



**ESTUDIO DE LAS INTERFERENCIAS  
QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE UNA  
ESTACIÓN BASE DE TECNOLOGÍA  
GSM EN LA BANDA DE  
800 MHZ.**

**Autor: Ortega Carlos  
C.I: 6024918**

**Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394**



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES**

**ESTUDIO DE LAS INTERFERENCIAS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO  
DE UNA ESTACIÓN BASE DE TECNOLOGÍA GSM EN LA BANDA DE 800  
MHZ.**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**Autor: Ortega Carlos  
C.I: 6024918  
Tutor: Ing. Rainier Blanco**

**San Diego, Marzo del 2018**



Universidad José Antonio Páez  
Facultad de Ingeniería

FI-T-069-2018-1

Valencia, 25 de Enero de 2018.

Ciudadano:  
**Ortega Carlos**  
C.I. 6.024.918  
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2018 de fecha 25/01/2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **"ESTUDIO DE LAS INTERFERENCIAS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE UNA ESTACIÓN BASE DE TECNOLOGÍA GSM EN LA BANDA DE 800 MHZ."** Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

Se ratifica la designación del Ing. Rainier Blanco, C.I. 11.556.607 y la Ing. Alicia Yáñez de Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

**Prof. Zulay Salcedo**  
Decana de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/gr



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

ACEPTACION DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Rainier Blanco, portador de la cédula de identidad Nro. 11.556.607, en mi carácter de Tutor del Trabajo de Grado presentado por el ciudadano Carlos Alberto Ortega León, portador de la cédula de identidad Nro 6.024.918, titulado **ESTUDIO DE LAS INTERFERENCIAS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE UNA ESTACIÓN BASE DE TECNOLOGÍA GSM EN LA BANDA DE 800 MHZ**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones. Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y mérito suficiente para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, el día 27 del mes de febrero del año 2018

Ing. Rainier Blanco

C.I: 11.556.607

## **DEDICATORIA**

Especialmente a los seres que más amo en este mundo: mis hijas Criscarl de Jesús y Ashlyn Valentina (mi nieta).

A mis hermanos, Jhonny, Joel y a mi hermana Maribel.

A mis seres queridos quienes me contemplan desde allá arriba, desde un lugar celestial: Mis padres.

A DIOS, a Jesús Cristo, a los Apóstoles, a los profetas.

A los SANTOS, a los espíritus, a los muertos.

Al Dr. José Gregorio Hernández.

## **AGRADECIMIENTO**

Sobre todas las cosas, agradezco a DIOS quien siempre está allí, brindándonos su luz, sobre todo, en aquellos momentos que más necesitamos de él.

A mis padres, quienes partieron de este mundo pero perduran en mi corazón.

A mi hija Criscarl, quien siempre me brinda su ternura, su cariño, su amor, su compañía y a mi nieta Ashlyn, por darme la alegría con su llegada a nuestro hogar. A mi yerno Carlos, por su apoyo en el hogar.

A mi cuñada Karelys, allá en el cielo, a quien todos mis hermanos la apreciamos como una hermana.

A mis hermanos: los morochos Jhonny y Joel, quienes siempre me han brindado su apoyo sin importar el momento. A mis hermanos Reinado y a Gabriel. En especial a mi cuñada Yelitza, prácticamente una hermana más, a Marbelis y Ninorka, por el apoyo incondicional. A mis Sobrinas, especialmente a Johana.

A la Universidad José Antonio Páez, por suministrarme los medios a través de excelentes profesores, para el cumplimiento de mi objetivo de culminar mis estudios. Igualmente al personal de seguridad interna y de mantenimiento, un agradecimiento muy especial.

A mis queridos profesores de la UJAP, en especial a la Profesora Marlene Zambrano, quien siempre dedicó parte de su valioso tiempo para orientarme en mi Trabajo de Grado.

Especialmente, al Profesor Rainier Blanco, quien fue mi Docente en varias asignaturas de la carrera y Tutor Académico de mi Trabajo de Grado, brindándome su apoyo incondicional quien me nutrió con sus conocimientos. Gracias a él, pude culminar con éxito la presente investigación.

A todas aquellas personas que de una u otra forma, colocaron su granito de arena (pero con un infinito valor) para que pudiera llevar a cabo la culminación de mis estudios.

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp
INDICE DE TABLAS.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCION.....	1
<b>CAPITULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Alcance.....	6
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Sistema de comunicaciones móviles.....	9
2.2.2 Ruido.....	11
2.2.3 Fuentes de ruido.....	12
2.2.4 Relación señal a ruido (S/N).....	14
2.2.5 Carga lineal y carga no lineal.....	15
2.2.6 Perturbaciones armónicas.....	15

2.2.7	Generalidades sobre los armónicos.....	16
2.2.8	Análisis de Fourier.....	19
2.2.9	Distorsión lineal.....	20
2.2.10	Distorsión de las señales digitales.....	21
2.2.11	Interferencia intersímbolo.....	22
2.2.12	Intermodulación.....	23
2.2.13	Diafonía (crosstalk).....	23
2.2.14	Espectro electromagnético.....	23
2.2.15	Ancho de banda.....	25
2.2.16	Marco Regulatorio sobre Telecomunicaciones.....	26
2.2.17	Tecnología GSM.....	31
2.2.18	Arquitectura del sistema GSM.....	33
2.2.19	Bandas de Frecuencias GSM.....	38
2.2.20	Bandas operadoras venezolanas.....	39
2.2.21	Sistemas celulares.....	40
2.2.22	Reutilización de frecuencias.....	41
2.2.23	Interferencia en sistema celular.....	42
2.2.24	Handover.....	46
2.2.25	Tráfico de red.....	47
2.2.26	Configuración de red.....	51
2.2.27	Antena en telefonía móvil.....	52
2.2.28	Métodos más comunes de reducción de ruido e interferencia.....	53
2.3	Definición de términos básicos.....	57

### **III MARCO METODÓGICO**

3.1	Tipo de investigación.....	60
3.2	Diseño de la Investigación.....	60
3.3	Nivel de la Investigación.....	61
3.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	62
3.5	Fases Metodológicas.....	63

### **IV ANÁLISIS Y RESULTADOS**

4.1	Registros estadísticos sobre asignación del espectro en Venezuela.....	64
4.2	Estadísticas del sector Telecomunicaciones.....	65
4.3	Fuentes de Ruido/armónicos en los sistemas móviles.....	73
4.3.1	Armónicos y las interferencias en sistema telefónico.....	73

4.3.2	Bancos de condensadores y cables aislados.....	75
4.3.3	Características de la carga.....	75
4.3.4	La tercera y quinta armónica.....	76
4.4	Sistemas Celulares.....	77
4.4.1	Organización de una red celular.....	78
4.4.2	Patrón de reuso de frecuencias.....	79
4.4.3	Aumento de la capacidad.....	81
4.5	Funcionamiento de sistemas celulares.....	84
4.6	Efectos de propagación en radio móvil.....	85
4.7	Desvanecimiento en entornos móviles.....	86
4.8	Efectos de la propagación multitrayectoria.....	87
4.9	Fluctuaciones por incremento de abonados.....	88
4.10	Pocas estaciones bases en áreas rurales.....	89
4.11	Asignación de bandas de frecuencias en GSM – 850 MHz.....	89
4.12	Asignación de Canales.....	90
4.13	Interferencia Co-canal.....	91
4.14	Interferencia por canal adyacente.....	94
4.15	Marco regulatorio de armónicos en telecomunicaciones.....	95
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>99</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>105</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>Pp</b>
1	Armónicos de orden superior.....	17
2	Espectro electromagnético de frecuencias.....	25
3	Ancho de banda.....	26
4	Arquitectura de la red celular GSM.....	34
5	Sistema celular.....	41
6	Reúso de frecuencias.....	42
7	Interferencia Cocanal.....	44
8	Esquema de Handover entre dos celdas.....	47
9	Cifras Sector Telecomunicaciones (1er trimestre 2014).....	66
10	Cifras Sector Telecomunicaciones (4to trimestre 2014).....	67
11	Suscriptores de telefonía móvil. Hasta el 4to trimestre 2006...	71
12	Suscriptores de telefonía móvil. Hasta el 4to trimestre 2016...	73
13	La tercera armónica.....	76
14	La quinta armónica.....	77
15	Geometría celular.....	79
16	Geometría hexagonal de un sistema celular.....	81
17	División de celdas.....	83
18	Ejemplos de reflexión difracción y dispersión.....	87
19	Dos pulsos en una multitrayectoria variable en el tiempo.....	88
20	Bandas de frecuencias en telefonía celular.....	90
21	Interferencia cocanal.....	92
22	Portadora (Carrier) e Interferencia (Interference).....	93
23	Representación gráfica interferencia cocanal.....	93
24	Interferencia de dos ondas en canales adyacentes.....	94
25	Interferencia por canal adyacente.....	95

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>Pp</b>
1	Bandas de Frecuencias.....	28
2	Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias.....	29
3	Bandas de frecuencias GSM.....	39
4	Suscriptores activos telefonía móvil modalidad pago.....	69
5	Indicadores del servicio telefonía móvil años 1997-2006....	70
6	Indicadores del servicio telefonía móvil años 2007-2016....	72
7	Parámetros típicos para macroceldas y microceldas.....	84



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICIONES**

**ESTUDIO DE LAS INTERFERENCIAS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DE  
UNA ESTACIÓN BASE DE TECNOLOGÍA GSM EN LA BANDA DE 800 MHZ.**

**Autor:** Ortega Carlos

**Tutor:** Ing. Rainier Blanco

**Fecha:** Enero, 2017

**RESUMEN**

En los últimos años las Telecomunicaciones han presentado un incremento en su evolución y desarrollo, entre ellas se encuentra la telefonía celular. La necesidad de comunicarse a distancia y tener movilidad cada vez es mayor y los fabricantes de productos y tecnología se encuentran en constante competencia para presentar y ofrecer nuevos equipos con servicios y aplicaciones que aumenten la calidad de vida del usuario final resolviendo de la mejor manera sus requerimientos y problemas. El crecimiento constante de usuarios en las empresas de telefonía móvil ha venido afectando la calidad del servicio motivado a que existen zonas de alto tráfico donde se congestiona la red, ocasionando problemas de interferencias que muchas veces son generadas por señales no deseadas tales como el ruido y las armónicas. El presente proyecto tiene como objetivo general el estudio de las interferencias que afectan el desempeño de una estación base de tecnología GSM en la banda de 800 MHz. La finalidad sería determinar las fuentes que generan las interferencias, verificar cómo afectan el desempeño de la estación, analizar el efecto sobre el funcionamiento de los equipos. Los objetivos específicos tienen como propósito determinar las fuentes de ruido/armónica que afectan a los sistemas móviles en la banda de 800 MHz, estudiar el efecto de las armónicas en dichos sistemas y estudiar los aspectos básicos que rige el Marco Regulatorio sobre armónicas en telecomunicaciones móviles. La investigación está enmarcada bajo la modalidad de proyecto factible y proyecto tecnológico y tiene una base documental y una metodología sustentada en un estudio de campo. La misma es de carácter descriptivo y explicativo.

**Descriptor:** Interferencias, ruido, armónicos, bandas de frecuencias, estación base, telefonía móvil, interfaz radio.

## INTRODUCCIÓN

La demanda en el sector de las telecomunicaciones ha estado en constante ascenso desde hace varias décadas gracias a que los teléfonos celulares se han convertido en una necesidad básica. Los altos índices de penetración en el mercado y diversificación de los servicios ofertados requieren que las operadoras de telefonía móvil inviertan en sus redes de transporte de manera de poder absorber el tráfico originado por nuevos clientes, servicios y zonas de cobertura. A la par que se incrementa el número de usuarios, crece también la dependencia de los mismos hacia las comunicaciones móviles, haciéndose imprescindible ofrecer un servicio de calidad con altos niveles de disponibilidad y sistemas de protección.

El crecimiento constante de usuarios en las empresas de telefonía móvil ha venido afectando la calidad del servicio motivado a que existen zonas de alto tráfico donde se congestiona la red, ocasionando problemas de interferencias que muchas veces son generadas por señales no deseadas tales como el ruido y las armónicas.

Con el presente trabajo se realizó un estudio de las interferencias que afectan el desempeño de una estación base de tecnología GSM en la banda de 800 MHz. La estructura de este proyecto está dividida en cuatro capítulos. En el capítulo I se hace el planteamiento del problema, se describe el objetivo general y los objetivos específicos, la justificación del proyecto, y su alcance.

El capítulo II se dedica al marco teórico, empezando por los antecedentes a este proyecto y se describen las bases teóricas acerca de las distintas formas de señales no deseadas generadas en los sistemas de telecomunicaciones, tales como el ruido, la distorsión armónica y las interferencias. Se describen los aspectos básicos que rigen el marco regulatorio de las telecomunicaciones y se señalan las características de la tecnología GSM, así como su arquitectura. Por último se describen los aspectos teóricos sobre el tráfico de red y antenas de telefonía móvil. El capítulo III se refiere

al marco metodológico, constituido por las bases metodológicas, describiéndose el tipo, diseño y nivel de investigación objeto de este trabajo, asimismo las fases que se siguen para alcanzar los objetivos propuestos.

El capítulo IV está conformado por los análisis y resultados obtenidos en la presente investigación. De igual manera se presentan las conclusiones que se derivan del estudio y las recomendaciones que se sugieren sean consideradas.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema.

La energía eléctrica, que principalmente se distribuye bajo la forma de tres tensiones que definen un sistema trifásico sinusoidal, permite suministrar la potencia eléctrica necesaria a los equipos y dispositivos electrotécnicos. Según Félice (2000), es especialmente la forma sinusoidal de la tensión de origen lo que será necesario conservar desde la producción hasta los receptores finales, pasando por la distribución, con el fin de conservar sus características esenciales para la transmisión de potencia útil a los equipos terminales. Cuando la forma de onda de tensión deja de ser sinusoidal, aparecen perturbaciones que afectan a numerosos equipos y que dan lugar a fallos de funcionamiento y al calentamiento de los receptores y aparatos conectados a una misma red eléctrica de alimentación.

El uso creciente de los equipos informáticos y de la electrónica de potencia en las redes eléctricas contribuye a la degradación de la tensión de alimentación. En efecto, los receptores, como son los motores asíncronos y los transformadores, participan en la distorsión de la onda sinusoidal de tensión, aunque no son los principales responsables. Los circuitos electrónicos de potencia, presentes hoy día en el seno de muchos dispositivos electrónicos existentes en equipos informáticos, contribuyen de forma importante a la proliferación de las perturbaciones eléctricas.

Las cargas denominadas distorsionantes, tal como lo refiere Félice (2000), también conocidas como receptores no lineales, producen en la red eléctrica corrientes distorsionadas que, cuando tienen una amplitud considerable y en función de la impedancia de la red, van a modificar la forma de la onda sinusoidal. La señal

distorsionada de este modo está compuesta por armónicos que se traducen en pérdidas eléctricas o incluso en fallos de funcionamiento de la red eléctrica de alimentación. Una señal eléctrica se caracteriza por su valor eficaz, su frecuencia, su forma, pero también por su valor pico y su factor de distorsión armónica, con el fin de poder atribuirle un rango dentro del marco de la calidad de la energía eléctrica. La “contaminación” presente en la red de distribución es perjudicial para el buen funcionamiento de los demás receptores conectados a dicha red.

El diseño básico de los sistemas de RF parte de la suposición de que los dispositivos y equipos que lo conforman tienen una respuesta lineal e invariante en el tiempo a las señales de entrada. En estos sistemas el análisis se basa en la respuesta temporal o espectral de los componentes que lo constituyen, independientemente de los niveles de potencia en cada punto. Esta suposición es válida en un sistema, pero algunos problemas son generados debido a la distorsión no lineal de los componentes.

Uno de los problemas cada vez más importante en los sistemas de radiocomunicaciones es el producido por las interferencias generadas en procesos de distorsión no lineal de señales, ya sean del propio sistema de comunicaciones o del sistema que comparten parte del espectro radioeléctrico.

Bateman (2003) señala que la mayoría de hardware de comunicaciones (filtros, mezcladores, amplificadores, etc.) y la mayoría de tipos de canal (cable, fibra, radio, infrarrojos) introducen distorsión de amplitud en una señal, usualmente con respuesta de la frecuencia. Señala que la interferencia aparece debido a una contaminación del canal por señales externas, por ejemplo desde líneas de transporte de energía, maquinaria, sistemas de encendido en motores de combustión interna, otros usuarios del canal, etc. La mayoría de la interferencia encontrada en sistemas de comunicaciones digitales procede o bien de otros sistemas de comunicaciones o bien de maquinaria.

En los sistemas de radio en particular, según Bateman (2003), una fuente de interferencias importante proviene de otros usuarios del espectro de radio. Por ejemplo, un equipo que emita en frecuencias próximas al canal deseado puede

traspasar el filtrado de selección del receptor, ocasionando lo que se conoce como interferencia de canal adyacente. En aplicaciones celulares, los usuarios de móviles en diferentes emplazamientos geográficos están asignados a la misma frecuencia para sus llamadas, y si estos usuarios no están separados por la suficiente distancia, tendrá lugar una interferencia de canal común. Otro tipo de interferencia es la denominada interferencia cocanal, consecuencia del aumento de frecuencias en una zona debido a la cantidad de tráfico o carga que esta pueda generar.

En telefonía celular se utiliza la técnica de reutilización de frecuencias, la cual consiste en tomar todo el grupo de frecuencias asignado a la red y dividirlo en subgrupos denominados celdas, que al ser ordenadas según una estructura celular, se pueden construir grandes redes con la mismas frecuencias sin que estas interfieran entre sí. Sin embargo, debido a la alta demanda de usuarios, existen zonas de alto tráfico donde se congestiona la red, ocasionando problemas de interferencias como la cocanal y la adyacente, mencionadas anteriormente.

La elaboración del presente trabajo se enfoca en el estudio de las interferencias generadas en una estación base de telefonía móvil con tecnología GSM en la banda de 800 MHz. Se realiza el estudio en esta banda, ya que según estadísticas llevadas por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), la mayoría de los suscriptores de las principales empresas telefónicas del país, aparecen registrados como usuarios de dicha banda, lo que genera saturación e interferencias en la red y por ende afecta la calidad de la comunicación.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Cómo afectan las interferencias el desempeño de una estación de telefonía móvil en la banda de 800 MHz?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Estudio de las interferencias que afectan el desempeño de una estación base de tecnología GSM en la banda de 800 MHz.

### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

\* Determinar las fuentes de ruido/armónica que afectan a los sistemas móviles en la banda de 800 MHz.

\* Estudiar el efecto de las armónicas en los sistemas de telefonía móvil en la banda de 800 MHz.

\* Estudiar los aspectos básicos que rige el Marco Regulatorio sobre armónicas en telecomunicaciones móviles.

### **1.4 Justificación de la Investigación**

El fenómeno de la contaminación armónica no es reciente, pero es actualmente cuando se encuentra en el centro de las preocupaciones del distribuidor de energía eléctrica, así como de los industriales y usuarios de energía eléctrica afectados por las perturbaciones originadas por las señales no deseadas.

La elaboración del presente trabajo se enfoca en el estudio de la interferencia producida en la transmisión de información en una estación de telefonía móvil. Es consecuencia se hace necesario el estudio de las señales no deseadas tales como el ruido y la distorsión armónica generadas en el sistema que pudieran afectar el buen funcionamiento de los equipos y dispositivos electrotécnicos interconectados a la red, lo cual afecta el grado de calidad de la comunicación.

Tiene su justificación en el sentido de que se pretende realizar una investigación para determinar las fuentes que generan las interferencias en una estación base de telefonía con tecnología GSM , lo cual es de suma importancia motivado a que es el sistema de estación base el responsable de las funciones de radio en el sistema GSM. Asimismo el estudio busca la obtención de respuestas que permitan mejorar la calidad de la comunicación.

Por otra parte se pretende dejar una investigación que sirva como soporte documental para otras futuras investigaciones en la Universidad José Antonio Páez.

### **1.5 Alcance**

La elaboración del presente trabajo está enmarcado en el estudio de interferencias que afectan el desempeño de una estación base de tecnología GSM en la banda de 800 MHz.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

Con la finalidad de sustentar los diferentes aspectos investigativos relacionados con el proyecto se hizo una revisión bibliográfica, por medio de la cual se pudo obtener información relacionada con el estudio de las interferencias que afectan el desempeño de una estación base de tecnología GSM en la banda de 800 MHz.

El marco teórico tiene por finalidad ofrecer al investigador una serie de enfoques, proposiciones y conceptos que permitan orientar la investigación. Sabino, C. (2002), refiere que: “El cometido que cumple el marco teórico es el de situar a nuestro problema dentro de un conjunto de conocimientos (...) de tal modo que permiten orientar la búsqueda que ofrezca una conceptualización adecuada a los términos que utilizamos” (p.69).

#### **2.1 Antecedentes**

La realización de los antecedentes se materializa a través de una revisión de la literatura referente al tópico en estudio. Pérez (2005), los conceptualiza como: “una indagación bibliográfica en investigaciones anteriores, tanto en el ámbito nacional como en el internacional, consiste en el análisis de investigaciones iguales o similares realizadas en el campo de estudio delimitado”. (p.68). Para la realización del presente estudio se consultó varios trabajos de investigación relacionados de manera directa y/o indirecta, con las interferencias que afectan el funcionamiento de una estación base de tecnología GSM en la banda de 800 MHz.

En el contexto internacional Logroño, A. y Padreño, D. (2014), en su Trabajo de Grado “**Diseño e implementación de un sistema inteligente para detección de**

**interferencias electromagnéticas en la banda de frecuencia modulada**”, para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Redes, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador, cuyo objetivo general consiste en diseñar e implementar un sistema inteligente para detección de interferencias electromagnéticas en la banda de frecuencia modulada, investigación de interés para el presente proyecto por cuanto el sistema inteligente a implementar permitirá realizar pruebas a través de un equipo de medición electrónica conocido como analizador de espectros, para saber exactamente en qué lugar de la banda de frecuencia modulada se está produciendo una interferencia ya sea esta cocanal, adyacente o de intermodulación; asimismo describe el marco regulatorio sobre telecomunicaciones establecido por los organismos internacionales.

Por su parte, Herrarte R, Marco (2013), en su Trabajo de Grado: “**Interferencia Electromagnética en las Antenas de Telecomunicaciones**”, presentado para optar al título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, cuyo objetivo general es estudiar los efectos de la Interferencia electromagnética en las antenas de telecomunicaciones , tema de suma importancia para la presente investigación ya que el referido trabajo enfoca el estudio de la interferencia electromagnética, las causas que la originan, de igual forma trata sobre las interferencias de radiofrecuencia, tales como la interferencia cocanal y la adyacente, en el receptor, así como las emisiones de armónicos en el transmisor, aspectos investigados en el presente proyecto.

Asimismo, Paz M, Jorge (1999), presentó ante la Escuela Politécnica Nacional de Quito, su trabajo de grado titulado “**Diseño y Planificación de Cobertura Celular Digital para la ciudad de Baños-Tungurahua**”, para optar al título de Ingeniero en la Especialidad de Telecomunicaciones, en el cual se hace referencia a los factores técnicos involucrados en el proceso de una red de telefonía celular, tema de interés para el presente proyecto por cuanto se señalan los factores relacionados con la interferencias co-canal y la interferencia de canal adyacente, que afectan los canales de voz., tanto analógicas como digitales en una estación base.

En el ámbito nacional, Ramos L, Luisa. (2005), en su trabajo de Grado titulado: **“Optimización de la Red de Interconexión de Movilnet en la Zona Occidental de Venezuela”**, presentado en la Universidad Simón Bolívar para optar al título de Ingeniero Electrónico , el cual tiene como objetivo general diseñar una ruta de enlaces de microondas que permita proteger los enlaces de la zona de occidente aumentando su disponibilidad y ampliar la capacidad en la zona permitiendo incluir nuevos usuarios y servicios en la red, de igual forma uno de sus objetivos específicos tiene por finalidad el estudio planificado del tráfico para la ruta de enlaces, siendo de interés para este proyecto ya que a través del mismo se pueden desarrollar estrategias para disminuir la congestión del tráfico de red y por ende mejorar la comunicación.

## **2.2 Bases Teóricas**

Pérez (2005), conceptualiza bases teóricas como:

“El conjunto actualizado de conceptos, definiciones, nociones, principios, otros, explican la teoría principal del tópico a investigar. Surgen de la revisión bibliográfica vinculada con el tema seleccionado. Los tópicos se explican de manera independiente presentando especial atención a la relación que mantienen con otros aspectos de la teoría...”  
(p.69).

Para alcanzar un buen desarrollo de las bases teóricas se requiere, una buena descripción de la teoría y seguidamente una explicación de la misma, manteniendo un orden lógico según su complejidad.

### **2.2.1 Sistema de comunicaciones móviles**

Según Pérez (2005), en su Trabajo de Grado de la Universidad Simón Bolívar, titulado **“Diseño de una Estación Radio Base en la red de Movilnet con fines docentes para la Universidad Simón Bolívar Sede El Litoral”**, refiere que el término de “comunicaciones móviles” describe cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, de los cuales al menos uno está en movimiento, o estático, pero en localizaciones indeterminadas, pudiendo el otro ser un terminal fijo, tal como una estación radio base. Esta definición es de aplicación a todo tipo de enlace de comunicación, ya sea móvil a móvil, o fijo a móvil.

