



COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS  
DE TRANSPORTE URBANO

**Análisis de interferencias radioeléctricas  
en la República Mexicana: Casos de estudio**

MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS  
ELECTRÓNICOS Y DE TELECOMUNICACIONES**

P R E S E N T A :

**HORACIO LÓPEZ CHIMAL**

DICTAMINADORES

**M. EN C. MAGALI CORTÉZ VÁZQUEZ**

**ING. RICARDO GALINDO REYES**

Ciudad de México, junio de 2023.

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

### DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Ricardo Reyes Galindo, quien a través de su conocimiento y experiencia me guio durante la etapa de formación académica del nivel superior, lo cual me ha permitido llevar a cabo las mejores prácticas en lo académico, laboral y personal. A mis padres y hermanos que me brindaron el apoyo económico y moral. También agradezco a Consuelo Sánchez Carreón por acompañarme en esta etapa de mi vida. De cada uno de ellos aprecié sus consejos, y palabras de aliento para no darme por vencido, gracias a este gesto incondicional logré alcanzar a una meta en mí vida, misma que representa la mejor herencia que una persona pueda recibir. A cada uno de mis profesores por sus enseñanzas, dedicación y paciencia en los momentos difíciles que enfrenté como estudiante, y a quienes dedican mucho tiempo de su vida para transmitir con pasión el conocimiento de las ciencias y la ingeniería. A mis amigos y compañeros académicos, con los que cada semestre intercambiamos conocimiento y experiencia para una mejor formación. A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) que brinda espacios para formar a grandes profesionistas en las diferentes áreas del conocimiento, y de la cual, me siento orgulloso al ser parte de su historia, ya que “nada humano me es ajeno”. Agradezco a mis compañeros de trabajo, por todo el apoyo brindado desde mi llegada al Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), ya que, como nuevo integrante, me brindaron su apoyo para que la curva de aprendizaje fuera mas efectiva. A mis superiores jerárquicos en el IFT, que hacen de los trabajadores, personas éticas y profesionales capaces de realizar las acciones que el puesto de trabajo demanda. Al IFT, por los cursos constantes de capacitación para un buen desempeño en nuestras funciones.

## Resumen

El presente trabajo, pretende hacer una descripción de las interferencias radioeléctricas que experimentan los diversos usuarios de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico en el país. Las interferencias, degradan la calidad de los servicios de telecomunicaciones afectando al usuario final, que de alguna u otra manera necesitan recibir algún tipo de información ya sea por medio del teléfono móvil, la tablet, la computadora de escritorio, la radio de banda civil, entre otros. Las telecomunicaciones hoy día, son de vital importancia en todas las actividades del quehacer humano, desde solicitar una ambulancia donde los paramédicos se comunican vía radio o teléfono móvil , hasta solicitar el apoyo policiaco, el cual se recibe gracias a la comunicación entre la central y las patrullas que tienen radioreceptores. Con el avance de las telecomunicaciones surgen muchas necesidades, con ello también problemas, debido a que en la actualidad es fácil adquirir equipos de comunicación, los cuales son de fácil instalación y configuración. Dichos equipos, en muchos casos son utilizados clandestinamente, lo cual conlleva a tener el problema de invasión del espectro radioeléctrico. El espectro radioeléctrico tiene segmentos asignados al gobierno, educación y a empresas. Sin embargo, existen señales que provocan una mala calidad del servicio o incluso el deterioro total de la información que las señales de radio envían desde un transmisor hasta un receptor, por eso, es de mucha la importancia analizar y conocer cada una de estas señales que afectan las comunicaciones inalámbricas.

Por lo anterior, la siguiente memoria de experiencia profesional, nos muestra un panorama del análisis de las señales en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Posteriormente se analizan las señales que afectan a las comunicaciones inalámbricas con base en las disposiciones técnicas. También se

dan las bases de los conceptos estipulados por la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTyR), que a su vez están basados en lo establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en el manual de comprobación técnica del espectro. Así mismo, se presentan las actividades que se realizan en la Dirección General Adjunta de Vigilancia del Espectro Radioeléctrico (DGA-VESRE), que van desde el monitoreo de los parámetros técnicos de las señales hasta la identificación y localización de las emisiones radioeléctricas ajenas, y que interfieren en los diferentes segmentos asignados a cada tipo de servicios de comunicaciones inalámbricas que indica el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) en México. Los temas tratados en este trabajo son el resultado de los seis años de experiencia en el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) y dan cuenta de mi trabajo en el cargo de Especialista en Atención de Interferencias, así mismo sientan las bases para que las próximas generaciones de alumnos de la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Electrónicos y de Telecomunicaciones (ISET) tengan una visión clara sobre los aspectos teóricos y prácticos en el área laboral.

# Índice general

<b>I</b>	<b>Fundamentos de comunicaciones</b>	<b>3</b>
<b>1.</b>	<b>Conceptos básicos de señales</b>	<b>4</b>
1.1.	Señales en el dominio del tiempo . . . . .	4
1.1.1.	Señal sinusoidal . . . . .	4
1.2.	Modulación . . . . .	5
1.3.	Multiplexaje . . . . .	7
1.4.	Señales en el dominio de la frecuencia . . . . .	8
1.4.1.	Espectro de una señal periódica . . . . .	8
1.4.2.	Espectro de una señal aperiódica . . . . .	8
1.4.3.	Ruido . . . . .	9
1.4.3.1.	Relación señal a ruido (S/N) . . . . .	9
1.5.	Unidades de medición . . . . .	10
1.5.1.	Unidad (dBm) . . . . .	10
1.5.2.	Unidad (dBi) . . . . .	12
<b>2.</b>	<b>Radiocomunicaciones</b>	<b>13</b>
2.1.	Espectro Radioeléctrico . . . . .	13
2.2.	Radiocomunicaciones . . . . .	14
2.3.	Interferencia . . . . .	16
2.3.1.	Interferencia admisible . . . . .	16
2.3.2.	Interferencia aceptada . . . . .	16
2.3.3.	Interferencia perjudicial . . . . .	16
2.4.	Mecanismos de interferencia . . . . .	17
2.4.1.	Interferencia co-canal . . . . .	17
2.4.2.	Interferencia de canal adyacente . . . . .	19

<b>3. Atribuciones del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT)</b>	<b>21</b>
3.1. Actividades del Especialista en Atención a Interferencias . . . . .	22
3.2. Relación de las actividades con el perfil de egreso . . . . .	23
3.3. Vigilancia del Espectro Radioeléctrico . . . . .	24
3.4. Radiogoniometría . . . . .	25
<b>II Casos de estudio</b>	<b>30</b>
<b>4. Localización de interferencias radioeléctricas</b>	<b>32</b>
4.1. Caso 1 . . . . .	32
4.2. Caso 2 . . . . .	38
4.3. Caso 3 . . . . .	43
4.4. Caso 4 . . . . .	47
4.5. Caso 5 . . . . .	49
4.6. Caso 6 . . . . .	53
4.7. Caso 7 . . . . .	58
<b>5. Conclusiones</b>	<b>63</b>
<b>III Referencias técnicas</b>	<b>65</b>

# Parte I

## Fundamentos de comunicaciones

# Capítulo 1

## Conceptos básicos de señales

En este capítulo se hace una breve descripción de las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia, ya que ambas representaciones nos dan información sobre la naturaleza propia de la señal, es decir, se complementan. De igual manera, se menciona el proceso de modulación y codificación que requieren las señales para poder ser transmitidas con éxito. Por último, se explican las unidades específicas necesarias para cuantificar adecuadamente las señales a analizar.

### 1.1. Señales en el dominio del tiempo

#### 1.1.1. Señal sinusoidal

Las señales de tiempo continuo tal como una senoide, al ser fáciles de generar, tienen como parámetros característicos la amplitud, frecuencia y fase conforme transcurre el tiempo [1]. Las señales eléctricas que a diario se transmiten en los sistemas de comunicación, tienen como base para su análisis las senoides. Una senoide se describe por medio del siguiente modelo matemático y cuya representación gráfica aparece en la Figura 1.1.1:

$$v(t) = V_m \cdot \cos(\omega_o t + \phi) \quad (1.1.1)$$

Donde:

$V_m$  es la amplitud de la señal de voltaje en volts (V)

$\omega_o$  es la frecuencia angular fundamental (rad/s)

$\phi$  es la fase de la señal (rad)

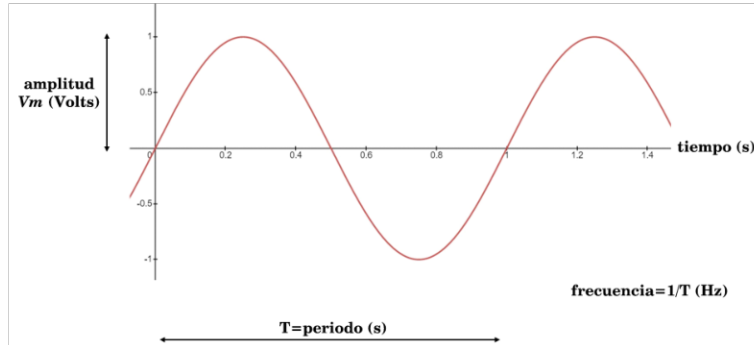


Figura 1.1.1: Representación gráfica del modelo matemático de una señal sinusoidal

La señal sinusoidal es periódica, con periodo fundamental  $T_o$  en segundos (s):

$$T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} \quad (1.1.2)$$

La frecuencia fundamental de la señal es  $f_o$  en Hertz (Hz) y es el recíproco del periodo:

$$f_o = \frac{1}{T_o} \quad (1.1.3)$$

## 1.2. Modulación

Un punto clave dentro de un sistema de radiocomunicaciones es la codificación de la información que se va a transmitir a la estación receptora. El proceso de codificación se llama modulación. La modulación es la modificación de alguno o varios parámetros (amplitud, frecuencia o fase) de una señal portadora senoidal de alta frecuencia por medio de una señal en banda base (señal del mensaje). El objetivo es trasladar las señales en banda base hacia una frecuencia adecuada para su transmisión por una antena. La señal modulada puede ser transmitida por diferentes tipos de técnicas de modulación analógica o digital [1].

Dentro de las técnicas de modulación analógica, tenemos:

**AM** (Modulación en Amplitud)

**FM** (Modulación en Frecuencia)

## PM (Modulación en Fase)

En la Figura 1.2.1 se muestra un ejemplo de modulación de frecuencia (FM).

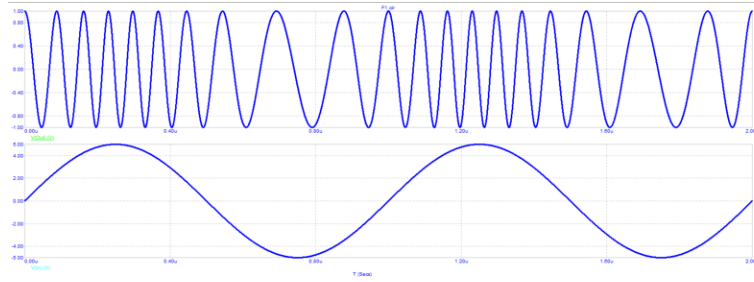


Figura 1.2.1: Modulación en frecuencia (FM).

Por otro lado, las técnicas de modulación digital ofrecen algunas ventajas sobre la modulación analógica, como son [2]:

- Bajas relaciones de señal a ruido (S/N) en el equipo receptor
- Incluyen codificación para reducir los errores
- Incluyen encriptación
- Multiplexaje de varios tipos de comunicación
- Mejor administración por medio del software

Un ejemplo de las técnicas de modulación digital es QPSK, mostrada en la Figura 1.2.2

**QPSK** (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura)-Señal analógica modulada digitalmente

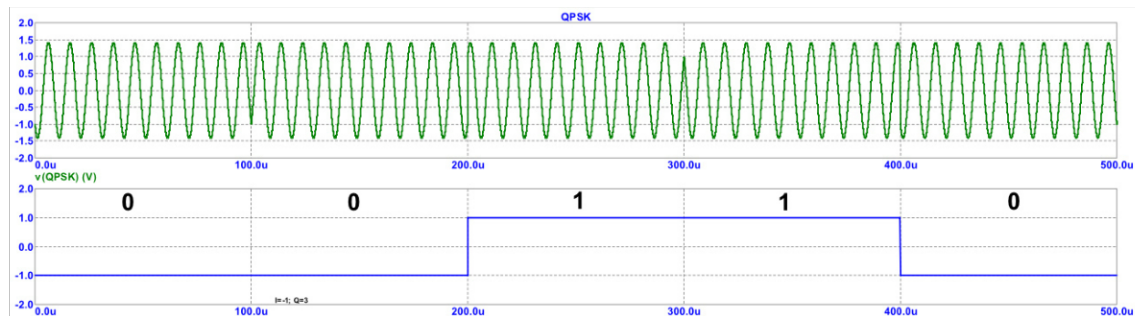


Figura 1.2.2: Modulación digital (QPSK).

### 1.3. Multiplexaje

El multiplexaje es la técnica de acceso al canal para transmitir gran cantidad de información a través de un ancho de banda finito [2].

**FDMA** (Acceso Múltiple por División de Frecuencia). En este método cada usuario puede utilizar una parte del espectro, es decir, a cada usuario se le asigna una frecuencia en específico para transmitir.

**TDMA** (Acceso Múltiple por División de Tiempo). A cada usuario se le asigna un intervalo de tiempo para transmitir utilizando toda el ancho de banda del canal de transmisión. En el caso de telefonía móvil la voz se digitaliza y se divide en bloques de una determinada longitud, y se transmiten en los intervalos de tiempo dejando libres los tiempos no utilizados para que otros usuarios puedan transmitir.

**CDMA** (Acceso Múltiple por División de Código). Todos los usuarios pueden transmitir al mismo tiempo y en la misma banda de frecuencias, esto se logra al asignarle un código que los diferencia del resto de usuarios. La Figura 1.3.1 muestra el espectro de una señal CDMA..

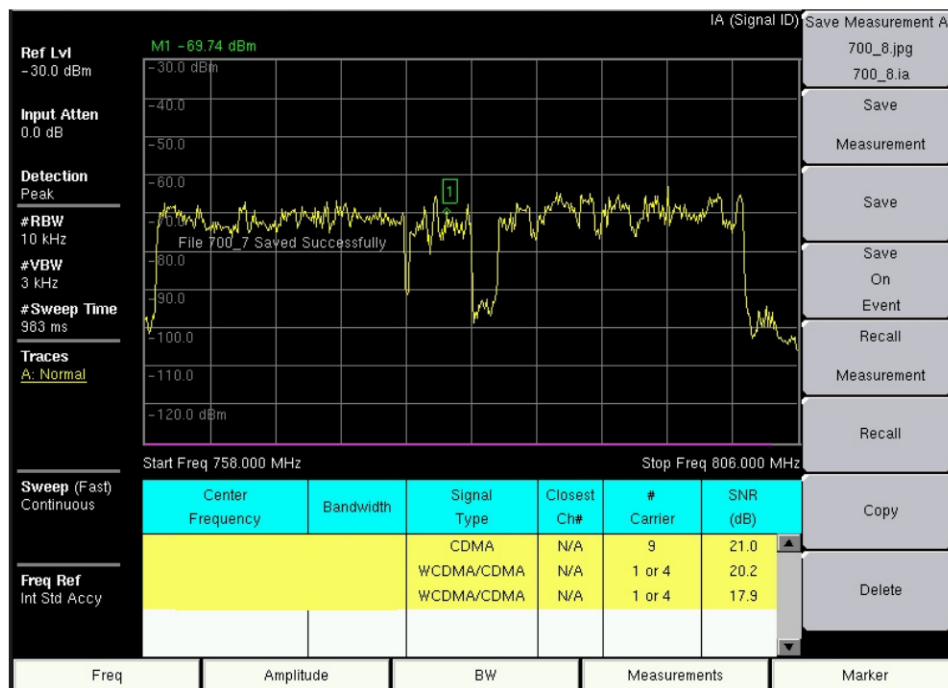


Figura 1.3.1: Espectro de señales CDMA.

## 1.4. Señales en el dominio de la frecuencia

### 1.4.1. Espectro de una señal periódica

El espectro de una señal es la representación del contenido armónico de dicha señal. El contenido armónico nos da información sobre la cantidad de componentes en frecuencia que tiene una señal y por consiguiente de su ancho de banda en Hz. El ancho de banda de una señal es fundamental para poderla cuantificar de manera precisa [1].

El equipo electrónico de medición llamado analizador de espectros es el encargado de proporcionar la información con respecto al contenido armónico de la señal con base en la teoría de Fourier. Por ejemplo, una senoidal pura posee un solo componente armónico y a esa se le llama la armónica fundamental. Por otro lado, una señal triangular contiene infinidad de componentes armónicos además de la fundamental, como se puede ver en la Figura 1.4.1. Conocer la cantidad de armónicos de una señal nos permite modificar la forma de la señal por medio de filtrado al eliminar componentes de frecuencia no útiles.

