



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

TEMA:

**“SISTEMA DE INTERFERENCIA DE SEÑAL CELULAR EN DISPOSITIVOS
CON TECNOLOGÍA GSM”.**

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Embebidos

AUTOR: Laura Nata Sylvia Alexandra

TUTOR: Ing. Patricio Córdova. Mg.

AMBATO – ECUADOR

Octubre 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “SISTEMA DE INTERFERENCIA DE SEÑAL CELULAR EN DISPOSITIVOS CON TECNOLOGÍA GSM” de la señorita Sylvia Alexandra Laura Nata, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe de investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Octubre 2015

EL TUTOR

Ing. Patricio Córdova, Mg

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado “SISTEMA DE INTERFERENCIA DE SEÑAL CELULAR EN DISPOSITIVOS CON TECNOLOGÍA GSM” es absolutamente original, auténtico y personal en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicas que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Octubre 2015

Sylvia Alexandra Laura Nata

CC.: 180479475-6

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y proceso de investigación.

Cedo los derechos de mi Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Octubre 2015

Sylvia Alexandra Laura Nata

CC.: 180479475-6

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “SISTEMA DE INTERFERENCIA DE SEÑAL CELULAR EN DISPOSITIVOS CON TECNOLOGÍA GSM” presentado por la señorita Sylvia Alexandra Laura Nata de acuerdo al numeral 9.1 de los lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

.....
Ing. José Vicente Morales Lozada, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
Ing. Robalino Freddy, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

.....
Ing. Brito Geovanni, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres por su dedicación y apoyo incondicional, ya que con su paciencia, entrega y confianza han hecho de mí la persona que hoy en día soy permitiéndome cumplir cada una de las metas que me he planteado.

A mis hermanos por su apoyo en esta etapa de mi vida.

A mis Amigos por todos esos momentos que hemos compartido juntos a lo largo de estos años y a una persona muy especial en mi vida, ya que ellos hicieron que esta etapa sea inolvidable.

Sylvia Alexandra Laura Nata

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme bendecido con mi familia ya que ellos son el pilar fundamental para cristalizar mis metas.

Al gran equipo humano que conforma la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial quienes han impartido sus conocimientos y experiencias de la mejor manera, especialmente al Ing. Patricio Córdova que en calidad de tutor supo guiarme de la mejor forma para llegar a la culminación de este trabajo.

A las personas que me brindaron su apoyo durante toda mi carrera, mi familia, amigos y compañeros.

Sylvia Alexandra Laura Nata

INDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE DE CONTENIDO	viii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
GLOSARIO DE TÉRMINOS y acrónimos.....	xix
INTRODUCCIÓN	xxii
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 Tema	1
1.2 Planteamiento del Problema	1
1.3 Delimitación.....	3
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo General:.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos:	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6

2.1 Antecedentes Investigativos	6
2.2 Fundamentación Teórica.....	7
2.2.1 Modelos de propagación	7
2.2.2 Líneas de transmisión	12
2.2.3 Antenas	15
2.2.4 Telefonía móvil.....	28
2.2.5 Técnicas de acceso múltiple	33
2.2.6 Spread Spectrum ext(Espectro Extendido)	36
2.2.7 Concepto de Telefonía Celular	42
2.2.8 GSM (Global System for Mobile Communications).....	50
2.2.9 Sistema GPRS (General Packet Radio Service)	61
2.2.10 EDGE (Enhanced Data For Global Evolution).....	62
2.2.11 Evolución de GSM a UMTS.....	63
2.2.12 Descripción guerras electrónicas	64
2.2.13 Comunicación jamming	68
2.2.14 Tipos de señales anti jammer (AJ).....	69
2.3 Propuesta de Solución.....	70
CAPÍTULO III.....	71
METODOLOGÍA	71
3.1 Modalidad de la Investigación	71
3.1.1 Investigación de Campo.....	71
3.1.2 Investigación Experimental	72
3.1.3 Investigación Bibliográfica.....	72
3.2 Recolección de Información	72
3.3 Procesamiento y Análisis de Datos.....	73
3.4 Desarrollo del Proyecto	73
CAPITULO IV	74
LA PROPUESTA	74
4.1 Fundamentación Legal.....	74

4.2	Fundamentación Teórica.....	76
4.2.1	Bandas de frecuencia para las operadoras de telefonía móvil en el Ecuador.	76
4.2.2	Infraestructura del Servicio Móvil avanzado en el Ecuador.....	77
4.2.3	Estrategias de Jamming.	78
4.2.4	Clasificación general de jammers.	83
4.3	Elección del tipo y la técnica de jammer.	85
4.4	Análisis de requerimientos y determinación de parámetros del sistema.	85
4.4.1	Requerimiento del usuario	85
4.4.2	Requerimientos de hardware	86
4.5	Diagrama esquemático del circuito.....	91
4.5.1	Fuente de Alimentación	94
4.5.2	Circuito Sintonizador	96
4.5.3	Acondicionamiento de la señal	101
4.5.4	Sección RF.....	103
4.6	Simulación del jammer	117
4.6.1	Simulación de la fuente de voltaje.....	117
4.6.2	Simulación de la sección de oscilación.....	118
4.6.3	Simulación de la sección RF.....	120
4.7	Armado de los circuitos del sistema electrónico	121
4.8	Proceso de fabricación del inhibidor	123
4.9	Construcción del prototipo.....	127
4.10	Pruebas de funcionamiento	128
4.11	Análisis económico del proyecto	135
CAPITULO V		138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		138
5.1	CONCLUSIONES	138
5.2	RECOMENDACIONES.....	139

ANEXOS	144
--------------	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Parámetros básicos para el modelo de dos rayos.	8
Figura 2. 2 Geometría de una línea microcinta o microstrip	13
Figura 2. 3 Geometría de la línea coplanar.	14
Figura 2. 4 Geometría de una stripline	15
Figura 2. 5 Diagrama de radiación de una antena.....	16
Figura 2.6 Patrón de radiación.	16
Figura 2.7 Polarización de una antena.	18
Figura 2.8 Polarización horizontal y polarización vertical.	19
Figura 2. 9 Dipolo de media onda y dipolo plegado de media onda	20
Figura 2. 10 Monopolo o antena Marconi	20
Figura 2. 11 Patrón típico de radiación en el plano E y H de una antena colineal	21
Figura 2. 12 Antena Patch.....	22
Figura 2. 13 Diagrama de radiación de la antena Patch.....	23
Figura 2. 14 Estructura de la antena de bocina.	23
Figura 2. 15 Antena Yagi.....	24
Figura 2. 16 Patrón de radiación de una antena Yagi-Uda.	25
Figura 2. 17 Antena BiQuad	25
Figura 2. 18 Diagrama de radiación de una antena parabólica.	26
Figura 2. 19 Estructura de una antena parabólica.	27
Figura 2. 20 Modelo de radiación de una antena sectorial.	28
Figura 2. 21 División de las frecuencias en FDMA.	33
Figura 2. 22 Combinación de FDMA y TDMA.	35
Figura 2. 23 Acceso múltiple por división de código.	36
Figura 2. 24 Principio Espectro Extendido.	37
Figura 2. 25 Principio Frecuencia Hopping.....	39
Figura 2. 26 Transmisor de Frecuencia Hopping.	39
Figura 2. 27 Transmisor del espectro ensanchado por secuencia directa.	41
Figura 2. 28 Celdas en un sistema de comunicaciones móviles.	42
Figura 2. 29 Células de la telefonía móvil.	43
Figura 2. 30 Patrones de reuso de frecuencia en una estructura celular hexagonal.....	45

Figura 2. 31 Proceso de transferencia de llamadas	46
Figura 2. 32 Proceso de Handover.....	47
Figura 2. 33 Ejemplo de área de cobertura sectorizada.	49
Figura 2. 34 Banda de frecuencia GSM 900 MHz.	51
Figura 2. 35 Banda de frecuencia GSM 1800 MHz.	52
Figura 2. 36 Banda de frecuencia GSM 1900 MHz.	52
Figura 2. 37 Arquitectura GSM.	53
Figura 2. 38 Subsistema de Estación Base (BSS).....	53
Figura 2. 39 Subsistema de Red (NSS).....	54
Figura 2. 40 Teleservicios y Servicios Portadores.....	58
Figura 2. 41 Sistema GSM y GPRS.....	61
Figura 2. 42 Servicios UMTS.....	64
Figura 2. 43 Disposición de un jammer en la comunicación.....	65
Figura 4. 1 Líneas activas de las operadoras móviles del Ecuador	77
Figura 4. 2 Disposición de un jammer de banda ancha.	79
Figura 4. 3 Disposición de un jammer de banda parcial.....	80
Figura 4. 4 Jammer por barrido.	81
Figura 4. 5 Potencia recibida de la señal GSM en la planta baja de la FISEI	87
Figura 4. 6 Gráfica del modelo ITU para interiores	91
Figura 4. 7 Diagrama de bloques del jammer.	92
Figura 4. 8 Diagrama General del jammer.	93
Figura 4. 9 Esquema de la fuente de alimentación.	94
Figura 4. 10 Módulo Regulador de Voltaje LM2596	96
Figura 4. 11 Diagrama de bloques del generador monolítico de funciones XR 2206....	98
Figura 4. 12 Configuración utilizada del XR2206.....	100
Figura 4. 13 Curva característica de I_c vs V_{ce} para el transistor 2N2222.....	102
Figura 4. 14 Diagrama de bloques de la sección RF	103
Figura 4. 15 VCO ROS-1150-519+	106
Figura 4. 16 Diagrama V_{dc} vs Frecuencia del VCO ROS-1150-519+.	107
Figura 4. 17 VCO ROS-2000	108
Figura 4. 18 Diagrama V_{dc} vs Frecuencia del VCO ROS-2000-1419.....	109
Figura 4. 19 Línea de tipo coplanar	110

Figura 4. 20 Zona de cobertura	112
Figura 4. 21 Patrón de radiación en el plano Vertical	113
Figura 4. 22 Generación de valores en 4NEC2	113
Figura 4. 23 Polarización Horizontal de la antena.....	116
Figura 4. 24 Patrón de radiación de la antena en 3D	117
Figura 4. 25 Simulación de la fuente de voltaje	118
Figura 4. 26 Circuito generador de la onda triangular	118
Figura 4. 27 Salida del generador de onda triangular.	119
Figura 4. 28 Circuito generador de ruido.....	119
Figura 4. 29 Forma de onda del circuito generador de ruido.....	120
Figura 4. 30 Simulación de la sección RF	120
Figura 4. 31 Circuito Generador de onda triangular	121
Figura 4. 32 Salida del Circuito Generador de onda triangular visualizada en el osciloscopio	122
Figura 4. 33 Circuito ajuste de señal.....	122
Figura 4. 34 Salida del circuito ajuste de señal.....	123
Figura 4. 35 Parte posterior del circuito.	124
Figura 4. 36 Parte delantera del circuito impreso.	124
Figura 4. 37 Pistas para el circuito de la sección RF.	125
Figura 4. 38 Parte posterior de la placa.	125
Figura 4. 39 Parte delantera de la placa RF.	126
Figura 4. 40 Prototipo del jammer.	126
Figura 4. 41 Distribución de las placas electrónicas en la carcasa	127
Figura 4. 42 Diseño del prototipo del inhibidor de señal.....	128
Figura 4. 43 Analizador de espectros marca Anritsu	128
Figura 4. 44 Distribución de la energía a lo largo del rango de frecuencias	129
Figura 4. 45 Análisis de la señal con el jammer encendido.....	130
Figura 4. 46 Medición de potencia en 892,636 MHz	131
Figura 4. 47 Reflexión electromagnética.....	132
Figura 4. 48 Distancia de bloque del jammer	133
Figura 4. 49 Celulares sin cobertura de la operadora Movistar	134
Figura 4. 50 Celulares sin cobertura de la operadora Claro.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Bandas de Frecuencia utilizadas para los sistemas analógicos.....	30
Tabla 2. 2 Principales características de los tres sistemas GSM.	51
Tabla 4. 1 Resumen Nacional de Abonados y líneas activas por concesionario.....	77
Tabla 4. 2 Coeficiente de pérdida de potencia "n" para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores.	89
Tabla 4. 3 Factor de perdida de penetración en el suelo Lf(dB).....	90
Tabla 4. 4 Modelo ITU para interiores.	90
Tabla 4. 5 Características de los circuitos integrados generadores de señal.....	97
Tabla 4. 6 Esquema de conexiones del XR 2206	100
Tabla 4. 7 Características del transistor 2N2222.	101
Tabla 4. 8 Características de los VCO's	104
Tabla 4. 9 Relación entre el voltaje sintonizador y la frecuencia de salida para el ROS-1150-519+.....	107
Tabla 4. 10 Asignación de frecuencias (Plan Nacional de Frecuencias MINTEL).....	108
Tabla 4. 11 Relación en el voltaje sintonizador y la frecuencia de salida para el ROS-2000-419+.....	109
Tabla 4. 12 Datos generados en 4NEC2 con la ganancia de la antena.	114
Tabla 4. 13 Potencia del canal visualizado en el analizador de espectros	131
Tabla 4.14 Reflexión de la señal.....	132
Tabla 4. 15 Pruebas de funcionamiento para la operadora Movistar.....	134
Tabla 4. 16 Pruebas de funcionamiento para la operadora Claro	134
Tabla 4. 17 Precios elementos fuente de alimentación	136
Tabla 4. 18 Precios elementos etapa de oscilación	136
Tabla 4. 19 Precio elementos de la sección RF	137

ANEXOS

Anexo 1 Datasheet XR 2206	145
Anexo 2. Datasheet Transistor 2N2222	154
Anexo 3.Datasheet ROS-1150-519+	158
Anexo 4. Datasheet ROS-2000-519+	160
Anexo 5. Diseño del prototipo en AutoCAD.....	162
Anexo 6. Manual de usuario del inhibidor	164

RESUMEN

La implementación de un sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM permite bloquear la red de telefonía celular en las bandas de frecuencia Movistar y Claro, con la finalidad de garantizar la seguridad y confidencialidad de las personas en los lugares en donde es necesario instalarlos, tales como, entidades financieras, centros penitenciarios e incluso en un salón de clases.

En el proyecto se presentan conceptos globales de la telefonía móvil, se estudia la legalidad de los dispositivos inhibidores de señal celular, enfatizando que en el Ecuador se permite el uso de los mismos bajo una debida autorización, también se realiza un análisis sobre las distintas técnicas de jamming y los diferentes tipos de jammers, con el fin de elegir el más adecuado para el desarrollo del presente proyecto.

Además se diseña cada una de las etapas del dispositivo como son: la sección de alimentación, sección de oscilación, RF y antena; se explica brevemente el proceso de fabricación y se expone los resultados obtenidos, en los cuales se observa que el inhibidor construido opera exitosamente en el rango de los 1.5 m alrededor de un aula de clases y toma de 20 a 25 segundos para privar completamente a la unidad móvil de la señal proveniente de las redes celulares.

Palabras claves: antena, telefonía celular, jammer, zona de cobertura, jamming

ABSTRACT

The implementation of cellular signal interference on devices with GSM technology allows you to lock the cell phone network in the frequency bands of Movistar and Claro, in order to ensure the security and confidentiality of people places where it is necessary to install, such as financial institutions, prisons and even in a classroom.

The draft global concepts of mobile telephony are presented, the lawfulness of the inhibitors of cellular signal devices is studied, emphasizing that in Ecuador the use thereof under permission is allowed, an analysis of the different techniques is also made jamming and different types of jammers in order to choose the most suitable for the development of this project.

Furthermore it is designing each stage of the device such as: the feed section, oscillation section, and RF antenna; briefly describes the manufacturing process and the results, in which it is observed that the built inhibitor successfully operates in the range of 1.5 m around the classroom and takes 20 to 25 seconds to completely deprive exposed the mobile unit of the signal from cellular networks Movistar and Claro.

Keywords: antenna, cell phone, jammer, coverage area, jamming

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.

GSM: Sistema global de comunicaciones móviles (Global System for Mobile communications).

