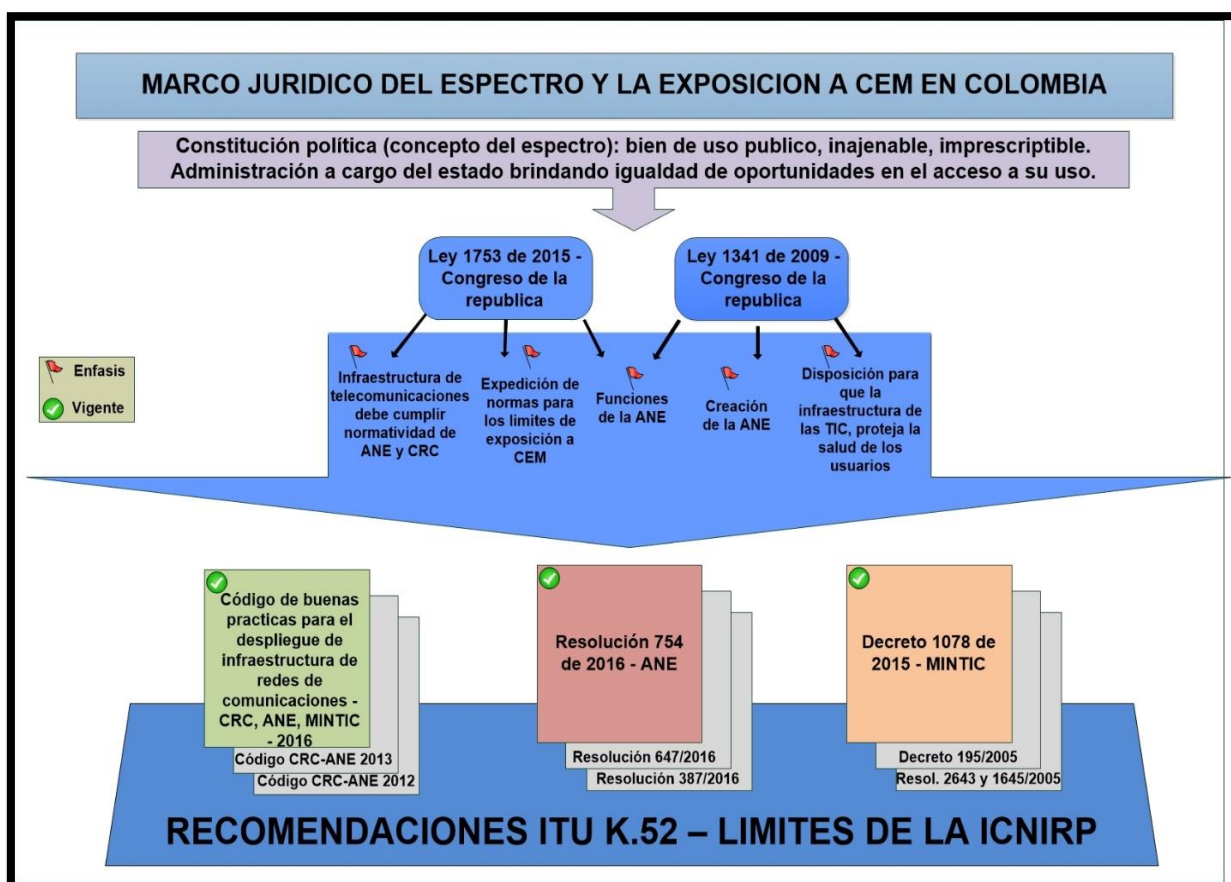


Figura 18. Interpretación del marco jurídico para la exposición a CEM en Colombia

Fuente: Elaboración propia

En Colombia por ahora, se mantiene por tanto como referencia y control de la exposición a los campos electromagnéticos, la Resolución 754 del 20 de octubre de 2016 la cual determina que se reglamentan las condiciones de las estaciones radioeléctricas con el objeto de controlar los niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos y su ámbito esta aplicado a los proveedores de servicios[34]. Adicionalmente se encuentra vigente el decreto 1078 de 2015 y el código de buenas prácticas para el despliegue de la infraestructura de comunicaciones de la CRC – ANE –

MINTIC. De estos tres documentos normativos, se pueden destacar que todos tienen dos referencias comunes, los límites de la ICNIRP y la recomendación K.52 de la ITU como se observa en la Tabla 17 el resumen de normatividad vigente.

Tabla 17. Resumen normatividad vigente

NORMA	CONCEPTO	AUTORES	REFERENCIAS TÉCNICAS
Resolución 754 de 2016	Por la cual se reglamentan las condiciones que deben cumplir las estaciones radioeléctricas, con el objeto de controlar los niveles de exposición de las personas a los CEM y se dictan disposiciones relacionadas con el despliegue de antenas de comunicaciones	ANE	Límites de la ICNIRP
			Recomendación K.52
			Recomendación K.70
			Recomendación K.83
			Recomendación K.91
Decreto 1078 de 2015	Decreto único reglamentario del sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones	MINTIC	Recomendación K.100
			Límites de la ICNIRP
Código de buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de redes de comunicaciones - 2016	Buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de redes de comunicaciones	CRC, ANE, MINTIC	Recomendación K.52
			Recomendación K.83
			Recomendación K.100
			Límites de la ICNIRP

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta este análisis, estos 3 documentos normativos hacen parte de la fundamentación y estructuración del sistema propuesto pues tienen en cuenta el soporte técnico y las recomendaciones internacionales vigentes por las entidades idóneas para tal fin. Adicionalmente, estas mismas recomendaciones de la ITU y los Límites de la ICNIRP, han servido como referencia para el diseño e implementación de sistemas de seguimiento en otros países como se documentó en el capítulo 4.

5.3 PARAMETROS DE POTENCIA

Teniendo en cuenta los niveles definidos por la ICNIRP para la exposición a CEM, en la Tabla 18 se calculan los valores referenciales de acuerdo con las frecuencias utilizadas por los operadores de telefonía móvil que operan actualmente en Colombia y los cuales deberían cumplirse en las mediciones y cálculos efectuados en la evaluación de los emplazamientos.

Tabla 18. Niveles de referencia por operador

Operador	Banda (MHz)	Frecuencia (MHz)	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente (W/m ²)
Claro	850	850	34,19	0,11	4,25
Movistar	850	850	34,19	0,11	4,25
Movistar	1700 - 2100	1800	49,75	0,16	9
Tigo -ETB	1700 - 2100	1800	49,75	0,16	9
Avantel	1700 - 2100	1800	49,75	0,16	9
Movistar	1900	1900	51,11	0,16	9,5
Claro	1900	1900	51,11	0,16	9,5
Tigo	1900	1900	51,11	0,16	9,5
UNE	2500	Entregada a MINTIC	-	-	-
Claro	2500	2500	61	0,16	10
Directv	2500	2500	61	0,16	10

Fuente: elaboración propia

6 PROCEDIMIENTOS DE CALCULO Y MEDIDAS SELECCIONADOS EN EL CONTEXTO COLOMBIANO

Teniendo en cuenta que en Colombia existe un número indeterminado de antenas y emplazamientos para redes de telecomunicaciones móviles y solo se cuenta actualmente con 74 estaciones de monitoreo para cubrir todo el país, el sistema propuesto se basa en 2 directrices principales:

- Obtener los datos de los emplazamientos y antenas transmisoras a través de la información ya conocida por los operadores y que permitirá por medio de cálculos y modelos matemáticos calcular los niveles de exposición a CEM para cada punto de evaluación.
- Alimentar adicionalmente la base de datos del sistema con la información obtenida por las estaciones de monitoreo fijas de la ANE y así definir el estado real de la exposición a CEM para el país.

6.1 PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN APLICADOS AL SISTEMA

En este capítulo se definen los procedimientos de medida seleccionados de acuerdo con las recomendaciones de la ITU. Aplicación de la recomendación K.52, K.61, K.70, K.91 y K.100. Los procedimientos se definen además con el soporte de la Resolución 754 de 2016.

6.1.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

Procedimiento de evaluación del nivel de exposición considerará:

- Las condiciones de emisión más desfavorables.
- La presencia simultánea de varias fuentes de CEM, aun a diferentes frecuencias.

Deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- La EIRP máxima del sistema de antena [véase definición: potencia isotropa radiada equivalente (EIRP)].

NOTA – Se debe calcular la EIRP máxima para la potencia media del transmisor. Para la mayoría de las fuentes, la potencia media del transmisor es la potencia

nominal del transmisor (atribuida). Sin embargo, hay excepciones. Por ejemplo, la potencia media del transmisor es menor que la potencia nominal del transmisor para la TV analógica, y es mayor que la potencia nominal del transmisor para AM DSB.

- La ganancia de antena G (véase la definición de ganancia de antena) o la ganancia numérica relativa F (véase la definición de ganancia numérica relativa), incluida la máxima ganancia y la máxima anchura de haz.
- La frecuencia de explotación.
- Diversas características de la instalación, como la ubicación de la antena, altura de la antena, dirección del haz, inclinación del haz y la evaluación de la probabilidad de que una persona pueda estar expuesta a los CEM.

Para la gestión del procedimiento y de estos parámetros conocidos por el operador, se introduce el siguiente esquema de clasificación:

Cada una de las instalaciones emisoras debe clasificarse en una de las clases siguientes:

1. Inherentemente conformes: las fuentes inherentemente seguras producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares.
2. Normalmente conformes: las instalaciones normalmente conformes contienen fuentes que producen un CEM que puede sobrepasar los límites de exposición pertinentes. Sin embargo, como resultado de prácticas de instalación normales y del uso típico de estas fuentes para fines de comunicación, la zona de rebasamiento no es accesible a las personas en condiciones ordinarias. Ejemplo son las antenas montadas en torres suficientemente altas o las estaciones terrenas de haz estrecho apuntadas al satélite. Puede ser necesario que el personal de mantenimiento que tenga que acercarse mucho a los emisores tenga que adoptar precauciones en algunas instalaciones normalmente conformes.
3. Provisionalmente conformes: requieren medidas especiales para conseguir la conformidad la cual incluye que deben determinar las zonas de exposición y tomar las medidas del numeral 9 de la recomendación K.52.

Luego de que las instalaciones estén clasificadas dentro de una de las 3 clases mencionadas anteriormente y debido a que las condiciones de los operadores en general son muy similares, se pueden definir algunos parámetros de referencia para clasificar los emplazamientos. Por tanto, la ITU recomienda este procedimiento:

1. Definir una referencia de parámetros de antena o tipos de antena.
2. Definir condiciones de accesibilidad (entorno de la instalación).
3. Para las dos condiciones anteriores, definir un EIRP umbral.
4. Una instalación hace parte de la clasificación inherentemente conforme si el emisor es inherentemente conforme.
5. Para cada emplazamiento, una instalación pertenece a la clase normalmente conforme si se cumple el criterio siguiente:

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1$$

- **EIRPi** es la potencia radiada promediada temporal de la antena a una frecuencia **i**.
- **EIRPth, i** es el umbral de EIRP correspondiente a los parámetros de antena y condiciones de accesibilidad considerados.

Para instalaciones con múltiples antenas se deben diferenciar las siguientes condiciones:

- Si la fuente tiene diagramas de radiación superpuestos y se considera la anchura de haz a la mitad de la potencia, la respectiva EIRP máxima promediada en el tiempo debe satisfacer el criterio.
- Si no hay superposición de las múltiples fuentes, se considerarán independientemente.

6.1.2 PROCEDIMIENTO DE CALCULO SIMPLIFICADO PARA LA CONFORMIDAD DE EMPLAZAMIENTOS

Con el procedimiento de evaluación simplificados se logra identificar un emplazamiento que cumple con los límites de exposición sin la necesidad de seguir procesos generales o exhaustivos de evaluación de la exposición. Esto es relevante, por ejemplo, debido a la baja potencia transmitida o debido a la posición de los transmisores o antenas (EUT y fuentes relevantes) con respecto al público en general. Los procedimientos de evaluación simplificados se basan en el conocimiento de la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) del EUT y según el nivel EIRP, las características de instalación de la antena, como la altura de montaje, la dirección del lóbulo principal y la distancia a otras fuentes ambientales. La Tabla 19 contiene el procedimiento de evaluación y calculo simplificado del cumplimiento de los niveles de exposición en estaciones base[18].