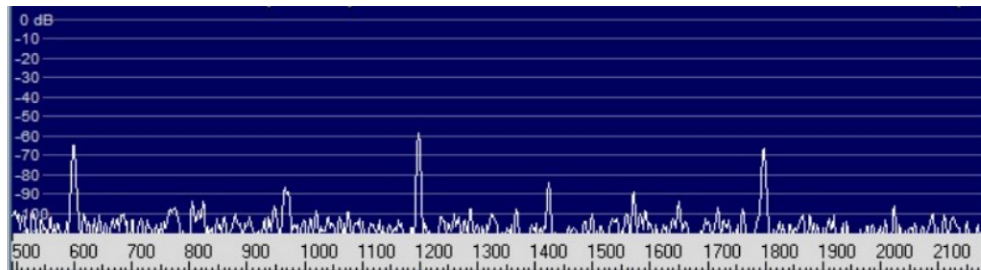


Figura 1.4.1: Espectro de una señal periódica (señal triangular con  $f_0=600$  Hz).

### 1.4.2. Espectro de una señal aperiódica

En el caso de una señal aperiódica en el dominio del tiempo, su contenido espectral es un continuo de frecuencias (no es posible identificar una armónica fundamental ni las demás armónicas superiores). También aquí es posible aplicar filtrado para eliminar frecuencias indeseadas de la señal. La Figura 1.4.2 nos muestra el espectro de una señal aperiódica.

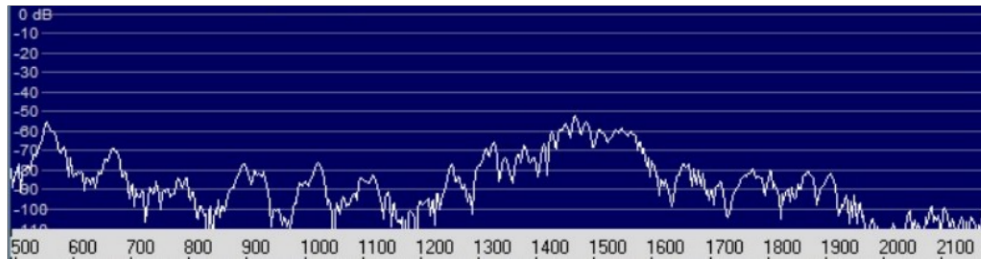


Figura 1.4.2: Espectro de la señal de voz.

### 1.4.3. Ruido

El ruido siempre aparece contenido en todo tipo de señales de información. En el dominio de la frecuencia es más factible el estudio para su análisis y posterior procesamiento. Si no se contiene adecuadamente la cantidad de ruido, este puede llegar a corromper datos y, por consiguiente, la información en el extremo receptor del sistema de comunicación será ininteligible (datos corruptos) [3].

La consideración del ruido cuando se analiza el espectro de una señal tiene muchas implicaciones, por ejemplo, siempre existe un nivel de ruido (relación señal a ruido S/N) sobre el cual se cuantifica dicha señal. Dicho nivel nos va a permitir identificar mejor un espectro de señal, como se ve en la Figura 1.4.3 donde el nivel de piso de ruido está en -110 dB.

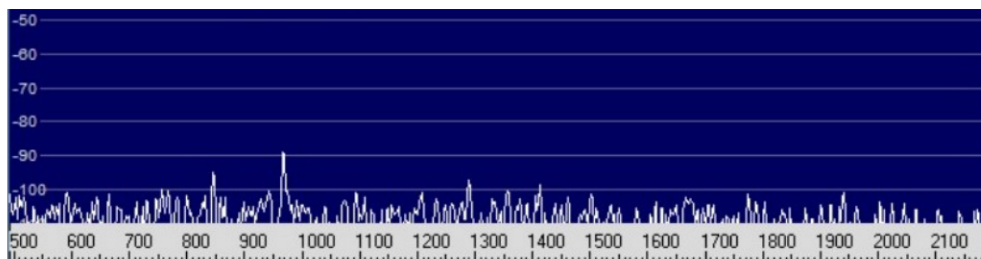


Figura 1.4.3: Ruido siempre presente en todo tipo de comunicación.

#### 1.4.3.1. Relación señal a ruido (S/N)

La relación señal a ruido (SNR) es la relación medida comúnmente en dB entre el nivel de señal recibido y el nivel de piso de ruido para una señal en particular. La SNR es lo más importante en el extremo receptor del sistema de radiocomunicación, ya que este nivel es el punto de inflexión para poder demodular y decodificar un paquete

de datos de manera exitosa [3]. La Figura 1.4.4 muestra para este caso particular una SNR=12.6 dB



Figura 1.4.4: Relación señal a ruido (SNR).

## 1.5. Unidades de medición

### 1.5.1. Unidad (dBm)

El Decibel dB es una unidad que se utiliza para comparar la magnitud entre dos señales. Por ejemplo, si un amplificador de voltaje tiene a la entrada una señal de 1 mV y a la salida 10 V, tendríamos una relación de  $V_{salida}/V_{entrada}=10,000$ . O en caso contrario, una señal de entrada de 1 V y de 1  $\mu$ V a la salida, tendríamos una relación de  $V_{salida}/V_{entrada}=0.00001$ . En ambos casos, muchas veces son poco comprensibles los resultados y es allí donde los decibeles aportan información a ese resultado. Por definición, tenemos la siguiente relación en potencia [4]:

$$A = 10 \log_{10}(a)$$

$$a = 10^{A/10}$$

Para el caso en donde manejamos señales de voltaje, tenemos:

$$Ganancia(dB) = 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i}$$

Donde:

$V_o$  es el voltaje de salida (Volts)

$V_i$  es el voltaje de entrada (Volts)

Para el primer caso, tenemos:  $Ganancia(dB) = 20 \log_{10}(10/1m) = +80 \text{ dB}$  (implica que la señal de salida se está amplificando).

Para el segundo caso:  $Ganancia(dB) = 20 \log_{10}(1u/1) = -120 \text{ dB}$  (implica que la señal de salida se está atenuando).

Por esta razón los decibeles son útiles para indicar si una señal se amplifica o atenúa al pasar por un radiotransmisor o amplificador, etc.

Un dBm está referenciado a 1 mW de potencia, matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$dBm = 20 \log_{10} \frac{P (W)}{1 \text{ mW}}$$

Debido a que los sistemas de radiocomunicación envían señales al espacio libre, existe una comparación con relación a la potencia transmitida por el emisor (PTx) y la potencia recibida por el equipo de medición (PRx). Para los casos prácticos de este trabajo, como los niveles de las señales son menores a los niveles que radian de la antena transmisora hay una reducción y por lo tanto tenemos pérdida de la potencia de la señal, esto se debe a la ley del inverso del cuadrado, que establece que la magnitud de radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente que emite la radiación. Es así que, a medida que se aleja un frente de onda de la fuente el campo electromagnético continuo se dispersa ocasionando que su intensidad disminuya, a esto se le conoce como atenuación de la onda.

Tomando en cuenta lo anterior, podemos decir que entre más nos acerquemos a la fuente transmisora los niveles se irán acercando a 0 dBm y se consideraría que no existe atenuación de la señal.

### 1.5.2. Unidad (dBi)

Un dBi se define como la ganancia en relación a una antena isotrópica, por lo tanto se considera como el cociente entre la intensidad de campo que produce una antena y la intensidad de campo en el mismo punto radiado por una antena isotrópica (Recomendación UIT-R V.574-5) [10].

La Figura 1.5.1 muestra una antena Log periódica. En la misma figura se muestra una gráfica con la respuesta en ganancia (dBi) de la antena con respecto a la frecuencia de operación.

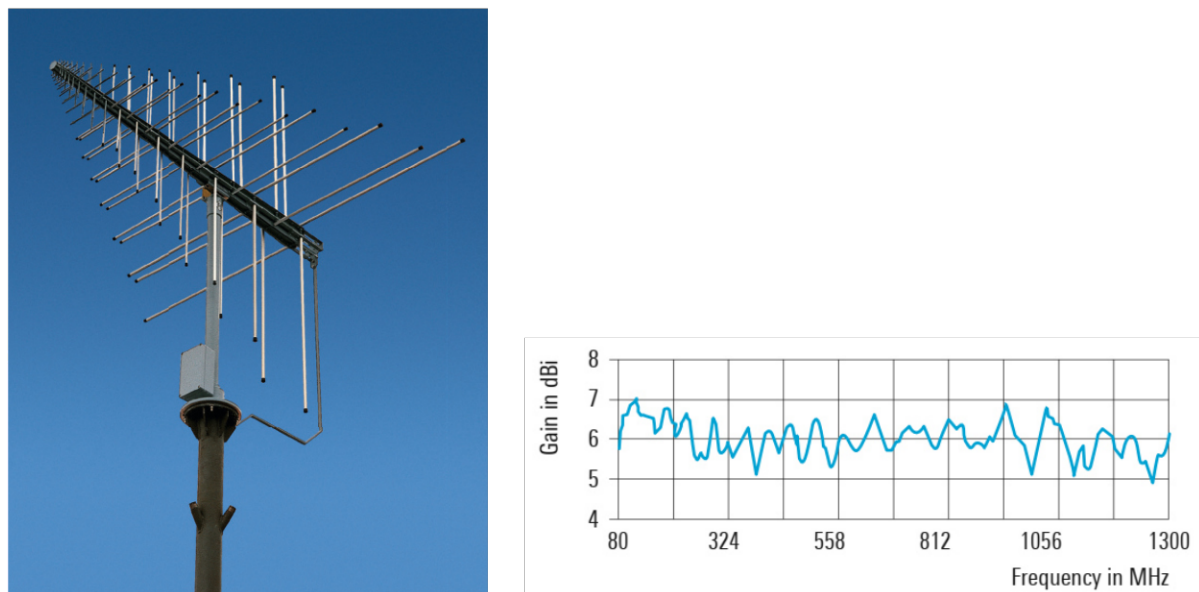


Figura 1.5.1: Antena Log periódica.

# Capítulo 2

## Radiocomunicaciones

### 2.1. Espectro Radioeléctrico

La Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTyR) [8] define en su artículo 3, fracción XXI al *Espectro Radioeléctrico* como: el espacio que permite la propagación sin guía artificial de ondas electromagnéticas cuyas bandas de frecuencias se fijan por debajo de los 3000 GHz. El espectro radioeléctrico es un recurso natural finito que tiene cada vez más demanda debido al acelerado incremento en el desarrollo de los servicios de comunicaciones móviles y las futuras tecnologías radioeléctricas. Se trata de un bien de la nación intangible y es necesario administrarlo en interés de todos los ciudadanos, así el estado, a través del IFT tiene la atribución de regular el aprovechamiento de las radiocomunicaciones, incluyendo además la autorización para el uso adecuado y asegurando que se cumplan las normas de gestión del espectro. En resumen, el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado de alta demanda, fundamental en materia de las telecomunicaciones inalámbricas, siendo parte del espacio aéreo que a través del mismo, sirve como el medio en el que viajan las ondas electromagnéticas empleadas para transmitir información y así proveer diferentes servicios de telecomunicaciones y radiodifusión en beneficio de los usuarios.

En la LFTR las bandas del espectro radioeléctrico se clasifican de acuerdo con lo siguiente:

1. *Espectro determinado*: Bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias; a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público.

2. *Espectro libre*: Bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el Instituto, sin necesidad de concesión o autorización.
3. *Espectro protegido*: Bandas de frecuencia atribuidas a nivel mundial y regional a los servicios de radionavegación y de aquellos relacionados con la seguridad de la vida humana, así como cualquier otro que deba ser protegido conforme a los tratados y acuerdos internacionales. El Instituto llevará a cabo las acciones necesarias para garantizar la operación de dichas bandas de frecuencia en condiciones de seguridad y libre de interferencias perjudiciales.
4. *Espectro reservado*: Es aquel cuyo uso se encuentre en proceso de planeación y, por tanto, es distinto al determinado, libre o protegido.

## 2.2. Radiocomunicaciones

Se entiende a las radiocomunicaciones como toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza que se transmite por ondas de radio por el espacio sin guía artificial, pueden ser terrenales o espaciales en las cuales se utilizan uno o varios satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio. Todo sistema de radiocomunicación debe contar con los siguientes elementos: equipo transmisor (Tx), antena transmisora, medio de propagación, antena receptora y un equipo receptor (Rx), tal como se muestra en la Figura 2.2.1. En nuestros días las radiocomunicaciones las encontramos por todas partes, como en los sistemas de telefonía móvil, la televisión digital terrestre, radioenlaces punto a punto y punto multipunto, la radio, radiocomunicación privada, por mencionar algunos, pero, así como se tiene grandes beneficios también se encuentra con algunas limitaciones, el comparativo se muestra a continuación [2].

### *Ventajas de las radiocomunicaciones*

- No se necesita obra civil.
- Se adecua para las zonas aisladas o de difícil acceso.
- Rápido despliegue.
- Implantación y crecimiento progresivo.

- Menor coste de mantenimiento.

### *Desventajas de las radiocomunicaciones*

- Se comparte el medio de transmisión ocasionando interferencias.
- Fiabilidad y disponibilidad del servicio provocadas por las condiciones atmosféricas
- Privacidad de comunicación comprometida si no se cuenta con técnicas de modulación y encriptación adecuadas
- Radiaciones electromagnéticas provenientes de fuentes ajenas al enlace de radio que pueden causar interferencia entre el transmisor y el receptor

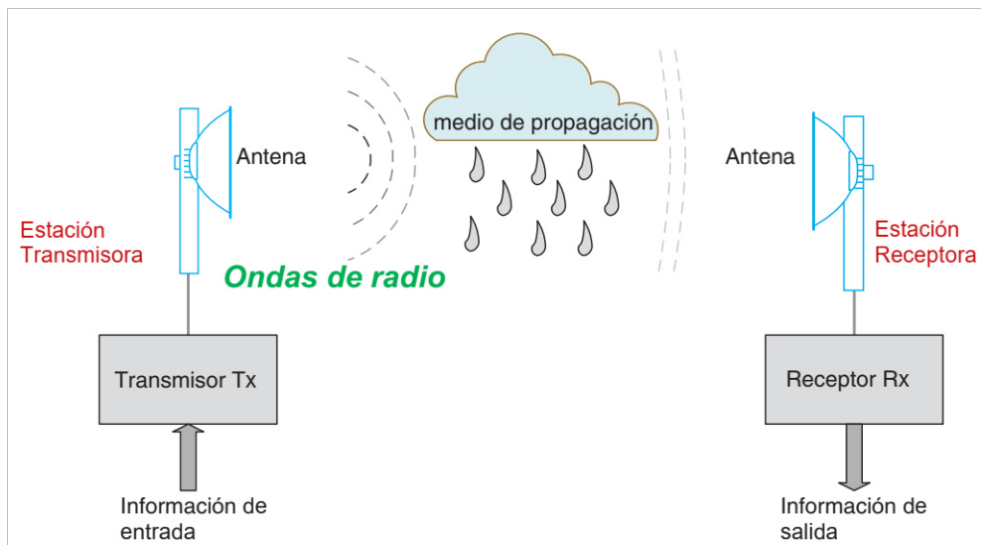


Figura 2.2.1: Sistema de Radiocomunicación.

El espectro radioeléctrico está dividido cada  $3 \times 10^n$  Hz en bandas con nomenclatura y rangos de acuerdo a la Tabla 1. Cada administración debe usar la nomenclatura indicada en el cuadro de la recomendación Rec. UIT-R V.431-8 [9].

Número de la banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
3	ULF	300-3 000 Hz	Ondas hectokilométricas	B.hkm
4	VLF	3-30 kHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30-300 kHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300-3 000 kHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3-30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30-300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300-3 000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3-30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30-300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300-3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	B.dmm
13		3-30 THz	Ondas centimilimétricas	B.cmm
14		30-300 THz	Ondas micrométricas	B.μm
15		300-3 000 THz	Ondas decimicrométricas	B.dμm

Tabla 1. Nomenclatura de las bandas de frecuencia.

## 2.3. Interferencia

Es el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información, y se definen en tres niveles admisible, aceptada y perjudicial, mismas que se describen en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT [12] :

### 2.3.1. Interferencia admisible

Interferencia observada o prevista que satisface los criterios cuantitativos de interferencia y de compartición. Artículo 1.167 del RR.

### 2.3.2. Interferencia aceptada

Interferencia de nivel más elevado que el definido como interferencia admisible, que ha sido acordada entre dos o más administraciones sin perjuicio para otras administraciones. Artículo 1.168 del RR.

### 2.3.3. Interferencia perjudicial

Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repe-

tidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación explotado. Artículo 1.169 del RR.