La movilidad de estos dos elementos que se encuentran en los extremos de la comunicación hace que no sea factible la utilización de hilos (cables) para realizar la comunicación en dichos extremos. Por lo tanto utilizan básicamente la comunicación vía radio.

El Reglamento de Radiocomunicaciones define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres (fijas), o entre estaciones móviles únicamente. Además en función de donde se sitúa habitualmente el terminal móvil, el Reglamento diferencia tres tipos de servicio:

- Servicio móvil terrestre
- Servicio móvil marítimo
- Servicio móvil aeronáutico

Otra posibilidad de clasificar los sistemas de comunicaciones móviles es según su capacidad de comunicación, en uno o ambos sentidos. Con este criterio, los sistemas móviles se clasificarían en:

- **Sistemas “Simplex (SX)”**

Con la operación simplex, las transmisiones sólo pueden ocurrir en una sola dirección. Los sistemas “simplex” son, algunas veces, llamados sistemas de un sentido, sólo para transmitir o sólo para recibir. Una ubicación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambas al mismo tiempo. Un ejemplo de transmisión simplex, es la radiodifusión de la radio comercial o la televisión; la estación de radio o TV siempre transmite y el usuario siempre recibe.

- **Sistemas “Half-Duplex (HDX)”**

Con una operación half-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones pero no al mismo tiempo. A los sistemas half-duplex, algunas veces se les llama sistemas con alternativas de dos sentidos, cualquier sentido o cambio y fuera. Una ubicación puede ser un transmisor y un receptor, pero no los dos al mismo tiempo. Los sistemas de radio de doble sentido que emplean los botones PPT “Push to talk”, para operar sus transmisores, como los radios de banda civil y de organismo de seguridad pública, son ejemplos de transmisión half-duplex.

- **Sistemas “Full-Duplex (FDX)”**

Con una operación full-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones y al mismo tiempo. A los sistemas de full-duplex algunas veces se les llama líneas simultánea de doble sentido, duplex o de ambos sentidos. Una ubicación puede transmitir y recibir simultáneamente; sin embargo, la estación a la cual está transmitiendo también debe ser la estación de la cual está recibiendo. Un sistema telefónico estándar es un ejemplo de transmisión full-duplex.

- **Sistemas Full/Full-Duplex**

Con una operación full/full-duplex, es posible transmitir y recibir de manera simultánea, pero no necesariamente entre las mismas dos ubicaciones (es decir, una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir de una tercera estación al mismo tiempo). Un ejemplo de este tipo de sistemas en uso son los puntos de repetición de microondas y circuitos de comunicaciones de datos.

### **2.2.2. Ruido**

Lathi (2008), en su obra *Sistemas de Comunicación*, señala que en el proceso de transmisión las señales siempre se ven mezcladas con señales ajenas. En realidad cualquier proceso impuesto sobre alguna señal tiende a introducir perturbaciones indeseables que llamaremos ruido; por lo tanto, el ruido es una señal indeseable sin relación alguna con la señal deseada. Según Frenzel (2003), en su obra *Electrónica Aplicada a los Sistemas de las Comunicaciones*, refiere que el ruido en las comunicaciones electrónicas, es la energía aleatoria que interfiere con la señal de información.

El ruido constituye un problema en los sistemas de comunicaciones simplemente por lo reducida que es la amplitud de las señales recibidas. Cuando la transmisión se hace a distancias cortas, o cuando se usan transmisores de potencia muy alta, la intensidad de la señal es adecuada y el ruido no es problema. Pero en la mayoría de los sistemas de comunicaciones, las señales débiles son normales, por lo que el ruido se convierte en un factor importante en el diseño del equipo de comunicaciones. El ruido es más problemático en el receptor, ya que éste tiene la función de amplificar la señal débil y de recuperar la información de manera confiable.

En cualquier análisis de sistemas de comunicación y del funcionamiento de un receptor, se emplea el concepto de relación señal a ruido ( $S/N$ , *signal-to-noise*), que es un número (cociente) que indica las intensidades relativas de la señal y del ruido. Cuando más intensa es la señal y más débil sea el ruido, tanto más alta será la relación  $S/N$ . Si la señal es débil y el ruido es intenso, la relación  $S/N$  será baja y la recepción será menos confiable. El diseño de equipo de comunicaciones tiene como objetivo producir la relación  $S/N$  más alta posible.

### **2.2.3 Fuentes de ruido**

Lathi (2008) señala que existen varias fuentes de ruido que en realidad pueden clasificarse como:

- a. Ruido producido por el hombre
- b. Perturbaciones naturales y erráticas que ocurren irregularmente y
- c. Ruido de fluctuación, que se presenta en el interior de los sistemas físicos.

El ruido producido por el hombre se debe a la recepción de señales indeseables provenientes de otras fuentes tales como contactos defectuosos, artefactos eléctricos, radiación por ignición y alumbrado fluorescente; tal ruido siempre puede evitarse eliminando la fuente que lo produce. Las dos últimas fuentes de ruido no tienen origen humano. El ruido natural errático puede proceder de relámpagos, tormentas eléctricas en la atmosfera, ruido intergaláctico o disturbios atmosféricos en general. El ruido de fluctuación aparece dentro de sistemas físicos debido a fluctuaciones espontáneas como el movimiento térmico (movimiento browniano) de los electrones libres dentro de un resistor, la emisión (aleatoria) de electrones en válvulas al vacío y la generación aleatoria, recombinación y difusión de portadores (huecos y electrones) en semiconductores.

Básicamente, existen dos importantes ruidos de fluctuación: El ruido térmico y el ruido de disparo.

- **Ruido térmico**

El ruido térmico es un tipo de ruido interno, es decir el que se genera dentro de un receptor de comunicaciones. Componentes electrónicos como resistores, diodos y transistores son fuentes importantes de ruido. Aun cuando se trata de un efecto de

bajo nivel, muchas veces es lo bastante intenso para interferir con señales débiles. Sin embargo, puesto que se conocen bien las fuentes de ruido interno, el diseñador tiene cierto control sobre el mismo.

La mayor parte del ruido interno lo causa un fenómeno denominado agitación térmica, el cual se refiere al movimiento aleatorio de los átomos y electrones de un componente electrónico producido por el calor. El incremento de temperatura acentúa este movimiento. Puesto que los componentes son conductores, el movimiento de los electrones constituye un flujo de corriente que produce un pequeño voltaje en los mismos. La variación del voltaje es por completo aleatoria y ocurre a un nivel muy bajo. Con frecuencia a la agitación térmica se le conoce como ruido blanco o ruido Johnson.

La potencia del ruido que se desarrolla en un resistor es directamente proporcional a la temperatura. En un resistor más o menos grande a la temperatura ambiente o a una más elevada, el voltaje de ruido que muestra puede llegar a varios microvolts. Esta magnitud es igual a la de muchas señales de RF débiles. Algunas señales tendrán una amplitud todavía menor y, en consecuencia, este ruido las borrará por completo.

Puesto que el ruido es una señal de banda muy extensa, que incluye un enorme intervalo de frecuencias aleatorias, su nivel puede reducirse limitando el ancho de banda. Cuando una señal de ruido entra en un circuito sintonizado selectivo, muchas de las frecuencias de ruido serán rechazadas y disminuirá el nivel general de tal perturbación. El nivel de ruido es directamente proporcional al ancho de banda de cualquier circuito al que se aplique. Aun cuando la filtración reduce dicho nivel, no lo elimina por completo.

La cantidad de voltaje de ruido que aparece en un resistor o la impedancia de entrada de un resistor, puede calcularse con la expresión:

$$V_n =$$

$k =$  Constante de Boltzmann  $= 1.38 \times 10^{-23}$  Joule/Kelvin (J/K)

$T =$  Temperatura del medio conductor en Kelvin (k)

$B =$  ancho de banda. Hz

$R$

- **Ruido de disparo**

El ruido de disparo o caótico es el tipo más común de ruido y se produce por la llegada aleatoria de electrones o huecos electrónicos al elemento de salida, a la placa de un tubo o tubo, o al colector o drenaje de un transistor. El ruido de disparo también se debe al movimiento aleatorio de los electrones o los huecos en una unión PN. Aun cuando el flujo de corriente se establece con voltajes de polarización externos, seguirá existiendo cierto movimiento aleatorio de electrones y huecos debido a las discontinuidades del dispositivo. Ejemplo de una discontinuidad es el contacto entre el alambre de cobre y el material semiconductor. La interface entre los dos crea una discontinuidad que produce el movimiento aleatorio de los portadores de corriente.

Otra clase de ruido que ocurre en los transistores se llama ruido tiempo de tránsito. El tiempo de tránsito es el lapso necesario para que un portador de corriente, como un hueco o un electrón, se mueva desde la entrada hasta la salida. Con frecuencias bajas este tiempo es omisible, pero cuando la frecuencia de operación es alta y el período de la señal en proceso es del mismo orden de magnitud que el tiempo de tránsito, pueden presentarse problemas. El tiempo de tránsito se presenta como una clase de ruido aleatorio en el interior del dispositivo, el cual es directamente proporcional a la frecuencia de operación.

#### **2.2.4 Relación señal a ruido ( )**

El ruido suele expresarse como una potencia debido a que la señal recibida también se expresa en términos de potencia. Si se conocen las potencias de la señal y del ruido, puede calcularse la razón  $S/N$ . en vez de expresarla como un simple número, en general se verá indicada en términos de la unidad de decibel.

Se usan diversos métodos para expresar la calidad de ruido de un receptor. Uno de ellos se conoce como cantidad de ruido, que es el cociente de la potencia  $S/N$  en

la entrada y la potencia  $S/N$  en la salida. El dispositivo en consideración puede ser el receptor completo o una etapa de amplificación particular. Dicha cantidad,  $F$ , también llamada factor de ruido. Puede calcularse con la expresión:

$$F = (S/N \text{ de entrada}) / (S/N \text{ de salida})$$

En un amplificador o receptor habrá siempre más ruido en la salida que en la entrada, porque el amplificador o receptor genera ruido interno que se agregará a la señal. Y aun cuando ésta pueda amplificarse en el proceso, el ruido se amplificará junto con ella. La relación  $S/N$  de la salida será menor que la relación  $S/N$  de la entrada; por lo tanto, la cantidad de ruido siempre será mayor que uno. Un receptor que contribuye con cero ruido tendrá una cantidad igual a 1, o 0 dB, imposible de conseguir en la práctica. Un amplificador de transistor en el receptor de comunicaciones suele tener una cantidad de ruido de varios decibeles. Cuanto menor sea esta, tanto menor será el amplificador.

Otro método para expresar el ruido de un amplificador consiste en utilizar la temperatura de ruido. La mayor parte de la perturbación producida en un dispositivo es ruido térmico que es directamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto, la temperatura es un medio de medición apropiado.

### **2.2.5 Carga lineal y carga no lineal**

Una Carga lineal cuando está sometida a una tensión sinusoidal, absorbe una corriente con la misma forma de onda. De este modo en cualquier instante, existe proporcionalidad entre la tensión y la corriente. En el caso de una carga lineal asociada a elementos puramente resistivos, la potencia absorbida correspondiente a estas dos magnitudes eléctricas, tensión y corriente, es el producto de las mismas.

La carga no lineal se corresponde con un tipo de carga compuesta por elementos semiconductores, constituyentes especiales de los dispositivos electrónicos. La carga no lineal, cuando se somete a una tensión sinusoidal, absorbe una corriente distorsionada. Por tanto, no existe proporcionalidad entre la tensión y la corriente.

### **2.2.6 Perturbaciones armónicas**

Las cargas denominadas distorsionantes, también conocidas como receptores no lineales, producen en la red eléctrica corrientes distorsionadas que, cuando tienen una

amplitud considerable y en función de la impedancia de la red, van a modificar la forma de onda sinusoidal (Félice,2000). La señal distorsionada de este modo está compuesta por armónicos que se traducen en pérdidas o incluso en fallos de funcionamiento de la red eléctrica de alimentación.

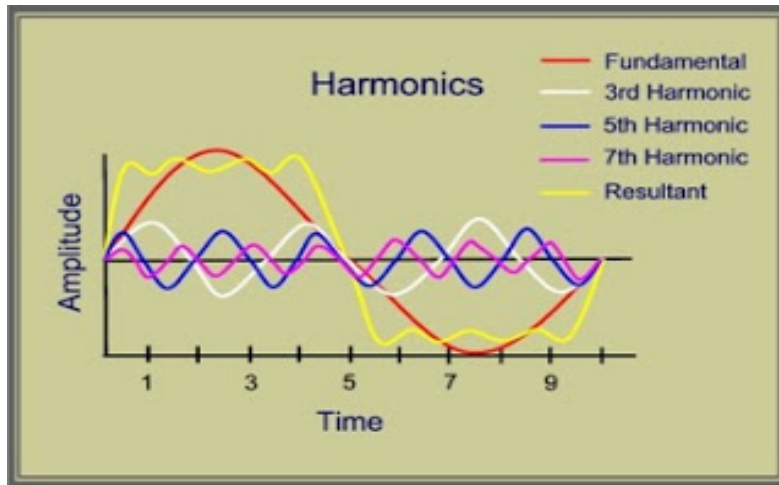
Estas cargas distorsionantes o no lineales están presentes en muchos dispositivos electrotécnicos, tales como reguladores de velocidad y rectificadores dentro del sector industrial, pero también en las fuentes de alimentación conmutadas de los ordenadores y en los onduladores de tensión. El conjunto de estos dispositivos distorsiona la señal eléctrica de la red y, en consecuencia, la corriente y la tensión, produciendo corrientes y tensiones armónicas.

### **2.2.7 Generalidades sobre los armónicos**

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 50 ó 60 ciclos, con una tensión y corriente sinusoidal. Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 50 ó 60 ciclos sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un usuario. La forma de onda existente está compuesta por un número de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, incluyendo una referida a la frecuencia fundamental.

El término componente armónico o simplemente armónico, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en porcentaje de la fundamental. La suma de estas señales sinusoidales de frecuencias y amplitudes diferentes constituye la señal distorsionada.

Es importante indicar que la vasta mayoría de las corrientes armónicas encontradas en un sistema de distribución son armónicos de orden superior (3°, 5°, 7°, entre otros). También; más a menudo que no, las fuentes de corrientes armónicas en un sistema de distribución son las cargas en operación dentro las instalaciones. Es interesante indicar que son las más sensibles a la distorsión en la corriente y/o voltaje. La figura 1 muestra este tipo de armónicos.



**Figura 1. Armónicos de orden superior**

**Fuente:** Carpio,J.(2011). Qué son los armónicos. Datos tomados [https://www.google.co.ve/webhp?source=search\\_app&gfe\\_rd=cr&ei=IBRwWLGuK8\\_LgATBIZewDg#q=imagen+armonicos+electricos](https://www.google.co.ve/webhp?source=search_app&gfe_rd=cr&ei=IBRwWLGuK8_LgATBIZewDg#q=imagen+armonicos+electricos).

En el sistema eléctrico nacional, las señales armónicas son múltiplos de la frecuencia fundamental de 60 Hz de la tensión de la red. El orden de los armónicos se define como la relación entre la frecuencia del armónico considerado y la frecuencia fundamental:

$$Orden = F_{armónico} / F_{fundamental}$$

Se distingue entre los armónicos de orden par: 2, 4, 6, 8, entre otros, y los armónicos de orden impar: 3, 5, 7, 9, entre otros. Los armónicos de orden impar son los más habituales en las redes eléctricas industriales. En efecto los armónicos de orden par se anulan debido a la simetría de la señal. Por esto, en la mayoría de los casos, no existen más que armónicos de orden impar. Los armónicos por encima del orden 23 son despreciables.

· **Factor de distorsión armónica global ( )**

Con el fin de disponer de una representación global de la distorsión de una señal, es necesario definir un factor de distorsión armónica que tenga en cuenta el conjunto armónicos de la señal analizada es: el *THD*. Cuando más distorsionada esté la señal, mayor será el factor de distorsión armónica, lo que significa que, en consecuencia, el nivel de riqueza de la señal armónica también es mayor.

El factor global de distorsión armónica es igual a la relación entre el valor eficaz del conjunto de las corrientes armónicas y el valor eficaz de la corriente de la componente fundamental. Por tanto el *THD-F* se expresa como:

$$THD-F = (\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2})/I_1$$

Donde  $I_1$  es el valor eficaz de la componente fundamental.

Del mismo modo se define el factor de distorsión armónica de los armónicos con respecto al valor eficaz de la señal, siendo el cociente:

$$THD-G = (\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2})/X$$

Donde  $X$  es el valor eficaz de la señal.

· **Origen de los armónicos**

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante (está en función de la tensión). Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal adsorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo  $\phi$  respecto a la tensión. Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red.

Las cargas armónicas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como: variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc. Otro tipo de cargas tales como: reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc., también inyectan armónicos. Las cargas que tienen un comportamiento lineal, tales como inductancias, resistencias y condensadores, no generan armónicos.

### 2.2.8 Análisis de Fourier

Toda señal periódica se puede descomponer como una suma de ondas senoidales, cuyas amplitudes y frecuencias son obtenidas a partir del análisis de Fourier. De esta forma, cualquier señal puede representarse como una suma infinita de sus armónicos o componentes en frecuencia. Se denomina espectro de frecuencias de una señal a esta descomposición, en frecuencia, de la señal que se expresa como una serie de Fourier. La forma de representar gráficamente este espectro es, mediante los clásicos ejes de coordenadas, asignando el valor de las frecuencias al eje de abscisas y dibujando la amplitud de los mismos en el eje de coordenadas.

Toda función  $f(t)$  periódica de periodo  $P$ , se puede representar en forma de una suma infinita de funciones armónicas, es decir,

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos(i \omega t) + b_i \sin(i \omega t))$$

Donde el periodo  $P=2\pi/\omega$ , y  $a_0, a_1, \dots, a_i, \dots$  y  $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots$  son los denominados coeficientes de Fourier.

Para aplicar el teorema de Fourier a una función periódica dada es necesario determinar los coeficientes  $a_i$  y  $b_i$ .

$$\begin{aligned} \frac{a_0}{2} &= \frac{2}{P} \int_{-\frac{P}{2}}^{\frac{P}{2}} f(t) dt \\ a_i &= \frac{2}{P} \int_{-\frac{P}{2}}^{\frac{P}{2}} f(t) \cos(i \omega t) dt \quad i = 1, 2, 3, \dots \\ b_i &= \frac{2}{P} \int_{-\frac{P}{2}}^{\frac{P}{2}} f(t) \sin(i \omega t) dt \quad i = 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

En las ecuaciones se hizo la transformación de la función periódica de periodo  $P$ , en otra función periódica de periodo  $2\pi$ , mediante un simple cambio de escala en

el eje  $t$ . Escribiendo  $x = \omega t$ , se obtiene el periodo  $P$  de  $t$  convertido en el periodo  $2\pi$  de  $x$ , y la función  $f(t)$  convertida en

$$g(x) = f\left(\frac{Px}{2\pi}\right)$$

definida en el intervalo que va de  $-\pi$  a  $+\pi$ . La serie se expresa en la forma más simple

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos(ix) + b_i \sin(ix))$$

Donde,

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} g(x) dx$$

$$a_i = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} g(x) \cos(ix) dx \quad i = 1, 2, \dots$$

$$b_i = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} g(x) \sin(ix) dx \quad i = 1, 2, \dots$$

Si la función  $g(x)$  tiene simetría, algunos de los coeficientes resultan nulos.

- Si  $g(x)$  es una función par,  $g(x) = g(-x)$ , los términos  $b_i$  son nulos
- Si  $g(x)$  es impar  $g(x) = -g(-x)$ , los coeficientes  $a_i$  son nulos

### 2.2.9 Distorsión lineal

Haykin y Van Veen (2004), en su libro titulado Señales y Sistemas, señalan que en un sistema lineal e invariante con el tiempo (LTI), en la transmisión sin distorsión la señal de salida es una réplica exacta de la señal de entrada, esto cuando se trata de un sistema ideal. En la práctica siempre se presenta cierta cantidad de distorsión lineal en la salida de un sistema LTI físico, sea en tiempo continuo o del tiempo discreto. Se pueden distinguir dos componentes de la distorsión producida por la transmisión de una señal en estos sistemas:

- Distorsión de amplitud. Cuando la respuesta en magnitud del sistema no es constante dentro de la banda de interés, los componentes de frecuencia de la señal de

entrada se transmiten a través del sistema con diferentes cantidades de ganancia o atenuación, es decir que la distorsión de amplitud es el exceso de la ganancia o de la atenuación de uno o ambos extremos de la banda de frecuencia de interés.

- Distorsión o retardo de fase. Surge cuando la respuesta en fase del sistema no es lineal con la frecuencia dentro de la banda de frecuencia de interés. Si la señal de entrada se divide en un conjunto de componentes, cada una de las cuales ocupa una banda estrecha de frecuencias, implica que todas sufren de retardo diferente al pasar a través del sistema, con el resultado de que la señal de salida emerge con una forma diferente a la de la señal de entrada.

### **2.2.10 Distorsión de las señales digitales**

Herrera (2005) en su texto Comunicaciones II, menciona que al igual que una señal analógica, cuando una señal digital se transmite a través de un sistema se ve sometida a distorsión de su forma de onda. Esta distorsión se debe a dos razones, la distorsión de canal y la distorsión por ruido e interferencia.

- **Distorsión de canal**

La distorsión de canal se presenta debido a que el canal tiene un comportamiento de filtro que atenúa y deforma la señal. La atenuación se incrementa con la longitud del canal y puede ir desde un pequeño porcentaje para distancias cortas hasta magnitudes muy grandes para la comunicación interplanetaria. La distorsión de canal se puede presentar en dos versiones, la distorsión lineal y la distorsión no lineal.

En la distorsión lineal, la señal se modifica en su forma de onda como resultado de una respuesta distinta de atenuación y fase del canal a los diferentes componentes de frecuencia de la señal. Provoca, por ejemplo, que un pulso rectangular que se transmite se redondee y se ensanche. El problema se puede corregir en el receptor mediante un compensador (ecualizador) con características de ganancia y fase complementarias a las del canal. La distorsión no lineal aparece cuando no presenta la misma atenuación a cualquier amplitud de señal. Este tipo de distorsión también se puede corregir parcialmente con el uso de un ecualizador complementario (compexpansor) en el receptor.

- **Distorsión por ruido e interferencia**

La señal no sólo se distorsiona debido al canal. Señales indeseables, tanto ajenas como inherentes al sistema, conocidas como ruido constituyen también un factor importante de contaminación de la señal que se transmite por el canal. El ruido está constituido por señales aleatorias impredecibles que se producen tanto en el exterior como en el interior del sistema. Ejemplo de ruido externo son las señales provenientes de canales vecinos (interferencias), ruido generado por el hombre (de contactos eléctricos, de ignición de automóviles, de luces fluorescentes, etcétera), ruido natural de relámpagos, tormentas, radiación solar, etcétera. Con el debido cuidado, este ruido se puede minimizar o aun eliminarse.

El ruido interno se debe al movimiento térmico de los electrones dentro de los circuitos del sistema, o a la emisión aleatoria y la difusión o recombinación de portadores de carga dentro de los dispositivos electrónicos. A diferencia del exterior, este ruido nunca se puede eliminar totalmente. El ruido es uno de los factores fundamentales que limita la capacidad de comunicación.

### **2.2.11 Interferencia intersímbolo**

Batimán (2003) refiere que con cualquier canal práctico, el inevitable efecto de filtrado causará una dispersión (“embarradura”) de los símbolos de datos individuales que pasan a través del canal. Para símbolos consecutivos, esta dispersión hace que parte de la energía de símbolos se solape con los símbolos vecinos, causando interferencia intersímbolo (ISI). Adicionalmente, efectuar un filtrado en las propias unidades transmisora o receptora también puede introducir degradación ISI.

La interferencia intersímbolo puede degradar significativamente la habilidad del detector de datos para diferenciar un símbolo real desde la energía difundida de símbolos adyacentes. Incluso sin haber ruido presente en el canal esto puede llevar a errores de detección, denominados proporción irreducible de errores, y como mínimo degradará el comportamiento de las proporciones de bits y símbolos de error en presencia de ruido.

Herrera (2005) refiere que en la transmisión de datos se transmiten en la forma de pulsos. Si los pulsos que se transmiten son de tiempo limitado, su ancho de banda

será infinito. En consecuencia, si el canal por el que se transmiten es de ancho de banda finito las componentes de alta frecuencia de los pulsos se eliminan provocándose el “redondeo” y ensanchamiento de los pulsos. Lo que se transmite a través de un canal con ancho de banda finito, perderá sus pronunciados flancos para subir y decaer de manera gradual. Esta dispersión provoca que un pulso se traslape con el o los siguientes pulsos ocasionando lo que se conoce como interferencia entre símbolos.

### **2.2.12 Intermodulación**

La intermodulación (en inglés *intermodulation*, IMD abreviado), es la modulación de amplitud no deseada de señales, con dos o más frecuencias diferentes, en un sistema con comportamiento no lineal. La intermodulación entre cada componente de frecuencia formará señales adicionales en frecuencias que no son, en general, armónicos (múltiplos enteros) de cualquiera de ellas, sino a menudo las frecuencias suma y diferencia de las frecuencias originales.