Tabla 19. Calculo simplificado para la evaluación del cumplimiento de los niveles de exposición a CEM.

Potencia radiada isotrópica equivalente (W) –Nota a	Potencia radiada isotrópica equivalente (dBm) - Nota a	Criterio de instalación
≤ 2	≤ 33	No hay criterios específicos – nota c
≤ 10	≤ 40	EUT instalado de modo que la parte radiante más baja de la (s) antena (s) se encuentre a una altura mínima de 2,2 m por encima del pasillo público general.
≤ 100	≤ 50	EUT instalado de modo que: (i) la parte radiante más baja de la (s) antena (s) está a una altura mínima de 2,5 m por encima del pasillo público general. (ii) la distancia mínima a las áreas accesibles para el público en general en la dirección del lóbulo principal es de 2 m. (iii) ninguna otra fuente de radiofrecuencia (RF) con EIRP por encima de 10 W se encuentra a una distancia de 10 m en la dirección del lóbulo principal (según lo determinado considerando el ancho del haz de media potencia) y dentro de 2 m en otras direcciones. – nota d

> 100	> 50	EUT instalado de modo que: (i) la parte radiante más baja de la (s) antena (s) está a una altura mínima de H_m m por encima de la pasarela pública general. (ii) la distancia mínima a las áreas accesibles para el público en general en la dirección del lóbulo principal es D_m m. (iii) no hay otras fuentes de RF con EIRP por encima de 100 W se encuentra dentro de una distancia de $5D_m$ m en la dirección del lóbulo principal y dentro de D_m m en otras direcciones.
-------	------	---

Fuente: recomendación K.100[18].

Nota a. EIRP transmitida por la antena individual que incluye todas sus bandas activas[18].

Nota b. Además de los requisitos dados en esta tabla, el producto debe instalarse de acuerdo con instrucciones dadas por el fabricante[18].

Nota c. De acuerdo con la recomendación K.52, los emisores con una EIRP máxima de 2 W o menos son intrínsecamente compatibles[18].

Nota d. Si no se cumple esta condición, la instalación sigue siendo compatible si la suma de los EIRP del EUT y las fuentes cercanas son menos de 100 W. Si el EIRP total está por encima de 100 W, entonces el EUT todavía está cumple si está instalado a una altura mínima de H_m metros por encima de la pasarela pública general y en una distancia mínima desde áreas accesibles para el público en general en la dirección del lóbulo principal de D_m m, donde H_m y D_m se obtienen utilizando las ecuaciones para la suma de los puntos de interés incluidos los de fuentes cercanas[18].

Nota e. Si no se cumple esta condición, la instalación aún está exenta de mediciones si el EUT es instalado a una altura mínima de H_m metros por encima del pasillo público general y a una distancia mínima desde áreas accesibles al público en general en la dirección del lóbulo principal de D_m metros, donde H_m y D_m son obtenidos usando las ecuaciones para la suma de los PIR, incluidos los de fuentes cercanas[18].

Los criterios sobre la altura de instalación para valores de $EIRP \leq 100$ W se desarrollaron utilizando la fórmula de estimación de tasa de absorción específica (SAR) para garantizar el cumplimiento con las restricciones básicas. Para un valor $EIRP > 100$ W, H_m y D_m (en metros) están dados por las siguientes ecuaciones:

Para frecuencias entre 100 MHz y 400 MHz:

$$Hm = \max\left\{ 2 + \sqrt{\frac{EIRP \cdot A_{SI}}{2\pi}} + 2\sqrt{\frac{EIRP}{2\pi}} \sin(\alpha + 1.1290b\omega) \right\}$$

Para frecuencias entre 400 MHz y 2000 MHz:

$$Hm = \max\left\{ 2 + \sqrt{\frac{EIRP \cdot 200A_{SI}}{f\pi}} + 2\sqrt{\frac{EIRP}{f\pi}} \sin(\alpha + 1.1290b\omega) \right\}$$

Para frecuencias entre 2000 MHz y 40000 MHz:

$$Hm = \max\left\{ 2 + \sqrt{\frac{EIRP \cdot A_{SI}}{10\pi}} + 2\sqrt{\frac{EIRP}{10\pi}} \sin(\alpha + 1.1290b\omega) \right\}$$

NOTA - Las ecuaciones se basan en los niveles de referencia de la ICNIRP para exposición pública general y reflejar el hecho de que estos son dependientes de la frecuencia[18].

dónde:

- **f** es la frecuencia, en megahercios, de funcionamiento de la BS.
- **AsI** es el valor de supresión del lóbulo lateral⁷
- **α** es la inclinación hacia abajo en radianes (tanto eléctricos como mecánicos)
- **θbw** es el ancho del haz vertical de la mitad de la potencia en radianes.

Las ecuaciones se han obtenido con base en la recomendación K.52. Los criterios en la Tabla 19 se desarrollaron para ser aplicables a una amplia gama de instalaciones de BS y proporcionan medios generales para identificar EUT exentos de mediciones. En general, cuando se sabe que el impacto del ambiente y de las fuentes ambientales sobre la

exposición del EUT es despreciable o no relevante, se sabe que el EUT es compatible, sin requerir mediciones adicionales, si el público en general no tiene acceso a su límite de cumplimiento (CB). El CB del EUT para la configuración del EUT específico, si no lo ha proporcionado el fabricante puede determinarse siguiendo los procedimientos especificados en la recomendación K.61.

6.1.3 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN CON EL METODO DEL MODELO DE PUNTO DE ORIGEN O FUENTE PUNTUAL (K.52, K.61 y K.70)

El modelo de punto de origen o fuente puntual es un modelo simple pero muy efectivo que se puede usar para calcular los niveles de exposición que se utilizarán en comparación con los niveles de referencia. Se asume que la antena transmisora está representada solo por una fuente puntual, situada en el centro eléctrico de la antena y que tiene el diagrama de radiación de la antena transmisora considerada. En este caso, la densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} en la distancia R a la antena es la siguiente:

$$S_{eq} = \frac{PG_i}{4\pi R^2} F(\theta, \phi)$$

dónde:

- **S_{eq}** : densidad de potencia de onda plana equivalente (W / m^2) en una dirección dada;
- **R** : distancia (m) desde la fuente de radiación.
- **P** : potencia promedio (W) emitida cuando el transmisor opera al máximo de acuerdo con los ajustes de emisión (todos los canales transmiten a su potencia máxima respectiva ajuste) y se suministra a la fuente de radiación (antena transmisora).
- **G_i** : ganancia máxima de la antena transmisora, con respecto a un radiador isótropo.
- **$F(\theta, \phi)$** : ganancia numérica de la antena (ganancia normalizada).
- **θ** - ángulo de elevación.
- **ϕ** - acimut

La precisión de este modelo depende de la región de campo y de la ganancia de la antena y que esté completamente en la región de campo lejano. Como ejemplo, este modelo es implementado en el software EMF-estimator desarrollado por la ITU[15] .

La versión más simple de este método se da si el patrón de radiación isotrópica se utiliza con un ERP máximo. En este caso, la fórmula para la densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} a la distancia R a la antenna tiene la forma más simple:

$$S_{eq} = \frac{PG_t}{4\pi R^2}$$

La fórmula anterior es muy útil para la primera aproximación del nivel de campo esperado, especialmente durante el análisis preliminar. En casos reales, esta fórmula puede dar una estimación muy alta. Sin embargo, si los cálculos basados en esta fórmula muestran el cumplimiento, no es necesario realizar más evaluaciones.

6.1.4 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE CAMPO LEJANO (RECOMENDACIÓN K.52)

En este procedimiento se presenta un método matemático para estimar los niveles de intensidad de campo y densidad de potencia. Para una antenna radiante simple, la densidad de potencia aproximada radiada en la dirección descrita por los ángulos θ (completamente del Angulo de elevación y Φ (ángulo de acimut) pueden evaluarse por la ecuación:

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2$$

Donde:

- **S (R, θ , Φ)** es la densidad de potencia en W / m²
- **F (θ , Φ)** es el diagrama de radiación relativo de la antenna (número positivo entre 0 y 1).
- **EIRP** es la EIRP de la antenna en W.
- **ρ** es el valor absoluto (modulo) del coeficiente de reflexión y tiene en cuenta la onda reflejada por el suelo. En algunos casos puede bloquearse la exposición a la onda reflejada por lo que **ρ** debe fijarse a 0.
- **R** es la distancia entre el punto central de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta.

- R' es la distancia entre el punto central de la imagen de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta.

A nivel próximo del suelo, los valores de variables primas son aproximadamente iguales a las que no tienen prima, por lo que la potencia puede calcularse por:

$$S_{gl}(R, \theta, \phi) = (1 + \rho)^2 \frac{EIRP}{4\pi R^2} F(\theta, \phi)$$

Donde:

- $F(\theta, \phi)$ es la ganancia numérica relativa de la ganancia con respecto a un radiador isótropo (número positivo entre 0 y 1).

El coeficiente de reflexión ρ de una tierra de conductividad σ , permitividad $\epsilon = \kappa \epsilon_0$ (ϵ_0 =permitividad de vacío) y un ángulo rasante de incidencia Ψ es:

Polarización vertical

$$\rho = \frac{(\kappa - jx) \sin \Psi - \sqrt{(k - jx) - \cos^2 \Psi}}{(\kappa - jx) \sin \Psi + \sqrt{(k - jx) - \cos^2 \Psi}}$$

Polarización horizontal

$$\rho = \frac{\sin \Psi - \sqrt{(k - jx) - \cos^2 \Psi}}{\sin \Psi + \sqrt{(k - jx) - \cos^2 \Psi}}$$

Donde

$$x = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$$

En general, la onda reflejada contiene componentes en polarización vertical u horizontal que varían con el ángulo de incidencia. Sin embargo, en muchas aplicaciones basta con considerar solo la polarización predominante de la onda incidente al calcular el coeficiente de reflexión.

Las distancias y ángulos se definen en la Figura 19, se supone que la evaluación se genera en el punto O.