## 2.4. Mecanismos de interferencia

### 2.4.1. Interferencia co-canal

Interferencia generada por múltiples transmisores funcionando en la misma frecuencia. Este caso es muy común en las frecuencias asignadas al servicio de radiodifusión 88-108 MHz en el que usuarios no autorizados transmiten en el canal de un concesionario, o cuando en transmisiones de dos concesionario no se cumplen los requisitos mínimos como la distancia entre estaciones y la potencia de alguno de ellos excede la zona de cobertura. Para tener una visión más clara tomaremos como referencia la tabla 3 del “ACUERDO mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones expide la Disposición Técnica IFT-002-2016 [13]. Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de las estaciones de radiodifusión sonora en frecuencia modulada en la banda de 88 MHz a 108 MHz”.

CLASES DE ESTACIONES	MISMO CANAL	1er CANAL ADYACENTE (A 200 kHz)	2° / 3er CANAL ADYACENTE (A 400 kHz / 600 kHz)
A-A	100	61	25
A-AA	111	68	31
A-B1	138	88	48
A-B	163	105	65
A-C1	196	129	74
A-C	210	161	94
AA-AA	115	72	31
AA-B1	143	96	48
AA-B	178	125	69
AA-C1	200	133	75
AA-C	226	165	95
B1-B1	175	114	50
B1-B	211	145	71
B1-C1	233	161	77
B1-C	259	193	96
B-B	237	164	65
B-C1	270	195	79
B-C	270	215	98
C1-C1	245	177	82
C1-C	270	209	102
C-C	290	228	105

Como interferencia co-canal, tenemos el siguiente ejemplo: Un concesionario marcado para la clase AA está en la ciudad de Querétaro y otro concesionario marcado para la estación B se pone en la ciudad de León. La distancia obtenida de acuerdo

a Google Maps es de 148 km, y según el acuerdo (ver Tabla 3), tendría que tener una distancia de separación mínima de 178 km. Teniendo en cuenta lo anterior, si otro concesionario quisiera transmitir desde la ciudad de León en la misma frecuencia, ocasionaría interferencia.

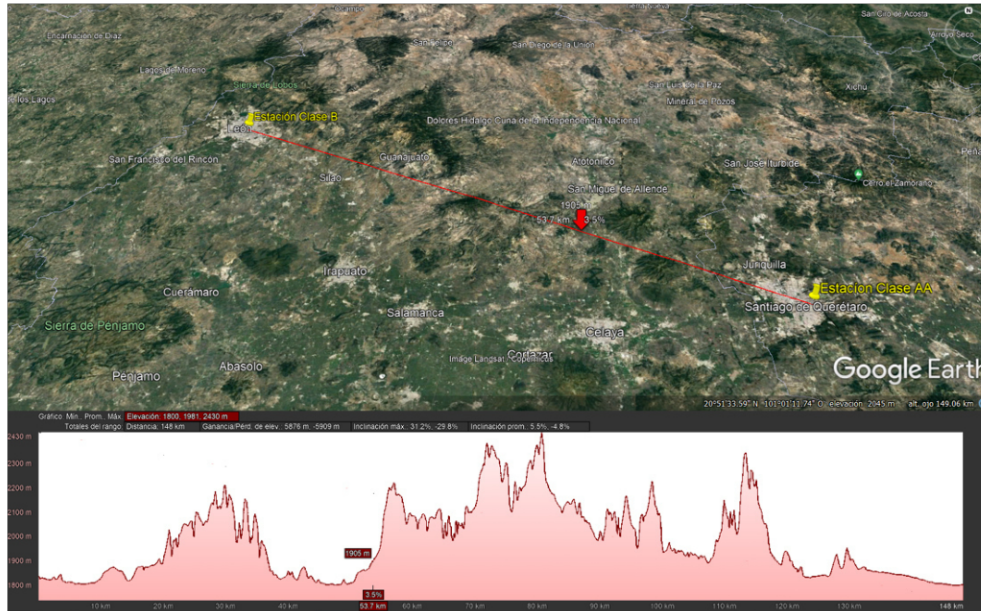


Figura 2.4.1: Ejemplo de separación entre estaciones.

Este mecanismo también se puede presentar en las redes celulares como por ejemplo, el caso de un amplificador de telefonía celular cuando el usuario del amplificador lo coloca para un determinado operador de la red, pero el equipo, al no contar con homologación, opera afectando el siguiente canal.

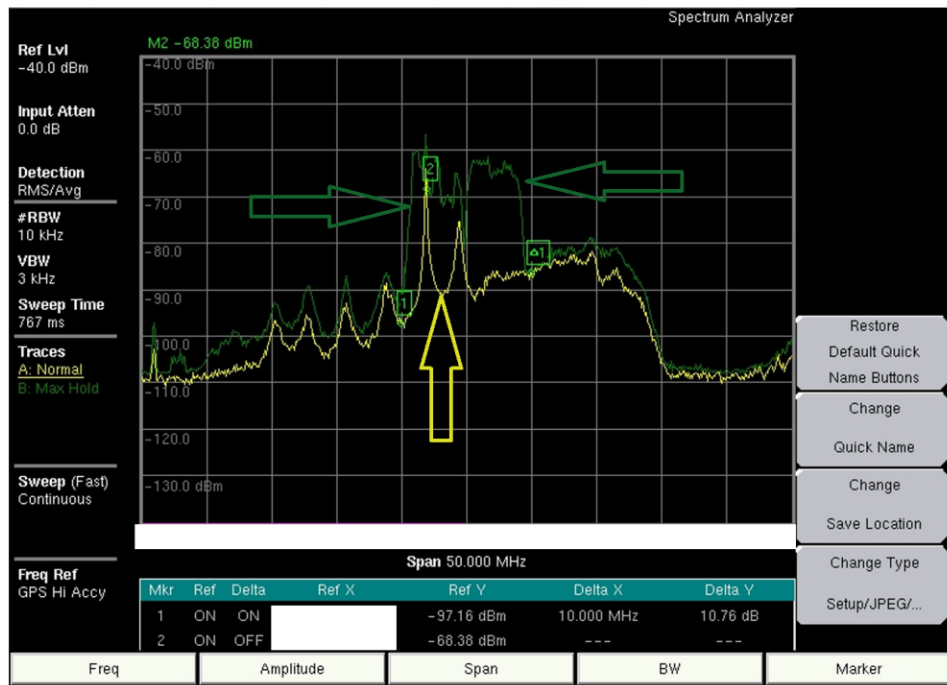


Figura 2.4.2: Ejemplo de interferencia co-canal.

En la Figura 2.4.2 se tiene una interferencia co-canal, la cual es analizada mediante dos trazos: verde y amarillo. El trazo de color verde está asignado a un operador X conforme a la tenencia del espectro radioeléctrico en México. El trazo de color amarillo es el trazo activo o de tiempo real, gracias al cual, se observa la existencia de una señal interferente co-canal (señal que se encuentra dentro del canal del operador X) degradando la calidad del servicio.

### 2.4.2. Interferencia de canal adyacente

Es la interferencia generada por el desbordamiento de la energía de radiofrecuencia de canales próximos o adyacentes.

En la Figura 2.4.3 se observa el espectro emitido por un bloqueador de señal con frecuencia central indicado con la flecha número 1 y cuyo ancho de banda es aproximadamente de 96 MHz (marcado entre las flechas números 2 y 3). El rectángulo de color azul representa el ancho de banda que está asignado al servicio satelital de un operador X. En dicho rectángulo, se debería observar un nivel de piso de ruido (aproximadamente -115 dBm), sin embargo, aparecen señales con niveles de -100 dBm, lo cual indica, que existen señales interferentes.

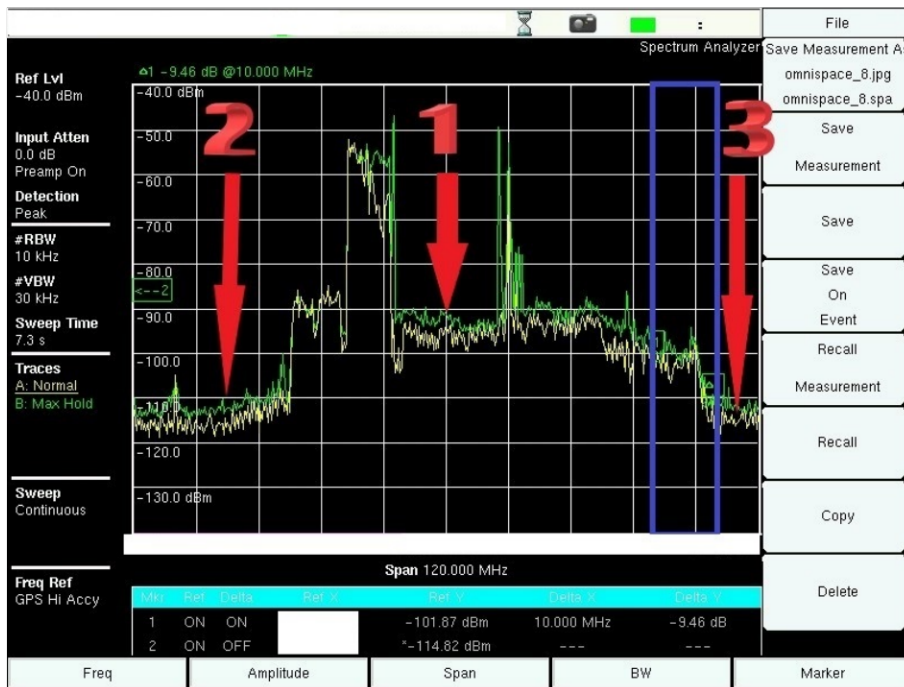


Figura 2.4.3: Ejemplo de interferencia adyacente.

## Capítulo 3

# Atribuciones del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT)

El IFT es un órgano público autónomo, que tiene por objeto regular y promover la competencia y el desarrollo de las telecomunicaciones y la radiodifusión, tiene a su cargo la regulación , promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, los recursos orbitales, los servicios satelitales, las redes de telecomunicaciones, incluyendo las redes públicas de telecomunicaciones, y la prestación de los servicios públicos de interés general de radiodifusión y de telecomunicaciones. Es la autoridad en materia de competencia económica de los sectores de radiodifusión y telecomunicaciones, también es la autoridad en materia de lineamientos técnicos relativos a la infraestructura y equipos que se conecten a las redes de telecomunicaciones [8]. De acuerdo al Estatuto Orgánico del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT): En el artículo 4 seccion X, subsección iii, se encuentra la Dirección General Adjunta de Vigilancia del Espectro Radioeléctrico (DGA-VESRE) ver Figura 3.0.1.

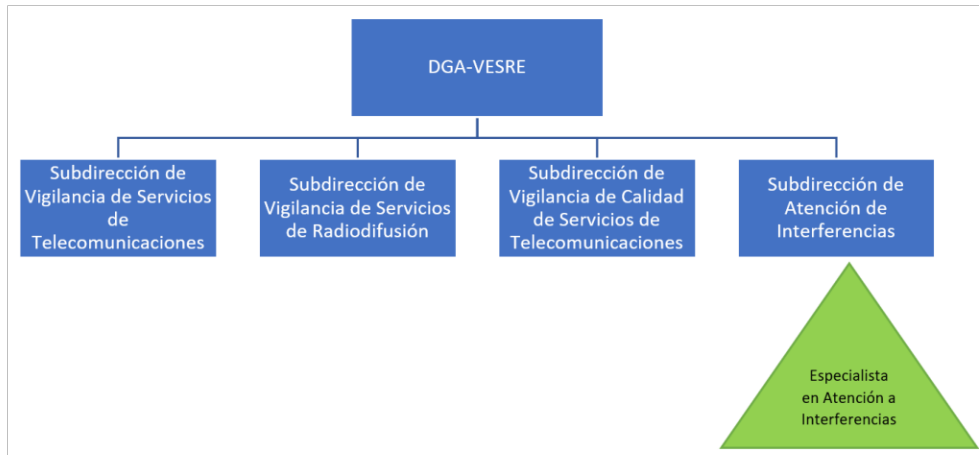


Figura 3.0.1: Diagrama (DGA-VESRE).

La Subdirección de Atención de Interferencias de la que formo parte como Especialista en Atención a Interferencias, es la encargada de llevar a cabo la identificación de interferencias perjudiciales y demás perturbaciones a los sistemas y servicios autorizados que hacen uso del espectro radioeléctrico y de proponer o tomar las medidas correspondientes para corregirlas o eliminarlas como principal actividad, como se indica en el artículo 45 III BIS del Estatuto Orgánico del IFT [15].

### 3.1. Actividades del Especialista en Atención a Interferencias

Las actividades atribuidas en el puesto son las que se enlistan a continuación [14]:

- Recabar y revisar la información necesaria (permisos, concesiones, reglamentos, resoluciones, bases de datos, etc.), para llevar a cabo el monitoreo y vigilancia del espectro radioeléctrico.
- Operar los equipos electrónicos a fin de llevar a cabo actividades de vigilancia, supervisión y control técnico de las emisiones radioeléctricas de los servicios de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico y de radiodifusión.
- Ejecutar las acciones de apoyo cuando sea requerido para realizar las mediciones de vigilancia de la calidad de los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión.

- Ejecutar las acciones de apoyo cuando sea requerido para el monitoreo y vigilancia en materia de control técnico de las emisiones radioeléctricas de los servicios de radiodifusión.
- Realizar las actividades de monitoreo y vigilancia del espectro radioeléctrico para asegurar la corrección o eliminación de las interferencias perjudiciales.

Los trabajos realizados son reactivos a las quejas presentadas por los usuarios que cuentan con títulos de concesión o permisos otorgados por el instituto, una vez que es puesta la queja ante la Oficialía de partes, se procede a recabar la información, como lo es el tipo de servicio, banda de frecuencia, coordenadas y horarios en los que se presenta la interferencia con la finalidad de saber qué tipo de equipo será necesario utilizar.

## **3.2. Relación de las actividades con el perfil de egreso**

Al haber concluido los créditos de la licenciatura de Ingeniería en Sistemas Electrónicos y de Telecomunicaciones, adquirí los conocimientos y conceptos teóricos matemáticos, electrónicos, lógicos, analíticos y de ingeniería aplicándolos a la vida real en el campo de las telecomunicaciones para poder desempeñar con profesionalismo las actividades que demanda el perfil de especialista en atención a interferencias; lo que me ha permitido, a lo largo de 6 años obtener la experiencia y mejores prácticas en la búsqueda de interferencias que afectan a los diferentes servicios de las bandas del espectro radioeléctrico.

Los conocimientos teóricos, me han ayudado a resolver los casos de interferencias durante el periodo laborado, pues se requiere del entendimiento de las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) al momento de estar en campo, así como entender los mecanismos de propagación de las señales para considerar el equipo de monitoreo y localización óptimo y necesario de acuerdo al tipo de señal a localizar; saber la metodología a usar es fundamental para reducir tiempo en la búsqueda de la señal interferente, realizando trabajos de ingeniería porque cada caso es diferente. A todo lo anterior se agrega el avance y desarrollo de las nuevas tecnologías y disposiciones técnicas que el IFT emite, por lo anterior es importante reforzar y actualizar los conocimientos académicos.

### **3.3. Vigilancia del Espectro Radioeléctrico**

Para poder realizar las actividades de monitoreo de los parámetros técnicos y localización de interferencias, la DGA-VESRE cuenta con equipo electrónico portátil como analizadores de espectro, entre otros accesorios complementarios se tienen frecuencímetros, antenas direccionales y omnidireccionales. Para las mediciones de calidad del servicio móvil, calidad de Televisión Digital Terrestre y la precisión de llamadas al número de emergencia 911. Las estaciones móviles y transportables se utilizan para realizar los trabajos de radiogoniometría de manera automática y computarizada por medio de procesadores de señales y arreglos de antenas para cada servicio con la finalidad de localizar usuario no autorizados y señales interferentes cuando las condiciones del tipo de terreno, la potencia de recepción y el mecanismo de propagación de las señales lo permiten.

Los equipos portátiles y las antenas se utilizan para realizar los trabajos de radiogoniometría con más precisión en interiores, ya sea, edificios o domicilios particulares donde pudieran encontrarse equipos que generan señales interferentes, por ejemplo, los amplificadores de teléfonos inalámbricos y las cámaras de videovigilancia.

Los equipos electrónicos mencionados ayudan al personal del IFT a identificar las transmisiones que no se ajustan a los lineamientos, ya sea porque no están autorizados o por algún incumplimiento técnico de la transmisión de las normas o reglamentos nacionales. La información obtenida por el monitoreo tiene la finalidad de asegurar que un determinado transmisor esté operando dentro de los límites especificados y es información útil para identificar y resolver la causa de alguna interferencia. Un ejemplo de este problema es la detección de una interferencia de intermodulación que resulta de una combinación de transmisores y emisiones no esenciales y no deliberadas. Es en el monitoreo donde se llevan a cabo los análisis de ingeniería para resolver los distintos tipos de interferencias, debido a que al momento de realizar el monitoreo es difícil separar las señales legales de aquellas que no cuentan con permiso o título de concesión para operar en México. La radiogoniometría, las estaciones móviles, junto a la información obtenida de la observación auditiva y el buen análisis del monitoreo, ayudan a identificar y localizar los transmisores ilegales una vez que se ha detectado su funcionamiento.