### **2.2.13 Diafonía ( )**

La diafonía o crosstalk ocurre cuando un circuito recoge señales de otro circuito por el acoplamiento entre líneas que transportan señales. Sucede por diversas causas como blindajes rotos en un cable, que al estar cercano a otro puede causar interferencia, también puede aparecer en enlaces multiplexados que llevan muchas señales discretas, o bien en enlaces microonda en el que una antena recoge un reflejo de otra antena, entre otros. El clima también juega un papel importante en la aparición de crosstalk, ya que un clima húmedo o mojado, puede incrementar el nivel de éste.

### **2.2.14 Espectro electromagnético**

Antes de transmitirse, la información debe convertirse en señal electrónica compatible con el medio. Por ejemplo, un micrófono convierte la voz en un voltaje de amplitud y frecuencia variables. Después esta señal de la banda base se hace pasar a través de conductores hasta un receptor o unos audífonos. Así funciona el sistema telefónico. Se transmite bastante información de esta manera. En lugar de conductores puede usarse el espacio atmosférico o el exterior. La información se

convierte en señales que se radian al espacio, las cuales se componen de campos eléctricos y magnéticos. Estas señales, llamadas por tanto, electromagnéticas, recorren varias distancias a través del espacio y se les denomina ondas de radiofrecuencia (RF).

Las ondas electromagnéticas son señales que oscilan; es decir, la amplitud de los campos eléctricos y magnéticos varía de manera alterna con una rapidez específica. La intensidad del campo varía hacia arriba y hacia abajo un número dado de veces por segundo. Las ondas electromagnéticas presentan una variación de forma senoidal. Su frecuencia se mide en ciclos por segundo (cps) o Hertz. Estas oscilaciones pueden ocurrir en una frecuencia muy baja, o con una frecuencia bastante alta. El conjunto total de frecuencias se llama espectro electromagnético.

En el extremo inferior están frecuencias como la de la red eléctrica, de 60 Hz, y las de señales de audio (voz). En el intervalo medio se encuentran las radiofrecuencias de uso más común en las comunicaciones bidireccionales, la televisión y otras aplicaciones. En el extremo superior del espectro están el infrarrojo y la luz visible. En la figura. 2 se muestra la distribución del espectro radioeléctrico, donde se señalan todas las frecuencias correspondientes a cada porción asignada.

### El espectro de frecuencias.

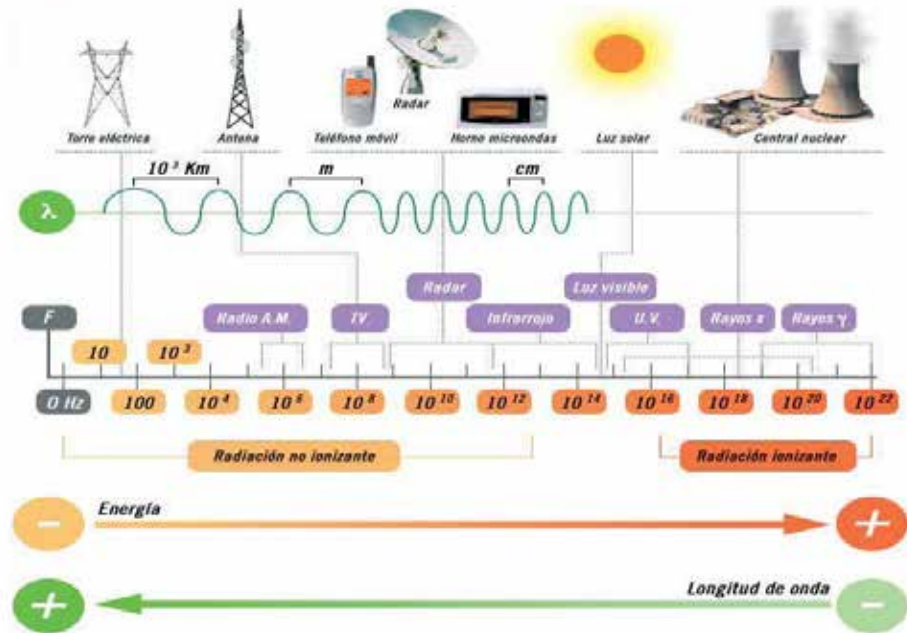


Figura 2. Espectro electromagnético de frecuencias.

Fuente: Porra, J (2012). Espectro Electromagnético.

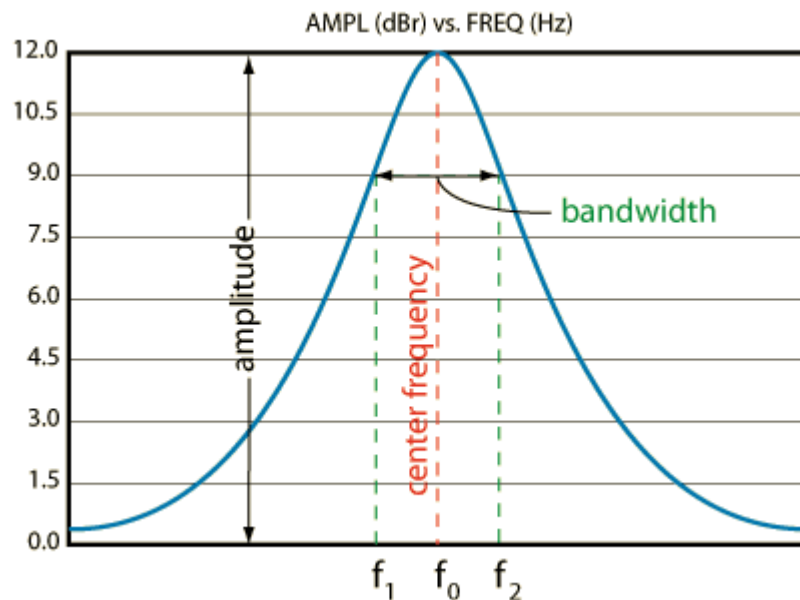
<https://grupo2radiobiologiayradioproteccion2.wordpress.com/2012/02/06/espectro-electromagnetico-y-ondas-electromagneticas/>

En el marco legal venezolano, el espectro radioeléctrico, de conformidad con lo establecido en el artículo 4 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, es el conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de los 3000 gigahercios (GHz) y que se propagan por el espacio sin guía artificial. El espectro se divide en bandas de frecuencias que se designan por números enteros, en orden creciente. Las bandas de frecuencias constituyen el agrupamiento o conjunto de ondas radioeléctricas con límite superior e inferior definidos convencionalmente. Estas a su vez podrán estar divididas en subbandas.

#### 2.2.15 Ancho de banda

El ancho de banda es la porción del espectro que ocupa una señal. También es el intervalo de frecuencias en el que se transmite una señal de información, o en el que opera un receptor u otro circuito electrónico. Especialmente el ancho de banda (BW,

bandwidth) es la diferencia entre el límite superior y el inferior de las frecuencias de señal o del intervalo de operación del equipo. La figura 3 muestra la gráfica del ancho de banda.



**Figura 3. Ancho de Banda**

**Fuente:** Martínez, E. (2015). Ancho de banda. Definición.  
<https://www.google.co.ve/search?q=imagen+ancho+de+banda>

### 2.2.16 Marco Regulatorio sobre Telecomunicaciones

El organismo regulatorio por excelencia, en materia de telecomunicaciones, es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) que es una dependencia de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la cual establece normas o estándares para diferentes áreas dentro del campo de las comunicaciones.

- **Asignación y regulación del espectro**

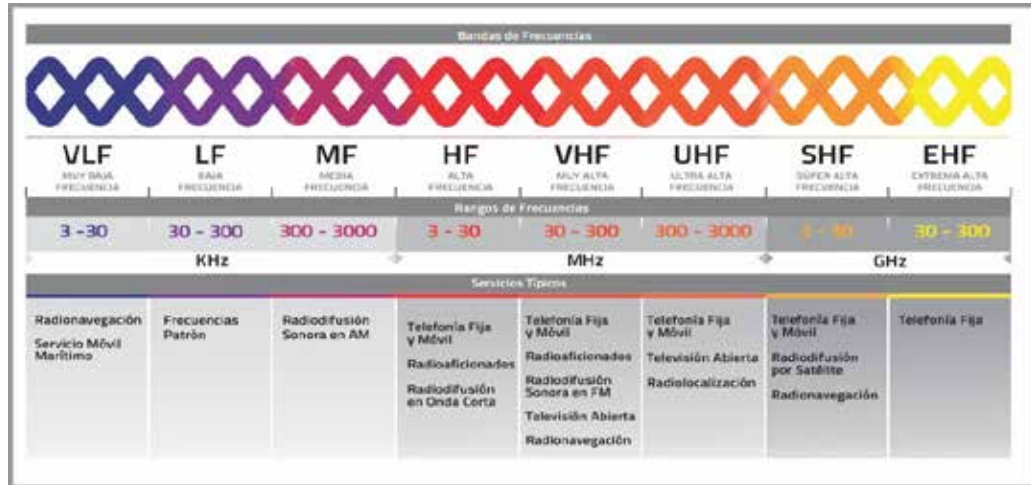
Estados Unidos y otros países pronto se percataron de que el espectro de frecuencias era en realidad un valioso recurso finito. Por ello, los gobiernos establecieron organismos para controlar el uso del espectro. En estados Unidos el Congreso promulgó la Ley de Comunicaciones, en 1934. Junto con sus diferentes enmiendas, la ley determinaba como usar el espacio espectral. Asimismo, estableció

la *Federal Communications and Commission* (FCC, Comisión Federal de Comunicaciones) cuya función es asignar el espacio espectral, emitir concesiones, establecer estándares y regular las ondas espaciales. La FCC controla todas las comunicaciones telefónicas y radioeléctricas en Estados Unidos y en general regula todas las emisiones electromagnéticas.

La *National Telecommunications and Information Administration* (NTIA) desempeña una función similar para los servicios gubernamentales y militares. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) reúne a los diferentes países para discutir la forma en que debe dividirse el espectro de frecuencias. A nivel mundial, la WRC (*World Radio Conference*), uno de los brazos de la UIT, determina cada dos años la utilización que se debe hacer del espectro radio eléctrico. Cada administración nacional, basada en las recomendaciones de la WRC, determina su propio uso del espectro.

En nuestro país, el espectro radioeléctrico, está considerado de dominio público y según la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, le corresponde a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), la administración, regulación, ordenación y control del espectro radioeléctrico de conformidad con lo establecido en dicha ley y las normas vinculantes dictadas por la UIT. En la tabla 1 se ilustran los diversos servicios de radiocomunicaciones disponibles en cada subbanda.

**Tabla número 1. Bandas de Frecuencias**



**Fuente:** Conatel. (2018). Espectro Radioeléctrico. Tomado [www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/](http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/)

Asimismo, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones señala que la utilización del espectro radioeléctrico deberá ajustarse al Cuadro Nacional de Atribuciones de Bandas de Frecuencias (CUNABAF), el cual establece la atribución de las distintas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico en la República Bolivariana de Venezuela, tomando como referencia la atribución prevista en el Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias contenido en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En la tabla 2 se muestra la atribución de bandas de frecuencias según CUNABAF.



- **Regulación de las emisiones radioeléctricas**

El progreso tecnológico en las telecomunicaciones aporta innumerables ventajas a la sociedad pero también comporta determinados riesgos que resulta necesario conocer y evaluar para mantener un equilibrio entre los beneficios y los riesgos asociados a ellos. Uno de estos riesgos es el derivado de la proliferación de estaciones de telefonía móvil y de las emisiones radioeléctricas que generan.

El funcionamiento de los teléfonos móviles está condicionado por la existencia de las estaciones base (denominadas comúnmente BTS), en su área próxima de alcance. Dicha estaciones bases son un soporte de red necesario para la interconexión de los teléfonos móviles a las centrales de conmutación que permiten establecer la comunicación entre los usuarios del servicio de telefonía.

El alejamiento de las antenas de las áreas urbanas obligaría a las estaciones bases a emitir a elevada potencia para dar cobertura en la ciudad, y a los terminales a emitir también a mayores potencias, para poder alcanzar a la estación base, incrementándose los niveles de exposición.

En nuestro país existe una providencia administrativa a través de CONATEL, que regula las condiciones de seguridad ante las emisiones de radiofrecuencia producidas por estaciones radioeléctricas fijas que operan en el rango de 3 kHz a 300 GHz. Se señalan las condiciones de instalación de las antenas transmisoras para asegurar que en las distintas zonas de acceso, el nivel de energía recibida, generada por sus estaciones, no exceda el límite de exposición correspondiente a la frecuencia de operación de cada estación, asimismo se especifican las disposiciones para la instalación de antenas transmisoras para los servicios de telefonía móvil.

- **Normativa sobre los armónicos**

La introducción de nuevas tecnologías en los sistemas de potencia tales como cargas no lineales, basadas en semiconductores que absorben corrientes en pulsos bruscos, ha traído como consecuencia el flujo de corrientes armónicas hacia el sistema de potencia AC. Esta situación puede crear interferencia con los equipos de comunicación, sobrecalentamiento de equipos y peligrosas condiciones de resonancia en el sistema. La norma IEEE Std 519-1992 indica respecto a estas nuevas

tecnologías, que el que más contribuye al flujo de armónicos es el computador personal, debido a que usan una fuente de alimentación con diodos y condensadores para la rectificación de la onda, al igual que la mayoría de los otros equipos electrónica de oficina (Hernández, 2007)..

Las armónicas también son generadas por las bobinas (balastos) para lámparas fluorescentes y en lámparas con bobinas de núcleos magnéticos normales, la corriente de tercera generada a 180 Hz se sitúa en 30% aproximadamente de la frecuencia fundamental a 60 Hz. Otros equipos de estado sólido, como los de comunicación, arrancadores suaves de motores, rectificadores AC-DC y fuentes de energía ininterrumpidas (UPS) también contribuyen en gran proporción al flujo de armónicos en los sistemas de potencia.

La Distorsión Armónica Total (THD) es definida por la norma venezolana como Tasa de Distorsión Total (TDT), es un término comúnmente usado para definir el “factor de distorsión armónica” (DF) en la tensión o corriente en el sistema de potencia. Este factor se usa en sistemas de baja, media y alta tensión.

La norma venezolana COVENIN 159:1997, referida al control de armónicos en sistemas eléctricos, establece límites de tensión y corriente armónica, así como recomendaciones para evaluar el impacto de los armónicos presentes tanto en instalaciones eléctricas industriales comerciales y residenciales como de las empresas de distribución, transporte y generación de energía. Entre los objetivos específicos de esta norma están el de regular los niveles de armónicos de corriente y de tensión de un sistema eléctrico mediante el establecimiento de límites, de tal manera que se garantice la compatibilidad electromagnética (CEM), de las cargas y equipos asociados, a los fines de que estos puedan operar satisfactoriamente, sin ser vdañados ni reducir su tiempo de vida útil.

### **2.2.17 Tecnología GSM**

Se define la red GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) como aquel servicio portador constituido por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios que permiten enlazar a voluntad dos equipos terminales

móviles mediante un canal digital que se establece específicamente para la comunicación y que desaparece una vez que se ha completado la misma.

La transmisión de voz sobre las interfaces de radio de un sistema de comunicaciones móviles en un entorno cambiante es bastante complicada. Se tienen una serie de inconvenientes, entre los que se encuentran la escasez de espectro disponible y los efectos nocivos de la propagación de la onda en las interfaces de radio.

El primer problema hace necesaria la eficiencia espectral, que obliga a establecer la comunicación con un flujo de datos de baja velocidad, manteniendo un nivel de calidad comparable a la telefonía convencional (cuando no se presentan errores) y con mucha menor velocidad de transmisión. Esto se realiza con el codificador de voz de GSM, también llamado codificador de la fuente, permitiendo que un número alto de usuarios utilicen el canal simultáneamente. La eficiencia espectral hace necesario además que el sistema de modulación usado tenga un ancho de banda relativamente estrecho y una baja radiación fuera de banda para reducir la interferencia en el canal de radio, ya que este es un medio muy hostil en el que se presentan interferencias de otros usuarios, así como una gran cantidad de efectos entre los que se encuentran la atenuación debida a la distancia entre el transmisor y el receptor, así como las perturbaciones producidas por reflexión, difracción, adición de señales espurias y ruido.

GSM emplea la modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) obtenida a partir de una modulación MSK (*Minimum Shift Keying*) que es un tipo especial de la modulación digital de frecuencia FSK (*Frequency Shift Keying*). Para el acceso en las interfaces radio se utiliza el sistema TDMA (*Time Division Multiple Access*) de banda estrecha entre la estación base y el teléfono celular utilizando uno de los canales de radio de frecuencia dúplex. Para minimizar las fuentes de interferencias y conseguir una mayor protección se utiliza el FH (*Frequency Hopping*) o salto en frecuencia entre canales, con una velocidad máxima de 217 saltos/s y siempre bajo mandato de la red.

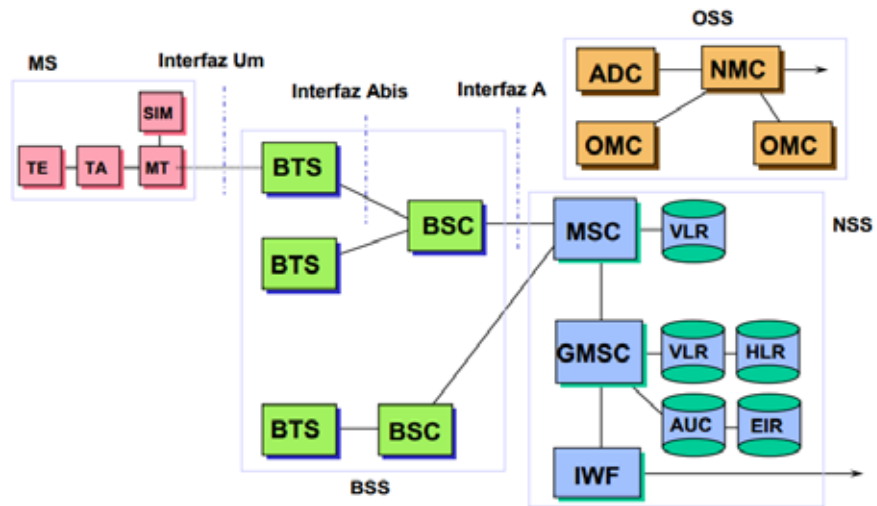
GSM tiene cuatro versiones principales basadas en la banda: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1,8 Hz) son utilizadas en la mayor parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y algunos países de América Latina donde se utiliza el sistema CDMA (*Code Division Multiple Access*), en esos lugares se utilizan las bandas GSM-850 y GSM-1900 (1,9 GHz). La banda GSM-850, es referida algunas veces como la Banda 800 MHz..

### **2.2.18 Arquitectura del sistema GSM**

La arquitectura de la red GSM está básicamente dividida en tres parte: el sistema de conmutación, el sistema de estaciones base y el sistema de operación y mantenimiento. Cada uno de estos sistemas contiene una serie de unidades funcionales en las cuales se realizan todas las funciones que el sistema GSM es capaz de proporcionar. Las funciones relacionadas con el proceso de llamadas y abonados están implementadas en el sistema de conmutación, mientras que las funciones relacionadas con la radio se encuentran en el sistema de estaciones base; todo ello está supervisado por el sistema de operación y mantenimiento.

Al sistema de estaciones base irá conectada la estación móvil vía una interfaz aérea y, a través de esta estación, el abonado de la red móvil será capaz de efectuar y recibir llamadas.

Para la gestión de llamadas hacia/desde abonados de la red fija es necesario que el sistema de conmutación tenga implementadas las interfaces apropiadas de interconexión con toda la variedad de redes fijas existentes: red telefónica básica, red digital de servicios integrados, red de paquetes, etcétera. Para la gestión de llamadas hacia/desde otros abonados móviles es necesario que el sistema de conmutación tenga implementada la interfaz hacia otras entidades de la red GSM. La fig. 4 muestra la arquitectura de una red celular GSM.



**Fig. 4. Arquitectura de la red celular GSM**

Fuente: Correa (2014)

· **Sistema de conmutación**

El sistema de conmutación realiza todas las funciones normales en telefonía, como la gestión de llamadas, control de tráfico, análisis de numeración y estadísticas de llamadas. Incluye las siguientes unidades funcionales o nodos de la red GSM:

- \* Central de conmutación de móviles (MSC).
- \* Registro de posiciones base (HLR).
- \* Registro de posiciones visitado (VLR).
- \* Centro de autenticación (AUC).
- \* Registro de identificación de estaciones móviles (EIR).

· **Sistema de estaciones base**

El sistema de estación base, fundamentalmente, es responsable de las funciones de radio en el sistema GSM: gestión de las comunicaciones radio, manejo de traspaso de llamadas entre células en el área bajo su control, control del nivel de potencia de la señal tanto de las estaciones base como de las estaciones móviles, etc. Incluye las siguientes unidades funcionales:

- \* Controlador de estaciones base (BSC).
- \* Estaciones base (BTS).

- **Sistema de operación y mantenimiento**

El sistema de operación y mantenimiento, centralizado y remoto, proporcionará los medios necesarios para poder llevar a cabo una eficiente gestión de la red tanto de la parte de conmutación como de la de radio. Las principales tareas a realizar por este sistema son: gestión de la red celular, administración de abonados, gestión de averías y medidas de funcionamiento de la red de conmutación y de radio.

A continuación se describen cada uno de los nodos de la red GSM, antes referidos:

- **BSC (Controlador de estaciones base)**

Siglas de "*Base Station Controller*". El elemento BSC controla un determinado número de BTSs de un área. Todas las BTSs de dicho área se conectan a la BSC y, a través de ella, pasa todo el flujo de comunicaciones. El elemento BSC controla el correcto funcionamiento de las BTSs conectadas, maneja la configuración de cada una de ellas e incluso participa activamente cuando un usuario móvil pasa de una BTS a otra (*hand-over*).

Hace de interfaz entre el sistema de estaciones base y el sistema de conmutación, es decir separa las funciones de radio de las de conmutación. Las principales funciones que realiza son:

- Gestión de canales de radio.
- Supervisión de estaciones base.
- Traspaso entre canales de la BSC.
- Gestión de la transmisión hacia la estación base.
- Transcodificador y adaptador de velocidades.
- Localización de estaciones móviles.

- **BTS (Estaciones base)**

Siglas de "*Base Transceiver Station*". Es el elemento que se conecta a las antenas de telefonía móvil en la segunda generación. La BTS se instala en la caseta que solemos ver a los pies de la torre de un emplazamiento. De la BTS salen los cables que emiten y reciben las señales y que se conectan a las antenas situadas en lo alto de la torre. Normalmente hay una BTS por emplazamiento que se conecta a

varias antenas. Cada antena da cobertura a un sector circular al que denominamos celda. Por lo tanto una BTS gestiona todas las celdas de un emplazamiento.

Incluye la interfaz radio y los equipos de transmisión necesarios para cubrir una o varias células. Las funciones más importantes son:

- Codificación/decodificación de los canales.
- Cifrado/descifrado del camino radio.
- Medida de la intensidad de la señal.
- Diversidad en recepción.
- Búsqueda del MS.
- Recepción de las peticiones de canal desde MS.

· **MSC (Central de conmutación de servicios móviles):**

La central MSC es la interfaz entre la red GSM y las redes públicas de voz y datos. Las funciones más importantes que realiza son:

- Establecimiento, enrutamiento, control y terminación de las llamadas.
- Gestión de “handover” (traspaso de llamadas) entre centrales.
- Gestión de servicios suplementarios.
- Recogida de datos de tarificación y contabilidad.

· **HLR (Registro de posición base)**

Este registro es una base datos donde se almacenan parámetros de los abonados móviles. Una red GSM puede tener uno o más HLR dependiendo de la capacidad de los equipos y de la organización de la red.

· **VLR (Registro de posición visitado)**

Este registro es una base de datos donde se almacenan parámetros de todos los abonados que se encuentran dentro del área de servicio del VLR. Cuando un abonado cambia de área de servicio, el nuevo VLR debe actualizar los datos de este abonado y pide a HLR todos los datos necesarios para el establecimiento de llamadas hacia/desde el abonado móvil. Este nodo está habitualmente integrado en la MSC (MSC/VLR).

· **AUC (Centro de autenticación)**

La AUC Es responsable de acciones de vigilancia en la red. Posee todos los datos necesarios para proteger a la red contra suscriptores falsos, también se encarga de proteger las llamadas y la información de los suscriptores. La misión de AUC es generar tripletas para cada abonado. Las tripletas constan de: RAND (número aleatorio), SRES (respuesta) y Kc (clave de cifrado). Las tripletas se utilizan para autenticar una llamada y para obtener las claves de cifrado del camino radio. Cuando un abonado móvil intenta acceder al sistema bien porque quiere hacer/recibir una llamada o porque cambia de área de localización (cambio de VRL), se arranca de forma automática al proceso de autenticación.

- **EIR (Registro de identificación de estaciones móviles)**

Base de datos que almacena la identidad internacional del equipo móvil (IMEI). Contiene tres listas: blanca, gris y negra, donde se clasifican datos relativos al equipo móvil (por ejemplo, fabricante, número de serie, etc.).

- **Interfaz radio**

Radio es el nombre con el que se conoce la conexión entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS). Para el envío de la señal de radio, se utiliza modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), con las siguientes bandas de frecuencias:

- \* Enlace ascendente 890-915 Mhz (de MS a la BTS).