AMPS: Sistema Telefónico Móvil Avanzado. (Advanced Mobile Phone Service)

NMT: Nordic Mobil Telecommunications

TACS: Total Access Communications System.

MSC: Centro de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center)

NCHO: Network Control HandOver

TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access)

CDMA: Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access)

MAHO: Mobile Assisted HandOver

GPRS: Servicio General de Paquetes por Radio (General Packet Radio Service)

EDGE: Tasa de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM (Enhanced Data Rates for GSM Evolution.)

LTE: Evolución a Largo Plazo (Long Term Evolution)

HSPA: Acceso de Paquetes de Alta Velocidad (High Speed Packet Access)

UMTS: Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System)

WiMAX: Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

3GPP: Proyecto Asociación de Tercera Generación (3 Generation Partnership Project)

SIM: Módulo de Identificación de Abonado (Subscriber Identity Module)

FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia (Frequency Division Multiple Access)

RF: Radiofrecuencia

L.T: Líneas de Transmisión

TEM: Modo Transversal Electromagnético

TMA: Telefonía Móvil Automática

BW: Ancho de Banda (BandWidth).

BSS: Subsistema de Estación Base (Base Station Subsystem)

BTS: Transceptor de la Estación Base (Base Transceiver Station)

BSC: Controlador de Estación Base (Base Station Controller)

NSS: Subsistema de Conmutación de Red (Network Switching Subsystem.)

MSC: Centro de Conmutación de Servicios Móviles.

PSTN: Red Telefónica Pública Conmutada (Public Switched Telephone Network)

HLR: Registro de Porción de Base (Home Location Register)

VLR: Registro de Posición de Visitante (Visitor Location Register)

EIR: Registro de Identificación del Equipo

OSS: Subsistema de Soporte Operacional (Operational Support Subsystem).

OMC: Centro de Operación y Mantenimiento.

NMC: Centro de gestión de la red

IMSI: Identificador de Terminal Móvil Internacional

DTE: Equipo Terminal de Datos (Data Terminal Equipment)

DCE: Equipo de Terminación de circuitos de Datos (Data Circuit-terminating Equipment)

EA: Ataque Electrónico (Electronic Attack).

SNR: Relación Señal a Ruido (Signal-to-Noise Ratio)

JSR: Relación Señal a Interferencia (Jam-to-Signal Ratio)

PSR: (Packet Send Ratio)

PDR: (Packet Delivery Ratio)

BER: Relación del Bit de Error (Bit Error Rate)

SER: (Symbol Error Rate)

SIR: (Signal-to-Interference Ratio)

ERP: Potencia Radiada Efectiva

DSSS: Espectro Disperso por Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum)

FHSS: Espectro Disperso por Salto de Frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum)

LPD: Baja Probabilidad de Detección (Low Probability of Detection)

LPI: Baja Probabilidad de Intercepción (Low Probability of Intercept)

FFH: Frecuencia Rápida de Salto (Fast Frequency Hopping)

SFH: Frecuencia Baja de Salto (Slow Frequency Hopping)

INECEL: Instituto Ecuatoriano de Electrificación

STMC: Servicio de Telefonía Móvil Celular

CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones

BBN: Ruido de Banda Ancha (BroadBand Noise)

PBN: Ruido de Banda Parcial (Partial Band Noise)

ST: Tono Simple (Single Tone)

MT: Tono Múltiple (Multiple Tone)

VCO: Oscilador Controlado por Voltaje (Voltage controller Oscillator).

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se implementa un sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM. Este prototipo electrónico se desarrolló por la necesidad de las personas en incrementar su seguridad en entidades públicas y privadas, ya que hoy en día el celular se ha convertido en un arma para delinquir. A continuación se hace una breve descripción de los capítulos que componen este proyecto de investigación.

En el primer capítulo se describe la falta de seguridad y privacidad de las personas en ciertos lugares públicos y privados como son en entidades financieras, hospitales, centros educativos, etc. como uno de los problemas que afecta a la sociedad.

En el segundo capítulo se realiza una introducción acerca de la evolución de la telefonía móvil, las técnicas de acceso múltiple, tipos de líneas de transmisión, tipos de antena y sus principales características, además se explica conceptos de la telefonía celular , GSM y sus características técnicas, sobre la guerra electrónica y tipos de ataque electrónico.

En el tercer capítulo se analiza las modalidades de investigación adecuadas para el proyecto, la forma de obtención y análisis de la información, y describe de manera rápida el proceso que se lleva a cabo para obtener el resultado final del proyecto.

En el cuarto capítulo se explica las técnicas de jamming y los tipos de jammers así como el diseño del dispositivo con las diferentes etapas del mismo, el proceso de fabricación del prototipo y los resultados obtenidos de las pruebas pertinentes.

En el quinto capítulo una vez terminado el proyecto se redacta las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema

“SISTEMA DE INTERFERENCIA DE SEÑAL CELULAR EN DISPOSITIVOS CON TECNOLOGÍA GSM”.

1.2 Planteamiento del Problema

El teléfono celular es un invento de uso indispensable y se ha convertido en parte de la vida e “indumentaria” de las personas; este aparato electrónico es fácil de adquirir y se halla al alcance de todos, ya que en el mercado se puede encontrar de diferentes precios, marcas y tamaños. Pero el uso que se le dé, depende directamente de los propietarios; no siempre los celulares son utilizados para beneficios personales, tal es así que la delincuencia utiliza estos aparatos para tener comunicación desde el interior y exterior de los lugares donde van a delinquir. Por tal motivo desde hace algún tiempo se prohíbe el uso de celulares en determinados lugares, como bancos, cárceles e instituciones gubernamentales, pero solo con letreros o advertencias.

Algunas empresas e instituciones públicas y privadas, se han visto obligadas a diseñar e implementar sistemas bloqueadores de señales celulares, conocidos como inhibidores de frecuencia en la banda celular o jammers; para proporcionar mayor seguridad. Pero hay que tomar muy en cuenta que la ley de telecomunicaciones y las leyes en general, que restringen su utilidad a contados lugares; por la prohibición de interferir en cualquier frecuencia. Todos estos argumentos, acreditan un respectivo análisis y estudio para conocer el funcionamiento, aplicaciones y usos que se les puede dar a estos

dispositivos; el Ecuador no es la excepción en el uso de estos inhibidores, y lógicamente en las sanciones por el mal uso de los mismos.

Los inhibidores de frecuencia celular son dispositivos que emiten ondas de radio en las mismas bandas de frecuencia que los teléfonos celulares, con energía suficiente para colisionar con las señales de los móviles y cohibir las comunicaciones o impedir el servicio. Los usuarios, mientras estén dentro de la zona de alcance del inhibidor, verán en su teléfono celular una señal cero o un mensaje “sin cobertura”. Los inhibidores de frecuencia hacen ataques de negación de servicio: dominan un recurso, en este caso el espectro radioeléctrico, para que sea inaccesible [1].

En la provincia de Tungurahua, en particular la ciudad de Ambato, existen pocas instituciones que disponen de inhibidores de señal celular, y en su mayoría son instituciones particulares con suficiente dinero para comprar o importar dicho equipo de tipo comercial debido a sus altos costos y compleja arquitectura, el problema de estos aparatos importados es que en su mayoría cuando llegan a presentar averías es muy difícil o a veces imposible ubicar un sitio que brinde soporte técnico y electrónico, dando por terminada la utilidad del jammer; similar situación ocurre cuando el inhibidor cumple con su vida útil.

El supuesto modo operandi de los delincuentes es vigilar a la persona, que dentro de instituciones financieras hace el retiro de una fuerte cantidad de dinero y alertar a un cómplice fuera de las instalaciones de dicha institución, para posteriormente atacarle y robarle, realizar un secuestro exprés o violentarle de una u otra manera hasta conseguir su propósito. Ambato está entre las principales ciudades del país, es una ciudad comercial y próspera; razón por la cual existe mucha delincuencia

No solo los Bancos son acechados por los delincuentes, casi todas las instituciones donde se realicen pagos o retiros de dinero son lugares propicios para la mala actitud de estas personas dañinas para la sociedad. Los Hospitales son lugares de imperante quietud y tranquilidad, a veces no se respeta eso con el uso de teléfonos celulares; salas judiciales, templos, teatros, oficinas gubernamentales, etc.; requieren el respeto y uso correcto de la telefonía celular.

1.3 Delimitación

Delimitación de Contenido:

Área académica:	Física y Electrónica.
Línea de investigación:	Sistemas Electrónicos.
Sublíneas de investigación:	Sistemas Embebidos.

Delimitación Espacial:

➤ **Lugar:**

El presente proyecto se desarrolló en la ciudad de Ambato

Delimitación Temporal:

Se desarrolló a partir de la aprobación por parte del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial desde el 16 de abril del 2014 hasta el 16 de junio del 2015.

1.4 Justificación

Con la finalidad de evitar y restringir el uso de teléfonos móviles por motivos de seguridad, es necesario desarrollar una propuesta que erradique el uso incorrecto del teléfono celular en lugares destinados a la tranquilidad, al respeto y con más importancia en entidades bancarias y/o empresas que manipulen comercialmente con dinero en efectivo. La propuesta estuvo sujeta a la ley que contempla el uso legal de bloqueadores de señales celulares en determinados lugares, considerando de que antes de instalarse en cualquier zona este dispositivo, se tiene que realizar un análisis de campo, para evaluar el funcionamiento adecuado del mismo, evitando así la anulación de la señal fuera de los límites del área que se desea restringir.

Se debe restringir la señal celular en entidades financieras para evitar el posible contacto que pueden tener los cómplices desde el interior de estas sedes, con el delincuente, y así evitar el intercambio de información fundamental en facilidad a sus actos delictivos;

debido a que, letreros y advertencias colocados en estos sitios no aseguran, ni garantizan que los clientes no hagan uso de sus teléfonos celulares, este proyecto de investigación posee valiosa importancia en su diseño e implementación.

Al existir la posible infiltración de personas no autorizadas o mal intencionadas a destacamentos militares y policiales, se corre el riesgo de difundir información confidencial. Una de las formas para evitar esta transmisión de información, es limitando la señal celular, para impedir el contacto que pueden tener estas personas por medio de teléfonos celulares con individuos que deseen tener esta información, para causar daño a la sociedad [2].

Por las razones descritas en los párrafos anteriores la implementación de un inhibidor de señal celular está totalmente justificada. La seguridad es una categoría fundamental para el desarrollo de las sociedades; unidas en el progreso y con la tranquilidad de vivir y realizar sus actividades bancarias, judiciales, espirituales, militares o policiales con la actitud y aptitud que se debe tomar en cada uno de estas instituciones.

Los beneficiarios directos de la investigación, es la ciudadanía ambateña, los usuarios de entidades financieras, los militares, los policías y todas las personas que acuden diaria u ocasionalmente a lugares como los mencionados. Adicionalmente, los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones; de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato; que dispondrán de este proyecto como guía para trabajos futuros.

La implementación de un sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM a un bajo costo; diseñado y ensamblado en el país, es un tema trascendental en concordancia con el mantenimiento y soporte técnico.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General:

- Construir un sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM.

1.5.2 Objetivos Específicos:

- Analizar los aspectos técnicos y legales en el Ecuador, para la aplicación de sistemas de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM.
- Analizar el diseño electrónico y construcción de inhibidores de señal celular GSM (*Jammer*), para la seguridad en entidades públicas.
- Diseñar un sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM a un bajo costo.
- Realizar el prototipo para el sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

A nivel mundial se ha desarrollado investigaciones sobre dispositivos inhibidores de señales de radiofrecuencias tal es el caso del Ing. Diego Hernán Tapia Paredes de la Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones cuyo trabajo fue orientado a estudiar la legalidad que existe para la instalación de dispositivos inhibidores de señales de radiofrecuencias o también llamados jammers y analizar la posibilidad de modificar el reglamento actual para legalizar la utilización de los mismos, ya que desde el punto de vista de seguridad, es necesario el uso de estos aparatos electrónicos en determinados lugares para contribuir con la seguridad ciudadana.

Los modelos de propagación con el que se calculó las pérdidas no fueron exactos y simplemente hicieron el mejor esfuerzo para aproximarse a situaciones reales, ya que no se puede modelar el ambiente y el lugar donde se instaló el jammer, lo que presentó variaciones en la cobertura, al momento de implementar el mismo [3].

Otros de los proyectos desarrollados es el del Ing. Christian Mauricio Gualoto Ramírez de la Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones en este trabajo se aplicó distintas tecnologías modernas para el desarrollo de un dispositivo electrónico que sea capaz eliminar la frecuencia celular para una pequeña área, además se tomó en consideración la ley que prohíbe la invasión de

una frecuencia ajena y por tal motivo el diseño solo se ajustó a una pequeña área de cobertura y la eliminación de la frecuencia celular de una sola operadora, ALEGRO [4].

Los ingenieros García Flores Ángel Jesús y Pineda Aguilar José Adán del Instituto Politécnico Nacional diseñaron un inhibidor de señal celular con la finalidad de bloquear las señales provenientes de las redes celulares en la banda de 1900MHz y cubrir un área determinada. Este trabajo no se pudo concluir de forma satisfactoria debido a que no existe la información suficiente para el desarrollo de dicho dispositivo, además de lo complicado que resulta adquirir ciertos materiales como el VCO que además poseen una fragilidad muy elevada para su manejo. Por tales motivos el proyecto se quedó como una propuesta de elaboración para que esté latente y no se deseche la idea original y su aplicación futura sea viable para generaciones posteriores [5].

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Modelos de propagación

Los modelos de propagación predicen las pérdidas en decibelios de la potencia en un ambiente muy singular. Los modelos a menudo se basan en modelos probabilísticos. Los mismos que pueden calcular la probabilidad de que la señal llegue o no llegue. Algunos de estos modelos se basan en mediciones realizadas en el lugar de interés. Se toman miles de mediciones que se promedian y pueden entonces establecer los modelos de propagación a estos medios. De esta forma cada modelo sirve para cada entorno [6].

Modelo de Friis

El modelo de Friis se deduce de las ecuaciones de Maxwell y permite calcular la potencia recibida a cierta distancia en condiciones ideales, es decir, sin obstáculos de ninguna naturaleza. La fórmula para dicho modelo es la que se presenta en la ecuación 2.1.

$$L = 32,44 + 20\log_{10}d + 20\log_{10}f \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Dónde:

L = Pérdidas por trayectoria en dB.

f = Frecuencia en MHz.

d =Distancia en Kilómetros

Modelo de dos Rayos

Este modelo es útil para conocer la reflexión de la señal sobre la tierra, se basa en la óptica geométrica, tomando en cuenta los parámetros que se observan en la Figura 2.1

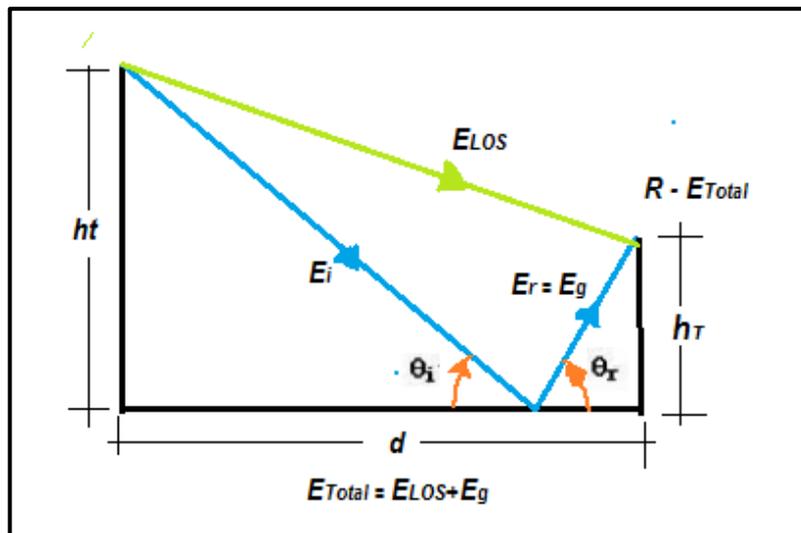


Figura 2. 1 Parámetros básicos para el modelo de dos rayos.