### 3.4. Radiogoniometría

El objetivo de la radiogoniometría es determinar la línea de marcación de una fuente que radia ondas electromagnéticas utilizando sus propiedades de propagación, es decir, si son enlaces punto a punto, punto-multipunto, servicios de radiodifusión AM, FM o TDT, aeronáutico, etc. Para los casos que se enlistan se utilizan varios radiogoniómetros (métodos de triangulación) o métodos de localización directa [12].

- Localización de un transmisor en situación de emergencia.
- Localización de un transmisor no autorizado.
- Localización de un transmisor interferente que no puede ser identificado por otros medios.
- Determinar el emplazamiento de una fuente de interferencia perjudicial para la recepción, tales como equipos eléctricos, aisladores defectuosos en una línea de alta tensión, etc.
- Identificar los transmisores, tanto conocidos como desconocidos.

En términos generales, se dice que la radiogoniometría es un sensor que determina el azimut y el ángulo de elevación, en algunos casos de la onda electromagnética en estudio en condiciones ideales con respecto a una dirección de referencia. Para los casos de estudio se toma el norte geográfico como referencia, ya que se hace uso de Google Maps, el cual, utiliza coordenadas geográficas y UTM (sistema de coordenadas universal transversal de Mercator-en inglés Universal Transverse Mercator).

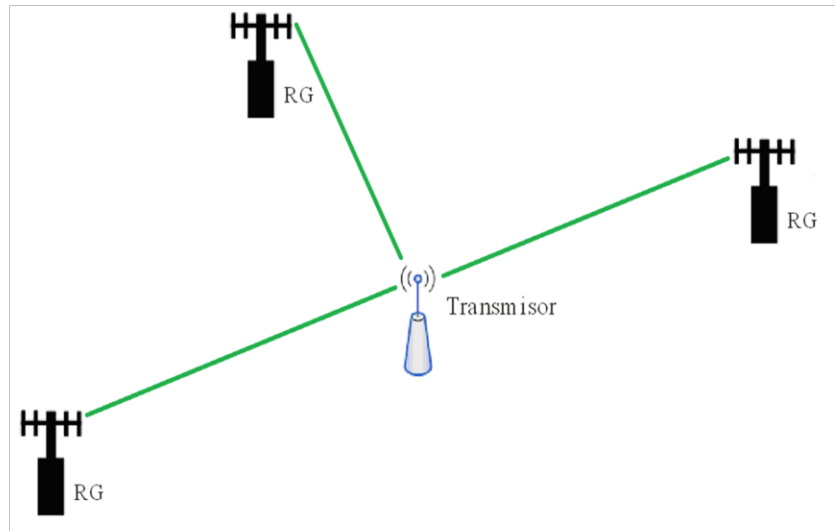


Figura 3.4.1: Sistema de transmisión con radiogoniómetros (RG).

Un sistema de antenas, un conjunto de elementos de recepción y un procesador de radiogoniometría componen la arquitectura de todos los radiogoniómetros y los resultados básicos que se deben analizar son: el ángulo de llegada, amplitud de señal, calidad de la marcación, representación gráfica del espectro y mapa. En la Figura 3.4.2 se muestra la información generada de radiogoniometría por el método de triangulación. Del lado izquierdo superior, se observa el ángulo de llegada de la señal de análisis ( $208.9^\circ$ ), estos grados están referenciados al frente de la unidad móvil en método automático (ver Figura 3.4.3). La amplitud de la señal es de  $-67$  dBm que se muestra en la parte inferior izquierda. La calidad de la marcación (indicada como CF en el recuadro) tiene como margen mínimo  $70\%$  para hacer una marcación confiable y considerar que el ángulo de llegada es correcto. La gráfica central, indica en color azul el trazo activo de la señal y en color rojo el ancho de banda que es de  $200$  kHz.

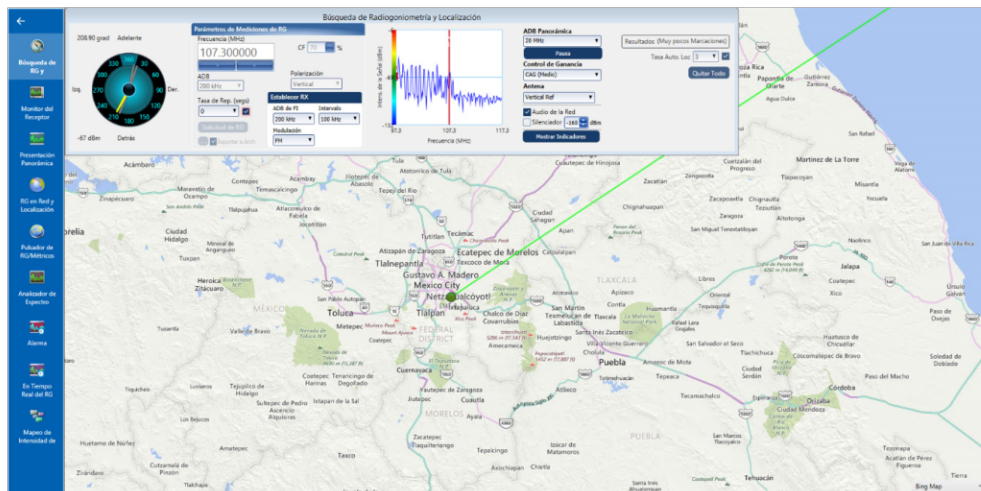


Figura 3.4.2: Radiogoniometría con el método de triangulación.

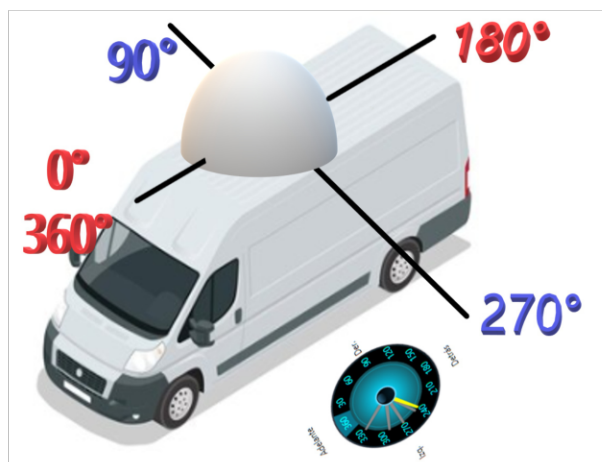


Figura 3.4.3: Referencia del ángulo de llegada de la señal a analizar con la unidad móvil.

Los trabajos de radiogoniometría se pueden realizar de manera manual, esto implica la destreza y el conocimiento de cada persona que se dedica a la localización de interferencias. Un trabajo de radiogoniometría en forma manual requiere de: una antena directiva, un analizador de espectro o receptor y una brújula, lo que hace que las marcaciones del ángulo de llegada sea referenciado al norte geográfico. Al momento de realizar trabajos de radiogoniometría por este método, hay que considerar que no se trata de un caso ideal y que por consiguiente se deben tomar en cuenta las perturbaciones del ambiente debido a la propagación de las ondas en la tierra y en la atmosfera, el ruido no deseado, trayectos múltiples de la señal o fuentes múltiples en algunos casos.

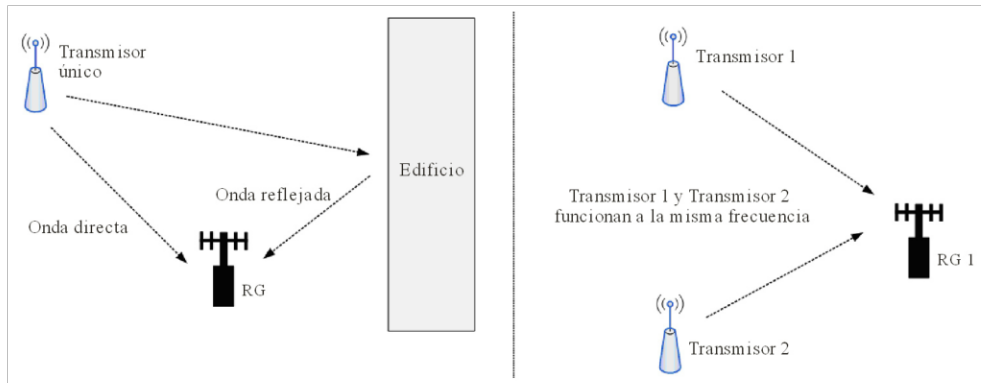


Figura 3.4.4: Multitrayectoria de señales.

De acuerdo al artículo 1.12 del RR la radiogoniometría es: Radiodeterminación que utiliza la recepción de ondas radioeléctricas para determinar la dirección de una estación o de un objeto. Teniendo en cuenta que en el artículo 1.9 del mismo RR se define a la radiodeterminación como: Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas. La localización de un transmisor se facilita por medio de triangulación o localización por una sola estación (SSL, Single Station Location), utilizando equipo radiogoniométrico automático. Sin embargo, para una determinación más rápida y precisa es necesario tomar marcaciones desde varias estaciones radiogoniométricas ubicadas en localidades geográficas adecuadas, cuando el análisis del monitoreo y el tipo de señal así lo requiera. En un caso ideal se puede hacer una marcación cruzada o punto de posición. El método de triangulación mediante marcaciones cruzadas, se muestra en la Figura 3.4.5, la cuál, se realizó de la siguiente manera: La estación móvil se coloca en el punto A, desde allí el software informático de la estación con ayuda de Google Maps traza la trayectoria llamada marcación 1. Posteriormente la estación móvil se mueve a los puntos B y C y realiza el procedimiento mencionado para obtener las marcaciones 2 y 3. Con 3 marcaciones se obtiene un área delimitada (triangulación), la cual, servirá para localizar con mayor precisión alguna señal de interés para su análisis.



Figura 3.4.5: Método de triangulación.

## **Parte II**

### **Casos de estudio**

Los casos que se presentan a continuación son reales y demuestran la experiencia que he obtenido al resolver cada una de las situaciones abordadas, no obstante lo anterior, el presente trabajo es de índole académico, por lo que los datos de frecuencia, coordenadas y domicilios, no se mencionan o han sido modificados, con la finalidad de salvaguardar información con carácter de reservada y/o confidencial, en términos de las leyes aplicables en materia de clasificación de la información.

# Capítulo 4

## Localización de interferencias radioeléctricas

### 4.1. Caso 1

**Problema:** Los pilotos de aeronaves en un aeropuerto del país reportan interferencia en el servicio de radionavegación que es utilizada para la comunicación entre la torre de control y los pilotos.

**Solución:** Se localiza la estación transmisora interferente, la cual pertenece al segmento de radiodifusión de frecuencia modulada (FM), misma que produce señales espurias causando interferencia. Esta estación de radio no cuenta con permiso, autorización o título de concesión para operar en la localidad reportada. Por lo que se cataloga como una interferencia deliberada como se menciona en el artículo 15.1 del RR [12] poniendo en riesgo la vida humana. Se determina la ubicación de la antena transmisora de la frecuencia no autorizada, la cual, se encuentra localizada en el estado de Querétaro.

**Procedimiento:** Para identificar y visualizar gráficamente el espectro de la señal a localizar en el sitio reportado, se apagó el sistema de radionavegación por varios minutos con la finalidad de descartar una interferencia interna ocasionada por el mismo sistema de transmisión.

El siguiente paso es detectar el punto de origen de la señal interferente y se hace una aproximación con el método automático de la estación móvil hacia el estado de Guanajuato, que es la zona donde posiblemente se encontraba la antena transmisora de la estación de radio.

Al poner atención en la señal escuchada, dicha estación de radio se identificaba

como una estación en el segmento de FM, con lo cual, se procedió a sintonizar el equipo a dicha frecuencia y mediante el algoritmo denominado interferometría correlacionada empezó a realizar marcaciones en modo automático durante el trayecto, obteniendo el ángulo de llegada con el mejor nivel de la señal, lo que permite conocer el rumbo a seguir (ciudad de Querétaro).

Al hacer el análisis con la herramienta del perfil de elevación de Google Earth, se observa que la señal interferente sufre una difracción debida a un obstáculo (cerro) a la distancia de 19.6 km desde la zona de monitoreo que se encuentra en dirección hacia el aeropuerto (ver Figura 4.1.1).

Por lo anterior, se consideró que la antena transmisora de señales interferentes se encontraba en la cima del cerro. Una vez, estando en el cerro se pudo determinar que las emisiones radioeléctricas no provenían de allí, debido a que el nivel de la señal no era suficiente para la sensibilidad del analizador de espectros y por lo tanto no se podía ver el espectro de la señal interferente (se produce una zona de sombra). Sin embargo, dicha señal se podía escuchar a través de un radioreceptor.

Al no hallar la señal interferente en el cerro, se utilizó el principio de difracción para estimar la distancia hacia el posible lugar de donde provenía dicha señal (ver Figura 4.1.2).

El efecto de difracción de una señal se menciona en el numeral 4.1 de la Rec. UIT-R P.526-6 [11] llamado filo de cuchillo, el cual se explica por el principio de Huygens-Fresnel que establece lo siguiente:

“Una obstrucción bien definida a una onda electromagnética actúa como una fuente secundaria y crea un nuevo frente de onda, pero de menor amplitud en su potencia”. Las pérdidas por difracción de una señal, suelen llegar a ser mayores que las pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

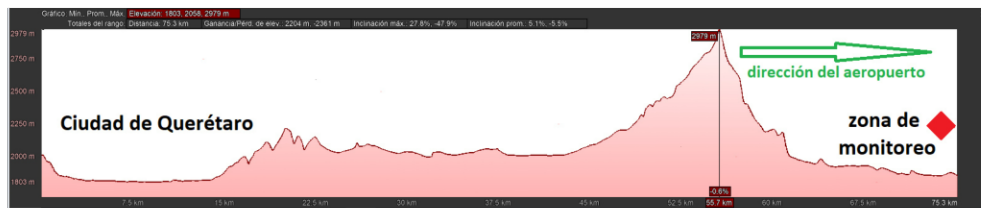


Figura 4.1.1: Perfil de elevación de la marcación desde la zona de monitoreo.

Con fundamento de la recomendación antes citada de la UIT se usan como herramientas las fórmulas 4.1.1 y 4.1.2 para realizar el cálculo aproximado de la distancia hacia la antena transmisora interferente.

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (4.1.1)$$

$$v = \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}} \quad (4.1.2)$$

$$v = \sqrt{\frac{2h\theta}{\lambda}} \quad (4.1.3)$$

$$v = \sqrt{\frac{2d}{\lambda} \alpha_1 \alpha_2} \quad (4.1.4)$$

donde:

$v$ : Elemento para definir los parámetros para un obstáculo de filo de cuchillo.

$h$ : Altura de la cima del obstáculo sobre la recta que une los dos extremos del trayecto. Si la cima queda por debajo de ésta,  $h$  es negativa.

$d_1, d_2$  : distancias desde los dos extremos del trayecto a la cima del obstáculo.

$d$ : longitud del trayecto.

$\theta$  : ángulo de difracción (rad); tiene el mismo signo que  $h$ . Se supone que el ángulo es inferior a unos 0,2 rad, o sea, aproximadamente  $12^\circ$ .

$\alpha_1, \alpha_2$ : ángulos bajo los que, a partir de un extremo, se ven la cima del obstáculo y el extremo opuesto; tienen el mismo signo que  $h$  en las ecuaciones anteriores.

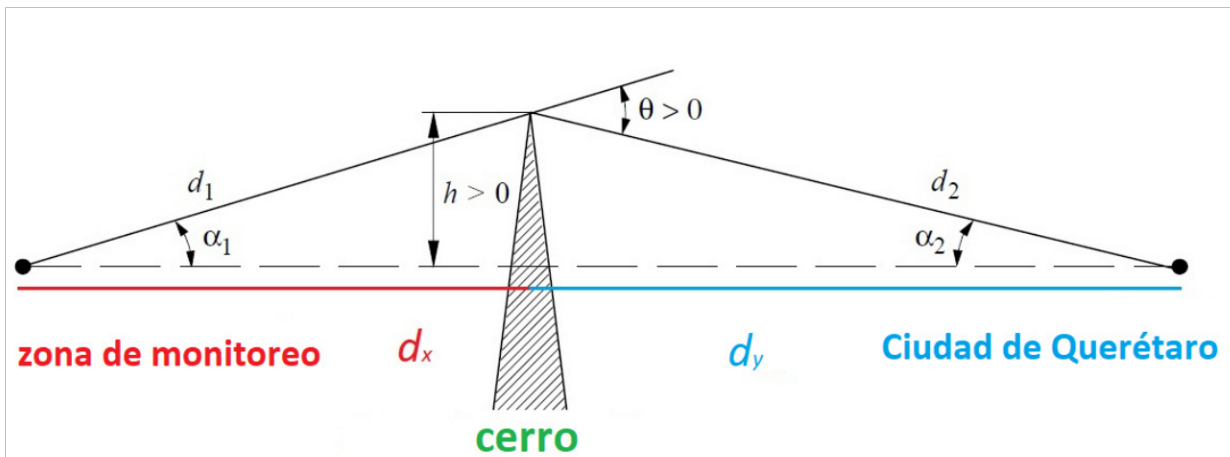


Figura 4.1.2: Diagrama para estimar la distancia hacia antena interferente.