- \* Enlace descendente 935-960 MHz (de BTS a la MS).

Espacio entre portadoras de radio es de 200 KHz que permite un número total de canales GSM de 992 (124 portadoras con 8 canales cada una).

Otra variante la constituye el DCS 1800, con la siguiente asignación de frecuencias:

- \* Enlace ascendente 1710-1785 MHz (de la MS a la BTS).

- \* Enlace descendente 1805-1880 MHz (de la BTS a la MS), 374 portadoras.

Para los casos en la que se precise mayor capacidad en la banda de los 900 MHz podría usársela banda extendida:

- \* Enlace ascendente 880-890 MHz (de la MS a la BTS).

- \* Enlace descendente 925-935 MHz (de la BTS a la MS).

El sistema de acceso utilizado por el GSM es el TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo), con una trama TDMA por cada portadora de radio. Cada trama consta de ocho intervalos de tiempo (*time slots*) y cada uno de ellos se conoce con el nombre de canal físico, por el que se transmite una “ráfaga” de información. Cada intervalo de tiempo dura  $3/5200$  segundos ( $577\mu\text{s}$ ) y por lo tanto, una trama dura 4,62 ms.

A través de esta interfaz se puede enviar gran cantidad de información (datos de abonado, señalización de control, etc.). Dependiendo del tipo de información transmitida hablamos de diferentes canales lógicos que se envían a través de los canales físicos.

En cuanto a los distintos tipos de canales lógicos se pueden distinguir los siguientes:

- \* Canales de tráfico (TCH), que contienen la información del usuario, o sea, voz codificada o datos.
- \* Canales de control, que contienen la señalización o datos de sincronización. Estos se dividen a su vez en:
  - Canales de Radiodifusión (BCH); transmiten de la BTS hacia varias MS información sobre correcciones de frecuencia, sincronización, etc.
  - Canales Comunes de Control (CCCH); transmiten punto a punto (de la BTS a un único MS y viceversa) información para localización del móvil, petición de acceso, etc.
  - Canales de Control Dedicados (DCCH); sirven para la iniciación de las llamadas, envío de informes sobre medidas de potencia o señalizaciones especiales como es el caso de un “handover” o traspaso entre células.

### **2.2.19 Bandas de Frecuencias GSM**

Las bandas de frecuencia GSM son las bandas para telefonía móvil designadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones para la operación de redes GSM. Hay catorce bandas definidas, las cuales se señalan en la tabla 3.

**Tabla número 3. Bandas de Frecuencias GSM**

Sistema	Banda	Frecuencia		Asignación de canal
		Subida (MHz)	Bajada (MHz)	
T-GSM-380	380	380.2–389.8	390.2–399.8	dinámica
T-GSM-410	410	410.2–419.8	420.2–429.8	dinámica
GSM-450	450	450.4–457.6	460.4–467.6	259–293
GSM-480	480	478.8–486.0	488.8–496.0	306–340
GSM-710	710	698.0–716.0	728.0–746.0	dinámica
GSM-750	750	747.0–762.0	777.0–792.0	438–511
T-GSM-810	810	806.0–821.0	851.0–866.0	Dinámica
GSM-850	850	824.0–849.0	869.0–894.0	128–251
P-GSM-900	900	890.2–914.8	935.2–959.8	1–124
E-GSM-900	900	880.0–914.8	925.0–959.8	975–1023, 0-124
R-GSM-900	900	876.0–914.8	921.0–959.8	955–1023, 0-124
T-GSM-900	900	870.4–876.0	915.4–921.0	Dinámica
DCS-1800	1800	1710.2–1784.8	1805.2–1879.8	512–885
PCS-1900	1900	1850.0–1910.0	1930.0–1990.0	512–810

**Fuente:** Wikipedia. (2018).Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias .[https://es.wikipedia.org/wiki/Bandas\\_de\\_frecuencia\\_GSM](https://es.wikipedia.org/wiki/Bandas_de_frecuencia_GSM)

Las bandas GSM-900 y la GSM-1800 son las más usadas en Europa, Oriente Medio, África, Oceanía y la mayor parte de Asia. La GSM-850 y la GSM-1900 se usan en la mayoría de países en América. En Venezuela están asignadas las bandas GSM-850, GSM-900, GSM-1900, GSM-2100 MHz.

Es de hacer notar que la banda GSM-850 MHz, también es llamada banda GSM-800 MHz, la cual es de interés para la presente investigación.

### **2.2.20 Bandas operadoras venezolanas**

En Venezuela operan varias empresas telefónicas, pero las tres principales operadoras que tienen mayor cantidad de suscriptores son: Movistar (Telefónica Venezolana), Digitel y Movilnet, A continuación se detallan las distintas bandas utilizadas por estas operadoras:

- **Bandas 2G (GSM):**
  - Digitel: 900 MHz
  - Movistar: 850 MHz
  - Movilnet: 850 MHz
- **Bandas 3G (También conocida como WCDMA):**
  - Digitel: 900 MHz
  - Movistar: 1900 MHz
  - Movilnet: 1900 MHz
- **Bandas 4G (También conocida como LTE):**
  - Digitel 4G: Banda 3LTE 1800 MHz
  - Movistar 4G+: Banda 4LTE 1700/2100 MHz (banda 1700 MHz para subida y 2100 MHz para bajada)
  - Movilnet: Aunque aún no tiene 4G, opera en la misma banda que Movistar.

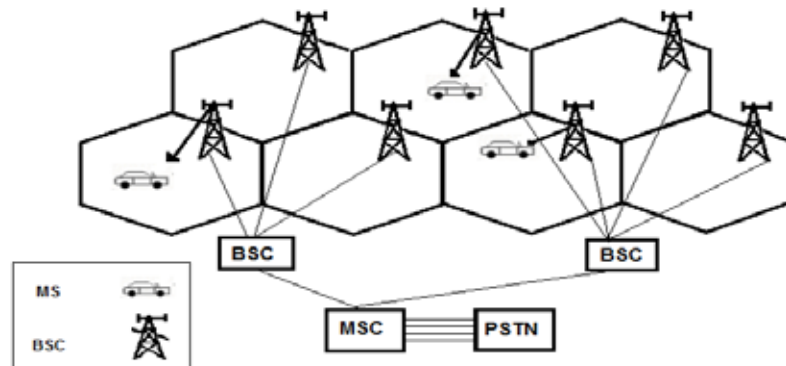
### **2.2.21 Sistemas celulares**

La telefonía móvil consiste en ofrecer un acceso “vía radio” a un abonado de telefonía, de tal forma que pueda realizar y recibir llamadas dentro del radio de cobertura del sistema (área dentro de la cual el terminal móvil puede conectarse con el sistema de radio para llamar o ser llamado). La diferencia entre un sistema móvil celular y uno “cordless” o “sin hilos”, es que mientras el primero se supone que tiene una cobertura amplia (normalmente cobertura nacional), en el caso de un sistema “cordless” se supone que la cobertura es limitada (un área de oficinas o los alrededores de un área residencial).

Los sistemas celulares incorporan la ventaja de dividir el área de cobertura en células, lo cual, limitando convenientemente la potencia con que se emite cada frecuencia, permite la reutilización de las mismas a distancias bastante cortas y, por lo tanto, aumenta tremendamente la capacidad de los sistemas. En consecuencia, un sistema celular consta de una serie de células, cubiertas cada una por un sistema de radio que permite la conexión de los terminales móviles al sistema (estación base), y un sistema de conmutación (centro de servicios móviles) que permite la interconexión entre las estaciones base y la conexión del sistema a la red de conmutación.

Las estaciones base (BTS) controlan la conexión radio de los terminales móviles, y permiten tener permanentemente localizados a los distintos abonados (siempre que el terminal móvil esté encendido). La central de conmutación de

móviles (MSC) realiza la conexión entre los distintos abonados o entre éstos y la red telefónica fija. Además, es la responsable de las funciones de operación y mantenimiento y tarificación. El nuevo sistema GSM, define un elemento intermedio, el controlador de estaciones base (BSC). La figura 5 muestra la estructura de un sistema celular.

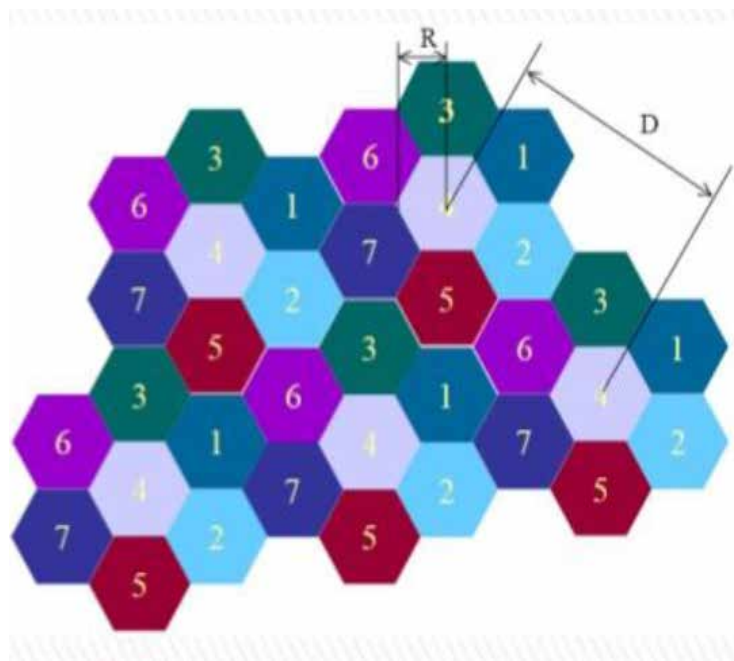


**Figura 5. Sistema celular.**

**Fuente:** Mendioroz, F. (2011). Tecnología de la telefonía celular. Tomado de <https://www.google.co.ve/webhp?source#q=imagenes+sistema+telefonía+celular>

### 2.2.22 Reutilización de frecuencias

Las células se organizan en grupos (Clúster) donde los canales de radio disponibles se distribuyen en el mismo, de manera que esta distribución se repite en toda la zona de cobertura. Así, parte del espectro de frecuencias es reutilizado en cada nueva célula siempre que se tome en cuenta evitar las interferencias entre células próximas. Las estructuras o modelos que permiten de forma ininterrumpida la cobertura de una determinada área, son configuraciones a modo de panal de abejas, basadas en 3, 4, 7 ó más células, siendo el grupo de 7 el más común, sobre todo en la Primera Generación (1G). La figura 6 muestra la estructura geométrica de celdas para el reuso de frecuencias.



**Figura 6. Reuso de frecuencias**

**Fuente:** Fernando, M. (2014). Tecnología celular. Tomado <https://www.google.co.ve/search?q=imagen+reuso+de+frecuencias>

Las celdas están geoméricamente distantes una distancia de reuso  $D$  para evitar la interferencia cocanal.

La distancia de reuso es la mínima distancia entre dos celdas que utilizan un mismo grupo de frecuencias y depende del número de grupo de frecuencias utilizadas en el patrón de reuso. La distancia de reuso depende directamente del radio de cobertura con la que se realizó el diseño de la celda y se encuentra definida por:

Donde:

$D$  = Distancia de reuso de frecuencias

$R$  = Radio de celda

$N$  = Número de celdas que conforman un clúster

### 2.2.23 Interferencia en sistema celular

La interferencia es el factor que en mayor medida limita el rendimiento de los sistemas celulares. Los dos tipos de interferencia mayores generadas por el mismo sistema celular son la interferencia co-canal y la interferencia de canal adyacente.

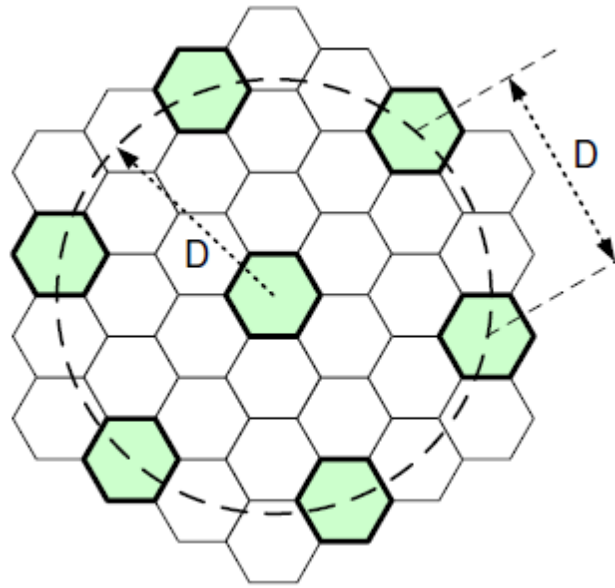
- **Interferencia co-canal**

Para mantener la máxima calidad de voz en el sistema es preciso evitar al máximo la interferencia co-canal. La interferencia co-canal existe cuando una estación móvil o una estación base se encuentran procesando una llamada usando dos o más canales de voz con una misma frecuencia en un mismo instante, provocada generalmente por el reuso de frecuencias dentro del sistema.

La interferencia se produce cuando otro dispositivo o cualquier aparato que emita en la misma banda en la que se está trabajando interfieren en el canal seleccionado, provocando que se pierdan paquetes y generando reenvíos continuos de datos, de tal forma que la conexión se ralentiza y en ocasiones se corta.

La interferencia cocanal es consecuencia del reuso de frecuencias, donde hay células que trabajan en el mismo conjunto de canales. Depende de la distancia de reuso a la que se encuentran las células interferentes (entre las localizaciones de las estaciones base) y no se puede reducir incrementando la potencia de transmisión por cuanto se incrementaría la potencia de las BS interferentes. Una de las maneras para solucionar el problema de las interferencias co-canales es utilizar una adecuada distancia de reuso en la asignación de frecuencias.

La figura.7 muestra la estructura geométrica de células interferentes en un sistema celular.



**Figura 7. Interferencia Cocanal**

**Fuente:** León, F. (2014). Propagación en sistemas celulares. Tomado de <https://es.slideshare.net/FranklinIsaiLeonhuacal/presentacion-propagacion-en-sistemas-celulares>

- **Interferencia de canal adyacente**

Interferencia de canal adyacente es aquella que resulta de señales de frecuencias adyacentes a la señal deseada. Este tipo de interferencia resulta del filtrado imperfecto en recepción, lo que permite a señales con frecuencias cercanas “derramarse” en el ancho de banda deseado. Se vuelve particularmente problemático cuando surge el efecto “*near-far*” o cercano-lejano, cuando un móvil cercano a una radio base transmite en un canal adyacente a otro que está siendo usado por un móvil lejano, lo que implica que la radio base puede tener problema para discriminar el usuario deseado del “derrame” causado por el móvil cercano de canal adyacente.

Lo mismo ocurre con dos móviles con canales adyacentes, pero ambos lejanos a la radio base. Las señales transmitidas por ambos pueden derramarse con alta potencia en ambos receptores, que interferirán con las señales deseadas, transmitidas por la radio base, las cuales arriban con débil potencia debido al largo camino de propagación. La interferencia de canal adyacente puede minimizarse mediante buen

filtrado y una adecuada estrategia de asignación de canales. La relación portadora a adyacente (*Carrier to Adjacent, C/A*), es la relación del nivel de la señal de la portadora con respecto al nivel de la señal del canal adyacente medida en la frecuencia adyacente.

Los casos de interferencia adyacente analógica, se manifiestan como un crujido (una conversación acompañada de un sonido fuerte). La interferencia adyacente digital causará envíos erróneos de datos, y se puede escuchar una distorsión de la voz. Es preciso mantener una relación de 0 dB de *C/A*, principalmente en móviles duales para evitar una mala calidad de voz en el sistema.

Otro tipo de interferencia que puede afectar la comunicación inalámbrica es la interferencia por intermodulación.

- **Interferencia por intermodulación**

La interferencia debida a la intermodulación se produce por señales fuertes que sobrecargan algún circuito en el receptor inalámbrico, causando que el circuito genere internamente armónicos de esas señales fuertes. Estos armónicos luego se combinan o mezclan en el receptor, para crear una nueva frecuencia que no estaba presente en la entrada del receptor. Esta nueva frecuencia creada, llamada "producto de intermodulación", luego interfiere mucho con el sistema inalámbrico, de la misma manera que otras fuentes de interferencia.

En los transmisores de potencia se producen señales no deseadas que resultan de la mezcla local de la salida de emisiones de un transmisor, con las de otro transmisor. La mezcla ocurre usualmente en los circuitos no lineales de un transmisor cuya antena recibe un nivel alto de RF, de otra antena transmisora en proximidad cercana. Los productos mezclados son radiados por la antena del transmisor como posibles señales co-canal o adyacente de señal de interferencia. (Errarte, 2013)

- **Intermodulación pasiva o PIM**

La Intermodulación Pasiva (*Passive Intermodulation-PIM*) hace referencia al efecto que se produce en las líneas de transmisión como consecuencia del comportamiento no lineal que se presenta por las uniones metal-aislante-metal (*metal-insulator-metal-MIM*) con materiales ferromagnéticos. El PIM provoca así la

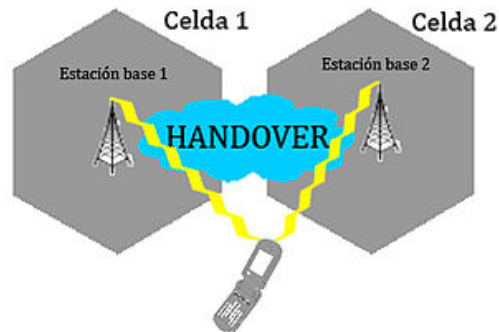
aparición de diferentes tonos de radiofrecuencia (productos de intermodulación) a partir de la transmisión de dos portadoras.

Puede definirse como una interferencia que se genera por componentes pasivos, como pueden ser los conectores, en las líneas de transmisión de las estaciones celulares, una antena, entre otros. Muchas veces se debe a malas soldaduras, conexiones flojas o superficies sucias que suelen acarrear problemas de este tipo. En otras ocasiones se producen por alambres de anclaje en el sitio, mala calidad del plateado en los conectores, materiales corroídos o contaminados.

#### **2.2.24 Handover**

Los sistemas celulares están formados por celdas con el objetivo de cubrir las diferentes áreas de cobertura. Cada celda contiene una estación base (BS) y un determinado número de canales, cada uno de los cuales está asociado a una frecuencia. El número de frecuencias en cada celda es limitado. Por ello, se propone reutilizar las frecuencias. Dicho mecanismo permite a usuarios de diferentes clusters utilizar la misma frecuencia para llevar a cabo la comunicación.

Se denomina handover o traspaso (también *handoff* o transferencia) al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura. En la figura 8 se muestra el esquema de handover entre dos celdas.



**Figura 8. Esquema de handover entre dos celdas**  
**Fuente:** Wikipedia. (2006). Handover. Tomado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Handover>

### 2.2.25 Tráfico de red

Uno de los aspectos más importantes del diseño de una red es realizar un correcto dimensionamiento de sus recursos, de modo que estén disponibles un número suficiente de éstos a un costo razonable. La teoría del tráfico es la base de los estudios y cálculos de dimensionamiento de las redes de telecomunicación. Básicamente tenemos los conceptos de “tráfico telefónico” y de “dimensionamiento” de centrales, ambos ligados a la aleatoriedad de las llamadas que se cursan los usuarios del servicio telefónico.

- **Tráfico Telefónico.**

Para cualquier análisis es fundamental cómo se reparte el tráfico telefónico, mostrando la experiencia de que las llamadas aparecen en cualquier instante, independientemente unas de otras - proceso aleatorio - y son de duración variable pero con una media de dos o tres minutos dependiendo del país.

Hablar de tráfico equivale a hablar de ocupación de un recurso y, en este sentido, se distingue entre volumen e intensidad de tráfico. Se define volumen ( $V$ ) de tráfico cursado por un determinado órgano como el tiempo total de ocupación de ese órgano dentro de un intervalo de observación de referencia ( $T$ ). Se denomina intensidad de tráfico ( $A$ ) al cociente entre el volumen de tráfico y el tiempo de observación  $T$ . es decir,  $A = V/T$ .

Los dos conceptos fundamentales definidos por la CCITT son:

- Volumen de tráfico, entendido como la cantidad de información cursada por un grupo de circuitos o centrales durante un cierto período de tiempo.
- Intensidad de tráfico, que es el volumen de tráfico cursado por un determinado grupo de circuitos o centrales en la unidad de tiempo.

Se puede decir que intensidad es el volumen de tráfico que se produce durante un determinado período de tiempo. La unidad de dimensionamiento internacional para tráfico telefónico es llamada ERLANG. El Erlang es una unidad adimensional utilizada en telefonía como una medida estadística del volumen de tráfico. Recibe el nombre del ingeniero Danés A. K. Erlang, pionero de la teoría de colas. Danés define al ERLANG como la ocupación de un circuito en una hora.

$$1 \text{ Erlang} = 1 \text{ Call Hour} / 1 \text{ Hora}$$

Según Huidobro J. y Pastor R. en su texto Sistemas de Telefonía, definen la unidad de medida de intensidad de tráfico Erlang como:

**“Erlang:** Es la intensidad de tráfico de un órgano o grupos de órganos en los que el tiempo de observación coincide con el tiempo total de duración entendiéndose por tal la suma de los tiempos de ocupación parciales. Por definición la ocupación total durante una hora equivale a 1 Erlang.”

$$(\text{Erlangs}) = \int n(t) dt$$

Siendo  $n(t)$  el número de líneas ocupadas en un instante  $t$ .

También se puede expresar como:

$$I (\text{Erlangs}) = t \times n/60,$$

donde  $t$  es el tiempo medio o duración de la llamada en minutos y  $n$  es el número de llamadas cursadas.

El tráfico en una red hace referencia al número de usuarios accediendo al servicio en un tiempo determinado, existen horarios donde hay más tráfico en las redes celulares y cuando el sistema celular no soporta dicho tráfico debido a su estructura y configuración, es donde el sistema colapsa y empieza a presentar problemas en la red como el bloqueo de llamadas. El tráfico varía entre las diferentes horas del día. La estimación de tráfico deberá ser tan buena que satisfaga la carga de

las horas pico. Se debe calcular el volumen y distribución del tráfico dentro de una red. Los principales datos para ello son:

- El número de abonados por unidad de superficie.
- El volumen de tráfico generado por abonado.
- Área geográfica a cubrir
- Horas picos.
- Infraestructura celular.

A partir de estos datos se puede calcular el tráfico esperado por unidad de superficie. Además se puede estimar el tráfico por celda llevándonos al número de TRX necesarios por celda. Es entonces cuando se necesita compilar un plan de asignación de frecuencias se debe añadir suficiente capacidad por encima de los valores calculados para permitir las comunicaciones de abonados de otros países, movilidad y picos de tráfico local. Uno de los problemas más graves que se presentan en un sistema de comunicaciones móviles es la congestión de la red, pues involucra una disminución de la calidad del servicio. Existen algunas maneras de que la llamada no se complete: canal ocupado, sistema congestionado, terminal ocupado o apagado etc., en todos estos casos la llamada se perderá o entrará en cola de espera.

- **Dimensionamiento de Centrales**

Al dimensionar una red telefónica hay que buscar un compromiso entre el grado de calidad deseado y el costo que ello supone; en este apartado es donde influye fundamentalmente el tipo de central elegida, ya que, si bien pueden crecer y adaptarse a las diferentes necesidades de tráfico, por su propia arquitectura resultará que cada sistema tiene una dimensión óptima a partir de la cual la complejidad del mismo y, consecuentemente, su precio se ven altamente afectados. Al instalar una nueva central se ha de tener en cuenta el número de bloques de conmutación, calcular el número de mallas de la red de conversación, el número de enlaces con otras centrales, etc., todo ello en base al tráfico a cursar por la central, dependiendo éste en gran medida del grupo de abonados al que va a dar servicio.

En toda central telefónica se distinguen tres tipos de enlaces, los de llegada y salida de otras centrales, y los internos, necesarios para unir los abonados de la misma central. Puesto que para conseguir la máxima eficacia el número de enlaces es inferior al de abonados, ya que no todos ellos los utilizan simultáneamente, es necesario considerar en los sistemas las llamadas etapas de concentración y expansión, así como otras de distribución para el mejor aprovechamiento de los órganos de la central.

En las etapas de concentración se realiza la operación de búsqueda; cuando un abonado quiere efectuar una llamada hay que buscar un enlace que se encuentre disponible; el número de entradas viene determinado por el de abonados, mientras que el de salidas lo está en función del tráfico que éstos originen. En las etapas de expansión se realiza la función de selección; cuando una llamada entra en la central hay que seleccionar al abonado llamado, entre todos los pertenecientes a la central.

Una vez establecida la naturaleza de los elementos, la topología de la red y los diversos métodos de control de tráfico, es necesario proceder a determinar la cantidad de equipos a instalar y de rutas a establecer, capaces de soportar el tráfico previsto. El número de equipos a instalar viene determinado directamente por el de usuarios que se van a conectar a la red; La estimación de las rutas y su capacidad es algo que se debe determinar cuidadosamente, en función de la topología de la red, los servicios ofrecidos y la tecnología utilizada, de tal forma que sea la adecuada para soportar el tráfico generado.

Al dimensionar un sistema se deben calcular todos sus órganos (elementos), en capacidad y tamaño, de tal forma que den servicio a la demanda estimada con la calidad adecuada. Esta demanda viene dada por el número de llamadas que se desea establecer, por el de mensajes a enviar o por su duración, El servicio se entiende como la disponibilidad de elementos que facilitan el establecimiento de la comunicación.