Fuente: J.C. Soriano. “Modelos de Propagación”

Tomando en cuenta la altura de las antenas receptoras y transmisoras la ecuación 2.2 sirve para calcular la potencia:

$$P_r = \frac{P_t G_r G_t h_r^2 h_t^2}{d^4} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Dónde:

P_r = Potencia recibida en Watts

P_t = Potencia transmitida en Watts

G_r = Ganancia de la antena receptora

G_t = Ganancia de la antena transmisora

h_r = Altura de la antena receptora en metros

h_t = Altura de la antena transmisora en metros

d = Distancia en Kilómetros

Y las pérdidas por propagación se calculan a través de la **ecuación 2.3**.

$$L_p(dB) = 40\text{Log}d - (10\text{Log}G_t + 10\text{Log}G_r + 20\text{log}h_r + 20\text{log}h_t) \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

Dónde:

L_p = Pérdida por trayectoria en dB

d = Distancia en Kilómetros

G_t = Ganancia de la antena transmisora en dB

G_r = Ganancia de la antena receptora en dB

h_r = Altura de la antena receptora en metros

h_t = Altura de la antena transmisora en metros

Modelo Okumura

Este modelo se utiliza para ambientes urbanos dentro de las frecuencia de 150MHz a 1920MHz. Las pérdidas en este modelo se calculan con la Ecuación 2.4 [6].

$$L_p(dB) = L_F A_{mu} - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{\acute{a}rea} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Dónde:

L_p = Pérdidas por trayectoria en decibeles

L_F = Atenuación por el espacio libre

A_{mu} = Atenuación relativa promedio

$G(h_{te})$ = Ganancia de la altura de la antena de Tx

$G(h_{re})$ = Ganancia de la altura de la antena de Rx

$G_{\acute{a}rea}$ = Ganancia debida al tipo de ambiente.

Okumura encontró que $G(h_{te})$ tiene una variación de pérdida de 20dB/década y que $G(h_{re})$ tiene una variación de 10dB/ década para alturas menores de 3m

$$G(h_{re}) = 20\text{Log} \left(\frac{h_{te}}{200} \right) \quad \text{para } 30\text{m} < h_{te} < 1000\text{m} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$G(h_{re}) = 20\text{Log} \left(\frac{h_{te}}{3} \right) \quad \text{para } h_{re} < 3\text{m} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$G(h_{re}) = 20\text{Log} \left(\frac{h_{te}}{3} \right) \quad \text{para } 3\text{m} < h_{re} < 1000\text{m} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Modelo Okumura Hata

Se basa en los datos de pérdidas de propagación de Okumura y es válido en las frecuencias de 150MHz a 1500MHz, la altura de la antena transmisora debe estar en el rango de 30 a 200m y la altura de la antena receptora de 1 a 10metros. La ecuación 2.8 es la fórmula de pérdida:

$$L(\text{urbano})(\text{dB}) = 69,55 + 26,16\log f_c - 13,18\log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55\log d)$$

Ecuación 2.8

En la ecuación 2.8 se debe tomar en cuenta las siguientes restricciones:

$$150\text{MHz} < f_c < 1500\text{MHz}$$

$$30\text{m} < h_{te} < 200\text{m}$$

$$1\text{m} < h_{re} < 10\text{m}$$

Dónde:

f_c = Frecuencia de la portadora en MHz

h_{te} = Altura de la antena transmisora en metros para un rango de 30 metros

h_{re} =Altura de la antena receptora en el rango de 1 a 10metros

$a(h_{re})$ =Factor de corrección por la altura efectiva del móvil que es función del tipo de área de servicio

d = Distancia entre el transmisor y el receptor en kilómetros

La variable nueva con respecto del Okumura es el factor de corrección por altura efectiva del móvil $a(h_{re})$, este factor es dependiente de la zona de cobertura.

Se puede definir diferentes valores de $a(h_{re})$ para diferentes ambientes de propagación.

[6]

El valor de $a(h_{re})$ para ciudades pequeñas y medianas se calcula a través de la ecuación 2.9:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7)a(h_{re}) - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Para calcular $a(h_{re})$ en un ambiente suburbano se utiliza la ecuación 2.10:

$$a(h_{re}) = L(\text{urbano}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Para encontrar $a(h_{re})$ en áreas rurales se utiliza la ecuación 2.11:

$$a(h_{re}) = L(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 - 18.33 \log f_c - 40.94 \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Para ciudades grandes se utilizan diferentes ecuaciones dependiendo de los valores de la frecuencia.

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54 h_{re})^2 - 1.1 \quad \text{para } f_c < 300 \text{MHz} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Modelo ITU para interiores

La pérdida de trayecto radioeléctrico en interiores se caracteriza por una pérdida de trayecto media y las estadísticas asociadas de desvanecimiento debido a sombras. Existen varios modelos de pérdidas de trayecto en interiores que tiene en cuenta la

atenuación de la señal a través de múltiples pared y/o pisos. En el modelo descrito se considera las pérdidas a través de varios pisos, a fin de tener presente características tales como la reutilización de frecuencias entre distintos pisos [6].

El modelo básico se presenta con la ecuación 2.13

$$LT = 20\log fc + 10n\log d + Lf(nf) - 28 \qquad \text{Ecuación 2.13}$$

Dónde:

fc = Frecuencia de transmisión en GHz.

n = Factor de pérdida por atenuación exponencial

d = Distancia en metros dentro del edificio entre el transmisor y el receptor.

$Lf(nf)$ =Factor de pérdida por penetración en pisos

Los valores de n y $Lf(nf)$ se encuentran dados en tablas

2.2.2 Líneas de transmisión

Una línea de transmisión es el dispositivo utilizado para guiar la energía de radiofrecuencia (RF) desde un punto a otro.

El trabajar con líneas de transmisión en circuito impreso no es algo nuevo. Este tipo de tecnología lleva tiempo siendo usada. Esto se debe a las grandes ventajas que ofrece, entre las que destacan el costo, lo ligero y compacto de los circuitos, el ancho de banda amplio que se puede manejar y las sencillas técnicas de fabricación.

Las líneas de transmisión más utilizadas en RF y microondas son las líneas de transmisión planas que se componen de un dieléctrico con metalización en uno o ambos lados. Esta metalización es la que se varía al momento de construir circuitos pasivos, líneas de transmisión y circuitos de acoplamiento. Así mismo, es posible intercalar dispositivos activos. Es por eso que los circuitos complejos son baratos y compactos.

Dentro de este tipo de líneas de transmisión la más común es la microstrip microcinta; sin embargo, no es la única. También se encuentran las guías de onda coplanar, la línea de ranura (slotline) y la cinta coplanar [7].

- **Microcinta (microstrip)**

Las líneas microstrip son estructuras abiertas, de forma que las líneas de campo no están confinadas y la propagación debe analizarse en rigor con las técnicas de campos de las guías de onda. Sin embargo, a bajas frecuencias es posible un análisis cuasi-estático con parámetros distribuidos. Una cinta conductora muy ancha funciona como plano de tierra y sobre ella se coloca un sustrato dieléctrico de permitividad ϵ y espesor b . Sobre el sustrato hay una cinta de señal de espesor t y ancho w así como se muestra en la Figura 2.2.

Las líneas de microcinta son comunes en la construcción de circuitos integrados híbridos y monolíticos de microondas, su rango de aplicación va desde 1 GHz hasta aproximadamente 70 GHz [7].

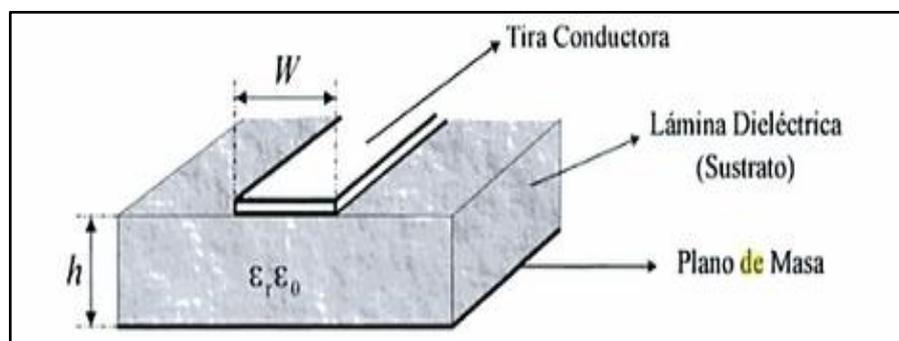


Figura 2. 2 Geometría de una línea microcinta o microstrip

Fuente: V.E. Boria “Líneas de transmisión”. España, 2002

- **Línea coplanar**

Esta línea de transmisión presenta una geometría similar a la de la línea slotline, si bien incorpora una tercera tira conductora centrada en la ranura de la línea slotline. En este caso el plano de la masa se obtiene conectando las dos tiras conductoras laterales al

mismo potencial en la Figura 2.3 se muestra el aspecto típico de estas líneas de transmisión [7].

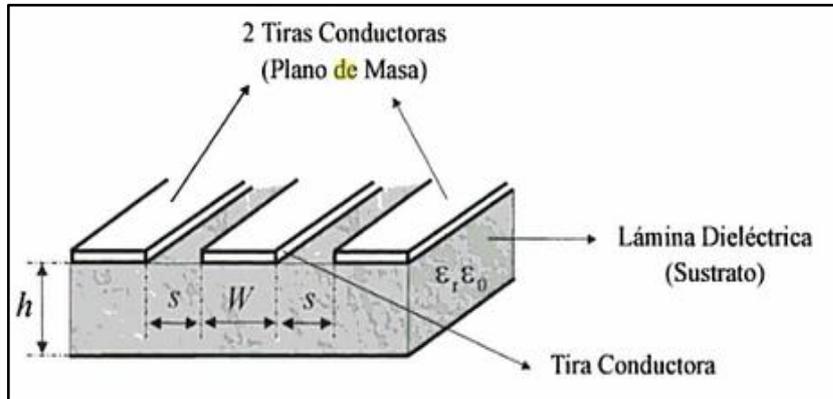


Figura 2. 3 Geometría de la línea coplanar.

Fuente: V.E. Boria “Líneas de transmisión”. España, 2002

La presencia de la línea conductora posibilita que estas líneas posibilita que estas líneas puedan soportar soluciones cuasi-TEM par o impar, dependiendo de si los campos eléctricos en las dos ranuras (o slots) están orientados en direcciones opuestas o en la misma dirección. Este tipo de línea es particularmente útil en la fabricación de circuitería activa, debido a la proximidad del plano de masa (dos tiras laterales) a la tira conductora central.

Los parámetros de diseño de estas líneas son la anchura de la tira conductora central (W), y el equiespaciado que existe entre dicha tira y las dos tiras laterales que definen el plano de masa (s) [7].

- **Cinta suspendida (stripline)**

Las striplines están formadas por dos cintas conductoras paralelas de tierra, y una cinta conductora interna de señal entre ellas. El ancho w de la cinta de señal es pequeño frente al ancho de las cintas de tierra, de manera que éstas pueden considerarse planos infinitos. El espesor de la cinta de señal es t y la separación entre las cintas de tierra, llena con un dieléctrico de permitividad ϵ , es b como se muestra en la Figura 2.4 [7].

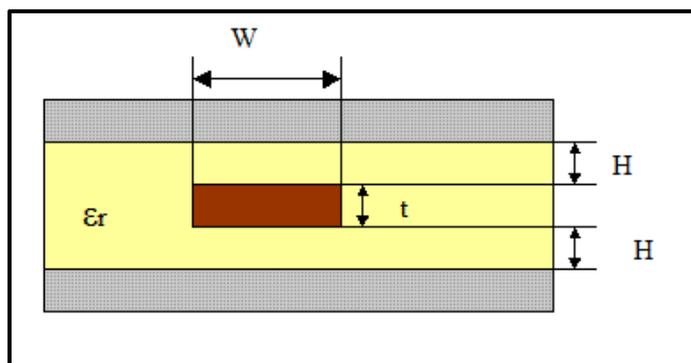


Figura 2. 4 Geometría de una stripline

Fuente: V.E. Boria “Líneas de transmisión”. España, 2002

2.2.3 Antenas

Una antena es un dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma corriente eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa, convierte el campo electromagnético en una señal eléctrica, de la misma que se extrae la señal original generada por el transmisor, es decir se obtiene la señal portadora. Si las antenas están conectadas por medio de guía de onda, esta función de transformación se realiza en el propio emisor o receptor [8].

El elemento radiante (dipolo, bocina, parabólica o cualquier otro) es capaz, al mismo tiempo, de captar energía después de haber sido amplificada convenientemente, llega al receptor y puede ser tratada para su utilización.

Por lo general, el transmisor y receptor se localiza en el campo lejano, es decir, a una distancia considerable uno del otro, por lo que es mejor considerar a la antena transmisora como un emisor ficticio sin volumen o fuente puntual.

Parámetros de una antena

- **Patrones de Radiación:**

El patrón de radiación de una antena se puede representar como una gráfica tridimensional de la energía radiada vista desde fuera de esta. Los patrones de radiación usualmente se representan de dos formas, el patrón de elevación y el patrón de azimuth.

El patrón de elevación es una gráfica de la energía radiada por la antena vista de perfil. El patrón de azimuth es una gráfica de la energía radiada vista directamente desde arriba. Al combinar ambas gráficas se tiene una representación tridimensional de cómo es realmente radiada la energía desde la antena tal y como se observa en la Figura 2.5 [9].

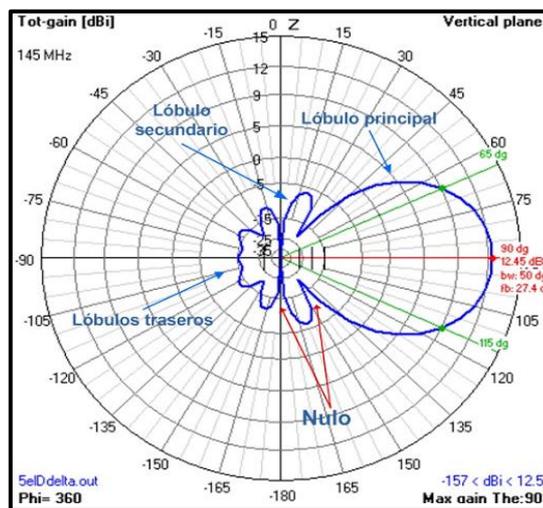


Figura 2. 5 Diagrama de radiación de una antena

Fuente: Martin. J.C, “Infraestructuras comunes de telecomunicaciones en viviendas y edificios”. Pág. 64

Aunque el patrón de radiación es un volumen, es costumbre representarlo por medio de dos gráficas, el patrón de radiación vertical y el patrón de radiación horizontal en la Figura 2.6 el diagrama superior representa el patrón de radiación de una antena omnidireccional [9].

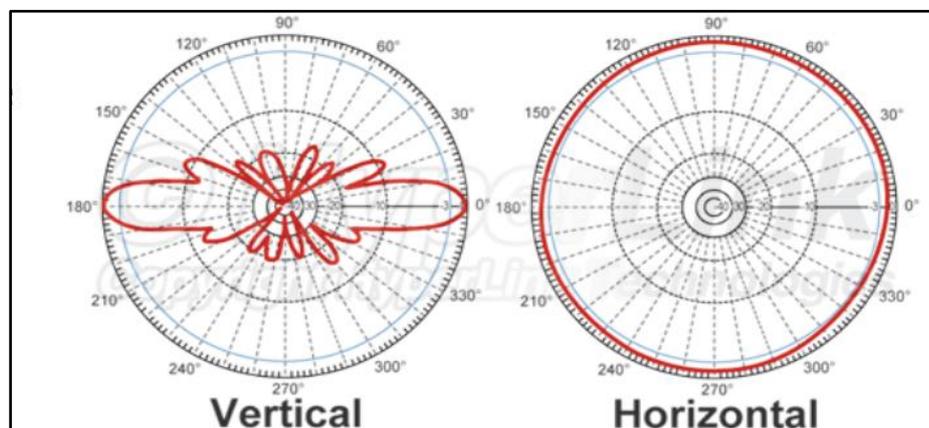


Figura 2.6 Patrón de radiación.