De la fórmula 4.1.2 sustituyendo  $v$  en la fórmula 4.1.1 y despejando  $d_2$  (distancia

del cerro a la antena transmisora interferente en la ciudad de Querétaro) se obtiene la siguiente fórmula quedando solo en términos de  $d_1$ ,  $h$ , y  $\theta$  el cual se desconoce, pero con base a la sustitución de sus valores en la fórmula se aproxima al valor deseado.

$$d_2(m) = \frac{d_1 * h}{(\theta * d_1) - h}$$

La distancia  $d_1$  (distancia desde la zona de monitoreo hasta el cerro):

$$d_1(m) = \sqrt{h^2 + d_x^2} = \sqrt{(2979)^2 + (19600)^2} = 19825$$

Donde  $h$  es la altura del cerro y  $d_2$  la distancia del cerro al punto posible de transmisión. En la siguiente tabla se hacen los cálculos sustituyendo los valores variando el ángulo de difracción  $\theta$  el que debe tener el mismo signo que  $h$  que para este caso es positivo, y ser menor a 0.2 rad (aproximadamente 12°). Es importante recalcar que al momento de hacer los cálculos la unidad de medida tendrá que ser en metros. Se toman las medidas a partir de 0.07 rad que es el valor el cual nos da un resultado positivo hasta 0.2 rad que es el valor límite. A continuación se muestran los cálculos donde  $d_y$  es la distancia del obstáculo (cerro) hasta la antena transmisora interferente (ciudad de Querétaro).

A continuación, se muestra una tabla de estimaciones para el cálculo de distancias entre el cerro a la antena transmisora interferente (todas las distancias están dadas en metros).

radianes	$d_2(m) = \frac{d_1 * h}{(\theta * d_1) - h}$	$d_y(m) = \sqrt{d_2^2 - h^2}$
0.07	110,102	110,061
0.08	56,863	56,784
0.09	38,329	38,213
0.1	28,907	28,753
0.2	8,359	7,810

Con estos resultados se continuaron los trabajos en terrenos planos en cada una de las distancias, evitando obstáculos donde se lograba ver con mayor amplitud el espectro de la señal. El espectro de la señal cuando fue plenamente identificada se muestra en la Figura 4.1.3.

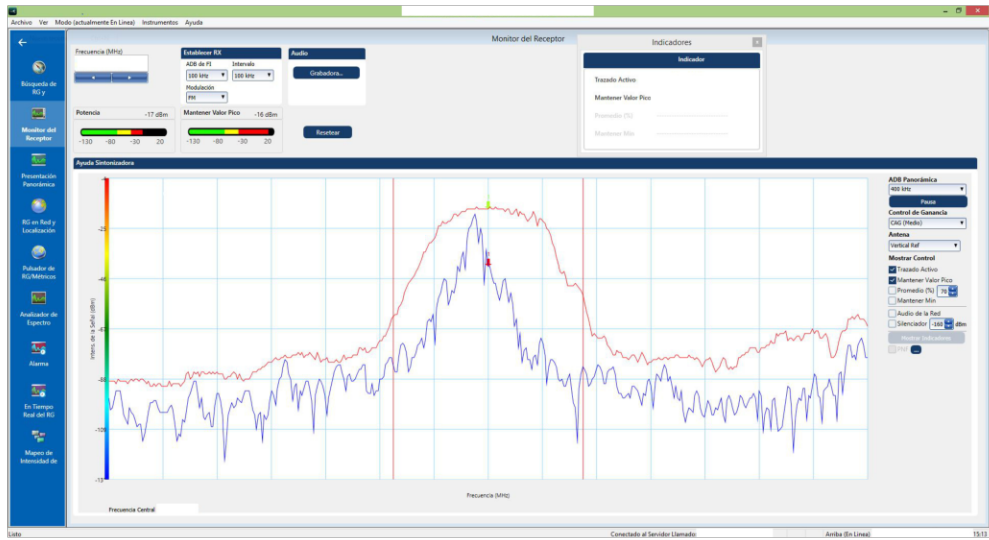


Figura 4.1.3: Espectro de la estación interferente en FM al concluir la localización

Con esto se logró determinar con exactitud que la señal interferente que afectaba la comunicación de los aviones en el Aeropuerto se encontraba en la ciudad de Querétaro y no en la cima del cerro. De acuerdo a la tabla de estimaciones, el cálculo para 0.08 rad nos da una distancia de 56,784 m, este valor se acerca al obtenido por medio de Google Maps, el cual es de 55,700 m. La antena interferente se ubicó en la ciudad de Querétaro como se muestra en la Figura 4.1.3.

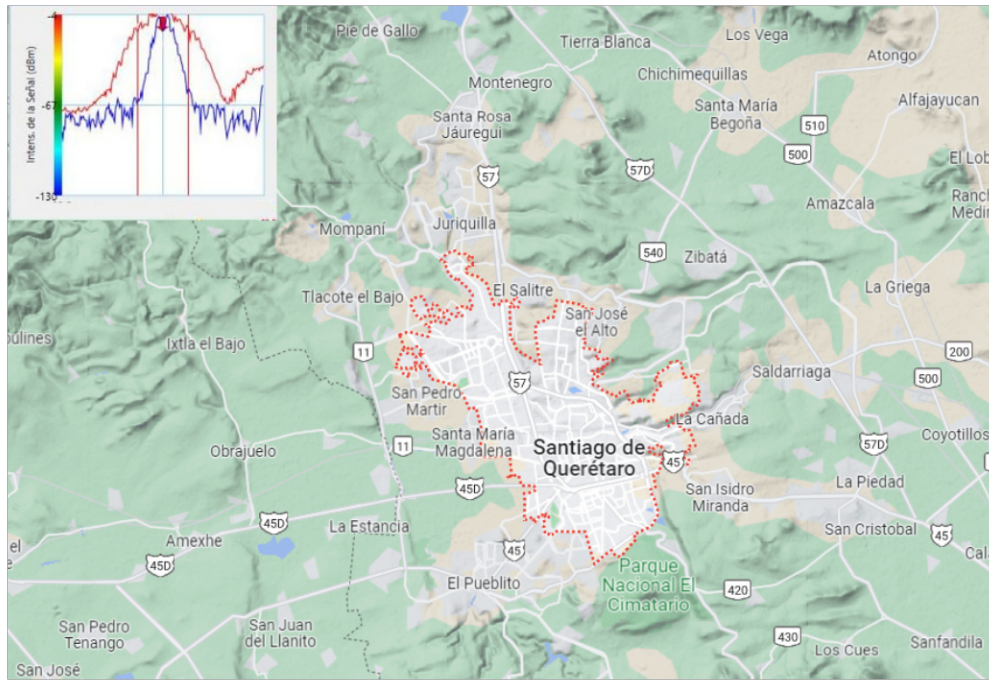


Figura 4.1.4: Localización de la antena interferente en la ciudad de Querétaro

## 4.2. Caso 2

**Problema:** A través del portal de denuncias del IFT se reporta la operación de una transmisión en el servicio de radiodifusión de frecuencia modulada (FM) en la Ciudad de México (CDMX), esta frecuencia no cumple con el artículo 78 de la LFTyR de la sección II apartado II [8] al no contar con un otorgamiento de concesión en materia de radiodifusión para el uso, aprovechamiento o explotación del espectro radioeléctrico para el uso comercial o privado del órgano regulador para se promueva e incluya la difusión de contenidos nacionales, regionales y locales.

**Solución:** Se concluye con la localización del usuario no autorizado realizando trabajos con los siguientes métodos:

- Mapeo de intensidad de campo con la estación móvil transportable
- Trayectoria única
- Radiogoniometría con los métodos automático y manual para hacer las marcaciones

**Procedimiento:** Se iniciaron trabajos para localizar la frecuencia no autorizada en FM cuya transmisión se escuchaba en valle de México, los trabajos realizados parten con el monitoreo usando el método de mapeo de intensidad de campo sobre un área geográfica con una estación móvil, las muestras son tomadas continuamente a medida que la unidad se desplaza, son computadas y se observan por una cuadrícula de 500 m x 500 m en códigos de colores (ver Figura 4.2.1).



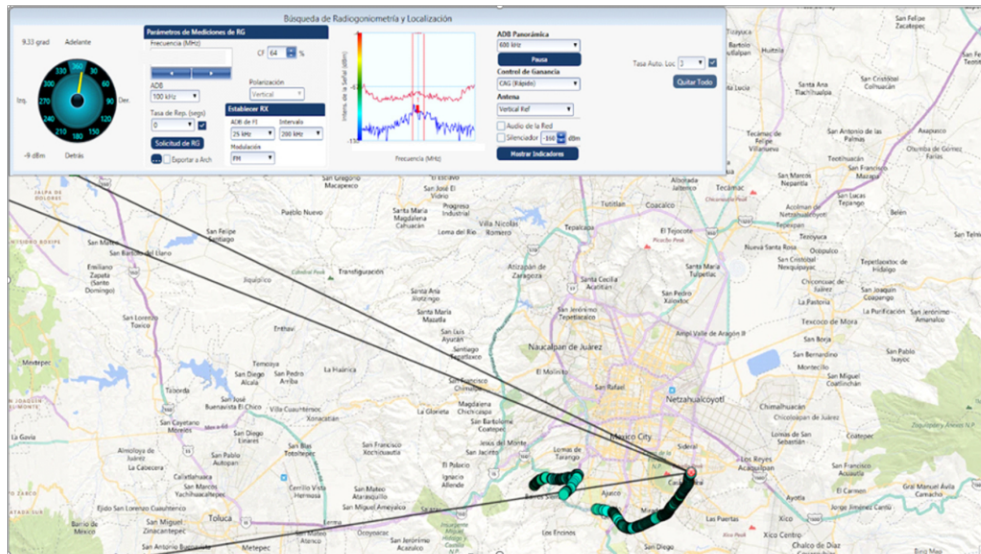


Figura 4.2.3: Marcaciones incorrectas dadas por el equipo en modo automático

En la Figura 4.2.3 se puede ver una diferencia de las tres marcaciones que hace el sistema, con esto no se tiene una dirección precisa a seguir, porque la marcación de la parte inferior está hacia el sureste y las dos marcaciones superiores hacia el noreste, en consecuencia, se limitó la búsqueda por el entorno urbano. Para la localización de este tipo de señales se sugiere hacer las marcaciones en puntos altos, por ejemplo en cerros y con la menor urbanización posible, para evitar las trayectorias múltiples.

Se continuaron los trabajos por medio del método de radiogoniometría, haciendo marcaciones con la estación fija desde el punto de monitoreo, que nos indican la zona por dónde empezar la búsqueda en línea recta (ver Figura 4.2.4).



Figura 4.2.4: Marcación del punto de monitoreo

Posteriormente se realiza la segunda marcación en una zona al sur de la CDMX (ver en color rojo Punto B de la Figura 4.2.5). El procedimiento para obtener el ángulo de la marcación de manera manual fue girar la antena hasta obtener el máximo nivel se señal.

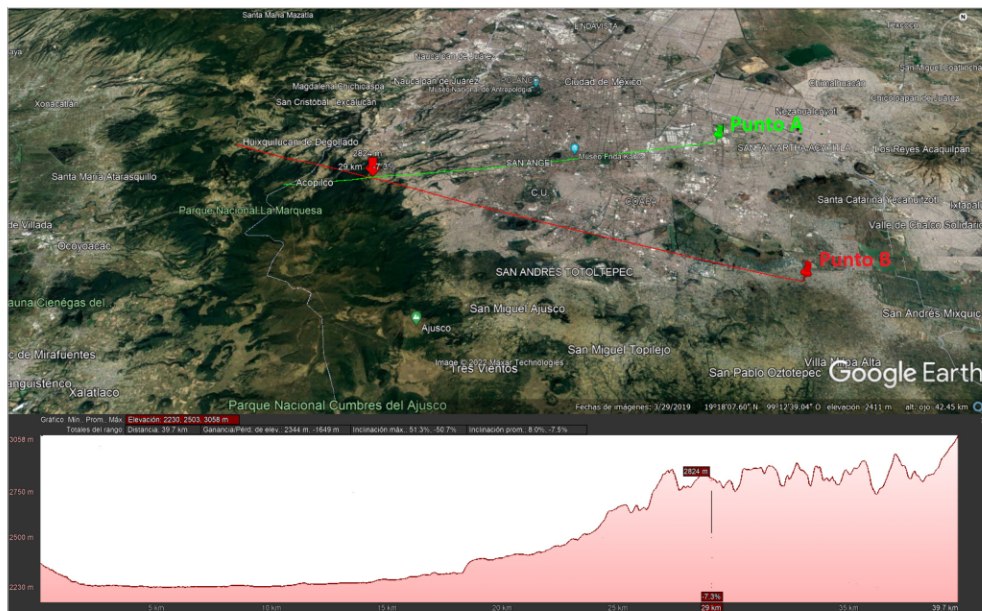


Figura 4.2.5: Perfil de elevación desde un punto alto de la CDMX por el método manual

Con las dos marcaciones se observa la intersección en una localidad de la Alcaldía Álvaro Obregón. Al ser una carretera muy irregular por las curvas, cambio de

alturas del nivel de suelo, zona boscosa y por estar debajo de la línea de vista de la antena interferente, el sistema nos mostraba la dirección incorrecta (esto se concluye puesto que la dirección de la señal cambia repentinamente) por lo que se recomienda que para este tipo de transmisión es necesario estar lo más alto posible una vez que se tiene delimitada la zona. Al llegar a una zona mas alta en la Alcaldía Álvaro Obregón, se observó una mejoría en la amplitud de la señal interferente.

Concluyendo el caso, el analizador de espectros nos muestra la señal (frecuencia central en la banda de FM) del usuario no autorizado en color azul y en color rojo los niveles máximos (ver Figura 4.2.6).

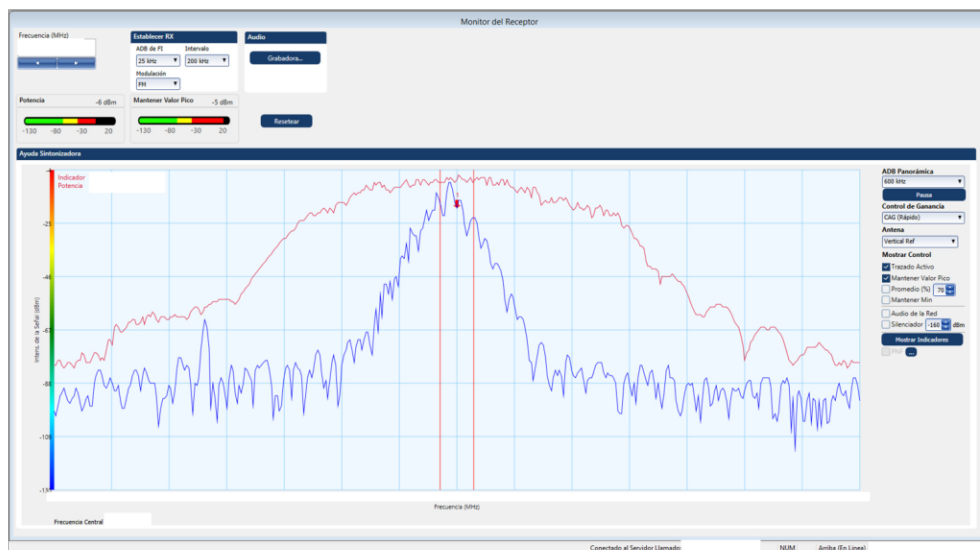


Figura 4.2.6: Localización precisa de la señal indeseada en la banda de frecuencia modulada (FM)

### 4.3. Caso 3

**Problema:** Las empresas que se dedican a ofrecer el servicio de TV de paga cuentan con gran infraestructura por las calles, que se compone de amplificadores, taps, splitters y cables coaxiales, todos estos elementos pueden dañarse con el paso del tiempo y ocasionar fugas de energía de las señales que se transmiten por esta infraestructura de manera no intencional. Esta energía se irradia al espacio libre sin necesidad de tener una antena, al ser elementos conductores lo hacen como si lo fueran, por lo que la calidad de las comunicaciones entre el usuario y la radiobase se degrada.