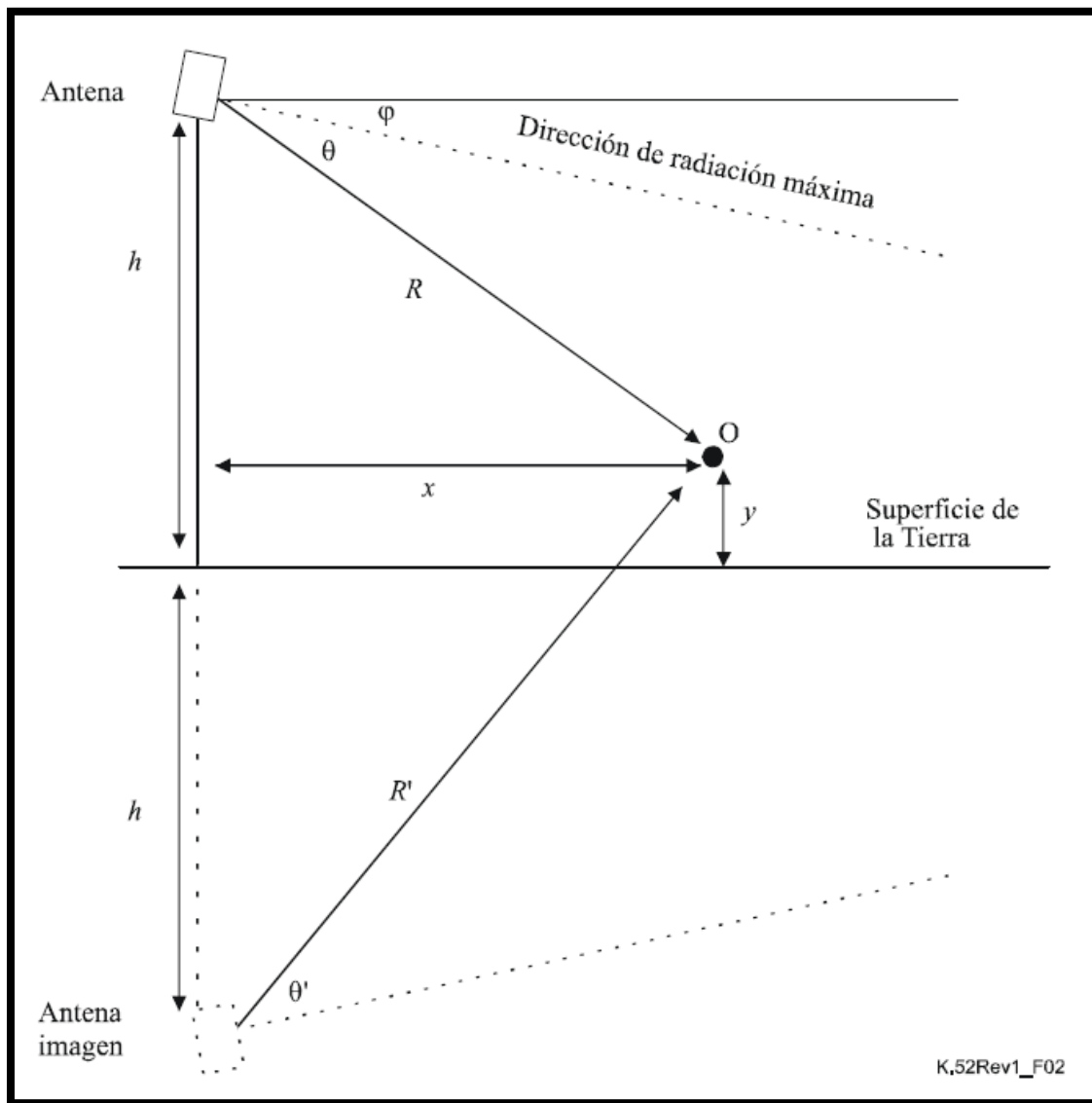


Figura 19. Definición de las distancias y ángulos verticales

Fuente: recomendación K.52[12]

En el caso de emplazamientos que se encuentren ubicados en tejados, la atenuación causada por los materiales de construcción de los muros y las tejas puede reducir la exposición a CEM en la parte interna del edificio al menos en 10 – 20 dB.

Los campos eléctrico y magnético se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}$$

Donde $\eta_0 = 377 \Omega$ es la impedancia intrínseca del espacio libre.

6.1.5 EVALUACIÓN PARA MÚLTIPLES FUENTES

En la mayoría de los casos, una estación transmisora típica contiene muchos sistemas de transmisión que funcionan en muchas frecuencias. En este caso, en el área alrededor de la torre de antena, el campo electromagnético tiene una estructura compleja con muchos componentes de diferentes frecuencias y diferentes intensidades de campo, variando de punto a punto. Por ejemplo, una estación base celular típica contiene transmisión antenas de dos rangos de frecuencia (por ejemplo, 900 MHz y 1800 MHz), que operan en muchas portadoras de radio y es compartido frecuentemente por varios operadores, lo que implica la presencia de transmisiones adicionales antenas y portadores de radio[18].

Las estaciones base celulares a menudo se montan en la antena de transmisión torres que generalmente contienen equipos de transmisión para las bandas de FM, VHF y UHF. De estos entornos de múltiples fuentes, el cuerpo humano está expuesto a la radiación emitida simultáneamente por todas las fuentes radiantes. La evaluación de la exposición en el entorno de múltiples fuentes, de acuerdo con los estándares existentes como la recomendación K.52, requiere el cálculo del acumulado exposición W (en algunos estándares también llamada relación de exposición total). Todas las frecuencias operativas deben considerarse en una suma ponderada, donde cada fuente individual se precalifica de acuerdo con el límite aplicable a su frecuencia. Para el rango de frecuencia superior a 100 KHz, en el cual el efecto térmico está dominando por la exposición acumulativa, el coeficiente W_t tiene la forma (para la intensidad del campo eléctrico) que se muestra en la ecuación:

$$w_t = \sum_{i=100kHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{EL_i} \right)^2 \leq 1$$

Dónde:

E_i es la intensidad del campo eléctrico en la frecuencia i

E_i , i es el límite de referencia en la frecuencia i

Para cumplir con las regulaciones, el coeficiente W de la exposición acumulado debería ser menor de 1. Para las estaciones transmisoras de radiocomunicaciones y radiodifusión, la condición es mucho más restrictiva.

6.1.6 PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Teniendo como referencia la recomendación K.113, se define que para la generación de los mapas de campos electromagnéticos se pueden utilizar tanto los cálculos como las mediciones. La recomendación indica que se pueden utilizar los métodos documentados en las recomendaciones K.61, K.70, K.91 y K.100. El objetivo final de los mapas RF-EMF es transmitir información al público sobre los niveles exposición de RF-EMF en un formato visual comprensible. Los niveles RF-EMF se trazan en función del número total de muestras y en relación con el porcentaje de los límites nacionales. Es aconsejable usar un código de color para reflejar los niveles de las diferentes manchas en los mapas. El código de color siempre debe ser parte del mapa. Un mapa sin un código de color puede no ser comprensible y puede llevar a malentendidos.

El mapa también deberá ir acompañado de la siguiente información:

- Ubicación de medición o cálculo.
- Fecha.
- Descripción de las herramientas de cálculo.
- Incertidumbre en la medición o el cálculo.
- Entidad a cargo de hacer los mapas RF-EMF.
- Escala y valores límite.

Con la información recibida en el sistema, se procederá a efectuar la gráfica del mapa de los campos electromagnéticos por zonas delimitadas apoyándose en las imágenes generadas a través de Google maps[19].

7 INDICADORES BÁSICOS DEL SISTEMA

Teniendo en cuenta los procedimientos seleccionados para los cálculos numéricos, es necesario definir la información que alimentara el sistema con los datos que son conocidos por el operador y que son almacenados en el gestor de datos de administración de la red móvil. En la Tabla 20 se encuentra la información que alimentara el sistema, es decir la información correspondiente a la entrada de datos y que deberá ser entregada por el operador por cualquiera de los métodos propuestos y compatibles con el sistema.

Tabla 20. Información entregada por los operadores

Nombre proveedor			
Clase de sistema o servicio			
Nombre emplazamiento			
Ciudad o municipio			
Departamento			
Dirección			
Coordenadas geográficas, latitud			
Coordenadas geográficas, longitud			
Banda de frecuencia (MHz)			
Frecuencia específica (MHz)			
Tipo de modulación			
BW			
Tipo de elemento radiante			
Inherentemente conforme (Si o No)			
Fabricante antena			
Modelo antena			
Eficiencia antena			
Ganancia antena			
Altura de la antena			
Acimut de la antena			
Inclinación			
Altura de la torre			
Numero de caras			
Número de elementos por cara			
Patrón de radiación			
Potencia			
Distancia más cercana de público en general			
EIRP (PIRE) (W)			

Fuente: elaboración propia

Esta información concuerda con la definida en la resolución 754 de 2016 y en los formatos de conformidad DCER que el operador debe entregar para todas las estaciones de su infraestructura como parte del marco normativo definido por la ANE como ente de control y vigilancia.

Los resultados obtenidos de los cálculos permitirán definir si el emplazamiento o fuente de campos electromagnéticos es inherentemente conforme o no y obtener el valor de la densidad de potencia por metro cuadrado para efectuar su respectiva representación gráfica e histórica a través de los umbrales definidos en el sistema y que deberán concordar con los niveles de la ICNIRP de acuerdo a las frecuencias de operación de cada operador en Colombia y que se definieron en el numeral 5.3 y que se observan nuevamente en el contexto de los resultados en la Tabla 21.

Tabla 21. Valores de densidad de potencia de acuerdo con las frecuencias de los operadores en Colombia

Operador	Banda (MHz)	Frecuencia (MHz)	Densidad de potencia de onda plana equivalente (W/m ²)
Claro	850	850	4,25
Movistar	850	850	4,25
Movistar	1700 - 2100	1800	9
Tigo -ETB	1700 - 2100	1800	9
Avantel	1700 - 2100	1800	9
Movistar	1900	1900	9,5
Claro	1900	1900	9,5
Tigo	1900	1900	9,5
UNE	2500	* Entregada a MINTIC	-
Claro	2500	2500	10
Directv	2500	2500	10

Fuente: elaboración propia

8 DISEÑO BÁSICO DEL SISTEMA

Como parte del diseño básico del sistema, se deberán conservar los siguientes lineamientos fundamentales para su operación:

- Alimentarse de los datos conocidos por el operador para efectuar un cálculo de los valores generados por los emplazamientos.
- Utilizar los procedimientos definidos en las recomendaciones K.52, K.61, K.70, K.91 y K.100.
- Permitir la integración del sistema de monitoreo de la ANE y el acceso a su información.
- Apertura del sistema y permitir la integración de otros actores que cumplan con las condiciones de convergencia establecidas a través de los resultados obtenidos con sus herramientas de medición y calculo que permitirían una mayor muestra de datos.
- Integrar la funcionalidad de los mapas de campo a través de los cálculos numéricos como lo permite la recomendación K.113.
- Cumplir con las directrices de la recomendación K.83 donde se incluye la publicación y acceso del sistema a través de internet en una página WEB de fácil ingreso y con información clara para el usuario final independientemente de que el usuario tenga o no conocimientos técnicos.

8.1 PROCESO PARA EL CALCULO DE VALORES DE NIVELES DE EXPOSICIÓN A CEM

Teniendo como referencia los diagramas de flujo de evaluación de las recomendaciones K.52 y K.62, se construye un nuevo diagrama de flujo adaptado que se observa en la Figura 20 y que permite cumplir con el procedimiento de cálculo de niveles de exposición a CEM.