- **Sistemas Erlang-B y Erlang-C**

La teoría de colas es la herramienta matemática más comúnmente utilizada para la evaluación cuantitativa de la calidad en las redes de telecomunicaciones. Los sistemas más habituales son los de pérdidas y los de demora. En un proceso de pérdida puro se supone que no hay posiciones de cola y que todas las llegadas que no pueden ser cursadas de inmediato se pierden. La probabilidad de bloqueo es la probabilidad calcula de que un intento de llamada no encuentre canal disponible y se pierda. Se calcula como  $EB(C,A)$  donde  $C$  representa el número de canales y  $A$  el tráfico ofrecido. La función  $EB(C,A)$  representa la función Erlang-B. Si la posibilidad de bloqueo es razonablemente baja se considera que el sistema está bien dimensionado.

Cuando se introduce un mecanismo de espera, las llamadas que se producen cuando el servidor está ocupado esperan a que éste quede libre, evitando su pérdida. La probabilidad de bloqueo es la probabilidad de que un intento no encuentre un servidor disponible y tenga que ser puesto en cola. Se calcula como  $EC(C,A)$  donde  $C$  representa la función Erlang-C.

### **2.2.26 Configuración de la red**

El diseño para la configuración de una red, se encuentra basado en diferentes factores como son:

- Requerimientos de Cobertura.
- Requerimientos de Capacidad.

- **Requerimientos de cobertura**

Las características de cobertura de una red celular se encuentran determinadas principalmente por la ubicación y la configuración de las radio bases. Existen factores que deben ser considerados en el diseño de la red como son:

- Características de estaciones móviles (Analógicas / Digitales)
- Ubicación de los usuarios.
- Tipos de estaciones móviles de los usuarios (fijos / móviles)

El área de servicio dentro de un área de cobertura se encuentra limitada principalmente por la estación móvil. El nivel de señal de recepción medida de modo continuo en las estaciones móviles es equivalente en estaciones analógicas o duales. La posibilidad de que un abonado logre originar y mantener una llamada se encuentra determinado por el nivel de intensidad que recibe la estación móvil de la radio base (*señal downlink*), por el nivel de intensidad que recibe la radio base de la estación móvil (*señal uplink*), el nivel de interferencia co-canal ( $C/I$ ), el nivel de interferencia adyacente ( $C/A$ ) y por el nivel de interferencia señal a ruido ( $S/N$ ).

- **Requerimientos de capacidad**

La capacidad de una red celular depende de varios factores, principalmente se encuentra limitada por el número de canales de voz analógicos o digitales definidos, así como también por la interferencia adyacente o co-canal que puede ser manejada para mantener la calidad en las llamadas. Para esto es necesario tener conocimiento de la teoría de tráfico y los principios de diseño de un sistema celular en términos del número y del tipo de canales requeridos en un área determinada. Para definir el número de canales requeridos, basados en la teoría de tráfico, se utiliza el principio de Erlang B.

### **2.2.27 Antena en telefonía móvil**

Una antena es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

Los sistemas radiantes (antenas) que se emplean en la telefonía móvil son de tipo “panel” y suelen tener una altura que oscila entre 1 y 2 metros. Una vez instaladas las antenas se configuran las orientaciones e inclinaciones de tal forma que la dirección de máxima radiación no incida sobre las fachadas de edificios colindantes ni sobre zonas transitables en las azoteas. Sin embargo, para poder cumplir estas premisas es necesario que los paneles estén elevados con el mástil una altura mínima. Así, una antena emisora emitirá señales de una sola frecuencia o de un ancho de banda muy reducido y a una potencia suficientemente grande para que la señal sea captada en el

destino deseado, que se puede encontrar a decenas o a miles de kilómetros de distancia. Esto implica que su estructura ha de ser suficientemente grande como para permitir que circulen grandes corrientes o tensiones eléctricas (Correa, 2014).

Sin embargo, las antenas receptoras reciben señales de muchas frecuencias, por lo que su ancho de banda de recepción debe ser mucho más amplio. Además, estas señales son normalmente muy débiles, por lo que han de ser posteriormente amplificadas para obtener una mejor cobertura en los sectores que se desea cubrir.

En el contexto de la telefonía móvil, una estación base dispone de equipos transmisores/receptores de radio, en la banda de frecuencias de uso (850 / 900 / 1800 / 1900 MHz) en GSM y (1900/2100Mhz) en UMTS que son quienes realizan el enlace con el usuario que efectúa o recibe la llamada (o el mensaje) con un teléfono móvil. Las antenas utilizadas suelen situarse en lo más alto de la torre (si existe), de edificios o colinas para dar una mejor cobertura y son tipo dipolo. Normalmente, está compuesta por un mástil al cual están unidas tres grupos de una o varias antenas equidistantes. El uso de varias antenas produce una diversidad de caminos radioeléctricos que permite mejorar la recepción de la información.

Además, la Estación Base dispone de algún medio de transmisión, vía radio o cable, para efectuar el enlace con la Central de Conmutación de Telefonía Móvil Automática, que a su vez encamina la llamada hacia el teléfono destino, sea fijo o móvil.

### **2.2.28 Métodos más comunes de reducción de ruido e interferencia**

La interferencia electromagnética puede ser reducida o eliminada mediante el uso de diversas técnicas de supresión:

- Eliminación de la fuente de interferencia

- Blindaje

- Conexión a tierra

- Filtrado

- Elementos magnéticos para reducción de EMI

Aislamiento

Orientación y polarización de las antenas

Separación y posicionamiento de las antenas

Técnica de difusión del espectro (spread spectrum)

- **Eliminación de la fuente de interferencia**

Una técnica efectiva para erradicar la interferencia es a través de la identificación y eliminación de la fuente que la provoca. En teoría, esto representa sin duda la más eficaz de cualquiera de las medidas, pero no es práctico en la mayoría de situaciones, ya que esto requeriría deshabilitar periódica o permanentemente a la fuente de la operación.

- **Blindaje**

El blindaje es el método más utilizado para suprimir y controlar las interferencias electromagnéticas no deseadas en el diseño de equipos electrónicos utilizados en las telecomunicaciones. Una manera efectiva de minimizar o en algunos casos eliminar los efectos de EMI, es proteger de manera efectiva los componentes, de la interacción con la energía electromagnética. El propósito del blindaje electromagnético, es atenuar la interferencia electromagnética entre las fuentes y los equipos susceptibles a ella.

- **Conexión a tierra**

Un punto de conexión a tierra representa un punto de referencia común para uno o múltiples dispositivos, que opera de manera que garantice la seguridad de los equipos o de quienes los operan. Su efecto provee cierta inmunidad al ruido y a la interferencia.

- **Filtrado**

Cuando la fuente del ruido de la señal no puede ser eliminada, el filtrado se recomienda como último recurso. El uso de filtros permite pasar a las frecuencias seleccionadas a través del dispositivo conectado, mientras que rechaza o atenúa cualquier otra frecuencia que esté dentro de las especificaciones del filtro.

- **Elementos magnéticos para reducción de EMI**

Los productos que utilizan magnetismo para reducir EMI y mejorar la compatibilidad electromagnética en un circuito, pueden ser clasificados en varias categorías, pero para este estudio se basará en los siguientes:

- Inductores
- Bobinas
- Transformadores
- Supresores de ruido de ferrita

Al considerar cualquiera de estos componentes, es necesario identificar las rutas de los circuitos o áreas posibles que puedan realizar o emitir ruido

- **Inductores**

El filtro de EMI más común es el inductor o bobina, utilizándose las bobinas para el filtrado de líneas y almacenamiento de energía. Si un circuito es sospechoso de ser una fuente de EMI, a menudo la selección adecuada del inductor puede ayudar a eliminar el problema.

- **Bobinas**

Las bobinas son utilizadas para eliminar ruido de modo común y diferencial en un par de conductores. El ruido de modo común es definido como ruido que está presente o es común a ambos conductores, y puede ser el resultado de ruido inducido causado por el efecto antena de un conductor o las líneas de un circuito impreso.

- **Transformadores**

El principal beneficio de utilizar un transformador para EMI/EMC, es que puede proporcionar una barrera de aislamiento entre una línea de señal y el circuito de procesamiento de señales (particularmente donde la línea de señal sale del sistema).

- **Supresores de ruido de ferrita**

Los supresores de ruido de ferrita realizan la función de remover la energía de RF que existe dentro de la estructura de líneas de transmisión o líneas de circuito impreso. Para remover la energía RF no deseada, la ferrita es utilizada como resistor (atenuador) de alta frecuencia que permite a la corriente directa pasar a la vez que absorbe la energía RF, disipando la energía en forma de calor.

- **Orientación y polarización en las antenas**

El desempeño de una antena es controlado o influenciado por un número de factores como la orientación, polarización, separación, etc. los cuales deben ser considerados cuidadosamente para obtener el óptimo rendimiento de la antena en sistemas de comunicación por radio.

- **Separación y posicionamiento de las antenas**

El posicionamiento y la separación de las antenas son factores importantes que afectan el desempeño de éstas. El criterio de separación está determinado por las características físicas y eléctricas de las antenas, y por la aplicación que se les dé a éstas (transmisora o receptora). Si esta separación se reduce, puede provocar una grave degradación en la función de recepción, debido a interferencias creadas por los transmisores. Estas interferencias pueden ser causadas por armónicos, operación del canal adyacente, transitorios claves y oscilaciones parásitas.

- **Aislamiento**

El aislamiento consiste en la interrupción de la continuidad óhmica en algún punto de la cadena de medida. Éste aislamiento debe de aplicarse no solo a la señal que se desea proteger de las interferencias, sino también, a la alimentación.

Hay tres tipos de aislamiento que se pueden utilizar en un sistema de adquisición de datos:

- Aislamiento óptico
- Aislamiento electromagnético
- Aislamiento capacitivo

- **Aislamiento óptico**

El aislamiento óptico es común en sistemas de aislamiento digital. El medio para transmitir la señal es la luz, y la barrera de aislamiento físico suele ser un espacio de aire

- **Aislamiento electromagnético**

El aislamiento electromagnético utiliza un transformador para acoplar una señal a través de la barrera de aislamiento, mediante la generación de un campo electromagnético proporcional a la señal eléctrica.

- **Aislamiento capacitivo**

El aislamiento capacitivo es otro tipo de aislamiento en el que un campo electromagnético cambia el nivel de carga en el condensador, esta carga es detectada a través de la barrera y es proporcional al nivel de la señal medida.

· **Técnica de difusión del espectro (spread spectrum)**

Difundir el espectro de una frecuencia, significa distribuir la energía que fue originalmente concentrada en una frecuencia (o más precisamente sobre una banda estrecha de frecuencias) sobre una banda más ancha, reduciendo así las emisiones de picos. La energía es distribuida modulando lentamente la señal entre dos límites de frecuencia. El método de modulación influye drásticamente en la cantidad de reducción de la interferencia electromagnética.

### **2.3 Definición de términos básicos**

**Carga:** Unidad que al recibir energía eléctrica es capaz de transformarla en otro tipo de energía útil.

**Carga lineal:** La carga que genera una onda de corriente senoidal cuando esta es alimentada por una fuente de tensión senoidal. Estas son las resistencias puras, inductancias y capacitancias.

**Carga no lineal:** La carga que genera una onda de corriente no senoidal cuando es alimentada por una fuente de tensión senoidal. Son las cargas compuestas por semiconductores.

**Compatibilidad electromagnética:** Capacidad de un aparato o de un sistema para funcionar en su entorno electromagnético, de forma satisfactoria y sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo aquello que se encuentre en este entorno.

**Congestión:** Condición en la que es imposible establecer una nueva conexión, inmediatamente, por falta de circuitos.

**Convertidor:** Dispositivo que cambia las características de la energía eléctrica de una forma a otra (frecuencia, de corriente alterna a continua y viceversa).

**Distorsión:** Deformación presente en una onda senoidal.

**Distorsión armónica:** La distorsión que se produce en una onda senoidal por la presencia de componentes armónicos.

**Hora cargada:** Se entiende por tal el período de tiempo de 60 minutos consecutivos de mayor volumen de tráfico.

**Interatómicos:** Son de tensión o de corriente con frecuencias que no son múltiplos de la frecuencia fundamental. Los interatómicos son ocasionados principalmente por convertidores de frecuencia estáticos, ciclo convertidores, motores de inducción y dispositivos de arco eléctrico.

**Llamada:** Es la ocupación de una serie de órganos, provocada directa o indirectamente por los abonados que desean establecer una comunicación.

**Ocupación:** Estado en que se encuentra un órgano cuando es utilizado; al comienzo de la operación se le denomina toma, al final liberación, y al intervalo que ésta dura tiempo de ocupación.

**Ondas de radio:** Las ondas de radio conocidas, también, como ondas de radiofrecuencia, cubren una amplia gama de frecuencias en el espectro electromagnético, contenidas desde los  $1.5 \times 10^3$  Hz (1500 Hz) a los  $3.0 \times 10^{11}$  Hz (300 GHz) aproximadamente. Dentro de ese rango del espectro se incluyen las ondas que permiten la transmisión de señales de radio de amplitud modulada (AM) y frecuencia modulada (FM), incluyendo televisión, teléfono móvil, GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamiento Global), controles para gobierno de equipos remotos, hornos microondas, radar, etc.

**Radiofrecuencia:** Gama de frecuencias electromagnéticas por encima del rango audible y por debajo de la luz infrarroja (de 10 kHz a 300 GHz).

**Señal Analógica:** Una señal analógica es una onda electromagnética que varía continuamente y que, según sea su espectro, puede propagarse a través de una serie de medios; por ejemplo, a través de un medio guiado como un par trenzado, un cable coaxial, un cable de fibra óptica, o a través de medios no guiados, como la atmósfera o el espacio.

**Señal Digital:** Una señal digital es una secuencia de pulsos de tensión que se puede transmitir a través de un medio conductor; por ejemplo, un nivel de tensión positiva

constante puede representar un 0 binario y un nivel de tensión negativa constante puede representar un 1.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El presente trabajo está enmarcado dentro de la modalidad de Proyecto Factible y Proyecto Tecnológico. Según el manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (2011), de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), el proyecto factible consiste en:

“La investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable, para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de campo en diseño que incluye modalidades” (p.21).

Según Arias Fidias (2004),

“Un proyecto tecnológico es un plan de concepción, diseño, desarrollo y producción de un sistema, prototipo o material. El proyecto tecnológico parte de la intención de realizar cierta obra, siguiendo un plan ideado para ello. Se pueden seguir procesos diferentes, pero todos ellos tendrán en común un comienzo (el problema a solucionar) y un final similar (el objeto o sistema técnico, ideado para solucionar el anterior problema). En el proyecto se plasman todas las especificaciones precisas como: croquis del conjunto, despieces, dibujos a escalas, proceso de fabricación, materiales, tareas, tiempos, costes, memoria de actividades, bibliografía, etc.” (p.122).

#### **3.2 Diseño de la Investigación**

El proyecto se apoyó en una investigación de base documental, porque sirve para ampliar y profundizar el conocimiento de la naturaleza de la investigación, con apoyo en fuentes bibliográficas, tal como lo afirma la (UPEL) (ob.cit) “Se entiende por investigación documental, el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo principalmente en trabajos

previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos...” (p.20).

Además la metodología se sustenta en un estudio de campo, por cuanto se hace un análisis sistemático de la información obtenida por el investigador directamente de registros originales y datos estadísticos, donde se desarrolla el proyecto, en consonancia con la UPEL (ob.cit). La UPEL (ob.cit), expresa que se entiende por investigación de campo “el análisis sistemáticos de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo”. (p.18). Aunado a lo antes escrito, aunque la UPEL (ob.cit), señala que “Los datos de interés son recogidos de forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios”, también refiere que: “Sin embargo, se aceptan también estudios sobre datos censales o muestrales no recogidos por el estudiante, siempre y cuando se utilicen los registros originales con los datos no agregados, o cuando se trate de estudios que impliquen la construcción o uso de series históricas y, en general, la recolección y organización de datos publicados para su análisis mediante procedimientos estadísticos, modelos matemáticos, econométricos o de otro tipo”. (p.18).

### **3.3 Nivel de la Investigación**

De acuerdo a la naturaleza del estudio, la investigación es de carácter descriptivo y explicativo. El proyecto es descriptivo porque estudia las interferencias que afectan el desempeño de una estación base de tecnología gsm en la banda de 800 MHz. Tal como lo refiere, Danke (1986), citado por Hernández, Fernández y Baptista (2009) “un estudio descriptivo es aquel que busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

Los analistas utilizan una variedad de métodos a fin de recopilar los datos sobre una situación existente, como entrevistas, cuestionarios, inspección de registros (revisión en el sitio) y observación.

La técnica es expresarla en un instrumento. Para Sabino (1994), “Un instrumento de recolección de datos, es en principio, cualquier recurso del que se pueda valer el investigador y extraer de ellos la información# (p.110). En la presente investigación se utilizó como instrumento la revisión documental de datos registrados por la empresa CONATEL en el sector de telecomunicaciones del país, así como la revisión de archivos electrónicos y fuentes bibliográficas.

#### **· Población**

Es importante decir que la población viene a estar representada por todas aquellas personas o unidades medibles que están vinculadas con el objeto de estudio. Arias (2004), señala que población es “...el conjunto de elementos con características comunes que son objeto de análisis y para los cuales serán válidas las conclusiones de la investigación” (p.98).

La población que se consideró en este proyecto, abarcó los registros llevados por la empresa CONATEL en torno a las cifras de cantidad de suscriptores por servicios y penetración de la telefonía móvil, principalmente sobre las empresas de telefonía más importantes del país, las cuales son señaladas por Conatel como Telecomunicaciones Movilnet C.A, Telefónica Venezolana C.A (Movistar) y Corporación Digitel C.A..

#### **· Muestra**

Según Pérez (2002), una muestra “es una proporción, un subconjunto de la población que selecciona el investigador de las unidades en estudio, con la finalidad de obtener información confiable y representativa” (p.65).

Bavaresco (1994), indica que una muestra es “...un subconjunto de la población con la que se está trabajando...la muestra la determina el propio investigador y todo dependerá de su definición de cuál debe ser el tamaño de la muestra, en donde el costo y la precisión de las estimaciones juegan un gran papel” (p.94-95).

Para el presente estudio se tomó la población en su totalidad. Bavaresco (1994) señala que “...no en todas las investigaciones debe extraerse muestras sino que se estudia todo el universo, esto se denomina población censal” (p.94).

### **3.5 Fases Metodológicas**

**Fase I:** Determinar las fuentes de ruido/armónica que afectan a los sistemas móviles en la banda de 800 MHz.

El objetivo de esta fase es dar una descripción sobre las distintas fuentes del ruido y de los armónicos, así como señalar las características de dichos fenómenos.

**Fase II:** Estudiar el efecto de las armónicas en los sistemas de telefonía móvil en la banda de 800 MHz.

Con este objetivo se pretende especificar el efecto de las armónicas en las estaciones base de un sistema de telefonía móvil con tecnología GSM, en la banda de 800 MHz.

**Fase III:** Estudiar los aspectos básicos que rigen el Marco Regulatorio sobre armónicas en telecomunicaciones móviles.

La finalidad de este objetivo es señalar el marco regulatorio sobre el espectro radioeléctrico, asignación de bandas de frecuencias, emisiones radioeléctricas y las armónicas en telecomunicaciones móviles, tanto a nivel internacional como a nivel nacional.

## CAPITULO IV

### ANALISIS Y RESULTADOS

#### 4.1 Registros estadísticos sobre asignación del espectro en Venezuela

Según informe realizado por la Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (Sandra Benítez, Ermanno Pietrosemoli, 2011), para enero 2011 las bandas de frecuencia 800/900/1800/1900 MHz están disponibles a las operadoras de telefonía celular Movistar, Digitel GSM y Movilnet, producto de subastas formalizadas en últimos años. A continuación, se presentan algunas las subastas realizadas:

- a) En el 2000 CONATEL hizo llamado a subasta de la frecuencia 3.4 MHz para cinco regiones de tres porciones de 25 MHz en los canales a, b, c (el canal d no se licitó); participaron empresas como: Telcel (actual Movistar, Telefónica Venezolana C.A), Génesis, Digitel GSM, Entel Chile, Digicel y Millicom. TelceL ganó en las cinco regiones uno de los canales, los otros canales los obtuvieron Génesis y Entel.
- b) Octubre de 2007, CONATEL hizo público el llamado a subasta de una porción del espectro para la banda de 1900 MHz, Movilnet, Movistar y Digitel precalificaron como postores; Movistar y Movilnet se adjudicaron bloques de espectro en la banda de 1900 MHz, y a Digitel no se adjudicó espectro alguno.
- c) Noviembre de 2007, se hizo entrega formal de la nueva porción de 30 MHz de espectro radioeléctrico asignado a las empresas de telefonía celular Movistar y Movilnet, lo cual les permitió a expandir sus operaciones.
- d) En mayo de 2008, Digitel obtuvo la concesión de 10 MHz de espectro electromagnético en la banda de 900 MHz.

La asignación del espectro radioeléctrico en nuestro país, confirma que las principales operadoras del sector de telefonía móvil que han mantenido su liderazgo en el país, han sido Movilnet, Telefónica Venezolana (Movistar) y Digitel, motivo

por el cual la realización del presente trabajo de grado se enmarcó en estas tres empresas.

#### **4.2 Estadísticas del sector Telecomunicaciones**

Las cifras estadísticas recabadas en el presente trabajo, publicadas por Conatel respecto al sector de Telecomunicaciones, aparecen registradas solo hasta el año 2016, la cuales se reflejan a continuación:

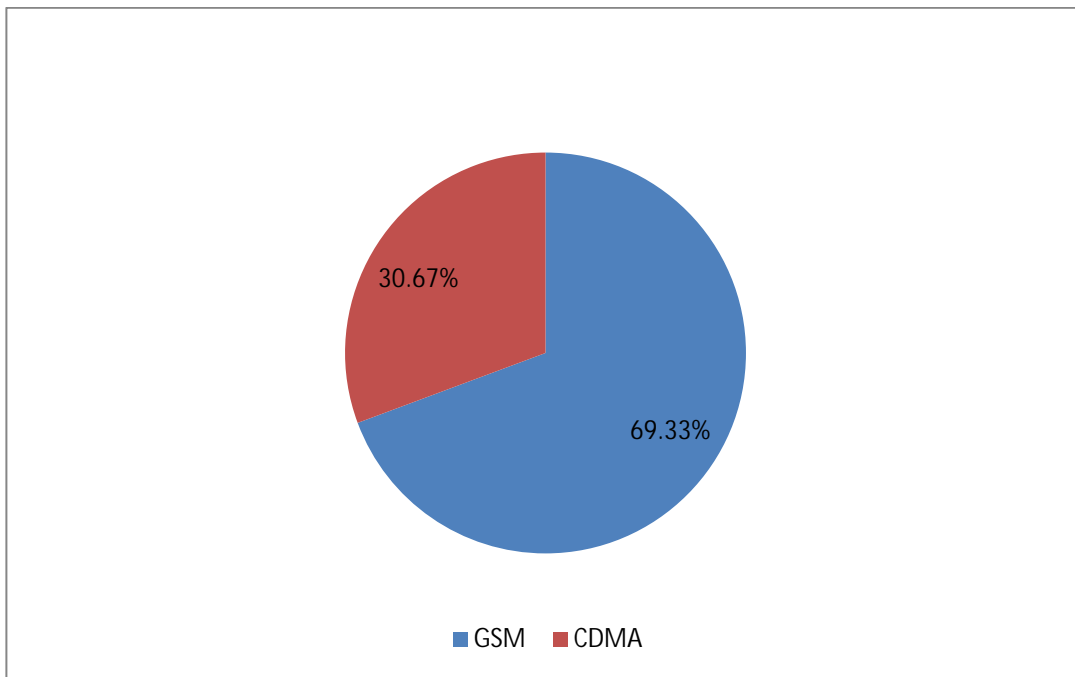
- **Estadísticas del 2014**

Según estadísticas llevadas por CONATEL, durante el primer trimestre de 2014 el sector telecomunicaciones mantuvo un ritmo de crecimiento y expansión. Las inversiones y los ingresos asociados a la prestación de servicios de las principales operadoras crecieron 46% y 34% respectivamente con relación al primer trimestre de 2013, demostrando la solidez y rentabilidad económica del sector. La telefonía móvil se mantiene como el principal factor dinamizador del sector, aportando 58 de cada 100 Bs., de los ingresos operativos generados entre enero y marzo.

El tráfico de voz originado en telefonía móvil aumentó 14% respecto al mismo período de 2013, alcanzando los 10.823 millones de minutos; se enviaron 27.592 millones de mensajes de texto en el primer trimestre del año con un pequeña alza respecto a 2013. Los dominios de Internet ascendieron en casi 10.000 en el primer trimestre del año

Esta estadística refleja que las líneas de telefonía móvil en uso del sistema crecen ligeramente 1,1% con respecto al primer trimestre de 2013, esto significa 335.599 líneas más que a comienzos del año pasado. La penetración alcanza 105 líneas móviles totales por cada 100 habitantes. Conatel estima 101 líneas en uso por cada 100 habitantes al comparar con la misma base poblacional. Hay 56.532 nuevos suscriptores de telefonía fija local con relación a ene-mar de 2013.