Fuente: http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte

En los diagramas se puede observar que cierta cantidad de energía se irradia en direcciones no deseadas constituyendo lo que se conoce como lóbulos laterales y el lóbulo trasero [9].

- **Ganancia**

La ganancia de una antena es la relación entre la potencia que entra en una antena y la potencia que sale de esta. Esta ganancia es comúnmente referida en dBi's, y se refiere a la comparación de cuanta energía sale de la antena en cuestión, comparada con la que saldría de una antena isotrópica. Una antena isotrópica es aquella que cuenta con un patrón de radiación esférico perfecto y una ganancia lineal unitaria [9].

- **Resistencia de radiación**

Es aquella en la que se disiparía la misma potencia que la antena ha radiado. Se simboliza como R_r .

- **Resistencia de pérdida**

Modela la potencia disipada por el efecto Joule y otras pérdidas. Se simboliza como R_Ω .

- **Eficiencia**

Es una forma de cuantificar las pérdidas de una antena. Se distinguen tres tipos: reflexión, de conducción y del dieléctrico.

A partir de las dos resistencias anteriores se define la eficiencia o rendimiento de la antena como el cociente entre la potencia radiada por la antena y la potencia entregada por el amplificador de potencia. Se simboliza mediante la letra η y se calcula a través de la ecuación 2.14.

$$\eta = \frac{\text{Potencia radiada}}{\text{potencia entregada}} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

- **Ancho de banda**

Rango de frecuencias en el que opera correctamente la antena. El límite se determina por la caída a 3dB, es decir, cuando la energía radiada cae aproximadamente a la mitad de su valor máximo.

- **Directividad:**

La directividad de la antena es una medida de la concentración de la potencia radiada en una dirección particular. Se puede entender también como la habilidad de la antena para direccionar la energía radiada en una dirección específica. Es usualmente una relación de intensidad de radiación en una dirección particular en comparación a la intensidad promedio isotrópica [9].

- **Polarización:**

Se define como la orientación del campo eléctrico en una onda electromagnética como se observa en la Figura 2.7, es decir, la orientación de las ondas electromagnéticas al salir de la antena

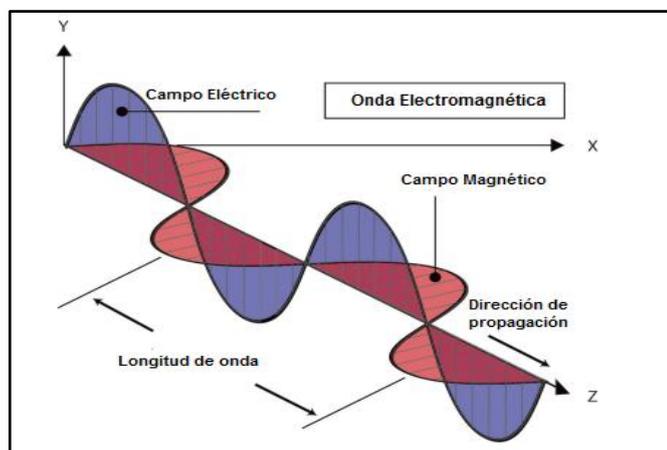


Figura 2.7 Polarización de una antena.

Fuente: http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenasoport

Hay dos tipos básicos de polarización que aplican a las antenas, como son: Lineal (incluye vertical, horizontal y oblicua) y circular (que incluye circular derecha, circular

izquierda, elíptica derecha, y elíptica izquierda). Tomar en cuenta la polaridad de la antena es muy importante si se quiere obtener el máximo rendimiento de esta.

La antena transmisora debe de tener la misma polaridad de la antena receptora para máximo rendimiento. La Figura 2.8 representa la polarización horizontal y vertical de una antena [9].

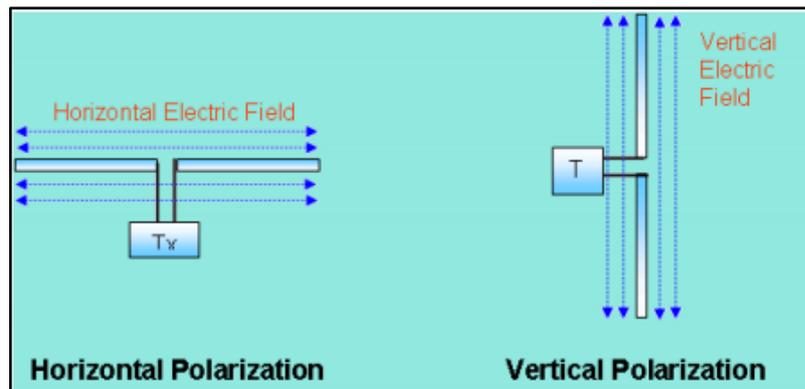


Figura 2.8 Polarización horizontal y polarización vertical.

Fuente: http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte.

Tipos de antena

Existe una gran diversidad de tipos de antena, dependiendo del uso que se le va a dar.

Antenas omnidireccionales

Las antenas omnidireccionales orientan la señal en todas las direcciones con un haz amplio pero de corto alcance. Las antenas omnidireccionales envían la información teóricamente a los 360 grados por lo que es posible establecer comunicación independiente del punto en el que este. Tienen una ganancia que varía entre 1 y 15 dBi y que ofrecen una radiación de 360° [10].

- **Dipolo**

El dipolo más común se constituye con dos alambres de un cuarto de longitud de onda y se denomina dipolo de media onda como se observa en la Figura 2.9. Es una antena práctica de baja ganancia que se aproxima a las características de un radiador isotrópico

(excepto en el plano vertical). La ganancia del dipolo puede incrementarse disponiendo varios elementos radiantes alimentados con fase alternada y colocándolos unos sobre otros para constituir una antena colineal [10].

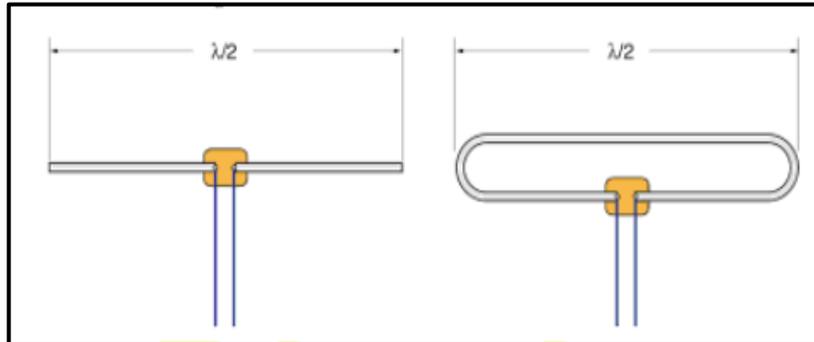


Figura 2. 9 Dipolo de media onda y dipolo plegado de media onda

Fuente: J. Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”, febrero 2013.

La longitud de la antena dipolo para su máxima eficiencia a una frecuencia determinada, es la mitad de la longitud de onda ($\lambda/2$)

La antena dipolo se utiliza para formar otras antenas más complejas.

- **Monopolo**

El monopolo se obtiene sustituyendo un elemento del dipolo por un plano reflector. Así como se observa en la figura 2.10. El plano de tierra puede implementarse con alambres radiales de un cuarto de longitud de onda.



Figura 2. 10 Monopolo o antena Marconi

Fuente: J. Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”, febrero 2013.

El monopolo tiene la mitad de la impedancia de entrada del dipolo y el doble de la ganancia (es decir 3 dB adicionales). Esto es debido a que sólo se requiere la mitad del voltaje para inducir la misma cantidad de corriente en el alambre ya que su longitud es la mitad de la del dipolo, y porque la parte inferior del patrón de radiación está bloqueada por el plano de tierra.

Características del monopolo

- Elemento vertical de $1/4 \lambda$
- En monopolos de $1/4$ de onda la impedancia de la antena es de 36 ohmios
- Se requiere un buen plano de tierra

El plano de tierra puede ser una lámina conductora o cuatro o más varillas metálicas radiando hacia afuera de la base de la antena y con una longitud similar a la de la antena [10].

- **Colineal**

Ésta es una antena omnidireccional, y su principal uso es como entrada o salida de las repetidoras de ATV. Su característica de omnidireccionalidad le permite enlazar casi en cualquier parte, bajo cualquier situación. Pero no es útil para enlaces a larga distancia. La Figura 2.11 nos muestra el diagrama de radiación de la antena colineal en el plano E y H respectivamente.

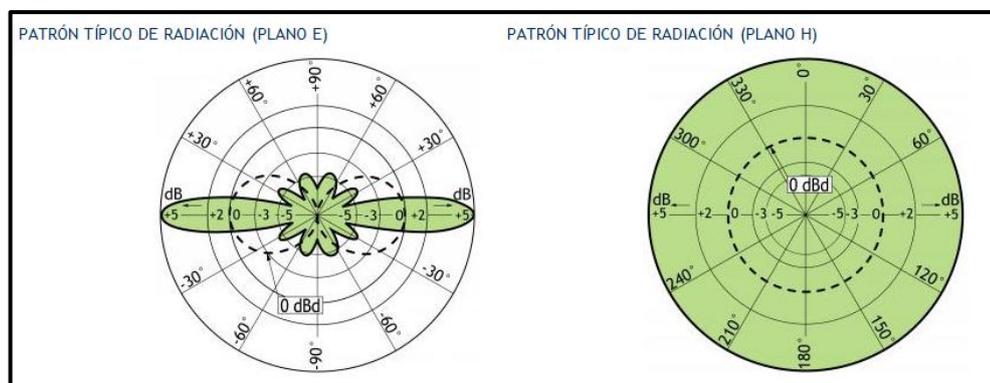


Figura 2. 11 Patrón típico de radiación en el plano E y H de una antena colineal

Fuente: <http://www.procom.dk/esl/productos/antenas-marinas/225-470-mhz/antenas-omnidireccionales/cxl-70-5c>

Antenas direccionales

Las antenas direccionales se subdividen en antenas de alta ganancia para aplicaciones punto a punto y antenas sectoriales, que normalmente tienen anchos de haz de 60° , 90° o 120° y que pueden ser combinadas para proveer cobertura de 360° desde una estación base. Las antenas direccionales orientan la señal en una dirección muy determinada con un haz estrecho pero de largo alcance [10].

- **Patch**

La antena parche más simple usa un parche con una longitud que es la mitad de la longitud de onda y un soporte más largo. El flujo de la corriente va en la dirección del cable de alimentación, así el vector de potencia y el campo magnético siguen la misma dirección que la corriente. Una antena simple de este tipo radia una onda polarizada linealmente. La Figura 2.12 nos muestra la estructura de una antena Patch

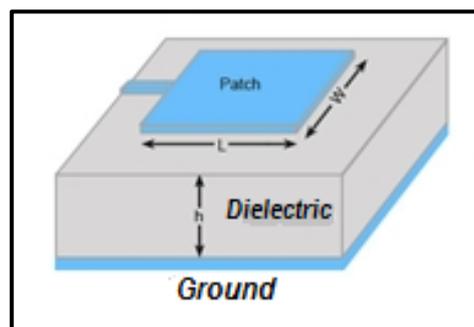


Figura 2. 12 Antena Patch

Fuente: J.Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”. Febrero 2013

Ganancia de la antena Patch

En una antena microstrip con parche rectangular mientras la longitud del parche sea la misma que la del dipolo resonante podemos tener 2 dB de ganancia de la directividad de la línea vertical del parche. El soporte plano impide la radiación alrededor de la antena reduciendo la potencia media en todas las direcciones en un factor de 2, lo que hace que la ganancia aumente en 3 dB. La Figura 2.13 muestra un corte en el plano horizontal, el plano vertical es muy similar, también se puede observar que en un ángulo de 90° la

radiación es máxima, mientras que si nos vamos alejando la radiación es menor y acaba cayendo 3 dB. [10].

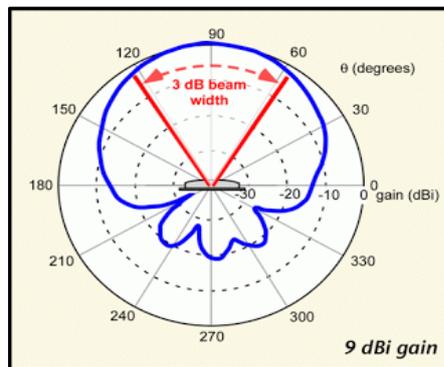


Figura 2. 13 Diagrama de radiación de la antena Patch.

Fuente: J.Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”. Febrero 2013

- **Bocina**

El nombre de la antena Bocina deriva de su apariencia característica acampanada o de cuerno. La porción acampanada puede ser cuadrada, rectangular, cilíndrica o cónica. La dirección de máxima radiación se corresponde con el eje de la campana. Se puede alimentar sencillamente con una guía de onda, pero también puede hacerse con un cable coaxial y la transición apropiada. Las antenas bocina se utilizan comúnmente como el elemento activo en una antena de plato. La antena bocina se coloca hacia el centro del plato reflector. El uso de una bocina, en lugar de una antena dipolo o cualquier otro tipo de antena en el punto focal del plato minimiza la pérdida de energía alrededor de los bordes del plato reflector. La Figura 2.14 muestra la estructura de una antena de bocina [10].

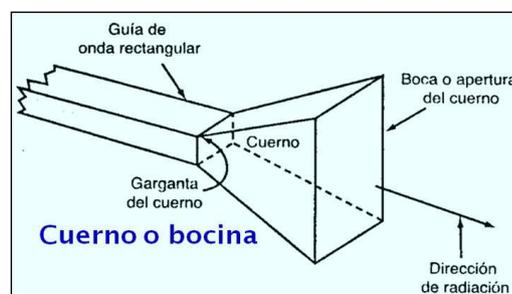


Figura 2. 14 Estructura de la antena de bocina.

Fuente: J.Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”. Febrero 2013.

- **Yagi**

La antena Yagi básicamente consiste en un cierto número de elementos rectos que miden cada uno aproximadamente la mitad de la longitud de onda ($\lambda/2$). El elemento excitado o activo de una Yagi es el equivalente a una antena dipolo de media onda con alimentación central. En paralelo al elemento activo y a una distancia que va de 0,2 a 0,5 longitudes de onda en cada lado, hay varillas rectas o alambres llamados reflectores o directores, o simplemente elementos pasivos. Un reflector se ubica detrás del elemento activo y es ligeramente más largo que media longitud de onda; un director se coloca en frente del elemento activo y es ligeramente más corto que media longitud de onda. Una Yagi típica tiene un reflector y uno o más directores [10].

La antena propaga la energía del campo electromagnético en la dirección que va desde el elemento activo hacia los directores, y es más sensible a la energía electromagnética entrante en esta misma dirección. Cuantos más directores tiene un Yagi, mayor la ganancia, cuantos más directores se agreguen a una Yagi, la misma va a ser más larga. La Figura 2.15 muestra una antena Yagi con 6 directores y 1 reflector [10].

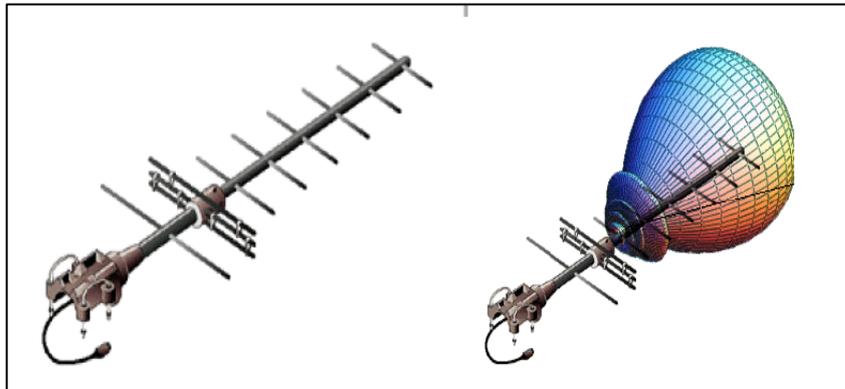


Figura 2. 15 Antena Yagi.