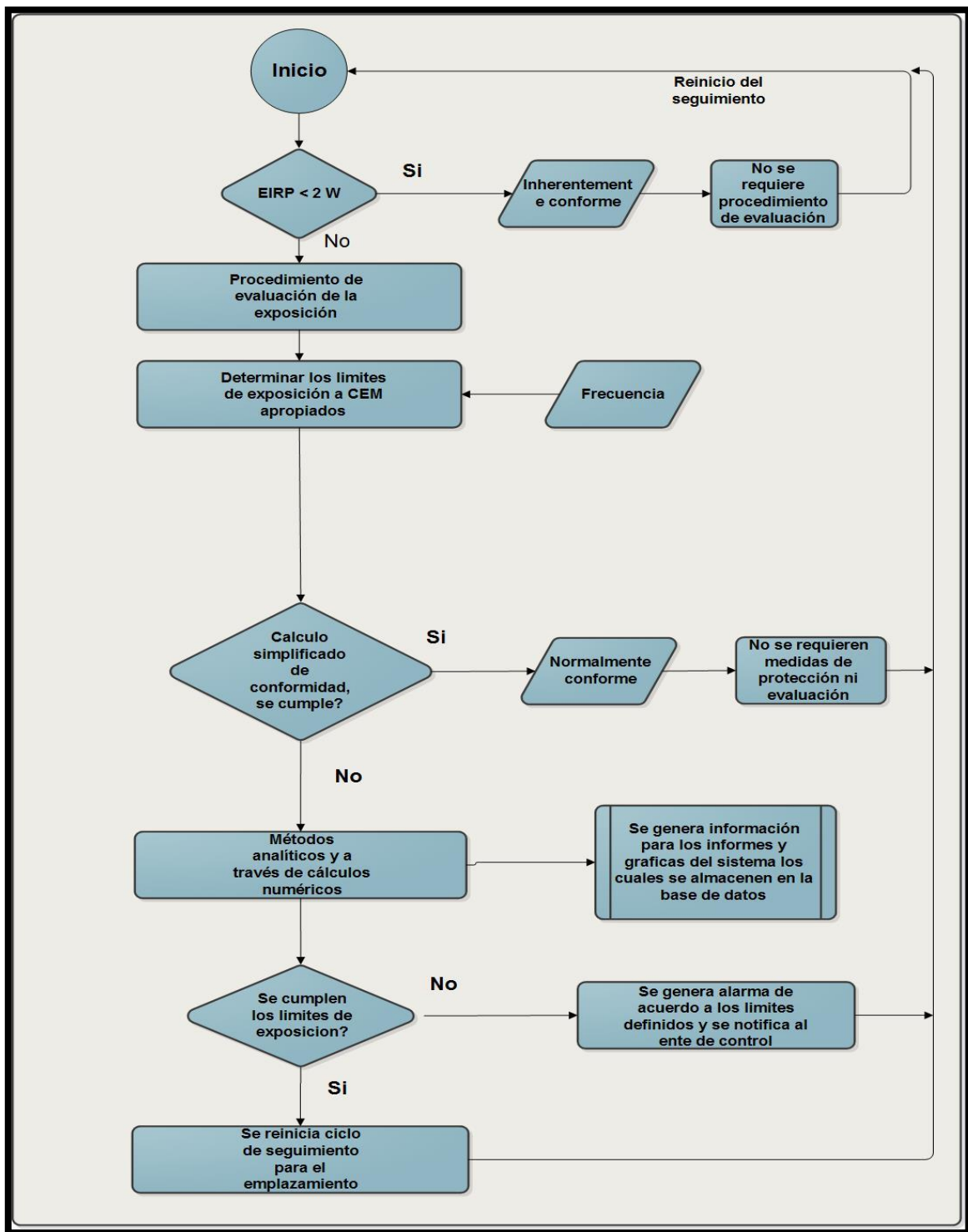


Figura 20. Diagrama de flujo propuesto para el sistema
Fuente: elaboración propia adaptado de las recomendaciones K.52 y K.62.

8.2 INTEGRACIÓN AUTOMÁTICA Y MANUAL DE DATOS DE LOS OPERADORES DE TELECOMUNICACIONES

El sistema deberá permitir la alimentación de datos de los operadores de telecomunicaciones a través de archivos en formato de texto plano o extensiones CSV, formato XML, FTP, de manera manual a través de formularios web o accesos automáticos a través de web services. Para ello los sistemas de telecomunicaciones móviles actuales dependiendo del fabricante de su infraestructura y las tecnologías utilizadas, los operadores utilizan diferentes herramientas de administración para los componentes de la red. Entre ellos se encuentra el gestor de datos el cual almacena las potencias transmitidas de cada estación base y la información general que hace parte de los indicadores del sistema. El gestor de datos guarda la información generada por las diferentes antenas del sistema de telecomunicaciones del operador. La configuración del gestor puede variar dependiendo de la arquitectura y el fabricante entre los que se encuentran: Ericsson, Huawei y Nokia.

Actualmente los operadores conocen a través de sus sistemas de gestión, la información suficiente para suministrarla de manera automática sin requerir procedimientos extensos o que generen un impacto en su administración y operación.

8.3 MAPAS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Para el desarrollo de la funcionalidad de los mapas de campos electromagnéticos, se utilizan las directrices de la recomendación K.113 donde se graficarán los datos generados por los cálculos y mediciones efectuados. Teniendo en cuenta la necesidad de convergencia de información generada por los cálculos y el sistema de la ANE, se deberán utilizar dos códigos de colores cumpliendo con los lineamientos de la recomendación y las gráficas permitan la interpretación para cada caso como se observa en la Figura 21.



Figura 21. Mapa de campos electromagnéticos generado por infraestructura de telecomunicaciones

Fuente: Resumen de las recomendaciones relacionadas a la exposición de las personas a CEM[35].

Para los resultados obtenidos en los cálculos se utilizará el código de colores planteado en la Tabla 22 .

Tabla 22. Código de colores para el sistema

REPRESENTACIÓN	COLOR ASIGNADO
NIVEL NORMAL	VERDE
NIVEL INTERMEDIO	AMARILLO
NIVEL AL LIMITE	NARANJA
NIVEL POR ENCIMA DE LOS LIMITES	ROJO

Fuente: elaboración propia

El código de colores aplicara para cada banda de frecuencia operativa en Colombia. La representación para la banda de frecuencia de 850 MHz se encuentra en la Tabla 23.

Tabla 23. Código de colores para la banda 850 MHz.

RANGO EN W/m ²	COLOR ASIGNADO
1 a 3	VERDE
3 a 4	AMARILLO
4 a 4,25	NARANJA
Mayor a 4,25	ROJO

Fuente: elaboración propia

La representación para la banda de frecuencia de 1700 a 2100 MHz se encuentra en la Tabla 24.

Tabla 24. Código de colores para la banda 1700 a 2100 MHz.

RANGO EN W/m ²	COLOR ASIGNADO
1 a 6	VERDE
6 a 9	AMARILLO
9 a 9,5	NARANJA
Mayor a 9,5	ROJO

Fuente: elaboración propia

La representación para la banda de frecuencia de 850 MHz se encuentra en la Tabla 25.

Tabla 25. Código de colores para la banda a 2500 MHz.

RANGO EN W/m ²	COLOR ASIGNADO
0 a 6	VERDE
6 a 9	AMARILLO
9 a 10	NARANJA
Mayor a 10	ROJO

Fuente: elaboración propia

Para los resultados obtenidos en las mediciones se utilizará el código de colores del sistema actual de monitoreo de la ANE que se observa en la Figura 22 y que entrega valores para intensidad de campo eléctrico con resultados en V/m.

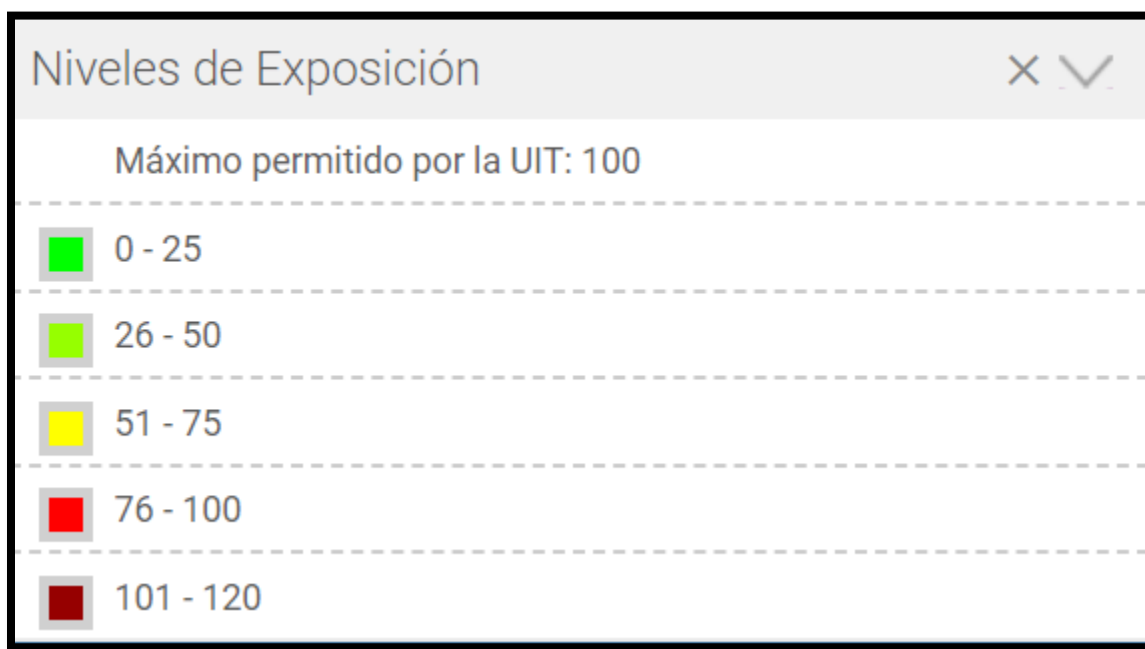


Figura 22. Código de colores del sistema de la ANE

Fuente: Agencia nacional del espectro[30].

Este código de colores también deberá aplicar para los resultados obtenidos por mediciones efectuadas por terceros.

9 ARQUITECTURA PROPUESTA

En este capítulo se presenta la propuesta final del sistema y su arquitectura de acuerdo con la recomendación K.83 y las demás recomendaciones que la componen, en la Figura 23 se observa la arquitectura básica del sistema.

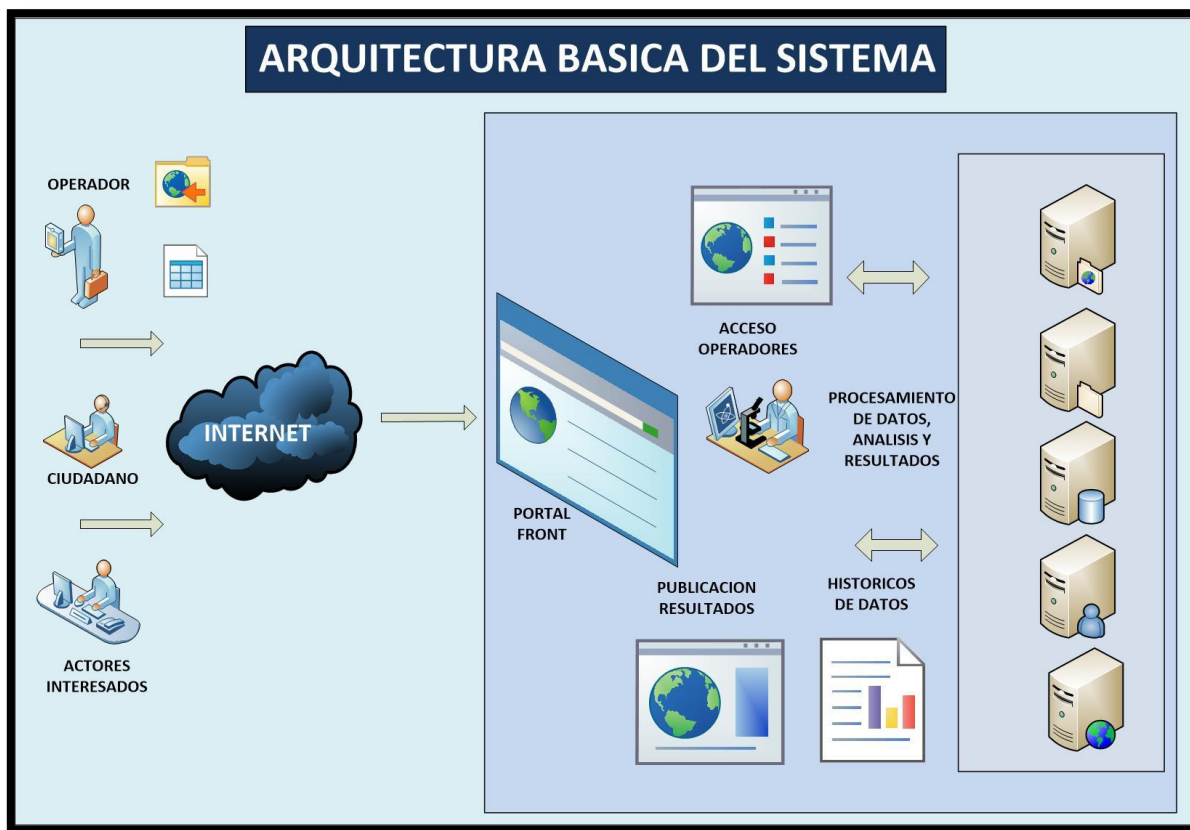


Figura 23. Arquitectura básica del sistema

Fuente: elaboración propia

La arquitectura del sistema se compone de seis módulos que la integran para cumplir todas las funciones de manera integral. Cada módulo contiene funciones específicas de acuerdo con los procedimientos del sistema. Los módulos que hacen parte del sistema son:

- Módulo de gestión de la información.
- Módulo de administración.
- Módulo de reportes.