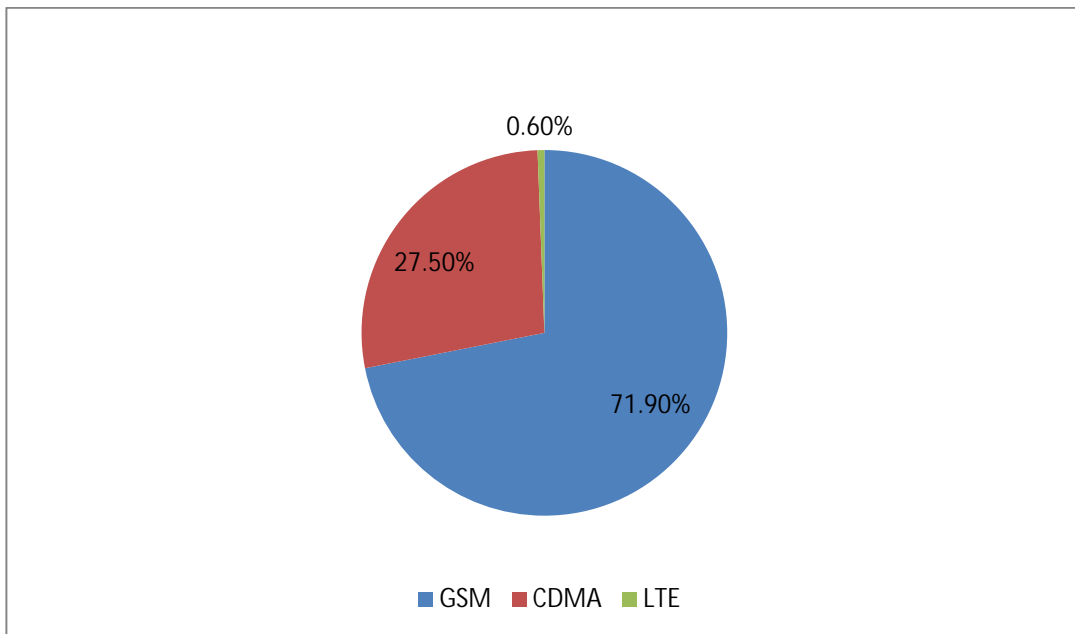
En la gráfica de la figura 9 se muestra la comparación de la preferencia tecnológica entre las tecnologías GSM y CDMA.



**Figura 9. Cifras Sector Telecomunicaciones, telefonía móvil. 1er trimestre 2014**  
**Fuente:** Ortega, Carlos (2018).

La grafica muestra la preferencia tecnológica desplazada hacia la red GSM respecto a la CDMA, sobre una base de 31.595.577 suscriptores totales de telefonía móvil. Esto significa que existen casi 22 millones de líneas en GSM frente a 9,6 millones en CDMA.

Al cierre del año 2014, Venezuela estima en 30 millones 528 mil 022 el número de suscriptores activos de telefonía móvil, alcanzando 32.019.086 la cantidad total de suscriptores del servicio, de los cuales el 71,90 por ciento corresponde a la tecnología GSM, otro 27,50 por ciento a CDMA y el restante 0,60 por ciento a tecnología Long Term Evolution o LTE, de acuerdo con las Cifras e Indicadores del Sector Telecomunicaciones correspondientes al IV Trimestre del año pasado, ofrecidas por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones. En la gráfica de la figura 10 se reflejan las cifras correspondientes a las tecnologías GSM, la CDMA y LTE.



**Figura 10. Cifras Sector Telecomunicaciones, telefonía móvil. 4to trimestre 2014**  
**Fuente:** Ortega, Carlos (2018)

La grafica anterior, muestra el constante crecimiento en la preferencia tecnológica hacia la tecnología GSM, correspondiente al 4to trimestre del 2014, comparada con la estadística correspondiente al 1er trimestre del mismo año.

· **Estadística Conatel 2015: Claves de la telefonía móvil en Venezuela**

Según Conatel, las cifras en torno a las claves de la telefonía móvil en Venezuela, correspondientes al período enero – marzo del 2015, son las siguientes:

- 30,2 millones de personas estaban suscritas al servicio telefonía móvil en el primer trimestre de este año.
- 51% de los abonados formaba parte de la cartera de Movilnet (más de 15,4 millones), 33% (10,5 millones) a la de Telefónica y 16% (4,8 millones).
- 55% de los ingresos operativos del sector (Bs. 31.095 millones) los generó la telefonía móvil.
- 12,2 millones de usuarios tenía al menos un plan de datos.

- 46% de los planes de datos los concentraba Movistar, 29% Digitel y 25% Movilnet.
- 25% creció el parque de teléfonos inteligentes entre enero y marzo de este año, según Conatel. Entonces, se contabilizaban 11.6 millones de smartphones en Venezuela.
- 67% creció el tráfico de datos móviles en el trimestre, desde 7.268 millones de Terabytes hasta 12.105 millones de TB. Un Terabyte equivale a 1.048.576 Megabytes.
- 364,32 MB es el consumo promedio mensual por dispositivo, según cifras del organismo.
- 73,44% de los usuarios utilizaba tecnología GSM, 25,41% Cdma y 1,15 LTE.
- 364.000 personas estaban suscritas a planes de datos 4G en el primer trimestre, con la reciente incorporación de Movistar a este mercado que en el primer trimestre de 2014 era dominado por Digitel con 193.000 clientes. - 1,15% es la penetración de LTE en Venezuela en relación a 30,2 millones de usuarios de telefonía móvil.

(Benítez, Zandra. 2011. Espectro abierto para el desarrollo. 25-01-2118 de [https://www.apc.org/es/system/files/Espectro\\_Venezuela.pdf](https://www.apc.org/es/system/files/Espectro_Venezuela.pdf)).

- **Estadística Conatel 2016: Suscriptores de telefonía móvil.**

La tabla 4 muestra las cifras de suscriptores activos del servicio de telefonía móvil, modalidad de pago a nivel nacional, publicadas por conatel, correspondiente al período 1997 - 2016.

**Tabla 4. Suscriptores activos del servicio de telefonía móvil modalidad de pago a nivel nacional. Años 1997 - 2016**



---

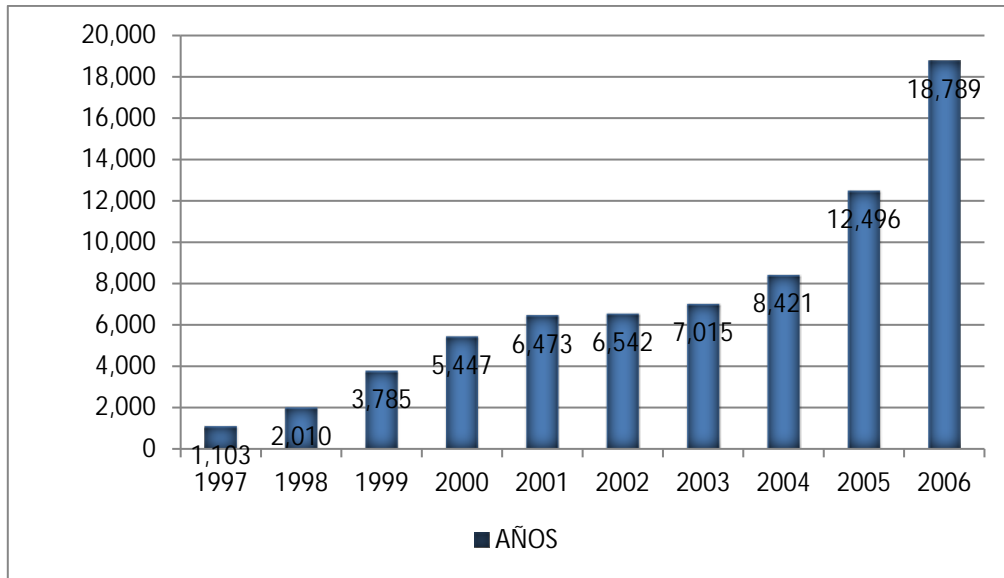
**Fuente:** Conatel. (2018). Estadísticas sector Telecomunicaciones. [https://www.apc.org/es/system/files/Espectro\\_Venezuela](https://www.apc.org/es/system/files/Espectro_Venezuela)

Las cifras señaladas en la tabla anterior reflejan la inclinación de los suscriptores hacia la modalidad de prepago en la telefonía móvil.

A continuación se muestra los indicadores del servicio de telefonía móvil a nivel nacional en el período 1997-2006, en lo que respecta a cantidad de suscriptores, tráfico y población (ver tabla 5).



un crecimiento en el tráfico saliente. La cantidad de población también sube de manera constante. La figura 11 muestra gráficamente el crecimiento de suscriptores por año.



**Figura 11. Suscriptores de telefonía móvil. Hasta el 4to trimestre 2006.**  
**Fuente:** Ortega, Carlos.(2018).

En la gráfica anterior se observa un crecimiento constante en los suscriptores en lo que respecta a telefonía móvil, notándose un aumento en los años 2004, 2005 y 2006.

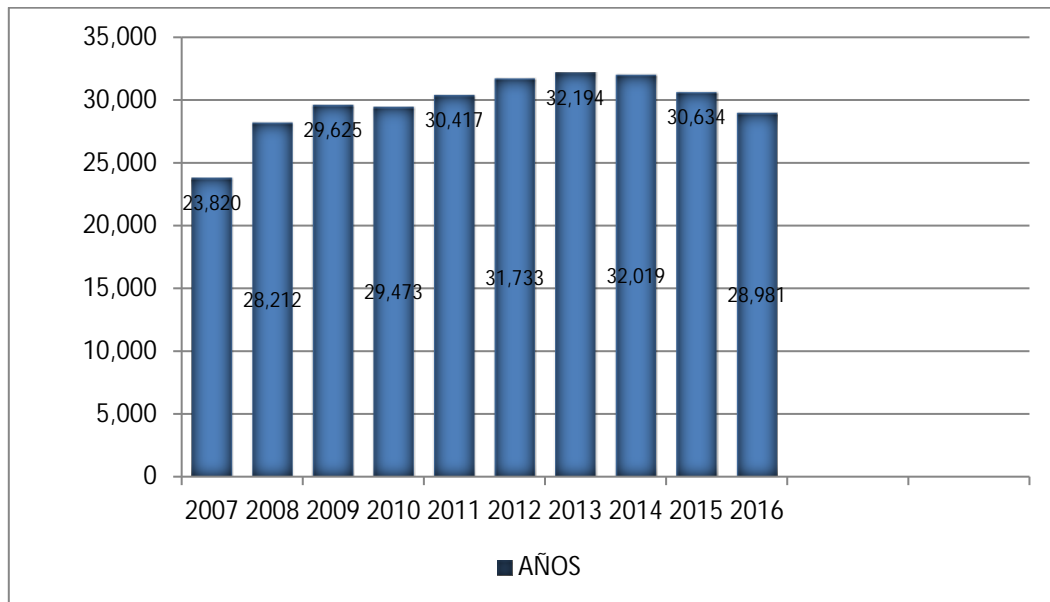
A continuación de muestran los indicadores del servicio de telefonía móvil a nivel nacional respecto a suscriptores, tráfico y población, correspondiente al período 2007-2016 (ver tabla 6).

			27.456.034

**Fuente:** Ortega, Carlos. (2018)

En la tabla anterior se puede apreciar un crecimiento constante de la cantidad de suscriptores de telefonía móvil desde el año 2008 hasta el 2013, disminuyendo cierto porcentaje en los años 2014, 2015 y 2016. De igual forma se nota un crecimiento

constante tanto en el tráfico saliente como en la población. En la figura 12 se muestra gráficamente el crecimiento de suscriptores por año.



**Figura 12. Suscriptores de telefonía móvil. Hasta el 4to trimestre 2006.**  
**Fuente:** Ortega, Carlos. (2018).

En la gráfica anterior se observa un crecimiento constante de suscriptores en los 2007, 2008 y 2009, apreciándose cierta disminución en los años 2010, 2014, 2015 y 2016.

### **4.3 Fuentes de Ruido/armónicos en los sistemas móviles**

El ruido y los armónicos se introducen en los sistemas celulares por distintas causas, no obstante aplicando métodos de supresión y distintas técnicas se pueden controlar, de manera que pueda disminuir el efecto que producen en el desempeño de las estaciones bases. A continuación se describen y analizan algunas de las características de estos fenómenos.

#### **4.3.1 Armónicos y las interferencias en sistema telefónico**

Las cargas no lineales originan corrientes con distorsión armónica. Estas siguen el camino con menor impedancia en la red, usualmente hacia la fuente o algún

elemento de la red que varíe la impedancia del sistema, por ejemplo un banco de condensadores que ofrecen baja impedancia a altas frecuencias. Existe una gran cantidad de dispositivos que producen distorsión armónica. La razón principal del incremento de armónicos en los sistemas de potencia se debe al desarrollo y amplia utilización de dispositivos de electrónica de estado sólido (semiconductores).

- **Condiciones de resonancia**

Las condiciones de resonancia del sistema son los factores más importantes que afectan el nivel de distorsión armónica. La resonancia paralela es una impedancia alta para el flujo de corriente armónica, mientras la resonancia en serie es una impedancia baja. La resonancia paralela ocurre cuando la reactancia inductiva del sistema y las reactancias capacitivas son iguales a la misma frecuencia. La resonancia en serie es el resultado de serie de combinaciones de bancos de condensadores y líneas o inductancias de transformadores. Cuando las condiciones de resonancia no son un problema, el sistema tiene la capacidad de absorber cantidades significativas de corrientes armónicas.

- **Flujo normal de corrientes armónicas**

Las corrientes armónicas tienden a fluir desde las cargas no lineales (fuentes armónicas) hacia las impedancias más bajas, usualmente la fuente de energía. La impedancia de la fuente de energía es usualmente mucho más baja que los caminos ofrecidos por las cargas, sin embargo la corriente armónica se divide dependiendo de la proporción de impedancia. Los armónicos más altos fluirán hacia los condensadores que representan una impedancia baja a altas frecuencias.

Si la combinación de bancos de condensadores y la inductancia del sistema resultan en una resonancia paralelo cercana a los armónicos generados por una carga no lineal cuya corriente armónica excitará el circuito, se provocará una corriente amplificada que oscilará entre la energía almacenada en la inductancia y la energía almacenada en la capacitancia. Esta alta oscilación de corriente puede causar distorsión de tensión o interferencia telefónica, cuando los circuitos de distribución y los circuitos de telefonía están físicamente próximos.

La resonancia serie presenta un camino de baja impedancia para corrientes armónicas y tiende a “atrapar” alguna corriente armónica a la cual se ha ajustado. La resonancia serie puede resultar en altos niveles de distorsión entre la inductancia y la capacitancia del circuito serie. Un ejemplo de circuito serie es un transformador con un grupo de condensadores conectados a su secundario.

#### **4.3.2 Bancos de condensadores y cables aislados**

Los bancos de condensadores usados para controlar la tensión y mejorar el factor de potencia, así como los cables aislados, son los principales componentes que afectan las características en respuesta en frecuencia del sistema. La conexión de los condensadores puede causar condiciones de resonancia (tanto serie como paralelo) que pueden elevar los niveles de armónicos. Las capacitancias de carga en líneas de transmisión y los cables aislados, también están en paralelo con la inductancia del sistema, por consiguientes ellos son similares a los condensadores paralelos con respecto al efecto de las características de respuesta en frecuencia.

#### **4.3.3 Características de la carga**

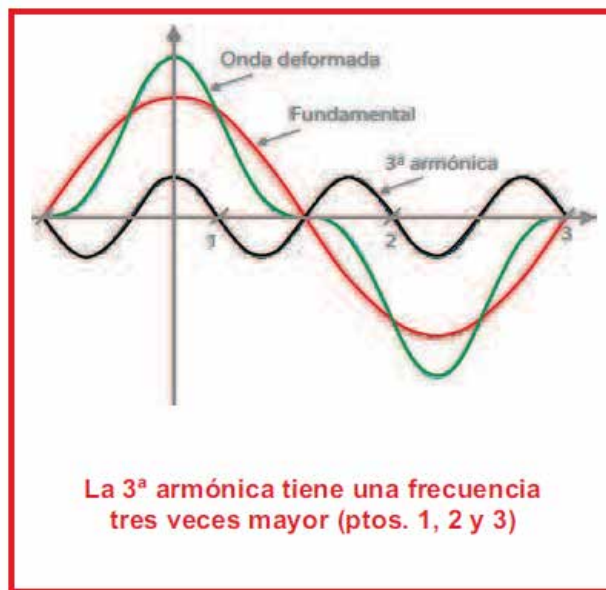
La carga tiene dos efectos importantes sobre las características de respuesta en frecuencia del sistema:

- La porción resistiva de la carga proporciona una amortiguación que afecta la impedancia del sistema cerca de la frecuencia de resonancia. La carga resistiva reduce la amplitud de los niveles de armónicos cerca de la frecuencia de resonancia en paralelo.
- Los motores eléctricos y otras cargas dinámicas pueden cambiar las frecuencias a las que ocurren las resonancias. Las cargas de motores no proporcionan un amortiguamiento significativo de los picos de resonancia.

Las corrientes armónicas que circulan a través de las impedancias del sistema de potencia, producen variaciones de tensión que resultan en tensiones armónicas vistas desde otras cargas. Si una de las cargas presenta baja impedancia, para un armónico en particular, ésta proporcionará una vía para esa corriente armónica.

#### 4.3.4 La tercera y quinta armónica

En la figura 13 se representa la forma de onda deformada y su valor de pico como suma gráfica de la onda fundamental y la 3ra armónica. La onda fundamental tiene una amplitud igual a tres veces la amplitud de la 3ra armónica y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante. La 3ra armónica tiene la particularidad de que su frecuencia es múltiplo eléctrica de la frecuencia fundamental, y tiene frecuencia cero, por lo que en el sistema trifásico de cuatro hilos (R, S, T y N) entra en anillo con las tres fases (R,S,T) desplazándose por el neutro. Igual ocurre con la 6ta, 9na, etc.



**Figura13. La 3º armónica**

**Fuente:** Noro, M. (2018). Interferencias electromagnéticas-  
[https://www.google.no/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=EuPLWqTCH4nk\\_Aa\\_lbmoCA&q=3ra+y+5ta+armonica+interferencia+electrica](https://www.google.no/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=EuPLWqTCH4nk_Aa_lbmoCA&q=3ra+y+5ta+armonica+interferencia+electrica).

En la figura 14 se muestra la forma de la onda de la 5ta armónica, en la misma aparece la onda deformada con su correspondiente valor de pico, como suma gráfica de la onda fundamental y la armónica. Igual que en el caso anterior

la onda fundamental tiene una amplitud igual a cinco veces la 5ta armónica, y ambas tienen su valor de pico en el mismo instante. La quinta armónica a diferencia de la 3ra armónica, no es múltiplo eléctrico de lo fundamental, por lo que se desplaza por la tres fases R, S y T y es la primera armónica que afecta a los condensadores y al sistema trifásico, al igual que la 7°, 11°, etc.



**Figura14. La 5° armónica**

**Fuente:** Noro, M. (2018). Interferencias electromagnéticas-  
[https://www.google.no/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=EuPLWqTCH4nk\\_Aa\\_lbmoCA&q=3ra+y+5ta+armonica+interferencia+electrica](https://www.google.no/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=EuPLWqTCH4nk_Aa_lbmoCA&q=3ra+y+5ta+armonica+interferencia+electrica)

#### 4.4 Sistemas Celulares

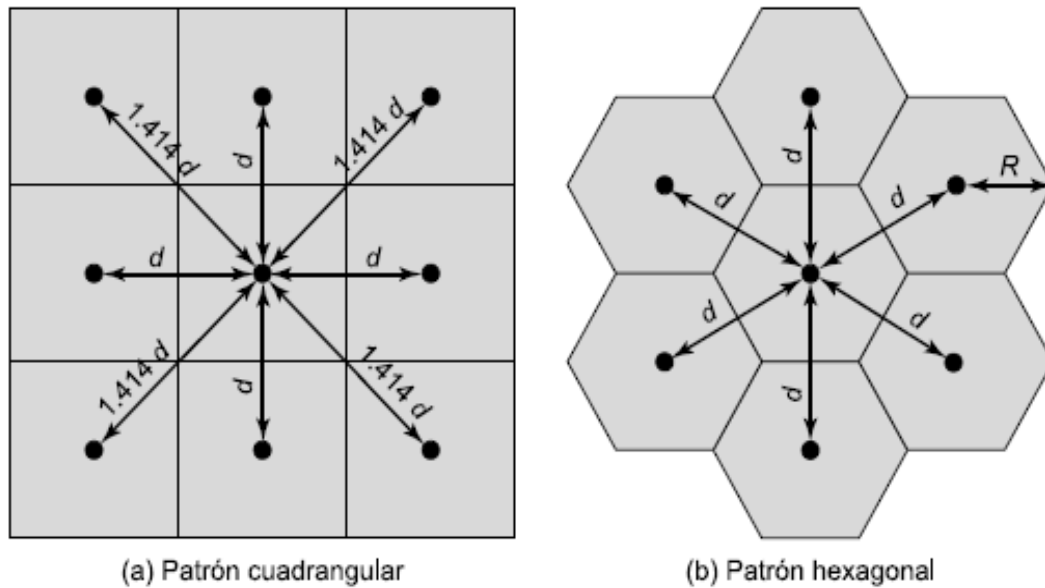
La radio celular es una técnica que fue desarrollada con el fin de incrementar la capacidad disponible para el servicio de telefonía móvil. Anteriormente el servicio de telefonía móvil era proporcionado únicamente por un transmisor/receptor de alta potencia. A continuación se hace un análisis sobre la manera cómo deben organizarse las redes celulares para un funcionamiento más óptimo.

#### 4.4.1 Organización de una red celular

La forma de incrementar la capacidad del sistema celular es utilizar sistemas de baja potencia con un radio más corto y emplear muchos más transmisores/receptores. Respecto a la organización de una red celular, la esencia de la misma reside en el uso de múltiples transmisores de baja potencia, del orden de 100 W o menos. Dado que el rango de un transmisor de estas características es pequeño, el área debe ser dividida en celdas, cada una de las cuales dispone de su propia antena. A cada celda se le asigna una banda de frecuencias y una estación base (compuesta por un transmisor, un receptor y una unidad de control) que le presta servicio. Las celdas adyacentes reciben una asignación distinta de frecuencias, evitando así la aparición de interferencias o diafonía. No obstante, las celdas suficientemente alejadas entre sí pueden emplear la misma banda de frecuencias.

La primera decisión de diseño que se debe tomar es la forma de las celdas que han de cubrir el área. Una matriz de celdas cuadradas sería la disposición más sencilla de definir (ver figura 15a). Sin embargo, esta geometría no es la más idónea. Si la anchura de una celda cuadrada es  $d$ , cada celda tiene cuatro vecinas a una distancia  $d$ . A medida que un usuario móvil dentro de una celda se mueva hacia las fronteras de la misma, es deseable que todas las antenas adyacentes estén equidistantes. Esto simplifica la tarea de determinar cuándo cambiar al usuario a una antena adyacente y qué antena seleccionar.

El patrón hexagonal es el más apropiado para los sistemas celulares, ya que proporciona antenas equidistantes (ver figura 15b). El radio de un hexágono se define como el radio de la circunferencia que lo circunscribe (equivalentemente, la distancia desde el centro a cada vértice, que es también igual a la longitud de un lado del hexágono). Para un radio de celda  $R$ , la distancia entre el centro de la celda y el centro de cada celda adyacente es



**Figura 15. Geometría celular**  
**Fuente:** Stalling (2004)

En la práctica no se utiliza un patrón hexagonal perfecto. Las alteraciones con respecto a la forma ideal se deben a las limitaciones topográficas, las condiciones locales de propagación de la señal y restricciones para la ubicación de las antenas.

Cuando se usan hexágonos para modelar las áreas de cobertura, los transmisores de las estaciones bases pueden estar tanto en el centro de las células como en tres de las esquinas de las seis de cada célula. Normalmente las antenas omnidireccionales se suelen colocar en el centro de las células, y las antenas de dirección selectivas (sectorizadas) se suelen colocar en las esquinas de las células.

En un sistema celular inalámbrico, el usuario se encuentra limitado en la cantidad de veces que puede utilizar la misma frecuencia para comunicaciones diferentes, dado que las señales, no estando restringidas, pueden interferir con otras incluso si se encuentran geográficamente separadas.

#### 4.4.2 Patrón de reuso de frecuencias

Cada celda en un sistema celular posee un transceptor base. La potencia de transmisión se controla cuidadosamente para permitir la comunicación dentro de la

celda utilizando una frecuencia dada, a la vez que se limita la potencia en esa frecuencia que escapa de los límites de la celda, alcanzando así las adyacentes. El objetivo es usar la misma frecuencia en otras celdas cercanas, permitiendo de esta forma que la misma frecuencia pueda ser empleada en varias conversaciones simultáneamente. Generalmente se asignan entre 10 y 50 frecuencias a cada celda, en función del tráfico esperado.