El rango para el enlace ascendente está atribuido al título primario de la LFTyR del artículo 55 sección I, está clasificado para ser utilizado en los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público, definidas en el artículo 67 y está regido por las notas mexicanas MX150A, MX150B, MX151, MX151A, MX151B, MX152, MX153, MX154, MX155, MX156A, MX157 del mismo CNAF [6].

Por otro lado, las radiobases de telefonía móvil cuentan con antenas sectoriales para cubrir los 360° de un área específica. En casos como el analizado, al querer realizar una llamada el usuario, se presenta el problema de que la potencia del teléfono celular se ve superado por el nivel de la potencia de energía indeseada proveniente de la infraestructura del servicio de TV de paga.



Figura 4.3.1: Infraestructura del servicio de TV de paga

**Solución:** Se identifican los puntos de interferencia por medio del método de una sola marcación directa hasta llegar a la fuente (Humming).

**Procedimiento:** Para poder identificar interferencias en estos segmentos, se trabaja en conjunto con los operadores del servicio de telefonía móvil para delimitar la zona donde las radiobases son afectadas por la interferencia, una vez realizado esto, se recomienda durante el análisis del monitoreo hacer mediciones del ancho de banda para corroborar que efectivamente se trate de canales de televisión. Un canal de TV tiene un ancho de banda de 6 MHz, este es un dato importante para distinguir entre un canal de TV o un servicio de telefonía que es de 5 MHz (ver Figura 4.3.2).

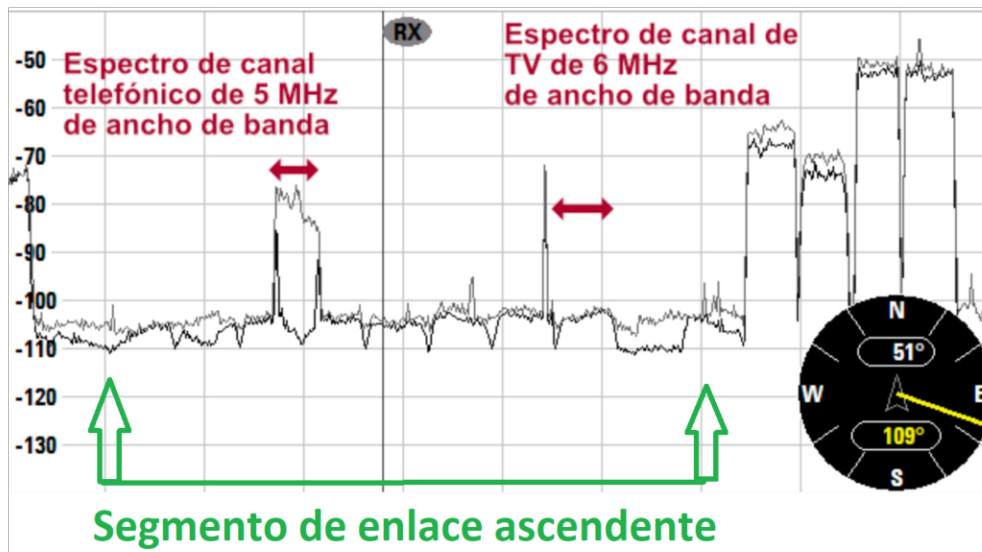


Figura 4.3.2: Espectro del servicio de telefonía celular y TV de paga con relación señal a ruido  $S/N=25$  dB

En telefonía celular, el enlace ascendente es del usuario a la radiobase, es decir, cuando el usuario realiza una llamada. El enlace descendente es de la radiobase al usuario (cuando el teléfono celular recibe una llamada). En la Figura 4.3.2 se observa que el espectro de la señal del enlace ascendente se ve afectado por señales interferentes de canales de TV de paga de 6 MHz de ancho de banda.

En condiciones normales y sin usuarios activos en el canal, el segmento de enlace ascendente debería mostrar un nivel de piso de ruido de -110 dBm aproximadamente. En la Figura 4.3.3 se observan espectros indeseados de canales de TV, lo que ocasiona que se corte la llamada o se escuche ruido en la comunicación.

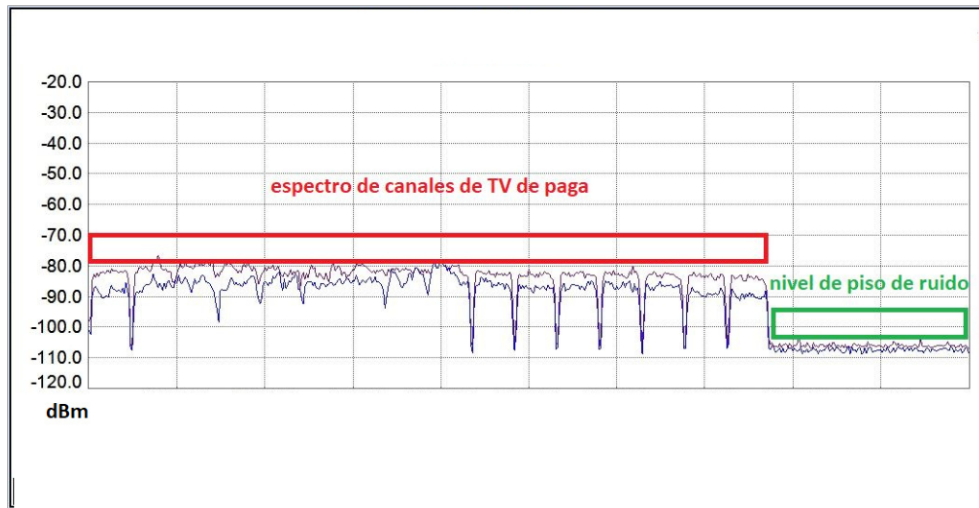


Figura 4.3.3: Espectros de canales de TV de paga invadiendo el segmento de telefonía celular.

Este tipo de localización es relativamente sencillo, porque solo basta con hacer un recorrido cercano a la infraestructura del servicio de TV por cable para identificar los componentes que causan la interferencia. Se hace por el método manual con analizador de espectro portátil y una antena direccional, pues nos permite mucha mayor movilidad. Si se hiciera con la estación móvil, nos estaría mostrando unos resultados inciertos porque al ser varios elementos y diferentes puntos, estaría haciendo marcaciones en todas direcciones dado que el software detecta altos niveles de potencia provenientes de todas partes incluso del propio servicio de telefonía celular.

## 4.4. Caso 4

**Problema:** Interferencia en la banda IMT asignado al servicio móvil en México. Cuenta con título primario como lo establece el artículo 57 de la LFTyR y clasificado como espectro determinado como lo indica el artículo 55 en su sección I. En este segmento se usa, aprovecha o explota el espectro mediante concesiones para el uso en términos comerciales, sociales, privado y público de los operadores. Las notas del CNAF que rigen el segmento antes mencionado son: MX146, MX147, MX148, MX149A y MX156A [6].

**Solución:** Se hacen trabajos de radiogoniometría obteniendo tres marcas por el método manual. En un principio se consideraba interferencia del sistema de TV de paga, sin embargo, el problema provenía de un balastro colocado en una tienda de conveniencia.

**Procedimiento:** Con los trabajos y el análisis del monitoreo realizados se obtuvo una gráfica diferente a la de interferencias de los concesionarios de TV de paga. Al medir el ancho de banda, que es de 6 MHz, se determina que no existen similitudes con canales de TV.

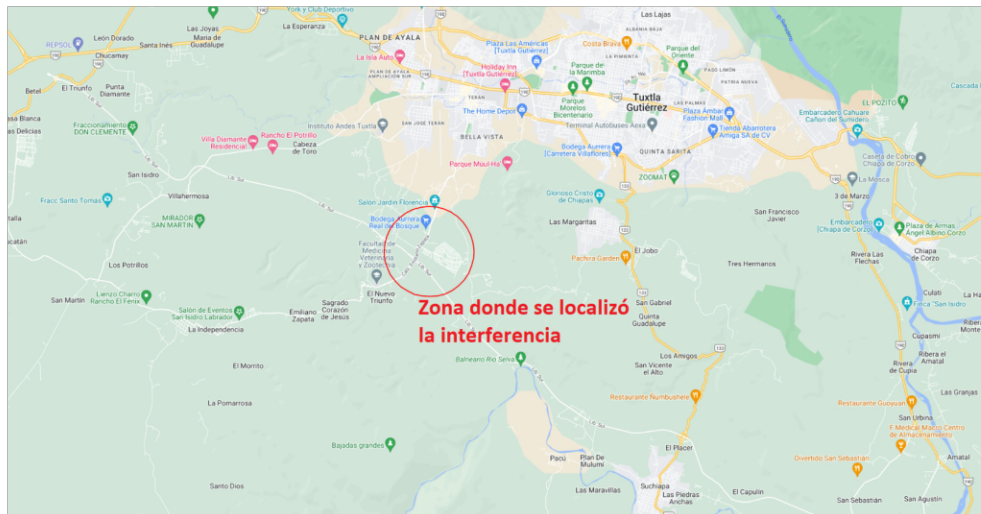


Figura 4.4.1: Marcaciones para determinar la ubicación de la fuente interferente.

Se determinó que el espectro de la señal era generado por un balastro que se encontraba en una tienda de conveniencia, por lo que se trabajó por medio de triangulación para poder determinar la ubicación exacta (ver Figura 4.4.1). La interferencia es provocada por un circuito tanque o también llamado circuito resonante que se encuentra

dentro del balastro, esta constituido de un capacitor y un inductor, el circuito puede actuar como un resonador y almacenar energía oscilando a la frecuencia resonante. Esta frecuencia provee la energía suficiente para que el gas que se encuentra dentro del tubo de la lampara actúe y se produzca energía luminosa. La figura 4.4.3 muestra el espectro del balastro afectando el segmento del concesionario autorizado (ver marcadores 1 y 2).

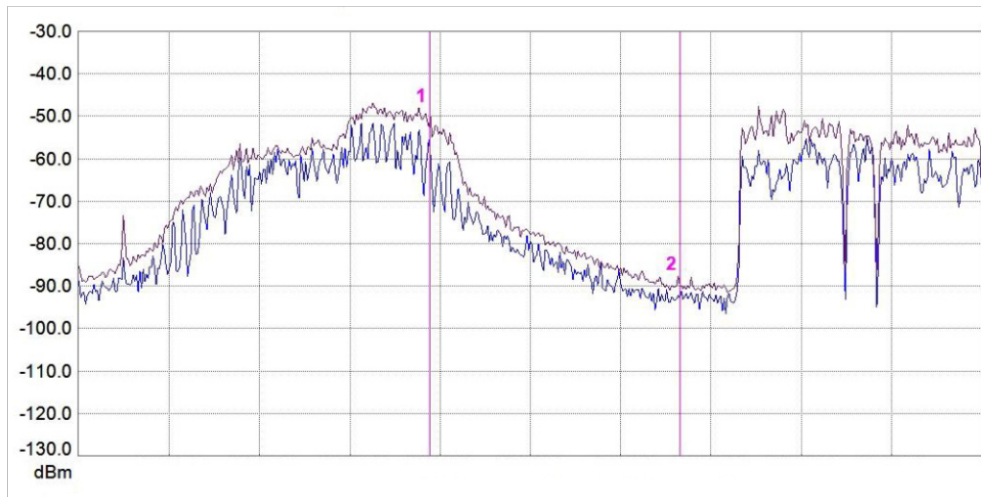


Figura 4.4.2: Espectro proveniente del balastro

Finalmente, después de quitar la energía eléctrica que alimenta una de las lamparas dentro del local de conveniencia, se comprueba que la interferencia ha desaparecido, tal y como se muestra en la Figura 4.4.3 (ver marcadores 1 y 2)

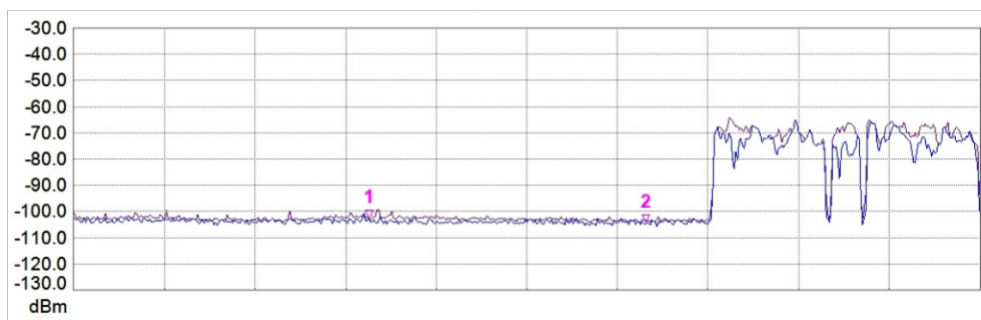


Figura 4.4.3: La interferencia producida por el balastro desaparece.

## 4.5. Caso 5

**Problema:** A un concesionario (operador A) se le asignó una frecuencia de transmisión-recepción y su señal estaba interferida por la señal de otro concesionario previamente establecido (operador B). La situación radica en que el operador A tiene un sitio donde genera la información y otro sitio donde recibe la información y la radia al Valle de México. Ambos sitios se comunican mediante un enlace punto a punto, este enlace se ve interferido por la señal del operador B, el cual cuenta con las mismas características del enlace mencionado.

**Solución:** Se determina el origen de la antena transmisora interferente en el enlace punto a punto del operador B, se hace uso del método manual con una marcación directa simulando enlace punto a punto y considerando las zonas de Fresnel debido a que este tipo de enlaces cuenta con antenas muy directivas.

**Procedimiento:** Se realiza un monitoreo en la ubicación de la antena receptora del operador A. En la Figura 4.5.1 se muestra el segmento asignado al operador B, de igual manera se muestra el espectro del operador B, el cual, claramente está invadiendo todo el segmento del operador A. Posteriormente se realizaron mediciones del ángulo de azimut ( $198^\circ$ ) y ángulo de elevación ( $89.3^\circ$ ) para utilizarlos en la marcación del lugar y poder determinar el rumbo de origen de la señal interferente.

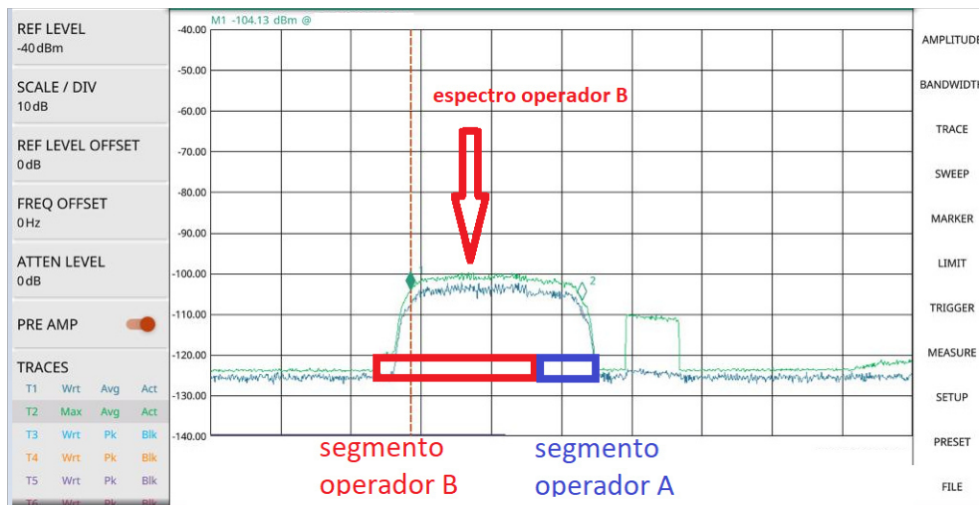


Figura 4.5.1: Traslapamiento del espectro de la señal del operador B

En la Figura 4.5.2 se realiza un estudio de caso, indicando las ubicaciones de las antenas transmisora y receptora del operador A. El propósito es hallar la ubicación

de la antena transmisora interferente (operador B), cuyo mecanismo de propagación es un enlace punto a punto, similar al del operador A.