- Módulo de autenticación.
- Módulo de entrada de datos.
- Módulo GUI.

Cada módulo tiene una correlación con otros módulos del sistema de acuerdo con sus funciones como se observa en la Figura 24.

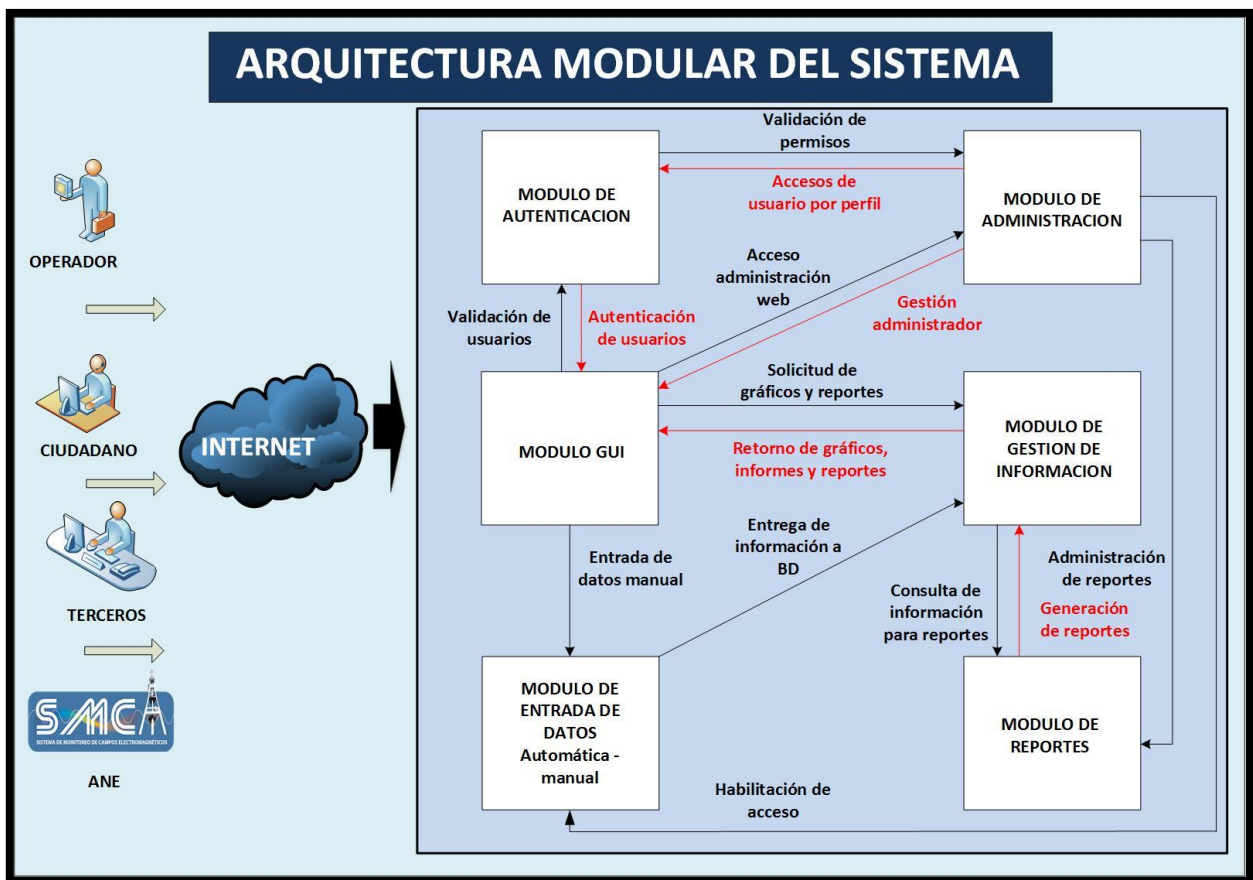


Figura 24. Arquitectura modular del sistema.

Fuente: elaboración propia

9.1 MÓDULO DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

Este módulo permitirá la administración de la información. Con los datos obtenidos permite la generación de los cálculos para la generación de gráficos. En este módulo también se integra la base de datos de información. En el caso de que se requiera, el sistema podrá

definir umbrales y en caso de que se observe la superación de un umbral, se podrán generar alertas y notificaciones tanto al operador como a las entidades de control que se definan.

Correlación:

- Módulo de reportes
- Módulo de entrada de datos manual o automática
- Módulo GUI.

En la Tabla 26 se encuentran cada una de las funciones del módulo, así como sus entradas y salidas.

Tabla 26. Módulo de gestión de la información.

Función	Entradas	Salidas
Generación de cálculos	Ingreso de datos para formulación	Procesamiento de datos y generación de cálculos
Correo o SMS cuando se superen los umbrales	Identificación de niveles de exposición superiores al permitido	Mensaje de notificación cuando se superan los umbrales definidos
Generación de backup de información	Programación de backup periódico BD	Generación de backup periódico BD
Administración de geolocalización	Acceso al portal google maps	Datos de localización del emplazamiento
Historial de registros	Ingreso de usuarios de acuerdo con el perfil	Se registran los eventos de cada usuario en log de eventos

Fuente: elaboración propia

9.2 MÓDULO DE ADMINISTRACIÓN

Este módulo contiene todas las funciones que permiten la administración general del sistema.

Correlación:

- Módulo de autenticación.
- Módulo GUI.
- Módulo de reportes.

- Módulo de entrada de datos manual o automática.

En la Tabla 27 se encuentran cada una de las funciones del módulo, así como sus entradas y salidas.

Tabla 27. Módulo de administración

Función	Entradas	Salidas
Creación, modificación y eliminación de usuarios	Solicitudes para creación, modificación o eliminación de usuarios	Se crean, modifican o eliminan usuarios de acuerdo con el perfil, se genera notificación al usuario para el acceso.
Administración general del sistema	Tareas de administración del sistema	Depuración de bases de datos, generación de logs, verificación y monitoreo de recursos.
Accesos del administrador para la visualización de carga de datos y cumplimiento de entregas de información	Consulta de la validación de entregas de los operadores	Resultados de los informes entregados por los operadores de acuerdo con los compromisos periódicos.
Visualización para el administrador de alertas a través de un dashboard editable	Definición de alertas y umbrales para generación de alarmas	Alarmas generadas de acuerdo con las necesidades de la plataforma.
Actualizaciones de la plataforma	Necesidades de acuerdo con el sistema operativo de actualización de la plataforma web	Actualizaciones y/o mejoras sobre el sistema para su performance y operación.
Administración base de datos	Registros de la base de datos	Protección, depuración, backup y políticas de la base de datos de acuerdo con el sistema operativo.

Fuente: elaboración propia

9.3 MÓDULO DE REPORTES

Este módulo permite la generación de los reportes dependiendo de la entrada de datos. Se pueden generar los reportes en tiempo real y los reportes por periodos, así como los históricos. Las opciones para generación de reportes pueden ser:

- Por localización a través de Google maps.
- Por nombre del emplazamiento.
- Por operador de telecomunicaciones.
- Histórico mensual y/o semestral.

Correlación:

- Módulo de gestión de información.
- Módulo de administración.

En la Tabla 28 se encuentran cada una de las funciones del módulo, así como sus entradas y salidas.

Tabla 28. Módulo de reportes

Función	Entradas	Salidas
Reporte en tiempo real	Datos del emplazamiento	Informe en tiempo real con grafica de umbrales contra la exposición generada por el emplazamiento.
Reportes periódicos e históricos	Datos del emplazamiento, fecha inicio y fecha fin	Informes periódicos con grafica de umbrales contra la exposición generada por el emplazamiento.
Generación de mapas de campos electromagnéticos	Datos generados por los operadores y el sistema de la ANE	Mapas de campos electromagnéticos

Fuente: elaboración propia

9.4 MÓDULO DE AUTENTICACIÓN

Este módulo permite la identificación de los usuarios que requieren un acceso a la plataforma diferente al de los usuarios comunes que tendrán acceso a la generación de reportes, informes, mapas de campo y que se encuentra habilitado para cualquier usuario. Cumple las funciones de autenticación de los usuarios permitidos y sería entregado a los operadores para su carga de datos al sistema si se hace de manera manual o a terceros que quieran también alimentar con información al sistema como las academias o centros de investigación. Este módulo adicionalmente brindara la autenticación del super usuario a través de la gestión WEB para el administrador del sistema de manera remota si así se requiere.

Correlación:

- Módulo GUI.
- Módulo de administración

En la Tabla 29 se encuentran cada una de las funciones del módulo, así como sus entradas y salidas.

Tabla 29. Módulo de autenticación

Función	Entradas	Salidas
Autenticación y validación del usuario	Correo electrónico y clave.	Acceso a los módulos y funciones dependiendo de los permisos del usuario.
Recordar claves	Correo electrónico.	Enviara por correo electrónico un link para restaurar la clave de acceso.

Fuente: elaboración propia

9.5 MÓDULO DE ENTRADA DE DATOS

Este módulo permite la entrada de datos para alimentar el sistema con la información del operador, de las estaciones fijas y el sistema de monitoreo de la ANE o de terceros si así se requiere.

Correlación:

- Módulo GUI.
- Módulo de entrada de datos manual o automática.
- Módulo de administración.

En la Tabla 30 se encuentran cada una de las funciones del módulo, así como sus entradas y salidas.

Tabla 30. Módulo de entrada de datos

Función	Entradas	Salidas
Carga de datos operador manual	Ingreso de datos por formulario, Csv, Xml o FTP.	Alimentación de la base de datos para la generación de informes y reportes.
Carga de datos tercero manual	Ingreso de datos por formulario, Csv, Xml o FTP.	
Carga de datos estaciones fijas o ANE	Ingreso de datos del sistema de la ANE.	
Carga de datos operador automático	Ingreso de datos a través de web service.	

Fuente: elaboración propia

En la Figura 25 se explica el diagrama del módulo de entrada de datos para la carga automática o manual dependiendo de las características de quien origina los datos.

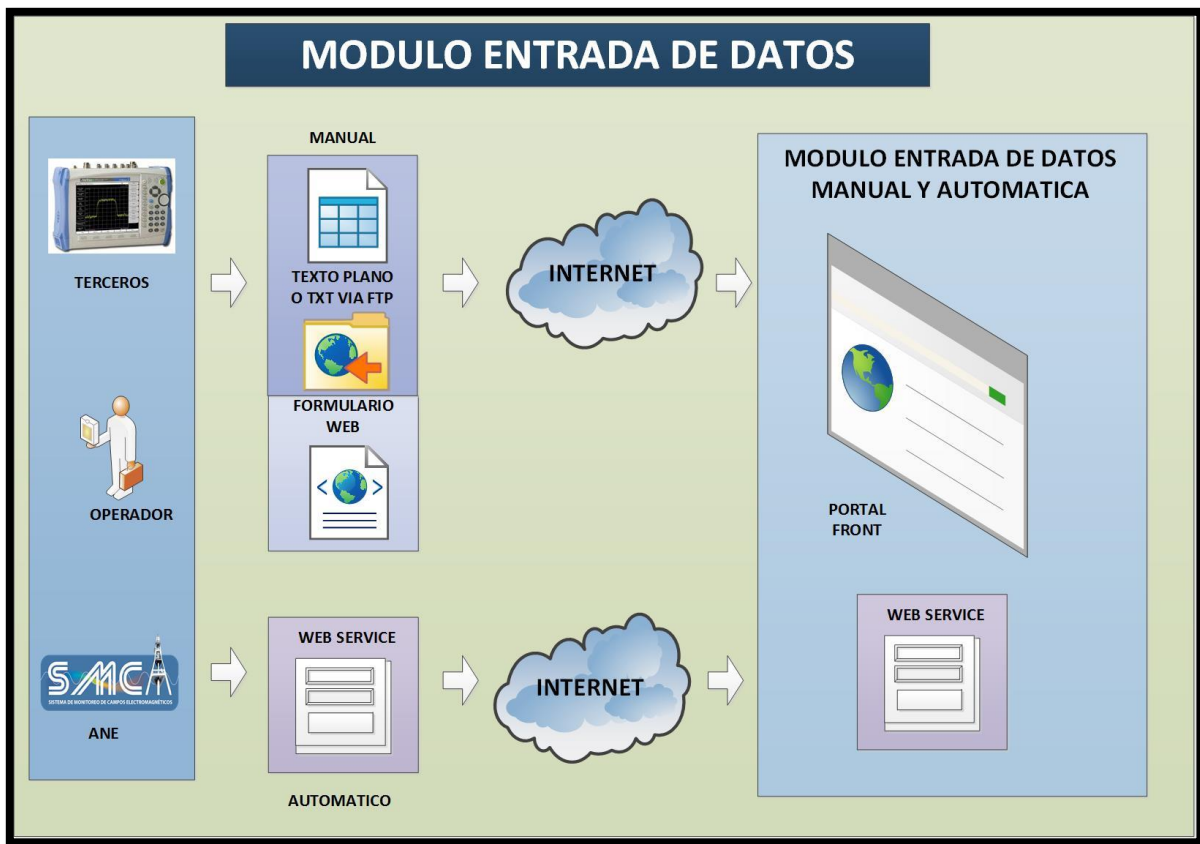


Figura 25. Modulo entrada de datos

Fuente: elaboración propia

9.6 MÓDULO GUI

Este módulo presentara la interpretación de la información contenida en el sistema a través de una interfaz gráfica amigable con un lenguaje fácil e interpretable para todo tipo de usuarios con todas de las opciones del sistema, informes, históricos, reportes gráficos a través de una página web.