La cuestión esencial es determinar cuántas celdas debe haber entre dos celdas que utilizan la misma frecuencia para que estas dos no interfieran entre sí. Existen varios patrones de reutilización de frecuencias. Si el patrón consta de  $N$  celdas y a cada celda se le asigna el mismo número de frecuencias, cada celda puede disponer de  $K/N$  frecuencias, donde  $K$  es el número total de frecuencias asignadas al sistema.

Por ejemplo, si tenemos un patrón que consta de 7 celdas ( $N=7$ ) y  $K=395$ , esto implica que podrá haber un máximo de 57 frecuencias por celda.

En la caracterización de la reutilización de frecuencias se usan comúnmente los siguientes parámetros:

$D$  = distancia mínima entre los centros de las celdas que utilizan la misma banda de frecuencias (llamados cocanales).

$R$  = radio de la celda.

$d$  = distancia entre los centros de celdas adyacentes ( $d \geq R$ ).

$N$  = número de celdas en cada patrón repetitivo (cada celda en el patrón emplea una banda única de frecuencias), denominado factor de reutilización.

En un patrón de celdas hexagonal solamente son posibles los siguientes valores de  $N$ :

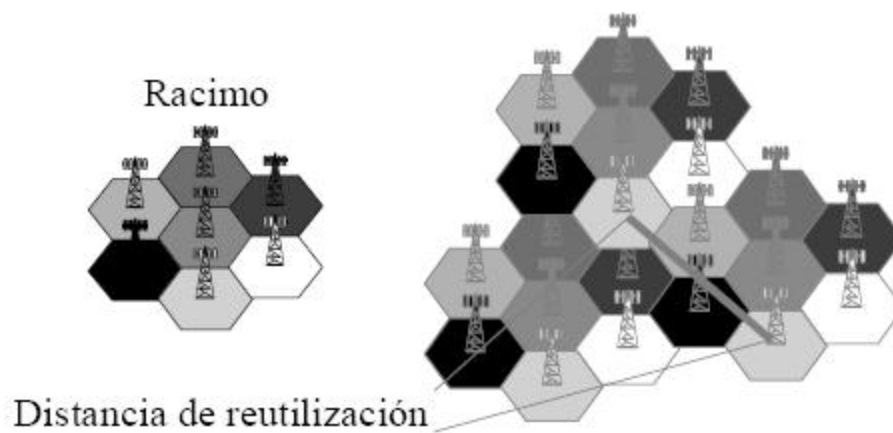
$$N = I^2 + J^2 + (I \times J), I, J = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Los valores posibles de  $N$  son, por tanto, 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21 y así sucesivamente.

Se verifica la relación siguiente:

$$\text{Esto puede también ser expresado como } D/d \geq N$$

A continuación se muestra un ejemplo para el cálculo de la distancia de reuso en un sistema celular para un tamaño de claustro  $N = 7$  y radio  $R = 3$  km. La figura 16 muestra la geometría hexagonal de las celdas.



**Figura 16. Geometría hexagonal de un sistema celular**

**Fuente:** Petrozzi, R,(2018).Geometría celular. Tomado <http://image.slidesharecdn.com/introduccionalatelefoniacelular-140705102013-phpapp01/95/introduccion-a-la-telefonía-celular-8-638.jpg?cb=1404555672>

Cálculos de la distancia de reuso:

$$D = 13,748 \text{ km}$$

$$Q = D/R = 4,6$$

El resultado obtenido implica que para un tamaño de claustrros de  $N = 7$ , la mínima distancia a la cual se puede reusar la frecuencia es aproximadamente  $Q = 4,6$  veces el radio  $R$  de la celda.

#### 4.4.3 Aumento de la capacidad

A medida que más usuarios utilizan el sistema con el tiempo, el tráfico puede crecer hasta el punto de que no haya suficientes frecuencias asignadas a una celda para gestionar sus llamadas. Para hacer frente a esta situación se han utilizado una serie de aproximaciones, entre las cuales citamos las siguientes:

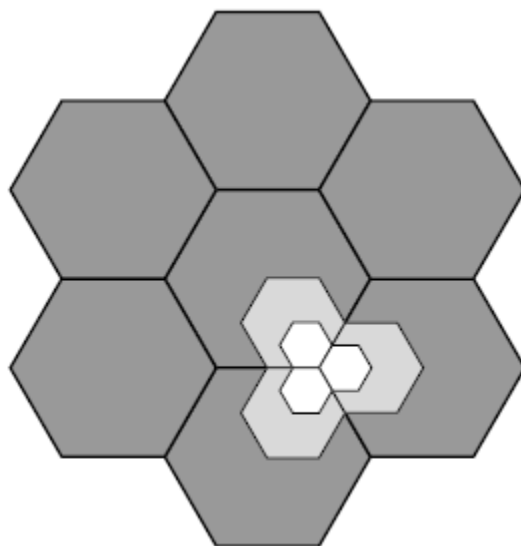
- **Adición de nuevos canales:** cuando un sistema se despliega en una región, lo común es que no todos los canales sean utilizados, de forma que el crecimiento y la

expansión pueden ser gestionados ordenadamente mediante la adición de nuevos canales.

- **Uso de frecuencias prestadas:** en el caso más simple, las celdas congestionadas pueden tomar prestadas frecuencias de las celdas adyacentes. Las frecuencias pueden también ser asignadas a las celdas dinámicamente.

- **División de celdas:** la distribución del tráfico y de las características topográficas no son uniformes en la práctica. Este hecho puede utilizarse para conseguir un aumento de la capacidad. Las celdas en zonas de alto uso pueden ser divididas en celdas más pequeñas. Si en una célula con “n” radiocanales hay más tráfico del que se puede cursar, porque aumenta el número de usuarios por ejemplo, se puede dividir la célula añadiendo más estaciones base y disminuyendo la potencia de transmisión. Esto es lo que se conoce como Splitting. El splitting incrementa la capacidad de un sistema celular dado que se incrementa el número de veces que se reutilizan los canales. Definiendo nuevas células que tengan un radio más pequeño que las células originales, se aumenta la capacidad debido al incremento de canales por unidad de área.

De manera que en realidad el tamaño de las células variará según la densidad de tráfico, teniendo células más grandes en zonas rurales (de hasta decenas de Km) y células más pequeñas (unos 500 m) en grandes núcleos urbanos. Generalmente, las celdas originales tienen un tamaño de entre 6,5 y 13 km. El uso de celdas más pequeñas implica que el nivel de potencia debe ser reducido con objeto de mantener la señal dentro de la celda. Asimismo, a medida que las celdas son más pequeñas, los trasposos de llamadas de un transceptor base a otro (handoff), se hacen más frecuentes, cuando el usuario se mueve de una celda a otra. La figura 17 muestra esquemáticamente como pueden ser divididas las celdas para proporcionar más capacidad. Una disminución del radio de las celdas reduce el área de cobertura pero aumenta el número de estaciones bases.



**Figura 17. División de celdas**

**Fuente:** Stallings (2004)

- **Sectorización de celdas:** con esta técnica, una celda se divide en una serie de sectores, cada uno de los cuales dispone de su propio conjunto de canales. Se emplean generalmente 3 o 6 sectores por celda, asignándose a cada uno de ellos un subconjunto distinto de los canales de la celda. En la estación base se emplean antenas direccionales enfocadas hacia cada sector.
- **Microceldas:** a medida que las celdas se vuelven más pequeñas, las antenas se desplazan desde lugares como los tejados de edificios altos o colinas hasta puntos de menor altura, formando así microceldas. Cada disminución del tamaño de una celda viene acompañada por una reducción de los niveles de potencia radiada de la estación base y de las unidades móviles. Las microceldas son útiles en las calles de las ciudades de zonas congestionadas, a lo largo de las autopistas y dentro de grandes edificios públicos. El rango de una microcelda puede variar entre 100 metros a 1 kilómetro de diámetro.

En la Tabla 7 se sugieren parámetros típicos para las celdas tradicionales, denominadas macroceldas, así como para las microceldas con la tecnología de la que se dispone actualmente. La dispersión del retardo medio de propagación se refiere a la dispersión del retardo de propagación multitrayectoria (es decir, la misma señal

sigue diferentes trayectorias y existe un retardo temporal entre la primera y la última recepción de la señal en el receptor). Como se indica, el uso de celdas más pequeñas permite utilizar menor potencia y proporciona condiciones de propagación superiores.

**Tabla 7. Parámetros típicos para macroceldas y microceldas**

	Macrocela	Microcela
Radio de la celda	1 a 20 Km	0,1 a 1 Km
Potencia de transmisión	1 a 10 W	0,1 a 1 W
Variación media del retardo de propagación	0,1 a 10 $\mu$ s	10 a 100 ns
Velocidad máxima	0,3 Mbps	1 Mbps

**Fuente:** Stallings (2004)

#### 4.5 Funcionamiento de sistemas celulares

Aproximadamente en el centro de cada celda se encuentra la estación base (BS, *Base Station*). Cada BS contiene una antena, un controlador y una serie de transceptores para la comunicación sobre los canales asignados a dicha celda. El controlador se usa para gestionar el proceso de llamada entre la unidad móvil y el resto de la red. En un instante dado pueden estar activos una serie de usuarios móviles, moviéndose dentro de la celda y comunicándose con la BS. Cada BS se encuentra conectada con una central de conmutación de telecomunicaciones móviles (MTSO, *Mobile Telecommunications Switching Office*), de tal forma que una MTSO puede prestar servicio a múltiples BS.

El enlace entre una MTSO y una BS es normalmente cableado, aunque un enlace inalámbrico es también posible. La MTSO es la responsable de conectar las llamadas entre las unidades móviles y se encuentra también conectada con la red pública de telefonía o telecomunicaciones, de forma que es posible establecer conexiones entre un usuario fijo de la red pública y un usuario móvil en la red celular. La MTSO se encarga de asignar un canal de voz a cada llamada, realizar los trasposos y supervisar las llamadas para obtener la información pertinente para su facturación.

Cabe señalar que en virtud de que las estaciones bases están conectadas a la central de conmutación a través de cableado, las mismas están propensas a ser afectadas por señales no deseadas, especialmente por las armónicas que se pudieran producir por diversas fuentes, tales como equipos conectados a la red o por señales que se introducen en los receptores de las estaciones. Estas señales no deseadas en casos de no ser filtradas, bien sea por alguna falla en los filtros u otra causa, pueden afectar el buen funcionamiento de la estación base.

#### **4.6 Efectos de propagación en radio móvil**

La comunicación móvil por radio introduce ciertas complejidades que no se encuentran en las comunicaciones por cable o en las comunicaciones inalámbricas fijas. Dos problemas fundamentales son los que tienen que ver con la potencia de la señal y los efectos de la propagación de la misma.

- **Potencia de la señal:** la potencia de la señal entre la BS y la unidad móvil debe ser lo suficientemente fuerte para mantener la calidad de la señal en la recepción, sin llegar a interferir demasiado con canales de otras celdas que estén utilizando la misma banda de frecuencias. Existen numerosos factores que complican este fenómeno. El ruido de origen humano varía considerablemente, resultando en niveles de ruido variables. Por ejemplo, el ruido de encendido de los coches en el rango de las frecuencias que se utilizan en sistemas celulares es mayor en las ciudades que en zonas suburbanas. Otras fuentes de señal cambian de un lugar a otro. La potencia de la señal varía como una función de la distancia entre la BS y cualquier punto dentro de su celda. Además, la potencia de la señal varía dinámicamente a medida que la unidad móvil se desplaza.

- **Desvanecimiento:** Aun cuando la potencia de la señal se encuentra dentro de un rango efectivo, los efectos de propagación pueden interrumpir la señal y ocasionar errores. El término desvanecimiento se refiere a la variación temporal de la potencia de la señal recibida causada por cambios en el medio de transmisión o en la trayectoria o trayectorias.

#### 4.7 Desvanecimiento en entornos móviles

Uno de los problemas más desafiante desde un punto de vista técnico al que se enfrentan los ingenieros de sistemas de comunicaciones es el del desvanecimiento en un entorno móvil. En un entorno fijo, el desvanecimiento se debe a cambios en las condiciones atmosféricas, como la lluvia. Pero en un entorno móvil, donde una de las dos antenas se desplaza con respecto a la otra, la presencia de obstáculos cambia a lo largo del tiempo, creando así efectos de transmisión complejos.

Existen tres mecanismos de propagación que intervienen en el desvanecimiento en entornos móviles:

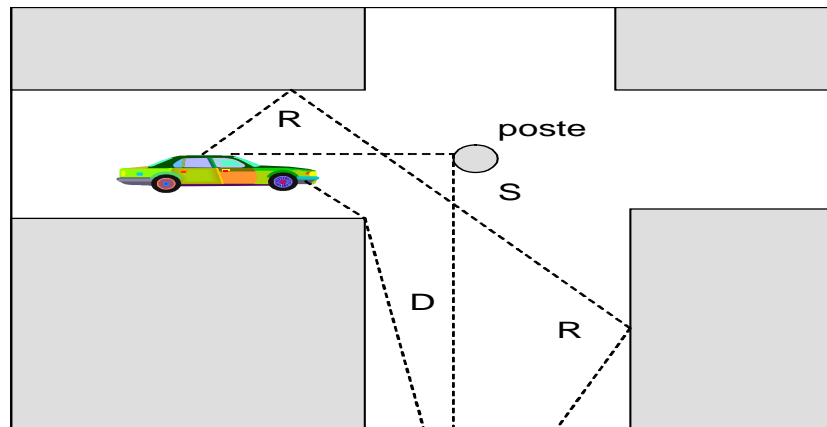
- La **reflexión** ocurre cuando una señal electromagnética alcanza una superficie que es relativamente grande en comparación con la longitud de onda de la señal.

- La **difracción** aparece en el vértice de un cuerpo impenetrable cuyo tamaño es significativamente superior a la longitud de onda de la onda de radio. Cuando una onda de radio se encuentra con tal vértice, las ondas se propagan en diferentes direcciones con el vértice como fuente. Así, las señales pueden ser recibidas incluso cuando no existe una LOS libre de obstáculos desde el transmisor.

- La **dispersión** aparece si el tamaño de un obstáculo es del orden de la longitud de onda de la señal o menor, ocasionando que la señal se disperse en varias señales más débiles. Existen varios objetos que pueden producir dispersión a las frecuencias de microondas típicas que se usan en redes celulares, como las farolas o las señales de tráfico. Esto hace que los efectos de dispersión sean difíciles de predecir.

-

En la figura 18 se ilustran los ejemplos de los fenómenos de reflexión, difracción y dispersión.



**Figura 18. Ejemplo de reflexión (R), difracción (D) y Dispersión (S)**  
Fuente: Villapol, M (2006)

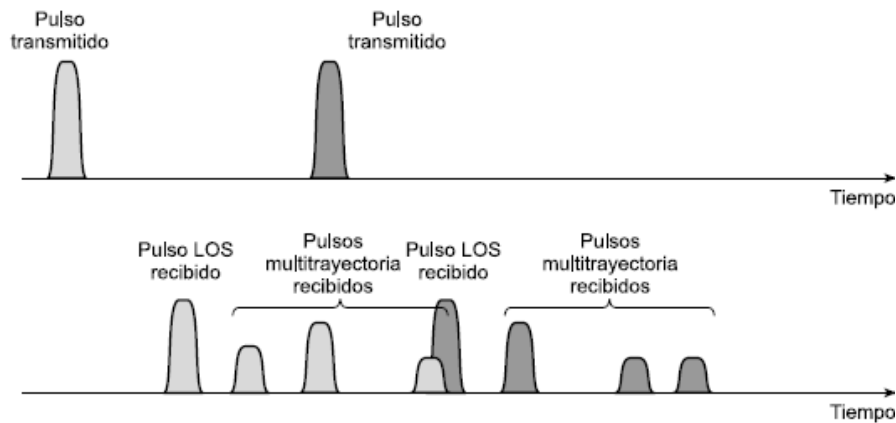
Los tres efectos de propagación mencionados influyen en el rendimiento del sistema de varias formas, dependiendo de las condiciones locales y a medida que la estación móvil se desplaza dentro de una celda.

#### **4.8 Efectos de la propagación multitrayectoria**

Uno de los efectos indeseables de la propagación multitrayectoria es que múltiples copias de una señal pueden ser recibidas con diferentes fases. Si estas fases se suman destructivamente, el nivel de la señal disminuye con respecto al ruido, haciendo más difícil la detección de la señal en el receptor.

Un segundo fenómeno de particular importancia para la transmisión digital es la interferencia intersimbólica (ISI, *Intersymbol Interference*). Supongamos que se envía un pulso estrecho a una determinada frecuencia a través de un enlace entre una antena fija y una unidad móvil. En la figura 19 se muestra lo que la canal puede entregar al receptor si el impulso es enviado en dos instantes de tiempo distintos. La línea superior muestra los dos pulsos en el momento de ser transmitidos, mientras que en la inferior se muestran los pulsos resultantes en el receptor. En cada caso el primer pulso

recibido es la señal deseada. Su magnitud puede cambiar debido a alteraciones en la atenuación atmosférica.



**Figura 19. Dos pulsos en una multitrayectoria variable en el tiempo**  
**Fuente:** Stallings (2004)

Adicionalmente, la pérdida de la señal se incrementa a medida que la unidad móvil se desplaza alejándose de la antena fija. Pero, además de este pulso primario, pueden aparecer múltiples pulsos secundarios debidos a la reflexión, difracción y dispersión. En el caso en que el pulso codifique uno o más bits de datos, una o más copias retardadas del pulso pueden llegar al receptor al mismo tiempo que el pulso primario de un bit posterior, actuando como una forma de ruido frente a él y haciendo la recuperación de la información del bit más difícil.

La localización de los obstáculos cambia a medida que la antena móvil se desplaza, ocasionando que el número, magnitud y localización temporal de los pulsos secundarios también cambie. Esto dificulta el diseño de técnicas de procesamiento de la señal que filtren los efectos de la propagación multitrayectoria de tal forma que la señal deseada sea recuperada con fidelidad.

#### **4.9 Fluctuaciones por incremento de abonados**

La señal proveniente de las torres celulares puede variar alrededor de 5 dB. Una de las razones principales por las que suceden estas variaciones se debe a la “carga de la torre”. Esto último se refiere a que cuanto mayor sea la cantidad de usuarios

conectados con a la torre, menor será la intensidad de señal que esta brinde. En consecuencia la señal está propensa a ser afectada por otras señales más fuertes produciéndose interferencia.

#### **4.10 Pocas estaciones bases en áreas rurales**

En muchas áreas rurales la densidad poblacional es muy baja, por lo que resulta inviable económicamente para los operadores móviles construir nuevas estaciones base. En estos casos la única opción es utilizar repetidores celulares que permitan amplificar la señal para mejorar la intensidad de la señal y aumentar la zona de cobertura. Un repetidor celular es un dispositivo que funciona a modo de un amplificador bidireccional y se compone por tres elementos fundamentales: una antena para el lado de la estación base, otra para el lado de los dispositivos móviles y un amplificador de señal.

La antena para el lado de la estación base es recomendable que sea de tipo direccional (antena capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada en una dirección en concreto), ya que así puede ser alineada con la estación base y proveer la mejor señal posible. Si la ganancia del repetidor es muy alta, las antenas de este tipo se hacen necesarias para evitar las interferencias introducidas por fuentes no deseadas.

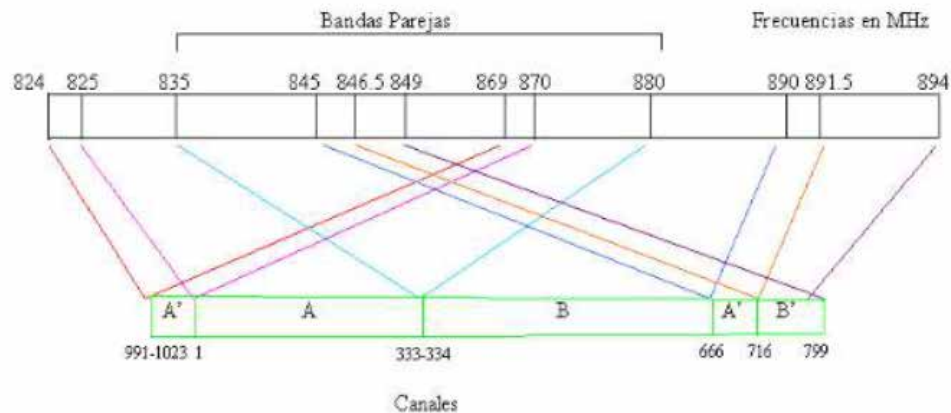
La antena para el lado de los dispositivos móviles es aconsejable que sea del tipo omnidireccional o sectorial (antena que concentra la mayor parte de la energía radiada en área específica) dependiendo del caso. La ventaja de esto es que la señal será distribuida en todo el área de interés.

El uso de repetidores implica una mayor duración de la batería y un menor nivel de radiación emitida por parte del teléfono móvil.

#### **4.11 Asignación de bandas de frecuencias en un sistema celular GSM-850 MHz**

La banda de 800 MHz comprende un ancho de banda de 30 MHz (2x15 MHz), distribuida en porciones de espectro radioeléctrico, siendo usado el rango de frecuencias 824 - 849 MHz, para las señales transmitidas desde el móvil a la estación base (Uplink, subida) y el rango de 869 – 894 MHz, para las transmitidas desde la

estación base al móvil (Downlink, bajada). La Figura 20 muestra el funcionamiento de teléfonos celulares mediante la asignación de bandas de frecuencias y sus respectivos canales.



**Figura 20. La banda de frecuencias de telefonía celular.**

**Fuente:** Turmero, P. (2014). Tomado de

<http://www.monografias.com/trabajos103/telefonía-celular-sistema/telefonía-celular-sistema.shtml>

En el sistema GSM el método de acceso es una combinación de TDMA/FDMA. La parte FDMA lleva la división del ancho de banda (BW) disponible, la cual en GSM 800/900 es de 25 MHz, con una cantidad de 124 portadoras, separadas 200 KHz. Cada TDMA, el número total de canales (intervalo temporal dentro de una trama) que admite el sistema es de  $124 \cdot 8 = 992$  canales.

#### 4.12 Asignación de Canales

Las estrategias de asignación de canales se clasifican en fijas y dinámicas. En una estrategia de asignación de canales fijas, a cada célula se le asignan un número de radiocanales fija. Para dar servicio a una llamada dentro de la célula, sólo se pueden utilizar los canales inutilizados dentro de esa célula en particular. Si todos los canales están ocupados la llamada se bloquea y el usuario no recibe el servicio. Una variación de esta estrategia, es que una célula vecina que tiene canales sobrantes le preste canales a la que le faltan. El centro de conmutación móvil (MSC) supervisa que estos

métodos de préstamo no interfieran con ninguna llamada en progreso de la célula donadora.

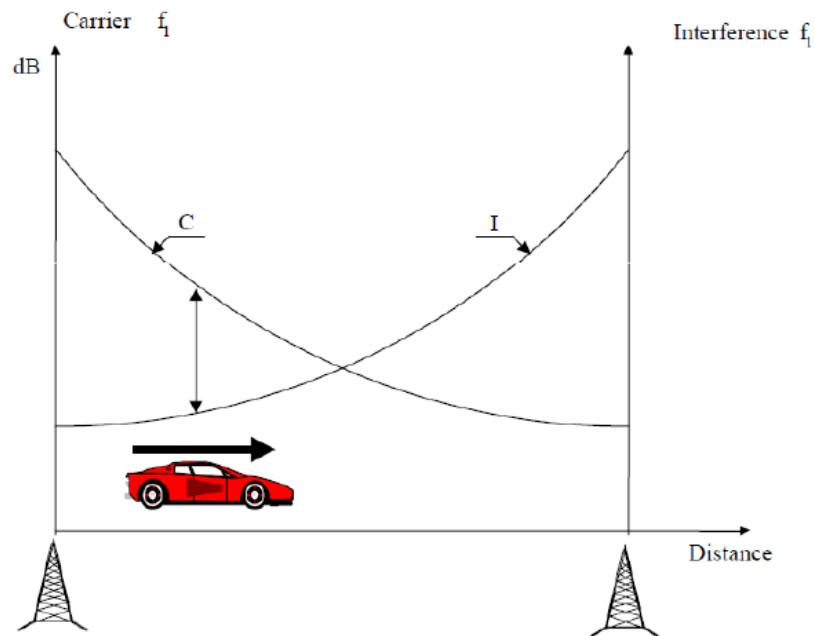
En una estrategia de asignación de canales dinámicas, a cada célula no se le asigna un número de canales disponibles, sino que cada vez que se produce un requerimiento de llamada, la estación base servidora pide un canal al centro de conmutación (MSC). Éste entonces coloca un canal al servicio de la célula que lo pidió, siguiendo un algoritmo toma en cuenta diversos factores como la frecuencia del canal a pasar, distancia de reutilización y otras funciones de coste.

#### **4.13 Interferencia Co-canal**

El reuso de frecuencias implica que en un área de cobertura dada haya varias células que usen el mismo conjunto de frecuencias. Estas células son llamadas células cocanales., y la interferencia entre las señales de estas células se le llama interferencia cocanal. En un sistema celular, cuando el tamaño de la célula es aproximadamente el mismo, la interferencia cocanal es prácticamente independiente de la potencia de transmisión y se convierte en una función del radio de la célula ( $R$ ) y de la distancia al centro de la célula cocanal más próxima ( $D$ ). Incrementando la relación  $D/R$  se incrementa la separación entre células cocanales relativas a la distancia de cobertura.