Fuente: J.Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”. Febrero 2013

Las antenas Yagi son utilizadas principalmente por los enlaces punto a punto; tienen una ganancia desde 10 a 20 dBi y un ancho de haz horizontal de 10 a 20 grados. La Figura 2.16 ilustra el patrón de radiación horizontal y vertical de una antena Yagi-Uda

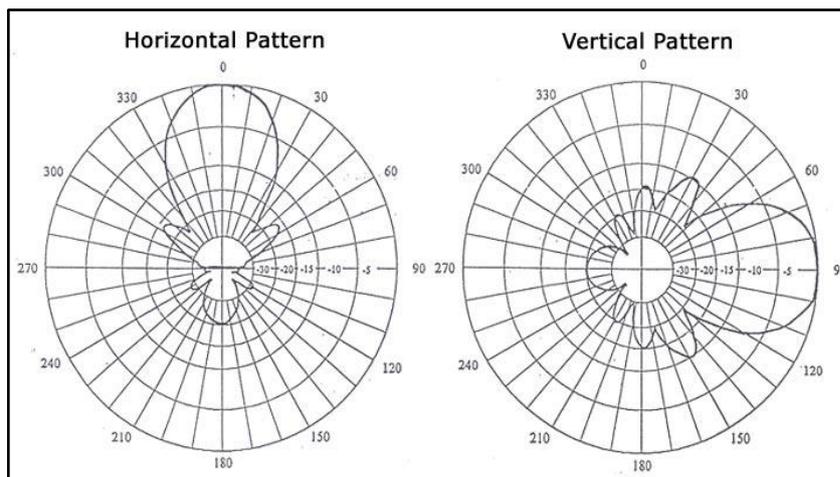


Figura 2. 16 Patrón de radiación de una antena Yagi-Uda.

Fuente: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/leccin_38_antenas_de_uso_especial.html

- **Biquad**

La antena bi Quad es fácil de armar y ofrece buena directividad y ganancia para las comunicaciones punto a punto. Consiste en dos cuadrados iguales de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda como elemento de radiación y un plato metálico o malla como reflector. Esta antena tiene un ancho de haz de aproximadamente 70 grados y una ganancia de orden de 10-12 dBi.

Puede ser utilizada como antena única o como un alimentador para un plato parabólico. Para encontrar la polarización, debemos observar el frente de la antena, con los cuadrados colocados lado a lado, en esa posición la polarización es vertical tal y como se observa en la Figura 2.17 [10].



Figura 2. 17 Antena BiQuad

Fuente: J.Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”. Febrero 2013

- **Plato o parabólica**

Las antenas basadas en reflectores parabólicos son el tipo más común de antenas directivas cuando se requiere una gran ganancia. La ventaja principal es que puede constituirse para tener una ganancia y una directividad tan grande como sea requerido. La desventaja principal es que los platos grandes son muy difíciles de montar y están predispuestos a sufrir los efectos del viento.

A menudo se utilizan platos que tienen una superficie reflectora constituida por una malla abierta. Estos tienen una relación de ganancia adelante/atrás más pobre pero son seguros de utilizar y sencillos de construir. Materiales como el cobre, aluminio, bronce (latón), acero galvanizado y hierro son apropiados para una malla [10].

La Figura 2.18 representa el diagrama de radiación de una antena parabólica

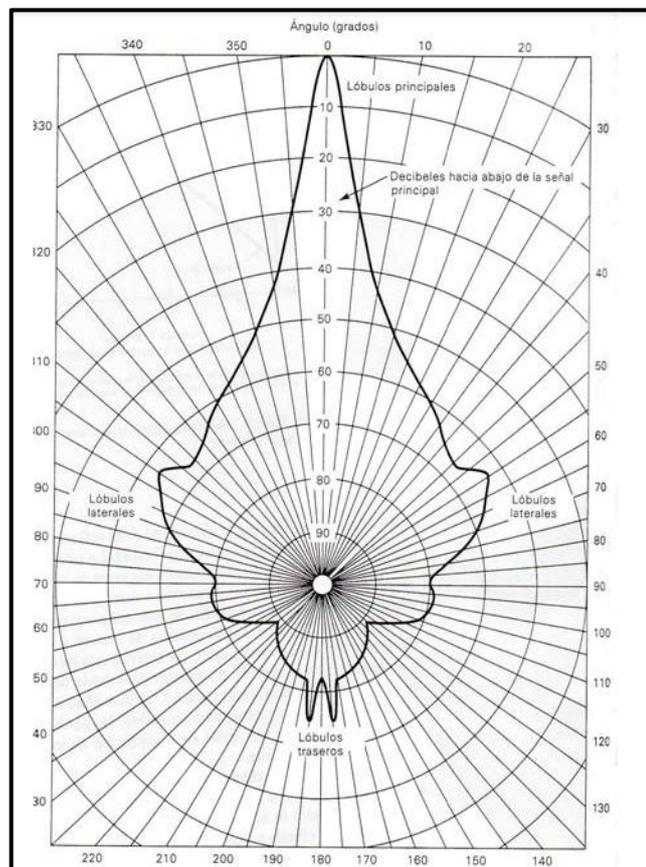


Figura 2. 18 Diagrama de radiación de una antena parabólica.

Fuente: <https://www.u->

[cursos.cl/usuario/9553d43f5ccb1cca06cc02562b4005e/mi_blog/r/Informe_Antenas.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/9553d43f5ccb1cca06cc02562b4005e/mi_blog/r/Informe_Antenas.pdf)

La reflexión en el reflector transforma la onda incidente esférica en onda plana (fase y amplitud uniformes), produciendo un diagrama muy directivo en la dirección normal al plano de apertura como se observa en la Figura 2.19. La antenna alimentadora es una bocina, dipolo o hélice [10].

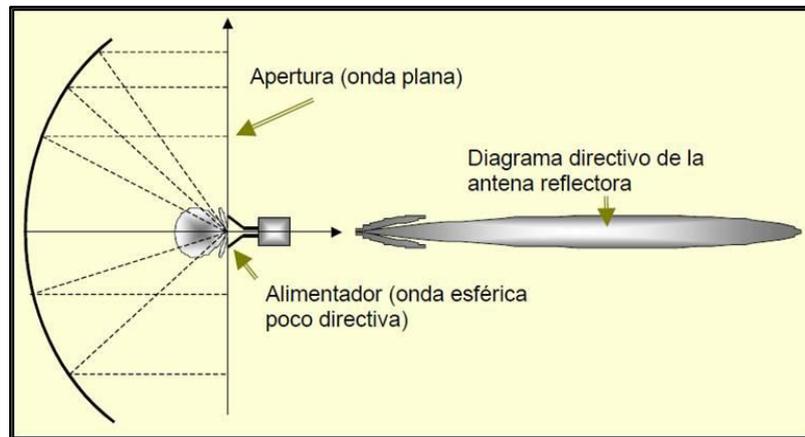


Figura 2. 19 Estructura de una antena parabólica.

Fuente: J.Butler, "Redes Inalámbricas en los países en desarrollo". Febrero 2013

- **Sectorial**

Las antenas sectoriales son muy usadas en la infraestructura de telefonía celular y en general se construye agregando una cara reflectora a uno o más dipolos alimentados en fase. Su ancho de haz horizontal puede ser tan amplio como 180 grados o tan angosto como 60 grados mientras que el vertical generalmente es mucho más angosto

Las antenas sectoriales típicamente tienen mayor ganancia que las omnidireccionales con lo que ofrecen un mayor alcance. Si cada sector es alimentado por un radio distinto, se puede obtener también mayor caudal de transmisión respecto al obtenible con una antena omnidireccional única [10].

Patrón de radiación

La Figura 2.20 muestra un típico diagrama de radiación de una antena sectorial. El diagrama de radiación horizontal muestra que la mayor parte de la energía es irradiada en la parte frontal de la antena. Una parte muy pequeña de la energía es irradiada en la

parte de atrás de la antena sectorial. El patrón de radiación vertical es muy similar a una antena omnidireccional donde el ancho del haz es muy angosto normalmente no es más grande que 20° . Típicamente, una antena sectorial está montada en una torre alta, ligeramente inclinada para poder servir a un área justo debajo de ella [11].

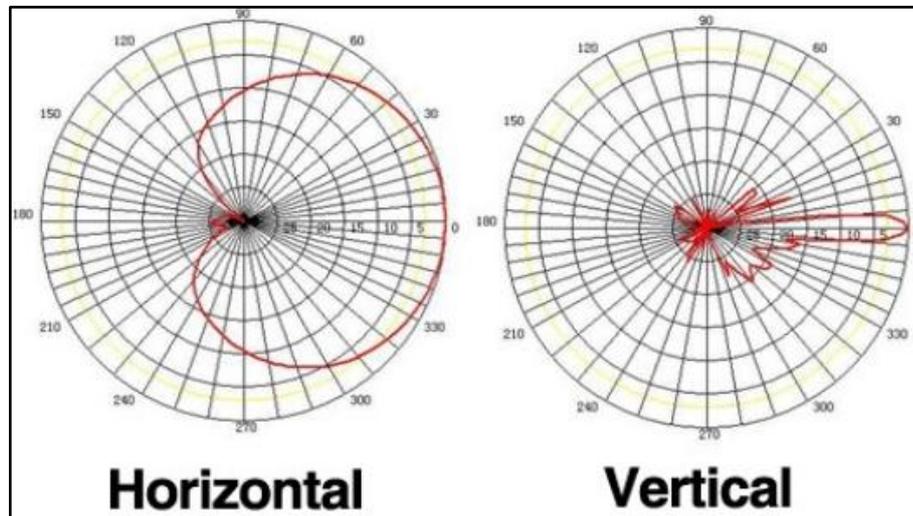


Figura 2. 20 Modelo de radiación de una antena sectorial.

Fuente: J.Butler, “Redes Inalámbricas en los países en desarrollo”. Febrero 2013

2.2.4 Telefonía móvil

La telefonía celular ha revolucionado el área de las comunicaciones, redefiniendo la forma de ver de las comunicaciones de voz. Anteriormente, los teléfonos celulares estuvieron fuera del alcance de la mayoría de los consumidores debido a sus altos costos. Para dar solución a ello, las compañías proveedoras de servicios invirtieron tiempo y recursos para encontrar nuevos sistemas de mayor capacidad, y por ende, menor costo.

La nueva tendencia que implementa el uso social de celulares genera ventajas y al mismo tiempo desventajas. La accesibilidad al nuevo medio de comunicación, en un fuerte aumento en los últimos años, propone un contacto constante entre los ciudadanos. En este punto surge el dilema o las distintas interpretaciones sobre si el nuevo método comunicativo es positivo o negativo [12].

Inicios de la telefonía Móvil

Los servicios de telefonía móvil analógicos tuvieron una amplia aceptación hace unas décadas pero han sido reemplazados, prácticamente en su totalidad, por los sistemas digitales, gracias a las ventajas de estos últimos sobre los primeros, una situación que es habitual en cualquier tecnología aplicada a la electrónica o las telecomunicaciones [13].

En Estados Unidos, el primer sistema analógico utilizado fue el AMPS (*American Mobile Phone System*) el cual fue introducido en 1946, dando servicio a 25 ciudades principales, mientras que en Europa los dos sistemas utilizados, pero ya en desuso, fueron, los conocidos como NMT (*Nordic Móvil Telecommunications*) y TACS (*Total Access Communications System*).

El sistema NMT 450 surgió como un servicio normalizado en los países escandinavos (Suecia-Nowega-Dinamarca-Islandia) en el año 1981; y resulto ser un sistema ideal para cubrir una gran extensión de terreno con poca inversión. Una versión del mismo fue la denominada NMT 900, que utilizaba la banda de frecuencia de 900 MHz, permitiendo así un mayor número de canales, y siendo utilizada, inicialmente, en aquellos puntos en que el NMT 450 se hallaba saturado. [13]

El sistema TACS 900, adoptado primeramente en Inglaterra en el año 1985, deriva del AMPS, lanzado comercialmente en Estados Unidos en el año 1984. Mediante este se obtenía una mejor calidad del servicio, al mismo tiempo que mejora la relación señal/ruido al tener una mayor anchura del canal.

Las frecuencias de utilización de estos sistemas se muestran en la Tabla 2.1 aunque no en todos los países estaba libre o se utilizaba para las comunicaciones móviles en rango completo [13].

Tabla 2. 1 Bandas de Frecuencia utilizadas para los sistemas analógicos.

Sistema	Enlace ascendente (MHz)	Enlace descendente (MHz)
NMT 450	453-457,5	463-467,5
MNT 900	890-915	935-960
AMPS	869-894	824-849
TACS	935-950/960	890-905/915
(E) TACS	915/925-935 + banda TACS	870/880-890 + banda TACS

Fuente: J.M. Huidobro. "Comunicaciones Móviles, Sistemas GSM, UMTS y LTE". México (2012)

Generaciones de móviles

Se identifican tres generaciones en la evolución de los sistemas móviles celulares, que en un principio se pueden asociar a la técnica de multiacceso que se utiliza: FDMA, TDMA y CDMA, aunque no de una manera rigurosa, y su implicación con la movilidad se orienta a la manera de soportar cada vez más eficientemente las facilidades de *handover* y de *roaming* para el usuarios.

- **Primera Generación**

La primera Generación, o sistemas analógicos como NMT, TACS y AMPS, concebidos inicialmente para transmisión de voz. En cuanto a movilidad del usuario, le permite la transferencia de célula o *handover* con tiempos de conmutación menores a 500 milisegundos, presentándose interrupciones tan pequeñas para transmisión de voz que no afectan a la conversación. El proceso de transferencia de célula lo lidera el centro de conmutación móvil MSC (*Mobile Switching Center*) con el esquema de *handover* controlado por la red NCHO (*Network Control HandOver*). Las medidas de señal las realiza la estación base (BTS) y se transmiten al MSC, donde residen los mecanismos en los que se fundamentan el traspaso, lo que ocasiona una gran carga de tráfico.

En estos sistemas analógicos no es posible la interconexión entre sistemas de diferentes proveedores del servicio, como consecuencia no existe la posibilidad de *roaming*, lo que representa para el usuario limitaciones en su movilidad por no gozar de la facilidad de seguimiento internacional [13].

- **Segunda Generación**

La segunda generación o sistemas digitales como D-AMPS, GSM y PDC, son sistemas orientados a soportar, además de la voz, los mensajes cortos (SMS) y la transmisión de datos, por lo que se espera que los retardos durante la transferencia de células sean tan cortos que no ocasionen interrupciones en la comunicación. Ya sea en el modo de envío en ráfagas de un sistema con técnica TDMA o en el modo de contención de dos canales lógicos durante la transferencia, en sistemas con técnica CDMA.

La digitalización establece diferencias importantes en cuanto a la movilidad sobre los sistemas analógicos, pues la introducción de plataformas de conmutación digital y el concepto de redes inteligentes brindan movilidad entre celdas con transferencia liderada por la estación móvil bajo el esquema de handover asistido por el móvil MAHO (*Mobile Assisted HandOver*), que toma como base las medidas realizadas por la estación base (canal ascendente), a las que se añaden las medidas realizadas por el propio terminal en el enlace descendente, ya que ambos no son simétricos [13].

- **Generación 2.5 G**

Debido a un tema de costo las Operadoras de Servicios migran primero de 2G a una generación de tránsito 2.5G antes de 3G, esta tecnología es más rápida que 2G, y soporta servicios como GPRS (*General Packet Radio Service*), que se diseñó como una tecnología para transferir paquetes utilizando la interfaz de radio de GSM, y a EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) que ofrece mejores prestaciones que GPRS.

Para ello se requieren ciertos cambios tanto a nivel software como hardware en la red existente, así como la introducción de algunos elementos nuevos. Así se superpone al

sistema GSM una red de transporte IP (*IP Backbone*), que trabaja en paralelo al núcleo clásico de GSM y cuya función es realizar la conmutación de paquetes y las conexiones a internet y otras redes de datos por paquetes [13].