Correlación:

- Usuarios y ciudadanos en general.
- Operadores.
- Terceros.
- Entidades de control y vigilancia.
- Módulo de autenticación.

- Módulo de administración.
- Módulo de gestión de información.
- Módulo de entrada de datos manual o automática.

En la Tabla 31 se encuentran cada una de las funciones del módulo, así como sus entradas y salidas.

Tabla 31. Módulo GUI

Función		Entradas	Salidas
Visualizar portal front		Acceso al portal web por los usuarios	Interfaz gráfica del portal a través del navegador de internet
Menú principal y opciones	Ingreso y validación de usuarios	Link para el ingreso de usuario y contraseña para usuarios que tengan esta opción	Se valida el usuario y contraseña y se da acceso a las opciones que tenga permisos de acuerdo con el perfil
	Visualización de gráficos e informes	Consulta y generación de informes para el sistema de medición	Entrega de informe de las estaciones base de acuerdo con el sistema de geolocalización
	Generación de mapas de campos electromagnéticos	Ingreso de datos y zona geográfica para la generación de mapas	Generación de mapas de acuerdo con las zonas geográficas y sectores delimitados
	Preguntas frecuentes	Acceso al listado de preguntas frecuentes	Respuestas de las preguntas frecuentes
	Mostrar condiciones de uso	Condiciones de uso de la página y la información	Listado de las condiciones de uso
	Contáctenos	Acceso a un formulario con datos de contacto y consultas a generar	Se notifica a través de una nueva ventana que se contactara al usuario a los datos de contacto diligenciado
	Peticiones, quejas y reclamos	Acceso a formulario para PQR	El usuario podrá ingresar una PQR con la documentación de sus datos personales y la descripción de su solicitud
Administración de geolocalización		Ingreso de direcciones o datos de referencia del emplazamiento	Ubicación de los emplazamientos de acuerdo con las referencias del portal Google maps y la base de datos

Fuente: elaboración propia

Para la localización de puntos geográficos, emplazamientos y coordenadas, el sistema deberá integrar a través de su código la ubicación geográfica de Google maps que le permitirá el acceso a la base de datos y definir la distribución de emplazamientos y todos los elementos que serán evaluados a través del sistema, para ello el módulo GUI debe integrar su base de datos y permitir el acceso a través de internet a las consultas de geolocalización con Google maps tal como se muestra en el diagrama de la Figura 26.

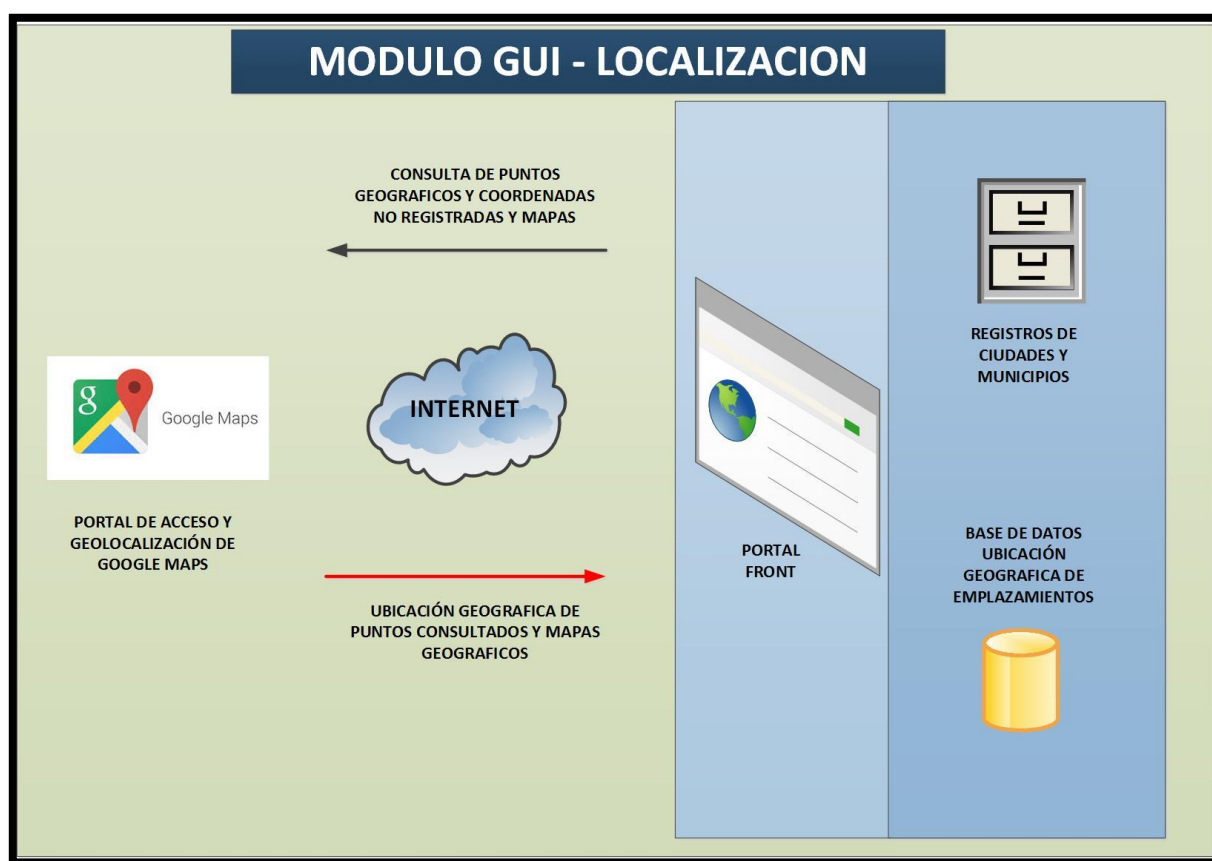


Figura 26. Módulo GUI – Localización de puntos de evaluación

Fuente: elaboración propia

10 CONCLUSIONES

- El proceso de identificación de los actores y procedimientos para la evaluación de la exposición a CEM permitió determinar la necesidad de seguir los lineamientos de la ITU como referente en la normatividad internacional de telecomunicaciones a través de sus recomendaciones técnicas.
- El análisis de los procedimientos que permiten evaluar la exposición de las personas a CEM determina la necesidad de adoptar los lineamientos desarrollados por la ICNIRP con respecto a los límites de exposición que fueron desarrollados con base en estudios técnicos completos avalados por la OMS.
- El análisis del marco normativo nacional e internacional, permitió definir los parámetros de potencia requeridos en la evaluación de la exposición a CEM para cumplir los lineamientos de la ICNIRP.
- El sistema permite garantizar la trazabilidad y seguimiento a los datos que permitan el control y auditoria de los resultados obtenidos tanto para los operadores de telecomunicaciones como para los entes de vigilancia y control.
- El sistema propuesto cumple con los lineamientos y marco jurídico vigente generado por las entidades de control y vigilancia del espectro en Colombia y en específico en este caso la resolución 754 de 2016.
- La integración del sistema con procedimientos basados en cálculos y mediciones permite la comparación y el análisis de los resultados, lo que garantiza determinar con mayor exactitud el cumplimiento de los límites de exposición a CEM.
- Es relevante evitar la dependencia de las mediciones de emplazamientos y fuentes de generación de campos electromagnéticos en la infraestructura de redes móviles y utilizar métodos técnicos que permitan ampliar los resultados del cumplimiento de los límites de exposición a CEM.
- La implementación de un sistema de seguimiento integral permitirá no solo garantizar el seguimiento del cumplimiento de la exposición, sino además automatizar el sistema de entrega de información de los operadores definido en la resolución 754 de 2016.

- Implementar un sistema de seguimiento convergente e integral, explotando la información del sistema de monitoreo de campos SMC de la ANE.
- Es importante la sensibilización pública de la información sobre las tecnologías de telecomunicaciones y la exposición a CEM, esto permitirá que el ciudadano minimice la predisposición a la implementación y despliegue de nuevas tecnologías para comunicaciones móviles.

ANEXO A. GLOSARIO

Este glosario está construido con los términos técnicos requeridos para el contexto de la propuesta del sistema con base en las recomendaciones de la ITU K.52, K.61, K.62, K.70, K.83, K.91, K.100 y K.113. Adicionalmente se tiene en cuenta la recomendación de vocabulario de las telecomunicaciones móviles internacionales, que concentra conceptos requeridos en el desarrollo de este trabajo[36]. Como complemento, también se agregan algunos términos del contexto legal y la normatividad colombiana relacionada a la exposición a CEM.

Antena:

Dispositivo que sirve como transductor entre una onda guiada (por ejemplo, un cable coaxial) y una onda de espacio libre, o viceversa. Puede ser utilizado para emitir o recibir una señal de radio.

Antena isotrópica:

Una antena hipotética, sin pérdidas que tiene una intensidad de radiación igual en todas las direcciones.

Arreglo de antenas:

Conjunto de antenas dispuestas y excitadas a modo de obtener un patrón de radiación dado. Estos elementos operan a la misma frecuencia para conformar el patrón de radiación definido.

Campos electromagnéticos:

Los campos electromagnéticos son líneas de fuerza invisibles que transportan energía y emiten radiación que puede ser ionizante y no ionizante. Las ondas electromagnéticas se propagan en el espacio caracterizándose por diversos parámetros.

Centro de radiación:

Punto equivalente desde donde radia una antena o arreglo de antenas, también se conoce como centro eléctrico de radiación.

Corriente de contacto:

La corriente de contacto es la corriente que circula por el cuerpo al tocar un objeto conductor en un campo electromagnético.

Corriente inducida:

Corriente que se induce dentro del cuerpo que resulta de la exposición directa a los campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos.

Densidad de potencia:

Potencia por unidad de superficie normal a la dirección de propagación de la onda electromagnética. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

Densidad de potencia media (temporal):

La densidad de potencia media es igual a la densidad de potencia instantánea integrada a lo largo de un periodo de repetición de origen.

Densidad de potencia de cresta:

La densidad de potencia de cresta es la máxima densidad de potencia instantánea que se produce cuando se transmite potencia.

Nota: Esta promediación no debe confundirse con el tiempo de promediación de medición.

Directividad:

Relación entre la potencia radiada por unidad de ángulo sólido y la potencia media radiada por unidad de ángulo sólido.

Distancia de cumplimiento:

Distancia mínima desde la antena hasta el punto de investigación, donde se considera que el nivel de campo cumple con los límites de exposición a campos electromagnéticos.

Dominio de investigación:

Sub – dominio dentro de los límites de dominio de evaluación (ADB) al que el público en general tiene acceso.