El parámetro  $Q$ , llamado factor de reuso cocanal, está relacionado con el tamaño del cluster ( $N$ ). Un valor pequeño de  $Q$  proporciona una mayor capacidad, dado que el tamaño del cluster  $N$  es pequeño, mientras que un valor de  $Q$  grande mejora la calidad de la transmisión, debido a que es menor La interferencia cocanal.

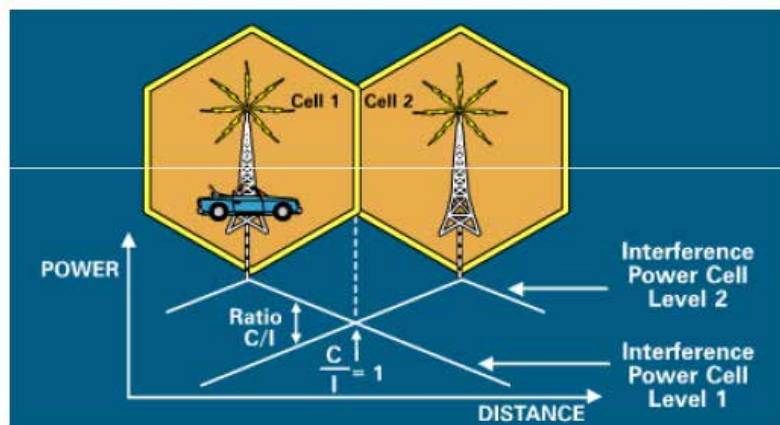
Una de las medidas físicas de la calidad del canal de RF, es la relación portador-a-interferencia ( $C/I$ , *carrier-to-interference*). Esta relación es logarítmicamente proporcional a la calidad de la señal del receptor. Mientras más grande sea la relación  $C/I$ , mejor será la calidad del canal. La especificación GSM recomienda que el ratio  $C/I$  sea mayor a 9 dB. La figura 21 muestra la representación del móvil cuando se produce la interferencia cocanal.



**Figura 21. Interferencia Co-canal.**

**Fuente:** Wikipedia.(2018).Interferencia cocanal.  
<https://es.scribd.com/doc/58558491/interferencia-cocanal>

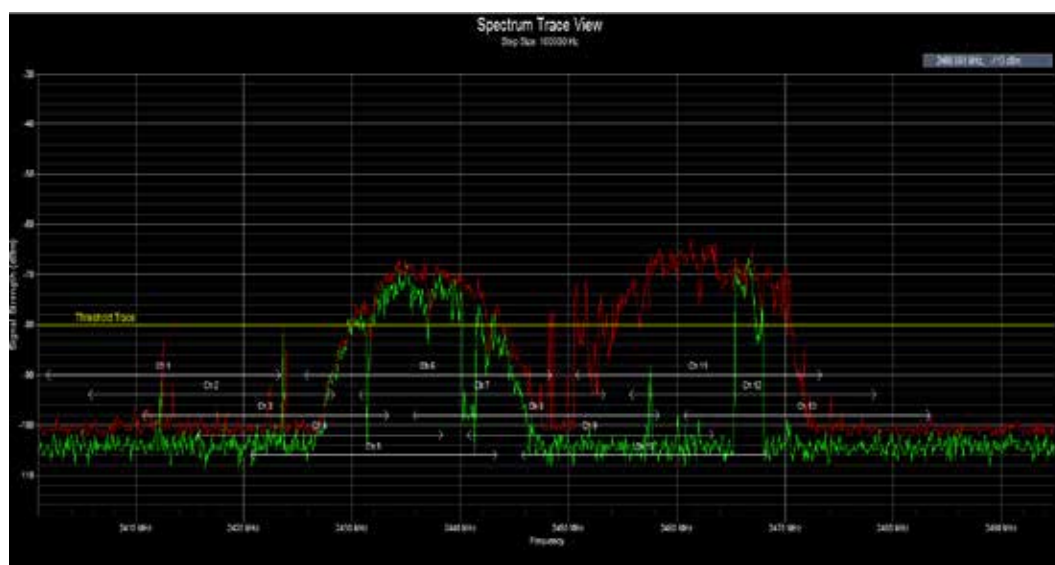
Algunos fabricantes usan 12 dB como criterio de planificación. Los coeficientes de  $C/I$  de 17 dB son usados idealmente para determinar el umbral de la cobertura de una célula. Si las medidas de  $C/I$  son debajo de este nivel, el móvil deberá estar en la región de cobertura de otra célula y se deberá realizar un handoff. El interior de la célula deberá proveer coeficientes de  $C/I$  que excedan 17 dB. La figura 22 muestra dos células y la relación  $C/I$  que se origina entre las mismas.



**Figura 22. Portadora (Carrier) e Interferencia (interference)**

**Fuente:** Velarde, E. (2018). Planeamiento de celdas. Tomado de <http://docplayer.es/11920731-Planeamiento-de-celdas-en-los-sistemas-ing-edgar-velarde-edgar-velarde-pucp-pe-blog-pucp-edu-pe-telecom.html>

La interferencia cocanal es causada por el uso de una frecuencia cercana que es exactamente la misma frecuencia usada en una celda. En la figura 23 se muestra la representación gráfica de la interferencia cocanal entre dos ondas.

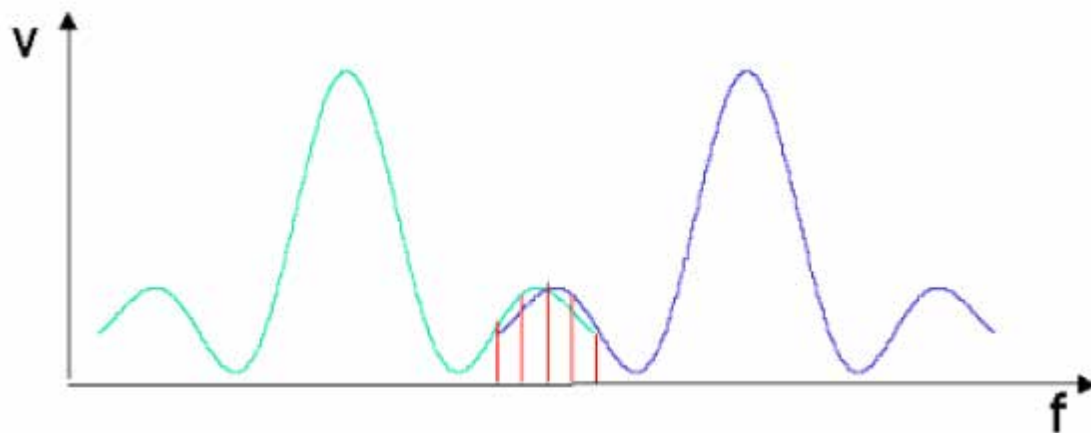


**Figura 23. Representación gráfica interferencia cocanal.**

**Fuente:** Logroño, A. (2014)

#### 4.14 Interferencia por canal adyacente

Entran en este apartado las interferencias procedentes de señales que son adyacentes en frecuencia a la señal deseada. Estas interferencias están producidas por la imperfección de los filtros en los receptores que permiten a las frecuencias cercanas colarse dentro de la banda pasante. El problema puede ser particularmente serio si un usuario de un canal adyacente está transmitiendo en un rango muy próximo al receptor de un abonado, mientras que el receptor está intentando recibir una estación base sobre el canal deseado. A esto se le suele llamar efecto "nearfar", donde un transmisor cercano (que puede ser o no del mismo tipo que el usado en el sistema celular) captura al receptor del abonado. En la figura 24 se muestra la representación gráfica de la intersección de dos frecuencias que presentan interferencia por canales adyacentes.

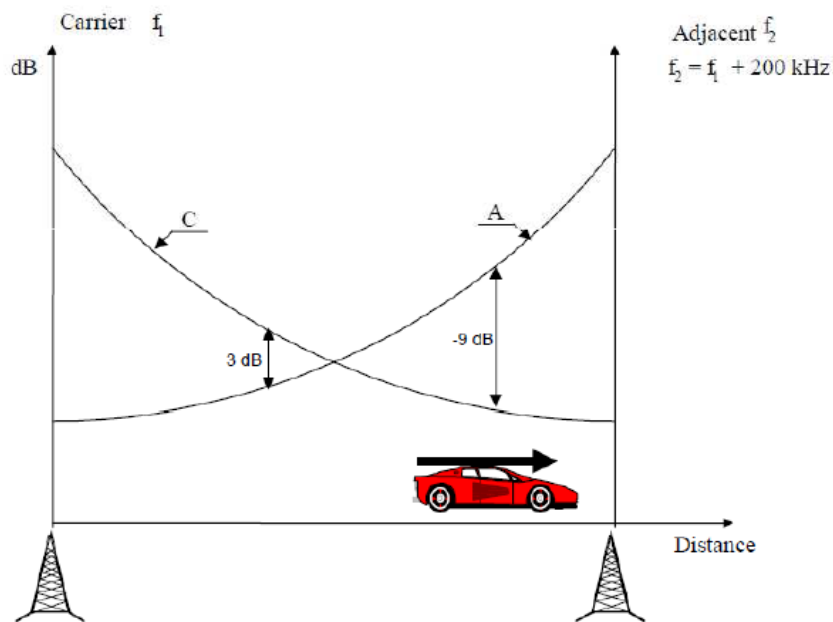


**Figura 24. Interferencia de dos ondas en canales adyacentes**

Fuente: Wikipedia. (2018). Tomado de [http://www.monografías.com/103/telefonía-celular-sistema\\_sntml](http://www.monografías.com/103/telefonía-celular-sistema_sntml)

Otra forma de producir el mismo efecto es cuando un móvil cercano a una estación base transmite sobre un canal cercano a otro que está usando un móvil débil. La estación base puede tener dificultad para discriminar al usuario móvil deseado del otro debido a la proximidad entre los canales. Este tipo de interferencias se pueden minimizar filtrando cuidadosamente, y con una correcta asignación de frecuencias. Dado que cada celda maneja sólo un conjunto del total de canales, los canales a asignar en cada celda no deben estar próximos en frecuencias.

Las frecuencias adyacentes son aquellas desplazadas a 200 KHz de la frecuencia central de una celda y deben ser evitadas en una celda vecina debido a que afectan la calidad. La especificación de GSM recomienda que el ratio C/I de las frecuencias adyacentes sea mayor que -9dB. Algunos fabricantes estiman más de 3 dB. En la figura 25 se muestra la representación de la interferencia por canal adyacente.



**Figura 25. Interferencia por canal adyacente**

**Fuente:** Wikipedia.(2018).Interferencia cocanal.  
<https://es.scribd.com/doc/58558491/interferencia-cocanal>

#### 4.15 Marco regulatorio de armónicos en telecomunicaciones

Las telecomunicaciones a nivel internacional están reguladas principalmente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). En nuestro país el marco legal sobre telecomunicaciones está establecido en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, la cual le atribuye a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) la coordinación con los organismos nacionales de los aspectos técnicos en materia de telecomunicaciones. De igual forma, CONATEL es el ente encargado de administrar, regular y controlar los recursos limitados,

utilizados en las telecomunicaciones. La asignación del espectro radioeléctrico, lo realiza CONATEL, a través del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, de conformidad con las normas dictadas por la UIT.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y de Electrónica (IEEE), indica en la norma IEEE Std 519-1992, que las nuevas tecnologías, que usan fuentes de alimentación con diodos y condensadores (el computador) para la rectificación de ondas, contribuyen al flujo de armónicos.

El control de armónicos está establecido en la norma venezolana COVENIN 159:1997, la cual establece los límites de tensión y corriente armónica, de tal manera que se garantice la compatibilidad electromagnética (CEM) de las cargas y equipos, para que los mismo funcionen satisfactoriamente, evitando reducir su tiempo de vida útil.

## CONCLUSIONES

- Los altos índices de penetración en el mercado de la telefonía móvil, han ocasionado el crecimiento del tráfico, debido a la inclusión de nuevos servicios, la expansión de las zonas de cobertura y al aumento constante de usuarios, lo que ha afectado la capacidad y calidad del sistema.
- Las interferencias co-canal y de canal adyacentes son las principales interferencias generadas en las estaciones bases de telefonía móvil con tecnología GSM, las cuales afectan la calidad en la comunicación, ocasionando fallas en la transmisión de voz.
- La interferencia co-canal es la que afecta en mayor proporción el buen desempeño de una estación base de telefonía móvil con tecnología GSM.
- La interferencia de canal adyacente puede ser controlada en un sistema celular, mediante un buen filtrado y una buena estrategia de asignación de canales.
- La interferencia co-canal se puede disminuir aumentando la capacidad del sistema celular, mediante la división del área de cobertura en celdas y microceldas, organizándolas en clúster, lo que permitirá al sistema trabajar con menor potencia y a su vez reutilizar un mismo grupo de frecuencias en cada celda. Para un funcionamiento óptimo se requiere de una distancia adecuada entre las celdas que utilizan el mismo grupo de frecuencia.
- Los transmisores de comunicaciones tienen salidas armónicas que pueden interferir potencialmente con los sistemas inalámbricos. La principal fuente de armónicos en un sistema celular son las cargas no lineales (semiconductores); no obstante algunas veces se debe a equipos defectuosos por falta de mantenimiento en los mismos así como en las antenas, conectores, empalmes y cableado.
- La geometría celular hexagonal es la más adecuada para la sectorización de celdas, ya que permite mayor equidistancia entre las antenas lo que le brinda

mayor cobertura a cada celda en la medida en que el móvil se desplaza hacia las fronteras de la misma.

- La congestión del tráfico originada por el aumento constante de usuarios, debilita la potencia del sistema celular, ocasionando interferencia en la comunicación o en algunos casos la interrupción de la llamada.
- La interferencia por intermodulación es ocasionada mayormente por señales fuertes externas al sistema que se introducen en el canal de la señal deseada, no obstante la misma se puede disminuir con un buen mantenimiento de las antenas, empalmes, y conectores.
- Por último se concluye que la presente investigación le brindó al autor, la oportunidad de introducirse en el maravilloso mundo de la telefonía celular, orientado por su tutor académico, excelente experto en la materia, lo que permitió incluir en un único Trabajo de Grado, una gran cantidad de temas que no se consiguen comúnmente en un único texto, despertándole la ansiedad de seguir avanzando y profundizando en el campo de las telecomunicaciones, en especial en de la telefonía móvil.

## RECOMENDACIONES

- En el diseño de estaciones telefónicas se hace necesario apoyarse en un buen dimensionamiento donde se tomen en cuenta sus requerimientos tanto de cobertura como de capacidad. Es imprescindible establecer las características y cantidad de equipos a utilizar, que cumplan con las exigencias establecidas en las normas nacionales e internacionales, para evitar la generación de ruido, armónicas e interferencias debido a la calidad de los mismos. También es necesario apoyarse en la teoría de Tráfico de Red, para que se pueda dimensionar la red de tal forma que pueda soportar el tráfico previsto.
- Es importante que los instaladores de estaciones bases se empeñen en revisar de forma constante la calidad de los materiales y componentes (conectores, antenas, amplificadores, entre otros), verificar las estructuras corroídas, así como analizar el correcto funcionamiento de los sistemas y probar detalladamente los equipos, con la finalidad de mantener controlado el efecto de la intermodulación pasiva. De esta manera se podrían disminuir la generación de ruidos, armónicas e interferencias.
- Para lograr una mejor calidad en la comunicación del sistema celular, es recomendable mantener controlada la interferencia co-canal mediante una adecuada distancia de reuso en la asignación de frecuencias, de modo que disminuya la potencia en cada celda y aumente su capacidad.
- En zonas rurales debido a la baja densidad poblacional es recomendable utilizar repetidoras celulares para amplificar la señal y aumentar la zona de cobertura, ya que no sería rentable la construcción de nuevas estaciones bases. En este caso se recomienda que la antena que apunte hacia la estación base sea de tipo direccional, para así proveer la mejor señal hacia dicha estación. La antena que apunta hacia el lado de los dispositivos móviles es aconsejable que sea tipo omnidireccional o sectorial, para que la señal sea distribuida en toda el área de interés.

- Se recomienda que el presente trabajo de grado, sea tomado en cuenta para otras futuras investigaciones, con la finalidad de que se logre aportar mayor cantidad de soluciones al problema causado por las interferencias que afectan el desempeño de las estaciones bases de telefonía móvil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baeceló, F. y Jordán, J. (2002). Telefonía Móvil. México. Alfaomega.
- Bateman, A. (2003). Comunicaciones Digitales. Diseño para el Mundo Real. Marcombo. Barcelona. España.
- Carpio, J.(2011). Qué son los armónicos. Extraído el 5 de enero del 2017.[https://www.google.co.ve/webhp?source=search\\_app&gfe\\_rd=cr&ei=IBRwWLGuK8\\_LgATBIZewDg#q=imagen+armonicos+electricos](https://www.google.co.ve/webhp?source=search_app&gfe_rd=cr&ei=IBRwWLGuK8_LgATBIZewDg#q=imagen+armonicos+electricos). Extraído el 22.
- Conatel (2016). Estadísticas Anuales y Trimestrales. Extraído el 25 de Julio del 2016 desde [www.conatel.gob.ve/estadisticas-anuales-y-trimestrales/](http://www.conatel.gob.ve/estadisticas-anuales-y-trimestrales/)
- Conatel. (2017).Estadísticas sector Telecomunicaciones. Extraído el 27 de Febrero del 2017 desde [https://www.apc.org/es/system/files/Espectro\\_](https://www.apc.org/es/system/files/Espectro_)
- Conatel(2015). Estadística. Extraído desde [.www.conatel.gob.ve/tag/estadisticas/](http://www.conatel.gob.ve/tag/estadisticas/) el 04 de Agosto del 2016.
- Conatel. (2017). Espectro Radioeléctrico. Extraído el 04 de septiembre del 2017 desde [www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/](http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/)
- Conatel (2018). Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias. Extraído el 21 de Marzo del 2017 desde <http://www.conatel.gob.ve/cuadro-nacional-de-bandas-y-asignacion-de-frecuencias/>
- Correa O, Andrea. (2014). Análisis Técnico de la Pérdida de Señal de Telefonía Móvil en el Sector de Saucos III de la Ciudad de Guayaquil. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Cultural, S.A. (2002). Técnico en Telecomunicaciones. Tomo 2. España. Brosnac
- Félice, E. (2001). Perturbaciones Armónicas. Paraninfo, Thomson Learning. Madrid. España.
- Fernando, M. (2014).Tecnología celular. Extraído el 10 de Mayo del 2017 desde <https://www.google.co.ve/search?q=imagen+reuso+de+frecuencias>

- Frenzel, L. (2003). *Electrónica Aplicada a los Sistemas de las Comunicaciones*. 3ra Edición. México. Alfaomega.
- Fritz K, Paula. (2008). *Evaluación Técnica de W-CDMA en UMTS*. Universidad Austral de Chile. Vildivia. Chile.
- Haykin, S. y Van Veen, B. (2004). *Señales y Sistemas*. México. Editorial Limusa Wiley.
- Hernández M, German (2007). *Evaluación de la calidad del Servicio Electrico y Coordinación de protección en la Edificaciones Norte 1 y Norte 3 de PDVSA INTEVEP*. Universidad Central de Venezuela.
- Herrarte R, Marco (2013). *Interferencia Electromagnética en las Antenas de Telecomunicaciones*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Extraído el 23 de Septiembre del 2016. Desde [biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0344\\_EO.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0344_EO.pdf).
- Herrera, P. (2005). *Comunicaciones II. Comunicación Digital y Ruido*. Editorial Limusa, SA. México.
- Huidobro, J., Millán R. y Roldán, D. (2006). *Tecnología de Telecomunicaciones*. México. Alfaomega,
- Lathi, B. (2008). *Introducción a la teoría y Sistemas de Comunicación*. México. Editorial Limusa.
- León, F. (2014). *Propación en sistemas celulares*. Extraído 6 de Febrero del 2018 desde <https://es.slideshare.net/FranklinIsaiLeonhuacal/presentacion-propagacion-en-sistemas-celulares>
- Ley Orgánica de Telecomunicaciones (2011). *Gaceta oficial Nro. 39.610 del 07 de febrero de 2011*
- Logroño, A. y Padreño, D. (2014). *Diseño e implementación de un sistema inteligente para detección de interferencias electromagnéticas en la banda de frecuencia modulada*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador. Extraído el día 20 de Agosto de 2016 desde [dspace.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec) > ... > Tesis Ingeniero en Electrónica Telecomunicaciones y Redes.
- Marcombo, S.A. (1999). *Telecomunicaciones Móviles*. 2da Edición. México. Alfaomega Grupo Editor.

- Martínez, E. (2015). Ancho de banda. Definición. Extraído el 2 de Noviembre del 2016 desde <https://www.google.co.ve/search?q=imagen+ancho+de+banda>
- Mendioroz, F. (2011). Tecnología de la telefonía celular. Extraído el 5 de Junio del 2017 desde Norma Venezolana para el control de armónicos en sistemas eléctricos. Norma covenin 159:1997.
- Noro, M. (2018). Interferencias electromagnéticas. Extraído el 7 de Enero del 2017 [https://www.google.no/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=EuPLWqTCH4nk\\_Aa\\_lbmoCA&q=3ra+y+5ta+armonica+interferencia+electronica](https://www.google.no/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=EuPLWqTCH4nk_Aa_lbmoCA&q=3ra+y+5ta+armonica+interferencia+electronica)
- Páez M, Jorge (1999). Diseño y Planificación de Cobertura Celular Digital para la ciudad de Baños-Tungurahua. Escuela Politécnica Nacional de Quito. Extraído el 03 de Octubre de 2016 desde [biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1225...46592](http://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1225...46592).
- Peraza I, Manuel (2005). Diseño de una estación radio base de la red de Movilnet con fines docentes para la Universidad Simón Bolívar sede del Litoral. Universidad Simón Bolívar. Extraído el 20 de enero de 2017.
- Pérez, E (2005). Guía Metodológica Para Proyectos de Investigación. 2da Edición. Caracas PEDUPEL.
- Pérez, J. (2017). Modulación pasiva, Extraído el 08 de Diciembre del 2017 desde [www.semi.es/.../control-de-interferencias-pasivas-en-redes-de-telecomunicaciones](http://www.semi.es/.../control-de-interferencias-pasivas-en-redes-de-telecomunicaciones)
- Petrozzi, R. (2018). Geometría celular. Extraído el 21 de marzo del 2018 desde <http://image.slidesharecdn.com/introduccionalatelefoniacelular-140705102013-phpapp01/95/introduccion-a-la-telefoniacelular-8-638.jpg?cb=1404555672>
- Porra, J (2012). Espectro electromagnético. Extraído el 02 de Abril del 2017 desde <https://grupo2radiobiologiayradioproteccion2.wordpress.com/2012/02/06/espectro-electromagnetico-y-ondas-electromagneticas/>
- Ramos L, Luisa. (2005). Optimización de la Red de Interconexión de Movilnet en la Zona Occidental de Venezuela. Universidad Simón Bolívar. Extraído el 05 de Agosto de 2016 desde [159.90.80.55/tesis/000130380.pdf](http://159.90.80.55/tesis/000130380.pdf).

- Sabino, C. (2002). El Proceso de Investigación. El Cid Editor.
- Stallings, W (2004). Comunicaciones y Redes de Computadores. 7ma Edición. Madrid España.
- Stremmler, F. (1993). Introducción a los Sistemas de Comunicación. 3ra Edición. México. Pearson, Addison Wesley.
- Universidad José Antonio Páez,(2007). Normas para la Elaboración y Presentación de Anteproyectos, Proyectos y Trabajo de Grado. Extraído el 01 de Agosto de 2016 desde [w3.ujap.edu.ve/wp-content/uploads/](http://w3.ujap.edu.ve/wp-content/uploads/).
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (1990). Manual de trabajos de grado de maestría y tesis doctorales. Primera Edición. Ediciones de Instituto de investigaciones educativas. Caracas. Venezuela.
- Velarde, E. (2018). Planeamiento de celdas. Extraído el 3 de Febrero del 2018 desde <http://docplayer.es/11920731-Planeamiento-de-celdas-en-los-sistemas-ing-edgar-velarde-edgar-velarde-pucp-pe-blog-pucp-edu-pe-telecom.html>
- Villapol, M. (2006) Fundamentos de la Tecnología Inalámbrica: Factores que Afectan la Transmisión. Universidad Central de Venezuela.
- Wikipedia. (2018).Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de. Frecuencias. Extraído el 3 de Mayo del 2017 desde [https://es.wikipedia.org/wiki/Bandas\\_de\\_frecuencia\\_GSM](https://es.wikipedia.org/wiki/Bandas_de_frecuencia_GSM)
- Wikipedia. (2018). Extraído el 2 de Febrero del 2018 desde [http://www.monografías.com/103/telefonía-celular-sistema\\_sntml](http://www.monografías.com/103/telefonía-celular-sistema_sntml)
- Wikipedia. (2006). Handover. Extraído el 6 de Diciembre del 2016 desde <https://es.wikipedia.org/wiki/Handover>
- Wikipedia.(2018).Interferencia cocanal. Extraído el 10 de Enero del 2018 desde <https://es.scribd.com/doc/58558491/interferencia-cocanal>
- Wikipedia. Interferencia eléctrica. Extraído el 20 de Agosto de 2017 desde [https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido\\_eléctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_eléctrico). Extraído el 20 de Agosto de 2017.