- **Tercera Generación**

Donde GSM, TDMA y CDMA evolucionan con GPRS y EDGE hacia UMTS, HSPA HSPA+ y cdma2000. La preocupación por si desarrollo tecnológico estriba en universalizar los servicios junto a las redes que los soportan (soporte de roaming internacional), estandarizar el terminal de usuario integrado en una sola unidad multifuncional, portátil (de bajo peso y batería de larga duración), optimizar la cobertura de grandes áreas geográficas y atender demandas específicas adoptando para ello una arquitectura con células de distinto tamaño (macro, micro y pico) [13].

Esta generación se basa en conmutación de paquetes de datos, de manera que es capaz de transmitir datos y voz en la misma conexión telefónica. Es la época de las videollamadas, los programas, el correo electrónico por conexión a internet, en definitiva, de los Smartphones. Se lanza un nuevo sistema revolucionario de ancho de banda, el UMTS, basado en CDMA (*Code Division Multiple Access*), capaz de alcanzar hasta 7.2Mbps, no hay traspaso MAHO entre frecuencias ya que todos los móviles utilizan la misma, lo que hace imposible el uso de estructuras jerarquizadas de células con distintas frecuencias, esto provoca ciertas dificultades y lo que se hace es un control de potencia.

- **Cuarta Generación**

Generación en la que LTE (*Long Term Evolution*) y, en menor medida WiMAX son sus máximos exponentes, permite una gran velocidad de datos, pudiendo llegar incluso en el futuro hasta 1 Gbits/s. LTE es una tecnología definida por el 3GPP (*3 Generation Partnership Project*), donde participan los principales operadores y fabricantes para definir los estándares. Por su parte WiMAX es un sistema de comunicación digital inalámbrico definido en el estándar IEEE 802.16 para redes de área metropolitana que

provee comunicaciones de banda ancha con cobertura amplia. En su caso, el estándar 802.16m., conocido como WiMAX móvil, es el que se emplearía para servicios de 4G, no los otros, que son más bien para conexiones punto a punto [13].

2.2.5 Técnicas de acceso múltiple

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**

En FDMA, el volumen espectral disponible o ancho de banda es dividido en un grupo de canalizaciones de banda estrecha también conocidas como radiocanales o portadoras (las cuales por lo general tienen un ancho de banda de alrededor de 25 kHz), tal y como se muestra en la Figura 2.21, cada una con una frecuencia central y separadas de forma homogénea una de otra, éstas serán asignadas una por usuario. La técnica se utiliza especialmente en modulaciones analógicas, sobre todo en FM, y su aplicación continúa en la era de la digitalización pues se ha logrado combinar con el TDMA para modulaciones digitales. La configuración del FDMA misma será diferente según nos refiramos a los canales ascendente o descendente [14].

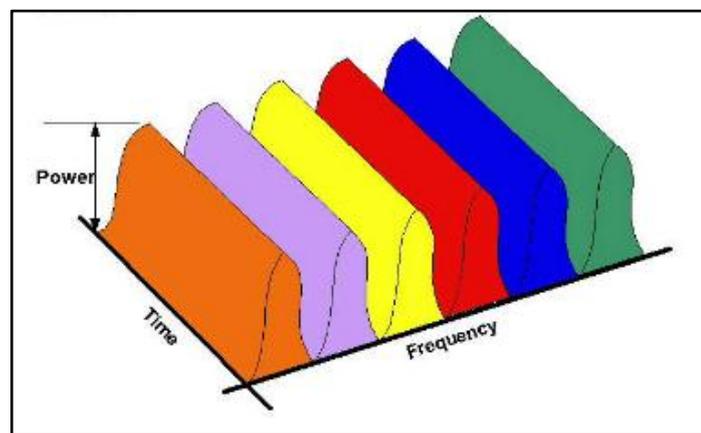


Figura 2. 21 División de las frecuencias en FDMA.

Fuente: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0802t.pdf>.

El enlace ascendente es aquel donde el usuario centra su información en un canal concreto, el cual es asignado por el sistema a través de la selección en su transmisor de la frecuencia correcta. En el enlace descendente por otro lado, la red distribuye una serie

de canales para que los receptores se sintonicen por medio de un filtro pasa banda la frecuencia de interés [14].

Las principales características del FDMA son:

- Los usuarios disponen de la totalidad del tiempo para establecer su comunicación, lo cual supone un uso ineficiente del espectro, pues al tratarse de un recurso limitado, de crecer mucho la demanda, se acabarían las frecuencias asignables.
- Es válido tanto para modulaciones digitales como para sus homólogas analógicas.
- En estado puro presenta limitaciones a modulaciones analógicas que le impiden incorporar aplicaciones de distinta naturaleza.
- Facilidad conceptual en la operación de los sistemas y en la fabricación de los equipos.
- Posee estructuras para la combinación de potencia complejas en las estaciones base con el fin de aprovechar los sistemas radiantes [14].

Actualmente las técnicas FDMA por sí solas han quedado obsoletas, su uso prevalece gracias a que es utilizada en combinación con TDMA en sistemas como TETRA, DECT y GSM, este último es el que se encuentra actualmente en vigencia en nuestro país. Sistemas como PMR y los analógicos AMPS y TACS son algunos de los ejemplos que usaron la técnica FDMA por sí sola [14].

- **TDMA (Time Division Multiple Access.)**

En la multiplexación por división de tiempo, un periodo es fragmentado en lapsos asignados a cada cadena digital entrante de forma rotativa. La demultiplexación se logra intercambiando la señal con la tasa adecuada (lo cual predispone que se trabaje a una frecuencia constante), la forma de hacer esto es dando acceso al usuario 1 por un tiempo determinado, tras lo cual el acceso es transferido al usuario 2 y se repite cíclicamente hasta retornar al primer usuario.

Este tipo de multiplexación es utilizada por usuarios geográficamente distantes con la capacidad de mantener sincronía temporal en la conocida TDMA (acceso múltiple por división de tiempos), la cual se diferencia de FDMA precisamente en el hecho de que los usuarios tienen que estar sincronizados en el tiempo tal y como se observa en la Figura 2.22.

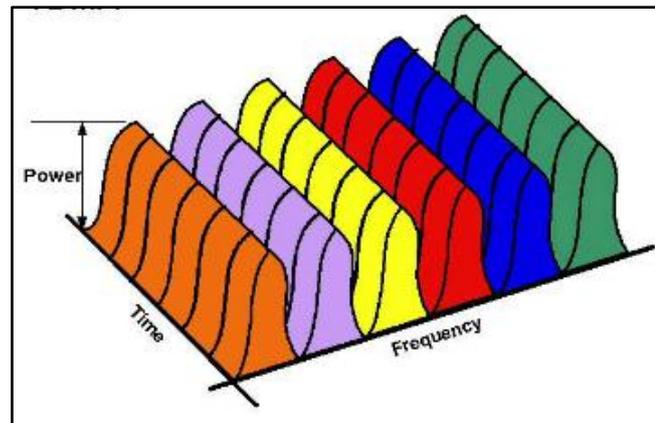


Figura 2. 22 Combinación de FDMA y TDMA.

Fuente: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0802t.pdf>.

El ancho de banda disponible para un usuario de una tecnología GSM con técnicas de acceso aleatorio TDMA es de alrededor de 200 kHz, el número de usuarios simultáneos por canal es de 8, esto quiere decir que cada 4.6 ms el usuario podrá transmitir por el canal durante un periodo de 577 ms [14].

Las transmisiones se llevan a cabo en espacios de duración T_1 , los cuales vienen en sucesiones de N intervalos asignados a la terminal. Entonces cada intervalo tiene una duración de $T=T_1/N$, lo cual corresponde al tiempo en que el terminal tiene acceso al medio para transmitir la información que tiene almacenada para el envío, como un tren de bits llamado ráfaga o burst. Este tiempo debe incluir las no idealidades del sistema, las cuales en este caso se refieren al tiempo requerido por la circuitería para disponerse al nivel de potencia adecuada, y de igual forma el tiempo para disminuir su potencia a cero al final de la transmisión de modo que no se produzca una interferencia en la próxima transmisión [14].

- **CDMA(Code Division Multiple Access)**

Es una técnica no convencional de acceso múltiple que encuentra amplia aplicación en los modernos sistemas inalámbricos. En CDMA el ancho de banda está disponible simultáneamente para todas las señales y se distinguen unas comunicaciones de otras por el código asignado. En la Figura 2.23 muestra que el espectro de la señal es ensanchado para ocupar toda la banda de frecuencias (no hay división de canales) [14].

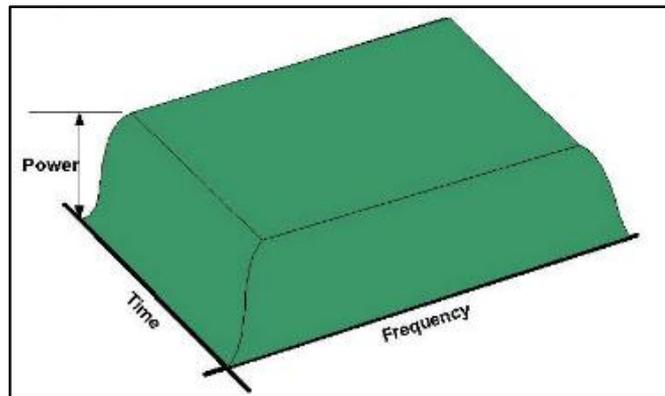


Figura 2. 23 Acceso múltiple por división de código.

Fuente: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0802t.pdf>.

2.2.6 Spread Spectrum ext. (Espectro Extendido)

La mayor ventaja de la modulación de espectro ensanchado es la alta inmunidad obtenida frente a interferencias casuales o frente a interferencias intencionales por parte de alguien que desea bloquear intencionalmente una comunicación en curso. Las principales características de esta técnica son las siguientes:

- La modulación del espectro ensanchado ocupa un ancho de banda mucho mayor que el mínimo requerido para que los datos sean transmitidos.
- La expansión del espectro se lleva a cabo por medio de una señal de expansión también llamada señal de código la cual es independiente del mensaje.
- En el receptor, para recuperar los datos originales, se debe realizar la correlación entre la señal recibida y una réplica exacta de la señal de código utilizada en el proceso de expansión [15].

La principal ventaja de los sistemas de comunicación de espectro expandido es su capacidad para rechazar interferencia, sea esta intencional o no. En este último caso podemos citar cuando otro usuario intenta transmitir simultáneamente por el mismo canal, mientras que la interferencia intencional puede ser ocasionada por una tercera persona para evitar la comunicación entre dos puntos.

Para distribuir la potencia de la señal de un ancho de banda superior a la información enviada, al momento de ser enviada la información se genera un código pseudoaleatorio con velocidad mayor. De tal forma obtenemos la señal con densidad de potencia que será comparada con la del ruido [15].

La Figura 2.24 se muestra el principio de espectro extendido.

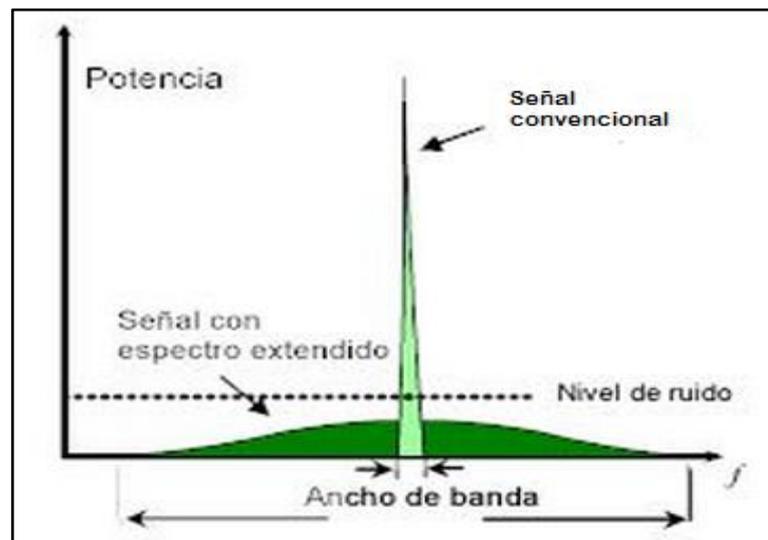


Figura 2. 24 Principio Espectro Extendido.

Fuente: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3220/1/T-ESPEL-0639.pdf>

Para poner en práctica la recuperación de la información de una determinada señal Spread Spectrum el receptor debe contar con el código que fue asignado para cuando se le retire se pueda obtener información de la banda base. De manera que cada usuario cuente con la señal local y pueda ser replicada la señal de códigos de transmisión, realizando la sincronía adecuada se podrá recuperar dicha información [15].

Técnicas de modulación Spread Spectrum.

Las diferentes técnicas de modulación Spread Spectrum fueron creadas con fines militares para la comunicación. Estos métodos son los siguientes:

- DSSS(ESPECTRO Extendido por Secuencia Directa)
- FHSS(Frecuency Hopping Spread Spectrum)
- THSS(Espectro Extendido por Salto de Tiempo)
- HSS(Espectro Extendido Hibrido)

FHSS (Frecuency Hopping Spread Spectrum)

El método de FHSS se basa en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamado Dwell time e inferior a 400ms. Pasado ese tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta forma cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo de la señal, esto es cuestión de seguridad ya que si la información fuera enviada por una sola frecuencia sería muy fácil interceptarla [15].

Con este método tomamos la señal de transmisión y la modulamos con una señal portadora que realiza saltos (conocidos como hops) de frecuencia en frecuencia, dentro de un ancho de banda asignado en función del tiempo. El cambio periódico de frecuencia de la portadora va reduciendo la interferencia producida por una señal de banda angosta, esto suele suceder si ambas señales son transmitidas en el mismo instante de tiempo y la misma frecuencia.

La Figura 2.25 muestra una característica de la señal Hooping Frecuency que es que su ancho de está dividido en 8 canales y cada canal tiene su respectiva portadora.

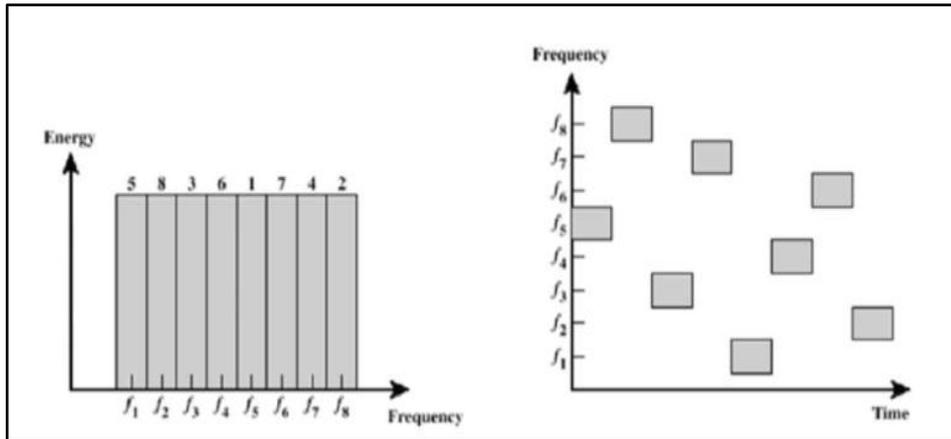


Figura 2. 25 Principio Frecuencia Hopping.

Fuente: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3220/1/T-ESPEL-0639.pdf>

La transmisión de información en frecuencia Hopping se efectúa en pequeños fragmentos de la señal original.