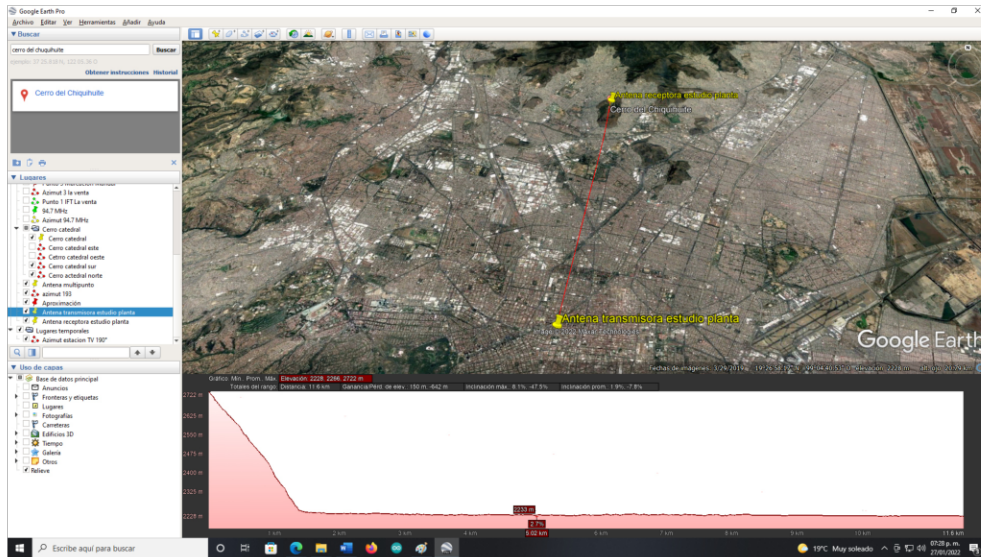


Figura 4.5.2: Perfil de elevación entre antena transmisora y antena receptora

Es importante notar del espectro del operador B (ver Figura 4.5.1), que hay muy poca amplitud de potencia (-100 dBm), sin embargo, con esto fue suficiente para interferir la señal del operador A. También sabemos que en este tipo de enlaces a mayor frecuencia de operación las pérdidas de señal aumentan.

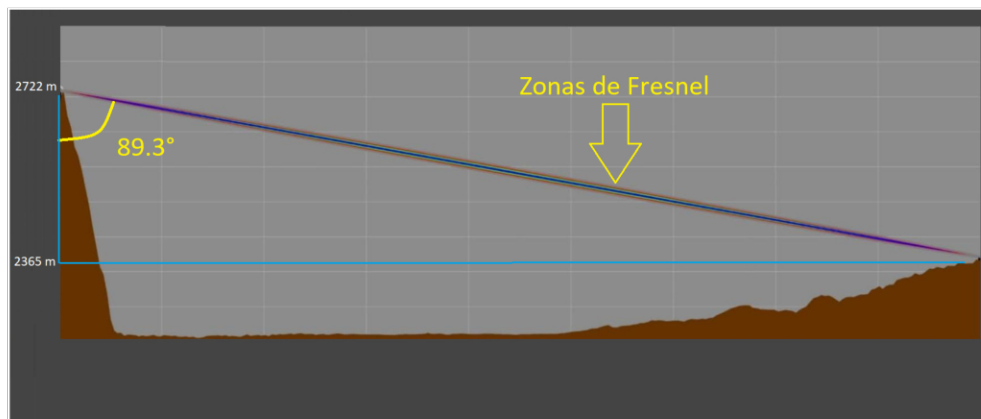


Figura 4.5.3: Zonas de Fresnel Simuladas como enlace punto a punto

En la Figura 4.5.3, se muestra un escenario para estimar la distancia de la antena transmisora interferente (operador B). Con el escenario propuesto y los datos

obtenidos, se proceden a calcular los parámetros de interés en un enlace punto a punto (ver Figura 4.5.4)

En un radioenlace, para evitar pérdida de señal es recomendable que en la primera zona de Fresnel no haya ningún obstáculo, o si existe uno, éste debe estar dentro de una fracción del 0.6 del radio R [2].

$$R = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

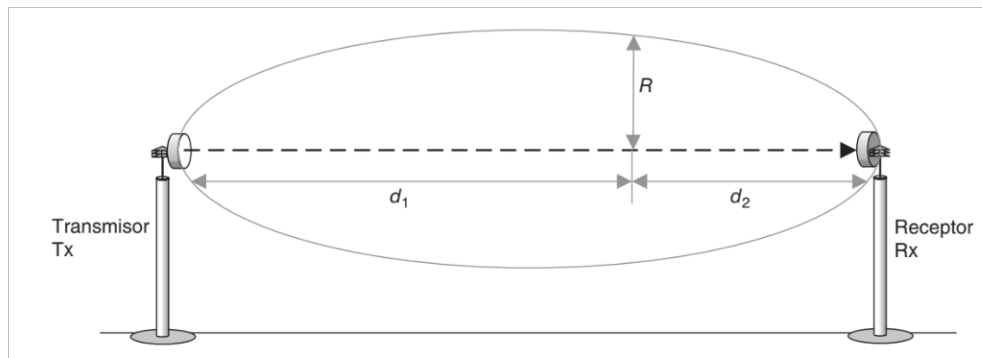


Figura 4.5.4: Zona de Fresnel

Para ubicar al sitio interferente (operador B) se realizó una estimación de la distancia como si se tratara de un caso ideal basado en el triángulo de Pitágoras. Primero se obtiene el cateto adyacente (CA) haciendo la diferencia del punto donde se realizaron los trabajos que es de 2722 m y el nivel de la ciudad que es de 2365 m aproximadamente, a este último valor se le agrega 45 m simulando la altura de una torre promedio en estas condiciones:

$$2722 \text{ m} - (2365 \text{ m} + 45 \text{ m}) = 312 \text{ m}$$

Teniendo el ángulo de elevación que es de  $89.3^\circ$  se resuelve usando la tangente para encontrar el cateto opuesto (CO) de un triángulo imaginario en el perfil de elevación:

$$\tan(\alpha) = \frac{CO}{CA}$$

Por lo tanto, despejando al CO se obtiene la distancia a nivel de suelo del sitio de la antena interferente:

$$CO = \tan(\alpha)(CA) = (\tan 89.3^\circ)(312 \text{ m}) = 26,679 \text{ m}$$

Por último, se hace el cálculo de la longitud del enlace punto a punto suponiendo que este sería la hipotenusa de un triángulo rectángulo:

$$h = \sqrt{(26679)^2 + (312)^2} = 26,680 \text{ m}$$

Con los resultados anteriores, se determinó que la emisión de la señal interferente hacia el operador A, provenían de un concesionario regulado que cuenta con título de concesión vigente.

Se comprobó que el azimut, el ángulo de elevación y distancia entre el transmisor y receptor del título de concesión del operador B, son muy similares a los obtenidos en el monitoreo y los cálculos matemáticos mostrados anteriormente.

## 4.6. Caso 6

**Problema:** Interferencia en el servicio de telefonía móvil en la banda de IMT en México. De acuerdo al CNAF, el rango está atribuido al servicio fijo y móvil, y está regido por las notas MX156A, MX189, MX202, MX206, MX207, MX208 y en la LFTyR [8] se clasifica en el artículo 55 apartado I como espectro determinado, por lo que estas frecuencias están relacionadas para el uso de la comunicación móvil celular de la población en México.

**Solución:** Se identifican señales provenientes de un inmueble en la ciudad de México, por medio de trabajos de monitoreo con el analizador de espectros. Se concluye con la localización de la fuente interferente por medio de marcación única, y se determina que la interferencia proviene de un sistema inalámbrico de videovigilancia de una cámara colocada en el interior de un elevador.

**Procedimiento:** Se realiza monitoreo en la zona reportada con interferencia a nivel de suelo fuera del inmueble, observando que la amplitud de la señal interferente varía en todo momento

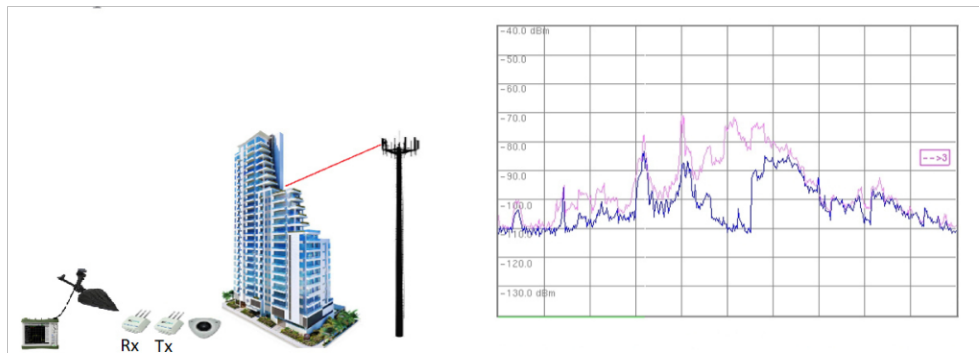


Figura 4.6.1: Espectro de señal interferente obtenida con analizador a nivel de suelo.

En la Figura 4.6.1, se muestra el espectro de la señal interferente en tiempo real (color azul), con un nivel máximo de -85 dBm. Dicho espectro se obtuvo fuera del inmueble cuando el elevador se situó en la planta baja. De la figura Rx representa el receptor inalámbrico del sistema de videovigilancia, y Tx el transmisor de dicho sistema (colocado al interior del elevador).

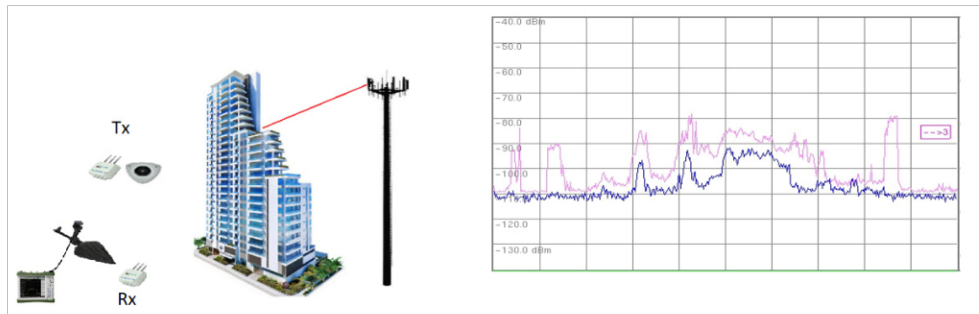


Figura 4.6.2: Espectro de señal interferente obtenida con el elevador en movimiento a pisos superiores.

En la Figura 4.6.2 se observa que el nivel de la señal interferente en tiempo real disminuyó (-93 dBm), respecto al nivel máximo que alcanzó en la lectura inicial del monitoreo. Este nivel de señal disminuyó porque el elevador (el transmisor Tx del sistema) se trasladó a los pisos superiores del inmueble.

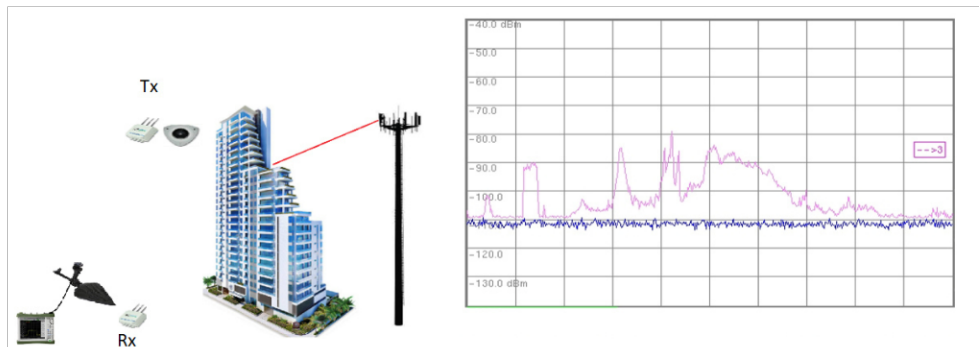


Figura 4.6.3: Imagen donde no se observa señal

Cuando el elevador (transmisor Tx del sistema) se situó en el último piso, el nivel de la señal interferente en tiempo real es similar al nivel de piso de ruido de -110 dBm del analizador de espectros (ver Figura 4.6.3). Con este monitoreo se determinó que la señal interferente provenía del interior del inmueble (sistema inalámbrico de videovigilancia al interior del elevador).

Finalmente, se realizó un nuevo monitoreo con el equipo analizador de espectros dentro del elevador en movimiento. Se observó que la amplitud de la señal interferente se mantenía con un nivel casi constante de -67 dBm (ver Figura 4.6.4). Dicho nivel confirmó que la señal interferente provenía del transmisor (Tx) del sistema de videovigilancia de la cámara (ver Figura 4.6.5).

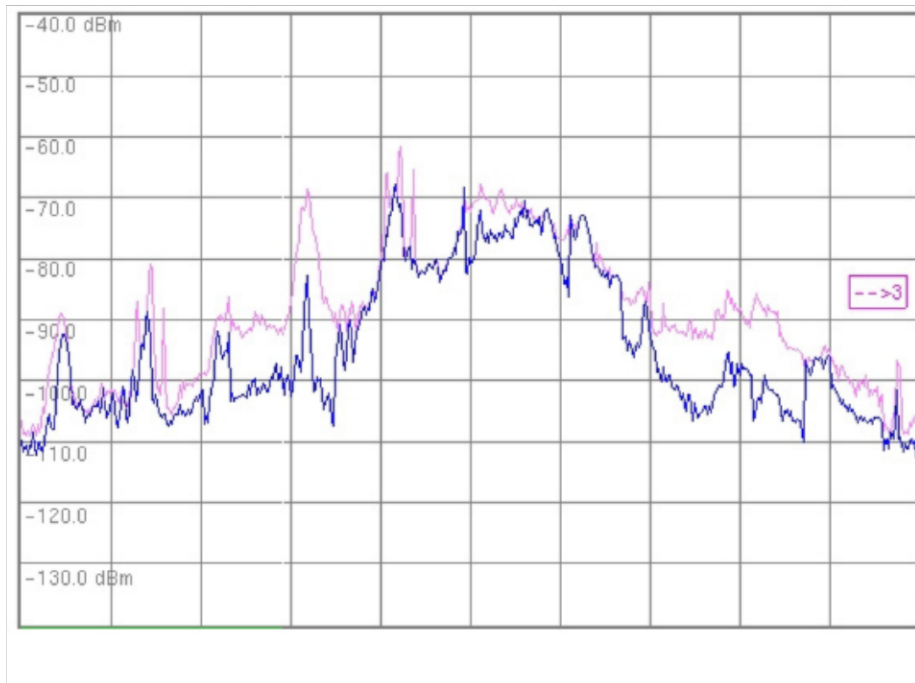


Figura 4.6.4: Imagen con amplitud máxima de -62 dBm

Al analizar el sistema de videovigilancia de la cámara colocada al interior del elevador, se comprobó que cuenta con un transmisor de video inalámbrico y un receptor con antenas omnidireccionales para su comunicación.



Figura 4.6.5: Tipo de cámara que provocaba la interferencia.

Al identificar plenamente la frecuencia central de operación del sistema de videovigilancia, ésta interfiere con el segmento asignado al operador del servicio de telefonía celular. Al apagar dicho sistema, las señales interferentes desaparecen y sólo se parecía en nivel de piso de ruido de -110 dBm (ver Figura 4.6.6).

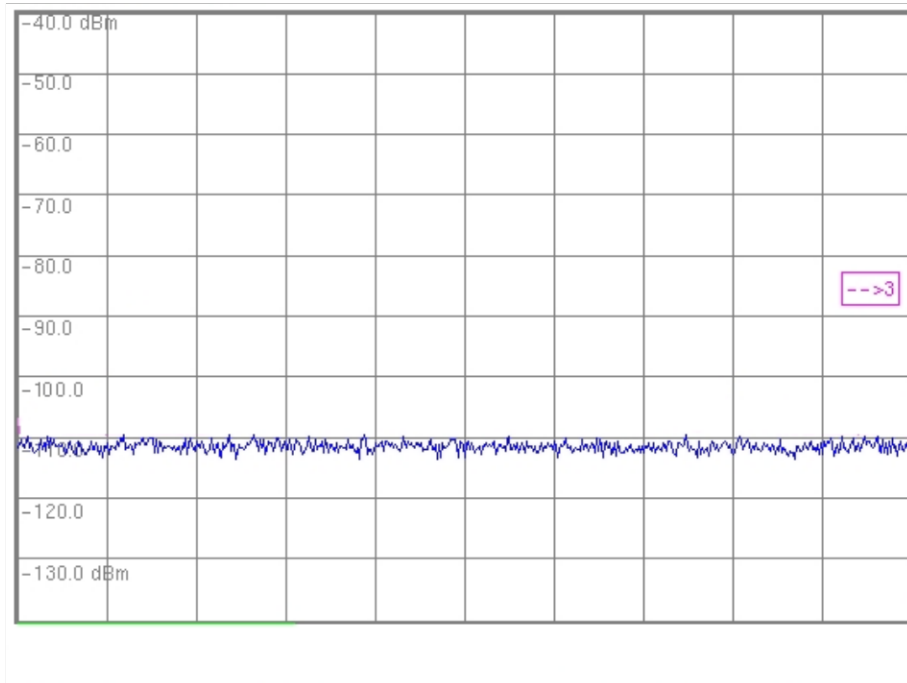


Figura 4.6.6: Espectro después de apagar el sistema de cámaras de seguridad

## 4.7. Caso 7

**Problema:** Interferencia en el segmento asignado al servicio de acceso inalámbrico 5G con título primario y clasificado como espectro determinado, así mismo, son empleadas por el sistema satelital. Este segmento está regido por las notas mexicanas MX213, MX213A y MX214 del CNAF [7].