EIRP Equivalent Isotropically Radiated Power (Potencia isotrópica radiada equivalente):

Es el producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia en relación con una antena isotrópica en una dirección dada.

Emisor no intencional:

Dispositivo que genera intencionalmente energía electromagnética para utilización dentro del dispositivo o que envía energía electromagnética por conducción a otros equipos, pero no destinado a emitir o a radiar energía electromagnética por radiación o inducción.

Emisor intencional:

Dispositivo que genera y emite intencionalmente energía electromagnética por radiación o por inducción.

Equipos bajo prueba (EUT – Equipment Under Test):

Estación base que será puesta en servicio, incluyendo todas las antenas de transmisión y que se encuentra en prueba (que operan en la banda de frecuencias de 100 MHz a 40 GHz). Los equipos bajo prueba también pueden estar en operación.

Espectro electromagnético:

Es el campo energético compuesto de ondas electromagnéticas organizadas en función de sus frecuencias o longitudes de onda.

Espectro radioeléctrico:

El espectro radioeléctrico es una parte del espectro electromagnético que ocupa las bandas de frecuencia correspondientes a los servicios de telecomunicaciones, que según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) van desde una frecuencia de 3 KHz hasta 3.000 GHz, dividido en bandas de acuerdo con el tipo de servicio.

Estación base (BS Base Station):

Equipo fijo para la transmisión de radio utilizada en la comunicación celular y/o instalación inalámbrica para redes de área local. El termino estación base incluye los transistores de radio y las antenas asociadas.

Estación radioeléctrica:

Son los elementos físicos que soportan y sostienen las redes de telecomunicaciones. Se compone de equipos transmisores y/o receptores, elementos radiantes y estructuras de soporte como torres, mástiles, azoteas, necesarios para la prestación del servicio y/o actividad de telecomunicaciones.

Exposición:

Se produce exposición siempre que una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos o a corrientes de contacto distintas de las originadas por procesos fisiológicos en el cuerpo o por otros fenómenos naturales.

Exposición continua:

La exposición continua se define como la exposición durante un tiempo superior al correspondiente tiempo promedio. La exposición durante un tiempo inferior al promedio se denomina exposición de corta duración.

Exposición de público en general:

Aquella donde las personas expuestas a ondas electromagnéticas no forman parte del personal que labora en una estación radioeléctrica determinada; no obstante, están

expuestas a las emisiones de campo electromagnético de radiofrecuencia producidas por dichas estaciones.

Exposición controlada/ocupacional:

Aquella en las que las personas están expuestas como consecuencia de su trabajo y en las que las personas expuestas han sido advertidas del potencial de exposición y pueden ejercer control sobre la misma. La exposición controlada/ocupacional también se aplica cuando la exposición es de naturaleza transitoria de resultados del paso ocasional por un lugar en el que los límites de exposición puedan ser superiores a los límites no controlados, para la población general, ya que la persona expuesta ha sido advertida del potencial de exposición y puede controlar esta por algún medio apropiado.

Exposición no uniforme/exposición corporal parcial:

Los niveles de exposición no uniforme/exposición corporal parcial se producen cuando los campos son no uniformes.

Exposición no controlada de la población general:

La exposición no controlada de la población general se aplica a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto o en las que las personas expuestas como consecuencia de su trabajo pueden no haber sido advertidas del potencial de exposición y no pueden ejercer control sobre la misma.

Frontera de cumplimiento:

Fronteras que definen un área por fuera de la cual los niveles de exposición de RF del equipo en prueba (EUT) están por debajo del límite de exposición.

Frontera del dominio de evaluación (ADB - Assessment Domain Boundary):

Frontera que rodea la antena del equipo en prueba (EUT) fuera de la cual las mediciones no necesitan llevarse a cabo. El ADB define el área de medición máxima posible donde la fuente objeto de estudio se considera como relevante.

Fuente cercana:

Una fuente de radiofrecuencia RF que opera en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz, que generan campos electromagnéticos distintos de la emisión de los equipos bajo estudio EUT.

Fuente normalmente conforme:

Las instalaciones normalmente conformes contienen fuentes que producen un campo electromagnético que puede sobrepasar los límites de exposición pertinentes. Sin embargo, como resultado de prácticas de instalación normales y del uso típico de estas fuentes para fines de comunicación, la zona de rebasamiento de estas fuentes no es accesible a las personas en condiciones ordinarias. Ejemplos son las antenas montadas en torres suficientemente altas o las estaciones terrenas de haz estrecho apuntadas al satélite. Puede ser necesario que el personal de mantenimiento que tenga que acercarse mucho a los emisores tenga que adoptar precauciones en algunas instalaciones normalmente conformes.

Fuente inherentemente conforme:

Son aquellas que producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares. El criterio para la fuente inherentemente conforme es una EIRP de 2W o menos, salvo para antenas de microondas de apertura pequeña y baja ganancia o antenas de ondas milimétricas cuando la potencia de radiación total de 100 mW o menos podrá ser considerada como inherentemente conforme.

Fuente radiante:

Cualquier antena o arreglo de antenas transmisoras.

Frecuencia:

Número de veces que se repite una onda en un segundo.

Intensidad de campo eléctrico:

Fuerza por unidad de carga que experimenta una partícula cargada dentro de un campo eléctrico. Se expresa en voltios por metro (V/m) o en dBV/m si está en forma logarítmica.

Intensidad de campo magnético:

Magnitud vectorial axial que, junto con la inducción magnética, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (A/m) o en dBA/m si está en forma logarítmica.

Límites máximos de exposición:

Valores máximos de las intensidades de campo eléctrico y magnético, o la densidad de potencia asociada con estos campos, a los cuales una persona puede estar expuesta.

Lóbulo lateral:

Un lóbulo de radiación de en cualquier dirección que no sea el lóbulo principal.

Lóbulo principal:

El lóbulo de radiación que se encuentra en la dirección de máxima radiación. En ciertas antenas, como multi – lóbulo o antenas de haz dividido, puede existir más de un lóbulo principal.

Longitud de onda(λ):

La longitud de onda de una onda electromagnética está relacionada con la frecuencia (f) y la velocidad (v) de una onda electromagnética por la siguiente expresión:

$$\lambda = v / f$$

Micro celdas (micro células):

Celdas (células) con emplazamientos de antena a poca altura, sobre todo en zonas urbanas con radio de celda (célula) característico de 1 Km.

Nota 1- Las micro celdas (micro células) se caracterizan por una densidad de tráfico media a alta, soportan velocidades de estación móvil bajas y servicios de banda estrecha.

Nota 2 – En un entorno de micro celdas (micro células) puede ser significativo el bloqueo producido por estructuras artificiales.

Modulación:

Proceso que consiste en modificar la amplitud, la fase y/o la frecuencia de una forma de onda periódica con el proceso de transmitir información.

Nivel de decisión:

Nivel de intensidad de campo eléctrico o magnético correspondiente a la cuarta parte del límite máximo de exposición permitido para el caso respectivo.

Nivel de emisión:

Valor ponderado de campo electromagnético (eléctrico o magnético) producto del aporte de energía de múltiples fuentes de radiofrecuencia, en cada una de las posibles zonas de exposición a campos electromagnéticos. Este valor se obtiene con un sistema de medición de banda ancha.

Nivel de emisión del sistema:

Nivel de emisión generado por la superposición de las emisiones radiadas en una frecuencia común por todos los equipos que constituyen el sistema.

Niveles de referencia:

Los niveles de referencia se proporcionan con el propósito de comparar con las cantidades de exposición al aire. Los niveles de referencia se expresan como intensidad de campo eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H) y densidad de potencia (S).

Nivel de exposición:

Es el valor de la magnitud utilizada cuando una persona está expuesta a campos electromagnéticos o a corrientes de contacto.

Niveles de referencia:

Los niveles de referencia se proporcionan con el propósito de comparar con las cantidades de exposición al aire. Los niveles de referencia se expresan como intensidad de campo eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H) y densidad de potencia (S).

Onda plana:

Onda electromagnética en la cual el vector de campo eléctrico y magnético permanece de forma ortogonal en un plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

Operarios:

El personal empleado y el personal autónomo se denominan operarios, mientras están ejerciendo su empleo y en este contexto pertenecen al equipo operador de telecomunicaciones.

Patrón de radiación:

Diagrama que describe la forma como la antena radia la energía electromagnética al espacio libre. El patrón de radiación se describe en forma normalizada respecto al nivel de máxima radiación, cuyo valor es igual a 1 si se representa en forma lineal o cero dB si se representa en forma logarítmica.

Pico celdas (pico células):

Pequeñas celdas (células) con un radio característico menor de 50m que se encuentran situadas normalmente en el interior de edificios.

Nota1- las pico celdas (pico células) se caracterizan por una densidad de tráfico media a alta, soportan velocidades de estación móvil bajas y servicios de banda ancha.

Potencia equivalente radiada (PER) – Potencia radiada aparente (PRA):

Es el producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia en relación con una antena dipolo de media longitud de onda en una dirección dada.

Radiación electromagnética:

Es energía emitida desde una fuente que puede ser de origen natural como el sol y las tormentas eléctricas o de origen artificial como la distribución eléctrica.

Radiación ionizante:

La radiación ionizante es generada por ondas que con su interacción pueden cambiar las reacciones químicas separando electrones de los átomos y en el caso del ser humano podrían afectar su ADN al interactuar con los átomos cargándolos positiva o negativamente, ejemplo: rayos X y rayos gamma.

Radiación no ionizante:

La radiación no ionizante es generada por ondas que no tienen suficiente energía para producir ionización y por tanto no afectan al ser humano, ejemplo: la luz visible, infrarrojos o el espectro radio eléctrico.

Región de campo cercano:

Área adyacente a una fuente radiante, en la cual los campos no tienen la forma de la onda plana, pudiéndose distinguir dos subregiones: campo cercano reactivo, el cual posee la mayoría de la energía almacenada por el campo, y campo cercano de radiación, el cual es fundamentalmente radiante. La presencia de campo reactivo hace que el campo electromagnético no tenga la distribución de una onda plana, sino distribuciones más complejas.

Región de campo lejano:

Área distante a una fuente radiante donde la distribución angular del campo electromagnético es esencialmente independiente de la distancia con respecto de la antena y su comportamiento es predominante del tipo de onda plana.

Relación de exposición total (TER Total Exposure Ratio):

La suma de las relaciones de exposición (ER) del equipo bajo prueba (EUT) y otras fuentes relevantes.

Sistema:

Se entiende por sistema a un elemento formado por la integración de varios equipos ubicados en el mismo lugar y que juntos ofrecen una determinada función. Todos los medios guiados y no guiados que interconectan los equipos que constituyen el sistema también son parte de este. Los medios guiados y no guiados que interconectan un sistema con los demás sistemas no se consideran parte del sistema.

Sistema de medición de banda ancha:

Conjunto de elementos que permite medir de forma selectiva en frecuencia, el cual ofrece una lectura de la variable electromagnética considerando el efecto combinado de todas las componentes frecuenciales que se encuentran dentro de su ancho de banda especificado.

Sistema de medición de banda angosta:

Conjunto de elementos que permite medir de forma selectiva en frecuencia, el cual permite conocer la magnitud de la variable electromagnética medida (intensidad de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia), debida a una componente frecuencial o a una banda muy estrecha de frecuencia.

Sonda:

Elemento transductor que convierte energía electromagnética en parámetros eléctricos medibles mediante algún instrumento. Puede ser una antena o algún otro elemento que tenga la capacidad descrita.

Telecomunicaciones:

Las telecomunicaciones son el conjunto de técnicas que permiten transmitir información a distancia, en este caso con la conversión de información en ondas y campos electromagnéticos para su transmisión.

Tiempo promedio o de promediación:

Periodo de tiempo mínimo en el que deben realizar las mediciones con el fin de determinar el cumplimiento con los límites máximos de exposición.