Generación de una señal FHSS

Para generar la señal FHSS se debe modular la información que se va a transmitir después de haber sido una secuencia de pseudocódigos centrada a la frecuencia base, para obtener una Frecuencia Hopping mediante un sintetizador de frecuencia que este a la vez va a permitir el salto de frecuencia , tal y como se muestra en la Figura 2.26

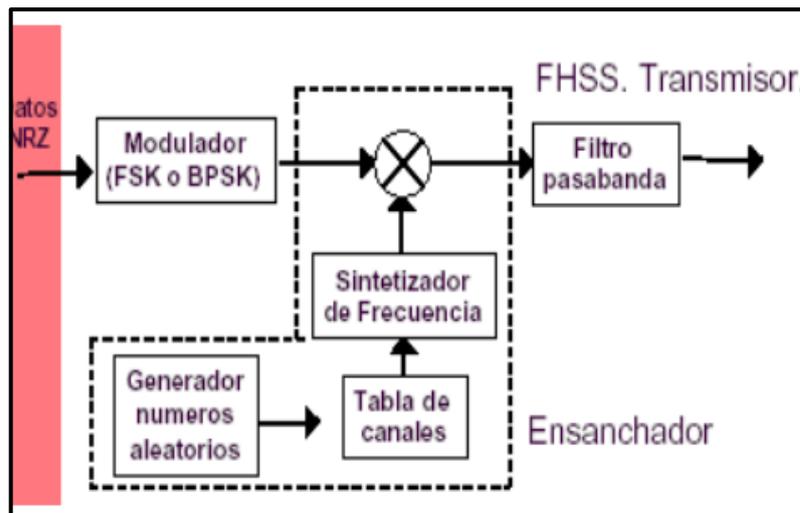


Figura 2. 26 Transmisor de Frecuencia Hopping.

Fuente: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3220/1/T-ESPEL-0639.pdf>

Time Hopping Spread Spectrum THSS

La información es transmitida durante intervalos de tiempo en base que un código sea asignado a cada usuario. *Time Hopping* ayuda a determinar un periodo de tiempo que se denomina tramas, y estos a su vez son divididos en M intervalos de tiempo más pequeños llamados slots. De esta forma en *Time Hopping* la señal del usuario no puede ser transmitida de forma continua, uno por intervalos de tiempo con cada usuario.

La señal demoduladora y decodificadora para poder recuperar su señal original. THSS transmite una señal mediante fragmentos de tiempos cortos ya que estos encuentran la señal en el buffer, donde es aplicado un código pseudoaleatorio con un ancho de banda emitido mayor a la señal original. Una señal Time Hopping es baja cuando ocupa la misma frecuencia de transmisión y hay la posibilidad de interceptación, debido que en el tiempo hay variaciones mucho más rápidas, permitiendo que el receptor tenga una adecuada sincronía [15].

DSSS (ESPECTRO Extendido por Secuencia Directa)

El espectro ensanchado por secuencia directa (*Direct sequence spread spectrum o DSSS*), también conocido como DS-SS (Acceso Multiple por división de Código en Secuencia Directa), es uno de los métodos de codificación de canal (previa a la modulación) en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan.

Tanto DSSS como FHSS están definidos por la IEEE en el estándar 802.11 para redes de área local WLAN. Este esquema de transmisión se emplea, con alguna variación, en sistemas CDMA asíncronos [15].

El espectro ensanchado por secuencia directa es una técnica de codificación que utiliza un código de pseudoruido para modular digitalmente una portadora, de manera que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radioreceptores les parecerá ruido, menos al que va dirigida la señal.

Al utilizar DSSS de la señal original se representa por múltiples bits para lo cual se utiliza el código de *spreading*. En esta técnica se genera un patrón de bits redundantes para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea este patrón de bits, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias.

Por otra parte el receptor debe contar con el código *spreading* adecuado para poder recuperar la información, cuando este realice el OR exclusivo entre el código pseudoaleatorio y la señal resultante de dicha transmisión, para que cuando sea retirado el código de ensanchamiento podamos recuperar la información en banda base. La señal de información o el código pseudoaleatorio a su vez conocido como código de ensanchamiento se realiza mediante la operación OR exclusiva obteniendo de tal manera la señal que fue transmitida [15].

Generación de la señal DSSS

Como se observa en la Figura 2.27, la tasa de transmisión del código pseudoaleatorio es mayor que el de los datos transmitidos. Una de sus características es que el código pseudoaleatorio se aplica directamente a dicha información que vaya a transmitirse antes de que pase por la etapa de modulación, por ello el modulador observa una tasa de transferencia mucho mayor al del mensaje original emitido [15].

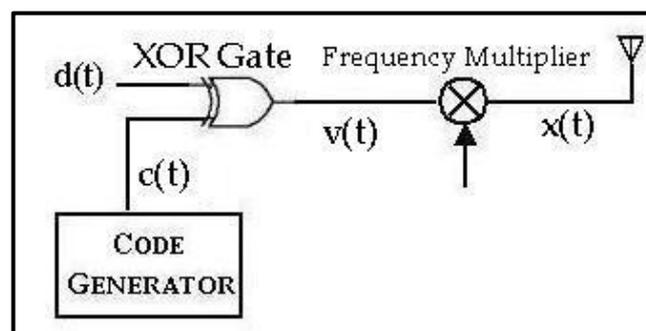


Figura 2. 27 Transmisor del espectro ensanchado por secuencia directa.

Fuente: L. E. Mena. Diseño e Implementación de un bloqueador de teléfonos celulares para banda GSM que operan en la banda B

Hybrid Spread Spectrum (HSS)

Este sistema tiene una particularidad dentro de Spread Spectrum tiene tres combinaciones de las cuales dos tipos son utilizados y tiene una combinación de CDMA

con alguna técnica de acceso múltiple. De los sistemas híbridos se puede tener cuatro soluciones en técnicas de espectro extendido, y estas son: DS, FH, TH.

Cada técnica de modulación de un sistema híbrido se puede combinar, por ejemplo de DS y FH se puede obtener una ventaja de inmunidad con trayectoria multiruta de DS combinado, considerando un favorable desempeño ante la propiedad Near-Far de uno de los sistemas como es FH [15].

2.2.7 Concepto de Telefonía Celular

La telefonía celular permite que un sistema de comunicaciones móviles pueda cubrir un área determinada con una densidad de usuarios variable, normalmente creciente, sin requerir más espectro radioeléctrico que el inicialmente asignado. El nombre de telefonía celular viene de la idea de dividir una zona geográfica, a la que se desea dar servicio, en áreas pequeñas llamadas células o celdas. La Figura 2.28 ilustra el concepto de telefonía celular [16].

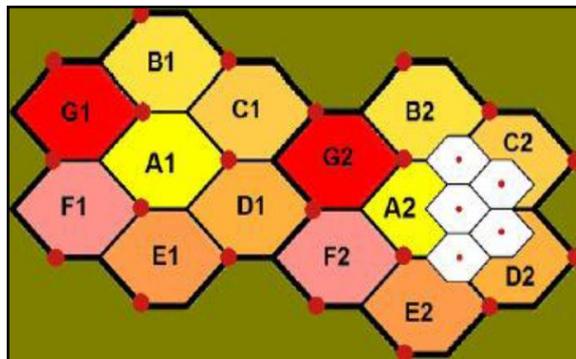


Figura 2. 28 Celdas en un sistema de comunicaciones móviles.

Fuente: W. Tomasi, "Electronic Communications Systems". Estados Unidos, 2010.

Las principales características de un sistema de telefonía celular son:

- Gran capacidad de usuario
- Utilización eficiente del espectro
- Amplia cobertura

Célula o Celda

Una célula es una zona geográfica de cobertura proporcionada por una estación base. La forma de las celdas puede ser cualquiera, pero se elige la forma hexagonal porque provee la transmisión más efectiva al aproximarla con una forma circular y permite unirse a otras sin dejar huecos, lo cual no hubiera sido posible al elegir un círculo. Una célula se define por su tamaño físico, pero más importantemente por la cantidad de tráfico y población que existe en ella [16].

El número de células por sistema no está especificado y depende del proveedor del servicio y de los patrones de tráfico que observe en su red. El tamaño de la célula varía dependiendo de la densidad de usuarios, además a las celdas dentro del área de cobertura se las identifica por un número llamado CGI (*Cell Global Identity*).

En la Figura 2.29 se puede observar la forma ideal de las células y como están colocadas adyacentemente. Las células ideales se emplean para planificar y dimensionar un sistema, considerando un nivel de potencia idéntico para toda el área de cobertura.

Esta planificación se vuelve más precisa al emplear herramientas de cómputo que consideran la estructura de la ciudad con edificios, parques, etc. [16].

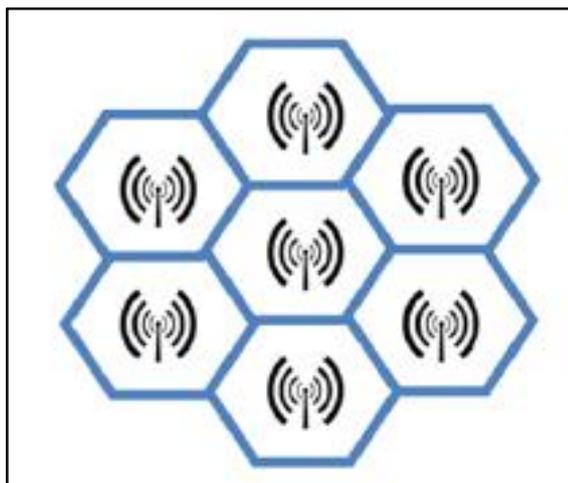


Figura 2. 29 Células de la telefonía móvil.

Fuente: W. Tomasi, “Electronic Communications Systems”. Estados Unidos, 2010.

Tipos de celdas

El tipo de celdas a utilizar en un sistema celular depende de la demanda del servicio celular en la población y de parámetros físicos propios del área a la que se dará servicio, así se tienen diferentes tipos de celdas:

- **Macro-celdas:** Las macro-celdas son celdas que permiten brindar servicio a áreas geográficas grandes, remotas y escasamente pobladas.
- **Micro-celdas:** Las micro-celdas se usan para cubrir áreas densamente pobladas, o dividir celdas existentes en celdas más pequeñas.
- **Celdas selectivas:** Las celdas selectivas son diseñadas para cubrir zonas con una cobertura menor a los 360 grados.
- **Celdas de paraguas:** La celda de paraguas cubre varias micro-celdas, se la usa con el propósito de disminuir el número de *handovers* que se producen en estaciones móviles que cambian rápidamente de micro-celdas y disminuir el trabajo de la red. El nivel de potencia dentro de la celda de paraguas se incrementa en comparación con el nivel de potencia usado en las micro celdas [16].

Reutilización de frecuencias

La reutilización se trata de tomar todo un grupo de frecuencias asignado a la red, y dividiendo el grupo en varios subgrupos -células o “cells”- y ordenándolo según una estructura celular –racimo o “cluster”-, se pueden construir grandes redes con las mismas frecuencias sin que éstas interfieran entre sí. Mientras pasa el tiempo y el número de usuarios va aumentando, se puede hacer una reasignación de las mismas, e incluso dividir las células en otras más pequeñas para poder atender a un mayor número de ellos, siempre teniendo el cuidado de evitar las interferencias entre células próximas. Existen diversos patrones de repetición o clusters algunos de los cuales se muestran en la Figura 2.30 [16].

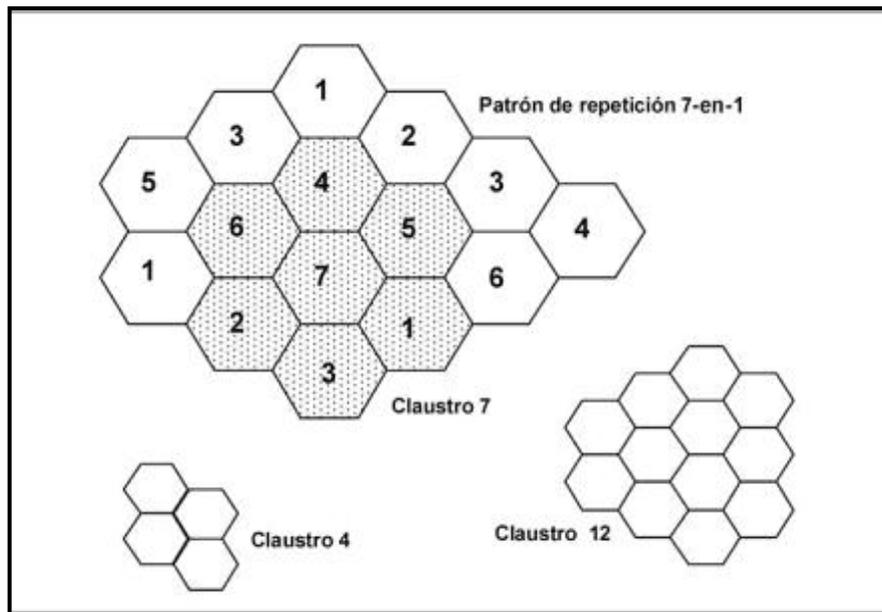


Figura 2. 30 Patrones de reuso de frecuencia en una estructura celular hexagonal.

Fuente: D. Muñoz Rodríguez, “Sistemas inalámbricos de Comunicación Personal”. México.

Cobertura del sistema

Se entiende por cobertura la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa. Teóricamente son hexágonos regulares o celdas, pero en la práctica, toman distintas formas, debido a la presencia de obstáculos, a la orografía cambiante de la celda y a las características de propagación de la antena. El número de estaciones necesarias para cubrir un determinado territorio está dado no solo por la extensión y orografía del mismo, sino también por el número de usuarios móviles que se debe atender.

Un sistema celular se diferencia de cualquier otro sistema que tenga la radio como medio de transmisión debido a que en zonas de alta densidad de tráfico, es capaz de utilizar más eficientemente el limitado espectro radioeléctrico que tiene asignado. Esto involucra un diseño de red radio denominado “celular”, que es lo que le da el nombre al sistema, consistente en dividir el área a cubrir en número de células suficientemente grande, que permita la reutilización de frecuencia [17].

Transferencia de llamadas

En los sistemas de radiotelefonía móvil celulares el área de servicio se divide en zonas de menor tamaño llamadas celdas. Un móvil al que se le da servicio puede trasladarse por toda el área de servicio y su comunicación no debe interrumpirse.

Para lograr esto, cada vez que el móvil pase de una celda a otra la llamada debe transferirse de la estación base perteneciente a la celda que está sirviendo actualmente al móvil, a la estación base de la celda a la que está pasando tal y como se muestra en la Figura 2.31.

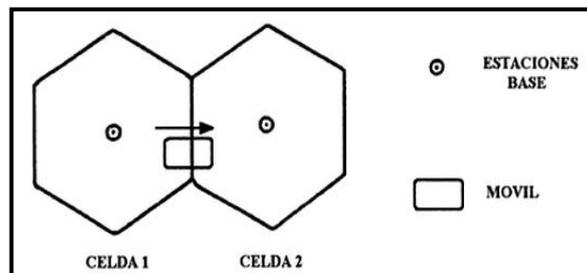


Figura 2. 31 Proceso de transferencia de llamadas

Fuente: D. Muñoz Rodríguez, “Sistemas inalámbricos de Comunicación Personal”. México.

El propósito principal de la transferencia de llamadas es el de asegurar una relación señal a ruido adecuada durante todo el lapso de llamadas. Además, el mecanismo de transferencia de llamada tiene un efecto pequeño en la interferencia entre canales de la misma frecuencia, puesto que ésta se controla principalmente por la separación física de las celdas que utilizan el mismo grupo de frecuencias. Esto se cumplirá si el algoritmo de transferencia de llamadas permite confinar a los móviles que sirven una estación base dentro o alrededor de las fronteras de la celda asociada [17].

Es por esto que, en un sistema ideal de radiotelefonía móvil, se debe tener poco traslape entre celdas (área atendida por dos o más celdas), y la transferencia de llamadas debe realizarse sólo una vez en la frontera de las celdas. Lo anterior también es importante, porque cada transferencia de llamada ocasiona una interrupción en la comunicación de alrededor de varios cientos de milisegundos. Aunque en principio este procedimiento es adecuado, debido a las grandes variaciones que sufre la intensidad de campo que recibe el móvil no es fácil cumplir con ello.

Los algoritmos para la realización de transferencia de llamadas deben funcionar con base a mediciones hechas en el ancho de banda de voz y sin interrumpir la conversación. Esto minimiza el número de canales de control y no interrumpe la conversación. Además por razones económicas, es deseable que el móvil no tome parte activa en las mediciones [17].

Señalización

Por señalización se entiende toda comunicación dedicada a gestionar los recursos del sistema para permitir la comunicación. En las comunicaciones celulares se trata de forma diferente la señalización asociada a la transmisión de radio y la relativa a la propia estructura de red [17].