**Solución:** Se localizan señales interferentes afectando al segmento asignado a las comunicaciones 5G. Por medio de trabajos de radiogoniometría con el analizador de espectros, se realizaron marcaciones manuales en tres puntos diferentes. Se delimitó el área donde fue localizada una radiobase, que en parte, estaba transmitiendo las señales interferentes mediante una tecnología obsoleta. En este trabajo, se utilizó la ecuación de pérdidas básicas de propagación en el espacio libre para estimar la distancia hasta la radiobase.

**Procedimiento:** Se inician los trabajos de localización realizando la primera marcación en las afueras de la Ciudad de México para descartar que las señales pudieran provenir de algún estado colindante. La búsqueda del lugar de interferencia comienza en el **Sitio A**, con niveles de potencia de -106 dBm. Se inició la búsqueda en este lugar, debido a que en su mayoría es terreno plano y así se evitan efectos multitrayectoria de las señales (para tener una mayor certeza en las marcaciones y que éstas nos conduzcan al lugar de origen de la señal interferente).



Figura 4.7.1: Nivel de potencia del espectro de la señal interferente medido en el sitio A.

Se procede a realizar una estimación de la distancia del posible lugar de la interferencia. De la ecuación de *Pérdidas por trayectoria en el espacio libre* [2] [4], tenemos:

$$L_p(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2$$

$$L_p(dB) = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi \cdot 1000 \cdot d_{km} \cdot f_{GHz} \cdot 10^9}{c} \right)$$

$$L_p(dB) = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi \cdot 10^{12}}{c} \right) + 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{GHz})$$

$$L_p(dB) = 92.44 + 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{GHz}) \quad (4.7.1)$$

De la ecuación (4.7.1) despejamos  $d_{km}$

$$\log_{10}(d_{km}) = \frac{L_p(dB) - 92.44 - 20 \log_{10}(f_{GHz})}{20}$$

$$d_{km} = 10^{\frac{L_p(dB) - 92.44 - 20 \log_{10}(f_{GHz})}{20}} \quad (4.7.2)$$

Para encontrar la  $d_{km}$  primero debemos convertir  $L_p = -106dBm$  a  $dB$ , el cual esta referenciado a la potencia con respecto a 1W.

$$dBm = dB + 30$$

$$dBW = dB = dBm - 30 = -106 - 30 = -136dB$$

Aplicando la ecuación (4.7.2), tenemos:

$$L_p = 136 \text{ dB}$$

$$f_{GHz} = X$$

$$d_{km} = 10^{\frac{136 - 92.44 - 20 \log_{10}(X)}{20}}$$

$$d_{km} = 43.51$$

Con el procedimiento anterior se procedió a realizar una segunda estimación

de la distancia a la radiobase.



Figura 4.7.2: Nivel de potencia del espectro de la señal interferente medido en el sitio B.

En el *Sitio B* el equipo de medición mostraba un nivel de potencia de -100 dBm, para lo cual la distancia es:

$$d_{km} = 10^{\frac{130 - 92.44 - 20 \log_{10}(X)}{20}}$$

$$d_{km} = 21.90$$

De la Figura 4.7.2, se comprueba que de los Sitios A y B, la potencia aumentó (de -110 dBm cambió a -100 dBm), y la distancia disminuyó de 21.9 km a 12.26 km.

Por último, se realizó una tercera marcación, ubicado en el *Sitio C*, obteniendo un nivel de potencia de -95 dBm.

$$d_{km} = 10^{\frac{125 - 92.44 - 20 \log_{10}(X)}{20}}$$

$$d_{km} = 12.26$$

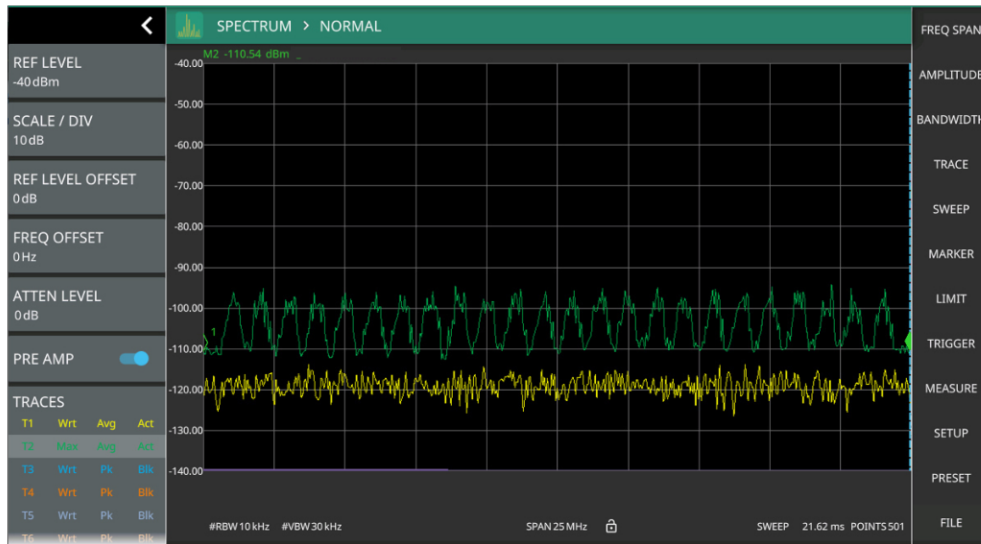


Figura 4.7.3: Nivel de potencia del espectro de la señal interferente medido en el sitio C.

De la Figura 4.7.3, se observa que el nivel de potencia de la señal sigue aumentando (-95 dBm), y con esto, se comprueba que la distancia a la fuente interferente sigue disminuyendo.

Posteriormente, se llegó a la zona delimitada por las marcaciones, encontrando una torre de telecomunicaciones (radiobase), la cual, contaba con un arreglo de antenas para la transmisión de tecnología Wimax, que en años anteriores brindaba servicio de telefonía fija inalámbrica.

Al concluir los trabajos se obtuvieron niveles de -80 dBm (ver Figura 4.7.4), y se realiza el cálculo de la distancia a la radiobase:

$$d_{km} = 10^{\frac{110 - 92.44 - 20 \log_{10}(X)}{20}}$$

$$d_{km} = 2.18$$

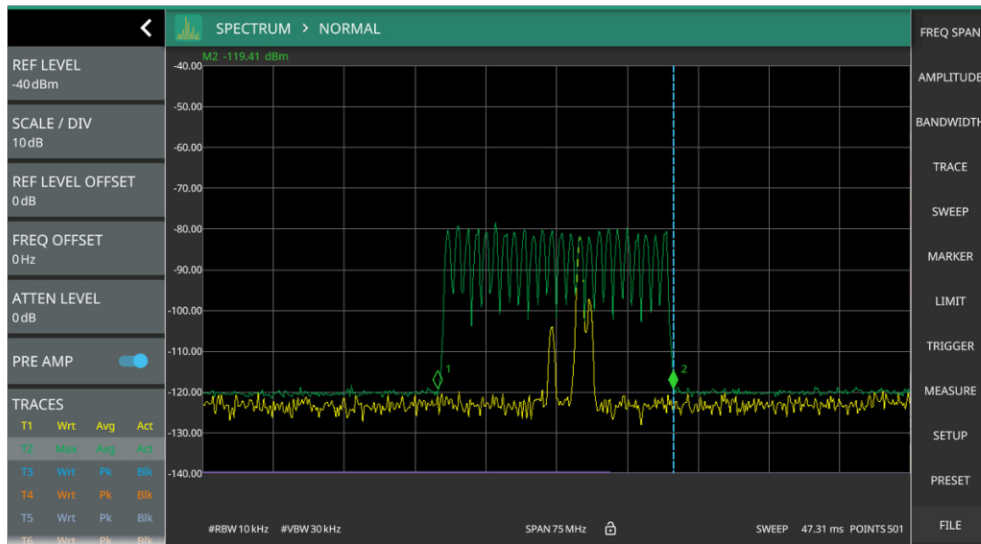


Figura 4.7.4: Lugar final donde se localizo el sitio de señal interferente

Con el último cálculo, la radiobase se encontraba próxima (2.18 km). El lugar de la interferencia se localizó en las cercanías de una colonia en la Alcaldía Tlalpan en la CDMX (ver Figura 4.7.5).

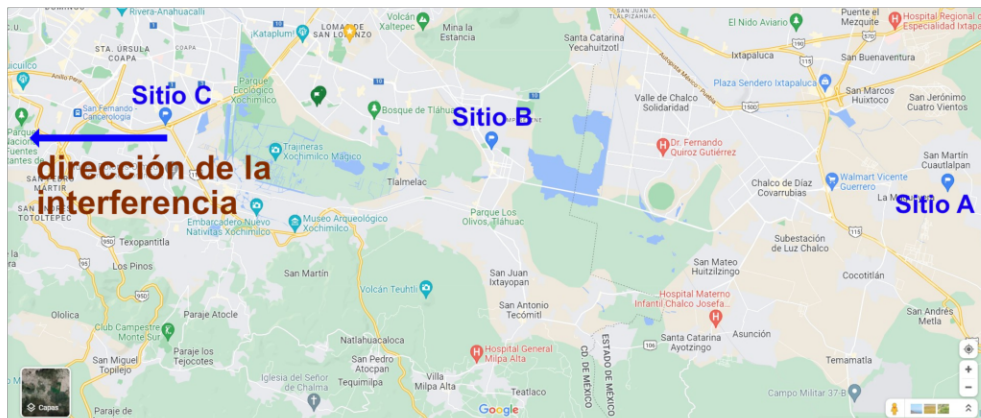


Figura 4.7.5: Mapa de ubicación de los sitios A, B y C.

# Capítulo 5

## Conclusiones

Los casos expuestos en este trabajo demuestran que, a lo largo de los 6 años laborando en el Instituto Federal de Telecomunicaciones como Especialista en Atención a Interferencias, me han dado la experiencia para analizar, atender y dar solución a diferentes casos de interferencias de servicios en el área de las telecomunicaciones y radiodifusión. En cada caso, he procurado las mejores prácticas según lo establecido por la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTyR), disposiciones técnicas emitidas por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), Reglamentos y Manuales de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), además de basarme en literatura técnica y aprovechando los cursos que el Instituto me ha brindado.

Los casos analizados son parte inherente de mi formación en el área de telecomunicaciones, los cuales, en su esencia físico-matemática permite resolverlos de manera concluyente. Sin las herramientas matemáticas y un análisis correcto, sería difícil encontrar el sitio de donde provienen las interferencias.

Se muestra que una interferencia no necesariamente proviene de una radiobase que presta servicios de acceso inalámbrico fijo y móvil. Las interferencias pueden provenir de sitios muy poco probables como: conexiones defectuosas entre equipos, componentes electrónicos mal aislados, cableado deteriorado, cámaras inalámbricas que operan en rangos de frecuencias no permitidos en México, etc.

Lo anterior nos lleva a desarrollar cierta pericia para localizar el lugar probable de interferencia, o de usuarios no autorizados, puesto que el equipo a utilizar no siempre nos dará un resultado esperado. Las señales en la vida real, se propagan en multitraectorias, por lo tanto, el equipo no puede determinar de manera correcta el punto de

origen de las señales analizadas.

La formación en Ingeniería en Sistemas Electrónicos y de Telecomunicaciones (ISET), nos lleva a dar soluciones inmediatas para la localización de interferencias y poder mitigarlas, asegurando así, servicios eficientes de telecomunicaciones y una buena gestión del espectro radioeléctrico. Hoy en día, la demanda del espectro radioeléctrico crece significativamente y con ello se crean nuevas tecnologías. Las nuevas tecnologías, deben coexistir en diferentes redes de radiocomunicaciones sin que produzca interferencias entre sí (compatibilidad electromagnética).

En el presente trabajo, se da un panorama del análisis de señales reales para que los lectores, ya sean, estudiantes u operadores de sistemas de radiocomunicaciones se familiaricen con los espectros, los rangos de operación asignados a los diferentes tipos de servicios, equipos que causan las interferencias y puedan desarrollar la pericia en la búsqueda de la fuente que radia energía electromagnética.

Los procedimientos y resultados a los que se llegaron, tiene como base una buena *comprobación técnica*, la cual, es necesaria para una correcta gestión del espectro radioeléctrico, y así garantizar que se utilice como se prevé en las administraciones federales de cada país.

## **Parte III**

### **Referencias técnicas**

# Lista de abreviaturas utilizadas

<b>AICM</b>	Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México
<b>CNAF</b>	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
<b>CDMA</b>	Acceso Múltiple por División de Código
<b>CDMX</b>	Ciudad de México
<b>DGA-VESRE</b>	Dirección General Adjunta de Vigilancia del espectro Radioeléctrico
<b>CMR</b>	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación
<b>FDD</b>	Duplexación por División de Frecuencia
<b>FDMA</b>	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
<b>GNSS</b>	Sistemas Globales de Navegación por Satélite
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>IFT</b>	Instituto Federal de Telecomunicaciones
<b>IMT</b>	Telecomunicaciones Móviles Internacionales
<b>ISEyT</b>	Ingeniería en Sistemas Electrónicos y de Telecomunicaciones
<b>LFTyR</b>	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión
<b>RR</b>	Reglamento de Radiocomunicaciones
<b>SINAVER</b>	Sistema Nacional de Vigilancia del Espectro Radioeléctrico
<b>SSL</b>	(Single Station Location) Localización por una sola Estación
<b>TDD</b>	Duplexación por División de Tiempo
<b>TDMA</b>	Acceso Múltiple por División de Tiempo
<b>UIT</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones

# Bibliografía

- [1] Lathi, B.P. & Ding, Zhi. (2010) Modern Digital and Analog Communication Systems. Oxford University Press.
- [2] Pahl, J. (2016). Interference analysis : modelling radio systems for spectrum management. John Wiley & Sons.
- [3] De los Santos, H. (2015). Radio Systems Engineering-A tutorial approach. Springer.
- [4] Saunders, S. (2007). Antennas and propagation for wireless communication systems. John Wiley & Sons Ltd.
- [5] Ramos, F. (2007). Radiocomunicaciones. Marcombo.
- [6] Manual de Comprobación Técnica Del Espectro,[Archivo PDF] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Edición 2011, páginas 1-751, referenciado de <https://www.itu.int/pub/R-HDB-23/es>
- [7] Versión Integral del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, [Archivo PDF], diario oficial de la Federación, publicado en el DOF el 30 de diciembre de 2021, páginas 748-863, referenciado a <https://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/cuadro-nacional-de-atribucion-de-frecuencias-cnaf>
- [8] Ley Federal de Telecomunicaciones Y Radiodifusión, [Archivo PDF], Diario Oficial de la Federación publicado el 20 de mayo de 2021, páginas 167, referenciado a <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR.pdf>
- [9] Recomendación UIT-R V.431-8, [Archivo PDF], Unión Internacional de Telecomunicaciones, edición 2016, páginas 3, referenciado de <https://www.itu.int/rec/R-REC-V.431-8-201508-I/es>

- [10] Recomendación UIT-R V.574-5, [Archivo PDF], Unión Internacional de Telecomunicaciones, edición 2016, páginas 12, referenciado de <https://https://www.itu.int/rec/R-REC-V.574/es>
- [11] Recomendación UIT-R P.526-15, [Archivo PDF], Unión Internacional de Telecomunicaciones, edición 2019, páginas 45, referenciado de <https://https://www.itu.int/rec/R-REC-P.526/es>
- [12] Reglamento de Radiocomunicaciones, [Archivo .docx], Unión Internacional de Telecomunicaciones, edición 2016, páginas 12, referenciado de <https://www.itu.int/es/publications/ITU-R/pages/publications.aspx?parent=R-REG-RR-2020&media=electronic>
- [13] Disposición Técnica IFT-002-2016, Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de las estaciones de radiodifusión sonora en frecuencia modulada en la banda de 88 MHz a 108 MHz, [Archivo PDF], Instituto Federal de Telecomunicaciones, Edición 2016, páginas 29, referenciado de <https://https://www.ift.org.mx/industria/politica-regulatoria/disposiciones-tecnicas>
- [14] <https://protalentoift.ift.org.mx/pbtConcursoLista.asp>
- [15] Estatuto Orgánico del Instituto Federal de Telecomunicaciones,[Archivo PDF] Instituto Federal de Telecomunicaciones, Edición 2022, referenciado de <https://https://www.ift.org.mx/conocenos/estatuto-organico>