Transmisor:

Un transmisor es un dispositivo electrónico para generar el campo electromagnético de radiofrecuencia para el propósito de la comunicación. La salida del transmisor se conecta a través de una línea de alimentación a la antena de transmisión, la cual es la fuente real de la radiación electromagnética intencional.

ANEXO B. SERIES DE RECOMENDACIONES DE NORMALIZACIÓN DE LA ITU – T

Serie A	Organización del trabajo ITU-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicaciones no telefónicos.
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales.
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica

Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo de internet de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

ANEXO C. TABLAS PARA EL CALCULO DE LA EIRP CON BASE EN EL PROCEDIMIENTO DE DIRECTIVIDAD

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	<i>EIRP_{th}</i> (W)	
		Público en general	Ocupacional
1	1	$\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$	$\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$
	2	Menos de: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}d^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}d^2$
	3	Menos de: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Menos de: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$
2	1	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{si}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha+1,129\theta_{bw})}\right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{si}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha+1,129\theta_{bw})}\right]^2$
	2 (determinada por: $h' > h-d \tan(\alpha+1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{si}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}d^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{si}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}d^2$

Figura 27. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 400-2000 MHz.

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	$EIRP_{th}$ (W)	
		Público en general	Ocupacional
2	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{z,l}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200A_{z,l}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{z,l}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40A_{z,l}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{z,l}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{z,l}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{z,l}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{z,l}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)
	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{z,l}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{50A_{z,l}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{z,l}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{10A_{z,l}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{z,l}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{z,l}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$

Figura 28. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 400-2000 MHz.

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	$EIRP_{th}$ (W)	
		Público en general	Ocupacional
1	1	$40\pi(h-2)^2$	$200\pi(h-2)^2$
	2	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ o $10\pi d^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2$ o $50\pi d^2$
	3	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2$ o $50\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $40\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $10\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $50\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$
2	1	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}}(h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}}(h-2)^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2 (determinada por: $h' > h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}}(h-2)^2$ o $10\pi d^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}}(h-2)^2$ o $50\pi d^2$
	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}}(h-2)^2$ o $\frac{10\pi}{A_{zi}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}}(h-2)^2$ o $\frac{50\pi}{A_{zi}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$

Figura 29. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 2000-3000000 MHz.

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	$EIRP_{th}$ (W)	
		Público en general	Ocupacional
2	4	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
		Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}} (h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}} (h-2)^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}} (h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}} (h-2)^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)
	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}} (h-2)^2$ o $\frac{2,5\pi}{A_{zi}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}} (h-2)^2$ o $\frac{12,5\pi}{A_{zi}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{zi}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{zi}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$

Figura 30. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 2000-3000000 MHz.

Fuente: Recomendación ITU-K.52[12].

REFERENCIAS

- [1] UIT, “Reporte tecnico del grupo de ciudades inteligentes y sostenibles de la UIT,” 2014.
- [2] J. M. Huidobro Moya, *Telecomunicaciones, tecnologias, redes y servicios*. Bogota, 2011.
- [3] H. C. Polo, *Comunicaciones moviles de ultima generaci3n*. Universidad Santo Tomas de Aquino, 2012.
- [4] M. David *et al.*, “Bolet3n trimestral de las TIC - Cifras Segundo Trimestre de 2017,” p. 10, 2017.
- [5] ASOMOVIL.ORG, “ASOMOVIL.ORG,” 2016. [Online]. Available: <http://www.asomovil.org/hacen-falta-de-7-a-10-mil-antenas-en-colombia-asomovil/>.
- [6] CINTEL, “CINTEL.CO,” 2016. [Online]. Available: <http://cintel.co/hacen-falta-de-7-a-10-mil-antenas-en-colombia-asomovil/>.
- [7] “International Telecommunication Union” ITU-T, “Supervisi3n de los niveles de intensidad del campo electromagn3tico,” p. 42, 2015.
- [8] ICNIRP, “ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz),” *ICNIRP Publication*, vol. 74, no. 4. pp. 494–523, 1998.
- [9] UIT, “UIT-R Radiocomunicaciones Comisiones de Estudio.” UIT, 2017.
- [10] U. internacional de telecomunicaciones ITU, “RECOMENDACI3N UIT-R P.525-2,” vol. 1, no. 2, pp. 2–4, 2000.
- [11] U. internacional de telecomunicaciones ITU, “RECOMENDACI3N UIT-R P.526-8 Propagaci3n por difracci3n,” vol. 2, no. 2, pp. 1–22, 2003.
- [12] ITU-T Study Group 5, “Recommendation ITU-T K.52: Guidance on complying with

limits for human exposure to electromagnetic fields,” vol. 52, p. 46, 2014.

- [13] International Telecommunication Union, “ITU-T K.61. Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations,” pp. 1–30, 2018.
- [14] ITU-T-REC-K.62, “Evaluación de la conformidad de las emisiones radiadas a nivel de sistema mediante modelos matemáticos,” 2004.
- [15] I.-T. recommendation K.70(2007), “Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations,” vol. 70, 2007.
- [16] ITU-T-REC-K.83, “Técnicas de monitoreo de la intensidad de campo de los campos electromagnéticos,” vol. 83, 2011.
- [17] ITU, “ITU-T K.91 Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields,” vol. 91, 2012.
- [18] I. T. U. ITU-T, “ITU-T K.100. Measurement of radio frequency electromagnetic fields to determine compliance with human exposure limits when a base station is put into service,” p. 38, 2017.
- [19] S. Sector and O. F. Itu, “Generación de mapas de campo de radiofrecuencias electromagnéticas K.113 (11/2015),” 2015.
- [20] I.-D. C. D. E. 1 Sector de desarrollo de las Telecomunicaciones, “Estrategias y políticas,” 2014.
- [21] U. internacional de telecomunicaciones ITU, “Manual de gestión nacional del espectro,” 2005.
- [22] C. de la republica de Colombia, “Ley 1753 de 2015,” p. 145, 2015.
- [23] M. de las T. y las Comunicaciones, “Decreto 1078 de 2015,” p. 172, 2015.
- [24] Congreso de la República de Colombia, “Ley No.1341 30 julio,” *Ley No.1341 30 julio*, pp. 1–34, 2009.

- [25] C. de R. de Comunicaciones, "Código de buenas practicas para el despliegue de redes de comunicaciones," 2016.
- [26] J. Verduijn, J. G. Cespedes Clavijo, and G. M. Fajardo Muriel, "Manual de gestion nacional del espectro radioelectrico," *PhD Propos.*, vol. 1, 2015.
- [27] ITU-T -K.61, "Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations," pp. 1–30, 2008.
- [28] "International Telecommunication Union" ITU-T, "Recommendation ITU-T K.62 System level radiated emissions compliance using mathematical modelling," vol. 62, p. 26, 2004.
- [29] S. Sector and O. F. Itu, "Recommendation ITU-T K.83 Monitoring of electromagnetic field levels," vol. 83, p. 24, 2011.
- [30] A. N. del E. ANE, "Sistema de monitoreo de campos SMC," 2018. [Online]. Available: <http://medicionantenas.ane.gov.co:82/#>.
- [31] El Consejo de la Unión Europea, "Recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) (1999/519/CE)," *D. Of. Las Comunidades Eur.*, p. 12, 1999.
- [32] L. Rozas, C. Oficial, and D. Legal, *Informe CCARS Radiofrecuencia y salud 2016*. Madrid, España, 2017.
- [33] Corte Constitucional de Colombia, "Constitución política de Colombia actualizada con los actos legislativos a 2015," *Corte Const. Colombi*, p. 121, 1991.
- [34] A. N. del Espectro, "Resolución 754 de 2016, "Por la cual se reglamentan las condiciones que deben cumplir las estaciones radioeléctricas, con el objeto de controlar los niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos y se dictan disposiciones relacionada." Bogota, p. 50, 2016.
- [35] U. internacional de telecomunicaciones ITU, "Exposición de las personas a campos

electromagnéticos.” p. 2, 2016.

- [36] UIT, “Vocabulario de términos de las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) Serie M por satélite conexos,” 2012.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El espectro electromagnético.....	13
Figura 2. Penetración de la telefonía móvil en Colombia segundo trimestre 2017.	20
Figura 3. Gestión de la aceptación social de nuevas tecnologías e infraestructura.....	21
Figura 4. Recomendaciones de la ITU-T sobre exposición a CEM	28
Figura 5. Interpretación de las recomendaciones de la ITU sobre exposición a CEM	29
Figura 6. Zonas de exposición.	34
Figura 7. Diagrama de flujo de evaluación de una fuente emisora de CEM	49
Figura 8. Categoría de accesibilidad 1	52
Figura 9. Categoría de accesibilidad 2	52
Figura 10. Categoría de accesibilidad 3	53
Figura 11. Categoría de accesibilidad 4, área de exclusión circular	53
Figura 12. Categoría de accesibilidad 4, área de exclusión rectangular	54
Figura 13. Diagrama vertical para un dipolo de media onda	55
Figura 14. Diagrama de la antena y terminología.....	56
Figura 15. Método de cálculo de las emisiones de sistemas complejos	69
Figura 16. Sistema de monitoreo de campos de la ANE	75
Figura 17. Actores del ecosistema de redes móviles	78
Figura 18. Interpretación del marco jurídico para la exposición a CEM en Colombia	82
Figura 19. Definición de las distancias y ángulos verticales	94
Figura 20. Diagrama de flujo propuesto para el sistema	100
Figura 21. Mapa de campos electromagnéticos generado por infraestructura de telecomunicaciones	102
Figura 22. Código de colores del sistema de la ANE	104
Figura 23. Arquitectura básica del sistema	105
Figura 24. Arquitectura modular del sistema.	106
Figura 25. Modulo entrada de datos	112
Figura 26. Módulo GUI – Localización de puntos de evaluación	114
Figura 27. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 400-2000 MHz.....	131

Figura 28. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 400-2000 MHz.....	132
Figura 29. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 2000-3000000 MHz.....	133
Figura 30. Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 2000-3000000 MHz.....	134

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del espectro radioeléctrico	14
Tabla 2. Fuentes que generan los diferentes tipos de ondas de radiación no ionizante ...	16
Tabla 3. Características de las generaciones de redes móviles.	18
Tabla 4. Frecuencias por operador	19
Tabla 5. Límites de la ICNIRP.....	26
Tabla 6. Características principales de las recomendaciones de la ITU sobre la exposición a CEM	30
Tabla 7. Categorías de accesibilidad	51
Tabla 8. Categorías de directividad de las antenas.....	55
Tabla 9. Zona de exclusión en función de la cobertura horizontal.....	56
Tabla 10. Procedimientos de cálculo numérico de las recomendaciones K.52 y K.61.....	58
Tabla 11. Procedimientos de cálculo numérico de las recomendaciones K.70 y K.91.....	59
Tabla 12. Procedimientos de medida de las recomendaciones K.83 y K.91.	70
Tabla 13. Resumen sistemas de seguimiento en Latinoamérica.....	74
Tabla 14. Actores del ecosistema de redes móviles	77
Tabla 15. Regulación internacional sobre la exposición a CEM	79
Tabla 16. Normatividad vigente y derogada desde 2005	81
Tabla 17. Resumen normatividad vigente	83
Tabla 18. Niveles de referencia por operador	84
Tabla 19. Calculo simplificado para la evaluación del cumplimiento de los niveles de exposición a CEM.....	88
Tabla 20. Información entregada por los operadores.....	97
Tabla 21. Valores de densidad de potencia de acuerdo con las frecuencias de los operadores en Colombia.....	98
Tabla 22. Código de colores para el sistema	102
Tabla 23. Código de colores para la banda 850 MHz.....	103
Tabla 24. Código de colores para la banda 1700 a 2100 MHz.	103
Tabla 25. Código de colores para la banda a 2500 MHz.....	103
Tabla 26. Módulo de gestión de la información.....	107

Tabla 27. Módulo de administración	108
Tabla 28. Módulo de reportes	109
Tabla 29. Módulo de autenticación	110
Tabla 30. Módulo de entrada de datos.....	111
Tabla 31. Módulo GUI.....	113