Traspaso e itinerancia.

- “Handover” o traspaso

Es como se denomina al proceso de pasar una comunicación establecida en un mismo móvil de un canal a otro, sin que los usuarios lo perciban este proceso se describe en la Figura 2.32. Cuando un móvil deja una celda, su estación base detecta que la señal del teléfono se apaga y pregunta a todas las estaciones adyacentes que potencia tienen de ella.

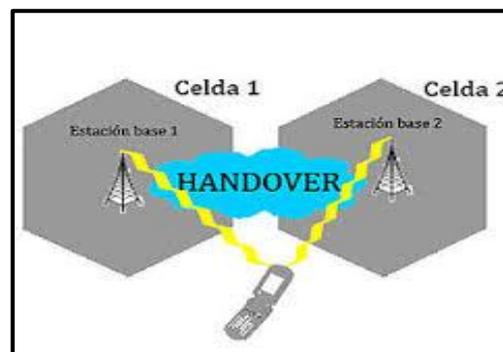


Figura 2. 32 Proceso de Handover.

Fuente: <http://cmovilesuft.blogspot.com/2010/05/handover.html>

La estación base entonces transfiere su propiedad a la celda que obtuviera la mayor señal, esto es, a la nueva celda donde se localice el teléfono. El teléfono es informado y si hubiera una llamada a medio transcurso, se cuestionaría el cambiar al nuevo canal (debido a que el viejo puede estar usándose por células adyacentes), este proceso suele hacerse en 300 mseg.

Cada sistema tiene una solución para llevar a cabo este proceso, generalmente mediante mensajes de control (señalización) que se intercambian los terminales móviles y la estación de control. Pero lo que sí es importante señalar aquí, es el hecho de que una de las medidas de calidad de un sistema TMA celular sea la probabilidad de pérdida de una llamada cuando se cruza una célula [18].

- **“Roaming” o itinerancia**

Este concepto está comúnmente asociado al registro de un móvil en una red distinta de la propia, lo que sucede cuando se viaja al extranjero y, mediante acuerdos entre operadores se puede seguir disfrutando del servicio. Para ello es necesario dividir el área total cubierta por un sistema celular en un conjunto de áreas de localización y al mismo tiempo mantener un registro donde siempre este actualizada la posición del usuario, para que las llamadas dirigidas a él puedan ser convenientemente encaminadas hacia el área de localización en la que se encuentre.

Un área de localización puede estar constituida por una o varias células; en este último caso el aviso de la llamada hacia un usuario debe transmitirse a través de todas las células incluidas dentro del área de localización [18].

Técnicas para aumentar la capacidad de los sistemas celulares

Existen básicamente dos técnicas: la subdivisión de las células en otras más pequeñas y la sectorización

La subdivisión de una célula suele hacerse reduciendo a la mitad el radio de las células, esto implica:

- Reducir por cuatro la superficie
- Aumentar la capacidad de tráfico por un factor aproximadamente igual a cuatro.
- Aumentar el número de estaciones base y ubicarlas de forma más precisa.
- Y aumento en el tráfico de señalización al aumentar el número de handovers.

El proceso de subdivisión tiene un límite fijado por las tolerancias de los emplazamientos y la complejidad y la carga del procesamiento de llamadas, que suele corresponder a un radio de 1.5 Km. No obstante los nuevos sistemas de TMA celular digital contemplan células de unos 0,3 Km de radio.

En la sectorización de la cobertura se divide una célula en tres sectores a los que se da servicio desde vértices alternos del hexágono mediante tres estaciones base con haces de antena de 120° como se muestra en la Figura 2.33. Con ello se pueden cubrir sectores de células vecinas, lo cual supone un ahorro de estaciones base. En la práctica, para realizar una sectorización no es necesario crear nuevos emplazamientos, sino solo transformar los ya existentes [18].

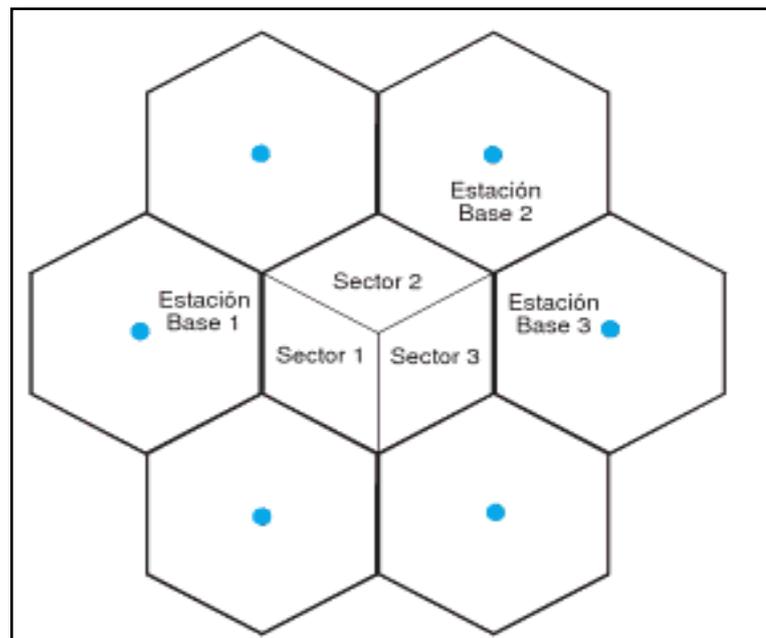


Figura 2. 33 Ejemplo de área de cobertura sectorizada.

Fuente: J. D. Cabezas, “Sistemas de Telefonía” España.

2.2.8 GSM (Global System for Mobile Communications).

Las siglas GSM vienen de las palabras anglosajonas *Global System for Mobile communications*. Como su propio nombre indica, GSM no es más que un estándar de comunicación para la telefonía móvil, implementado mediante la combinación de satélites y antenas terrestres. Es un sistema digital, y al ser un estándar usado mundialmente, permite su uso en cualquier lugar con cobertura, incluso en ámbitos internacionales.

GSM es un sistema de telefonía celular perteneciente a la segunda generación que se desarrolló para solucionar los problemas de compatibilidad existentes en la primera generación, sobretodo en Europa donde se creó el estándar.

Fue el primer sistema completamente digital. GSM emplea una combinación de FDMA y TDMA como técnica de acceso múltiple para proveer a las estaciones base acceso simultáneo a varias unidades móviles. Las bandas disponibles se dividen en canales de 200kHz y éstos son compartidos por 8 usuarios. Cada usuario ocupa una ranura tiempo por medio de TDMA [19].

Características técnicas de GSM

El sistema GSM es, un sistema de acceso por multiplexado en el tiempo (TDM) de banda estrecha, dentro de la banda 900/1800 MHz (1900 en EEUU y en América del Sur) y una separación 200 KHz entre portadoras (canalización de banda ancha), en cualquiera de las tres bandas, lo que proporciona al menos una selectividad de canal adyacente de radiofrecuencia dentro del sistema igual a 18dB.

El sistema GSM puede utilizarse en distintas bandas de frecuencia (en realidad hay catorce bandas definidas), aunque las más comunes son las 900, 1800 y algo menos la de 1900 MHz .para cada uno de, los sistemas se reservan las siguientes bandas (subbandas) de frecuencia y se tienen las características que se muestran en la Tabla 2.2

Tabla 2. 2 Principales características de los tres sistemas GSM.

	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Ascendente(Uplink)	890-915 MHz	1710-1785 MHz	1850-1910 MHz
Descendente(Downlink)	935-960 MHz	1805-1880 MHz	1930-1990 MHz
Ancho de Banda	25 MHz	75 MHz	60 MHz
Separación portadoras	200 MHz	200 KHz	200 KHz
Distancia Duplex	45 MHz	95 MHz	80 MHz
Numero de portadores	124	374	299
Radio típico de célula	300m-35 Km	100m-15Km	100 m-15 Km
Potencia del terminal	0,8-2 W	0,25-1 W	0,25-1 W

Fuente: Doble, J. “Introduction to Radio Propagation for Fixel and Mobile Communications”. New York.

GSM-900: Tiene 124 portadoras en dos sub-bandas de 25 MHz c/u en los rangos 890 MHz-915 MHz y 935 MHz-960 MHz, con BW (Ancho de banda) por canal de 200 KHz. Cada portadora se divide en frames (tramas) donde cada trama tiene 8 time spots (intervalos de tiempo), con una duración de trama de 4.6 ms. Separación entre la portadora del Down Link (enlace de bajada) y del Up Link (enlace de subida): 45 MHz. En la Figura 2.34 se muestra la distribución de frecuencia en GSM-900 tanto para el uplink como para el downlink [20].

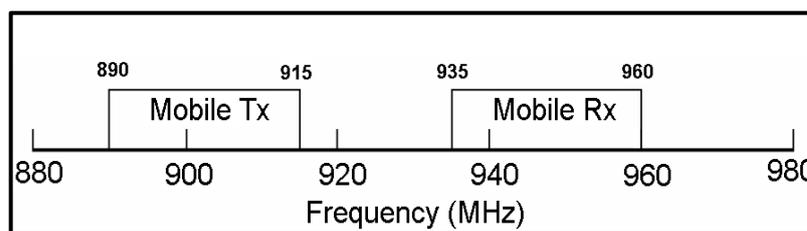


Figura 2. 34 Banda de frecuencia GSM 900 MHz.

Fuente: Doble, J. “Introduction to Radio Propagation for Fixel and Mobile Communications”. New York.

GSM-1800: Tiene 374 portadoras en dos sub-bandas de 75 MHz c/u en los rangos 1710Mhz-1785 MHz y 1805 MHz – 1880 MHz, con BW por canal de 200 KHz. Separación entre la portadora del Down Link y del Up Link: 75 MHz. En la Figura 2.35

se muestra la distribución de frecuencia en GSM-1800 tanto para el uplink como para el downlink [20].

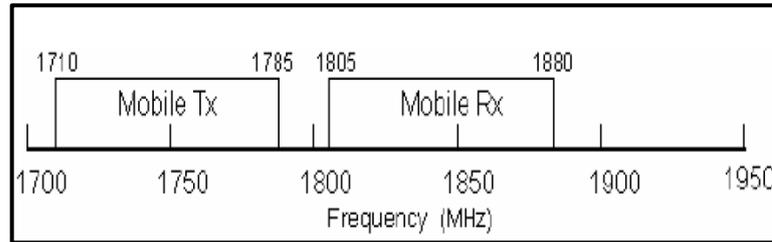


Figura 2. 35 Banda de frecuencia GSM 1800 MHz.

Fuente: Doble, J. “Introduction to Radio Propagation for Fixel and Mobile Communications”. New York.

GSM-1900: Tiene 374 portadoras en dos sub-bandas de 60 MHz c/u en los rangos 1850MHz-1910 MHz y 1930 MHz – 1990 MHz, con BW por canal de 200 Khz. Separación entre la portadora del *Down Link* y del *Up Link*: 75 MHz. En USA se asignó parte del rango de la banda de 1800 MHz a aplicaciones de comunicaciones punto a punto. En la Figura 2.36 se muestra la distribución de frecuencia para GSM-1900 tanto para el *uplink* como para el *downlink* [20].

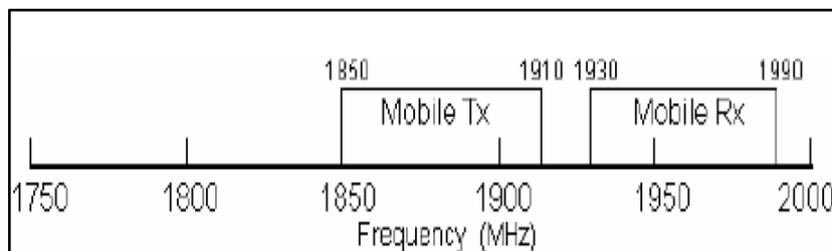


Figura 2. 36 Banda de frecuencia GSM 1900 MHz.

Fuente: Doble, J. “Introduction to Radio Propagation for Fixel and Mobile Communications”. New York.

Arquitectura de la red GSM

La arquitectura de una red GSM se muestra en la Figura 2.37. Consiste de tres subsistemas conectados entre sí y con los abonados. Estos sistemas son:

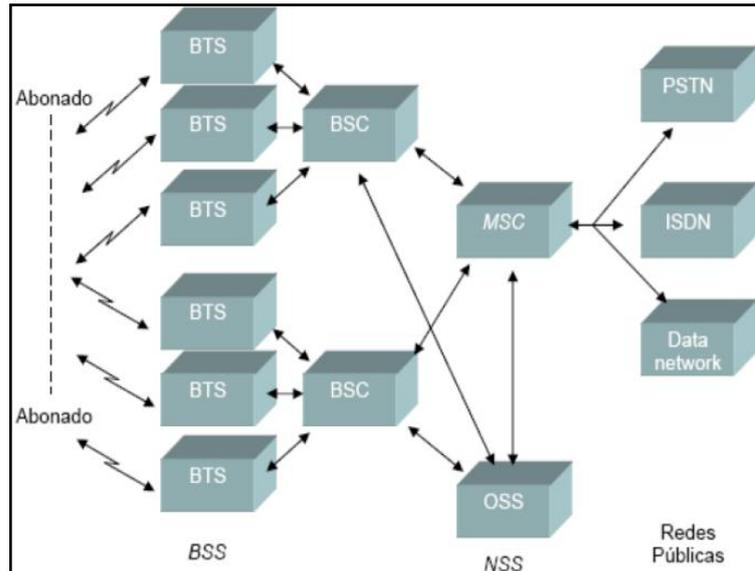


Figura 2. 37 Arquitectura GSM.

Fuente: W. Tomasi, “Electronic Communications Systems”. Estados Unidos, 2010.

BSS (Base Station Subsystem): Este subsistema constituye la interfaz entre los terminales móviles y el subsistema de red y lo conforman el BSC y sus correspondientes BTS’s, como se muestra en la Figura 2.38. El Subsistema de Estación Base es una parte de la red que se ocupa de las siguientes funciones: Control de la red de radio, señalización del interfaz aire, establecimiento de la conexión entre la MS y el NSS, gestión de la movilidad, tratamiento y transcodificación de la voz, recopilación de material estadístico [21].

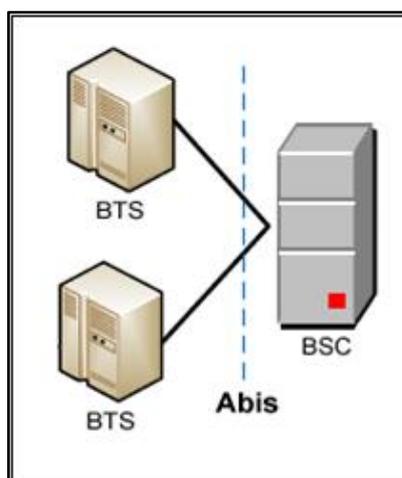


Figura 2. 38 Subsistema de Estación Base (BSS).

Fuente: <https://sites.google.com/site/gsmtheory/planing-theory>

Los elementos que componen el BSS son:

- **El BSC (Controlador de Estación Base):** Es el elemento de red central del BSS y controla la red de radio.
- **La BTS (Estación Base):** Es un elemento de red que mantiene el interfaz Aire. Se ocupa de la señalización y cifrado del interfaz Aire y del procesamiento de la voz.
- **El TRX (Transcodificador):** Es un elemento del BSS que se ocupa de la transcodificación de la voz, es capaz de convertir voz de un formato de codificación digital a otro y viceversa [21].

La transmisión se considera una parte del BSS debido al hecho de que el BSS es típicamente una entidad geográfica razonablemente grande. La especificación de GSM define sólo los interfaces del equipo; por lo tanto hay una gran cantidad de alternativas para desarrollar una red de transmisión entre elementos del BSS.

NSS (Network and Switching Subsystem): El Subsistema de Red es una parte de la red GSM que se ocupa de las siguientes funciones: Control de la llamada, interfuncionamiento de redes, datos del abonado y gestión de los servicios, tarificación, recogida de material estadístico, gestión de la movilidad, gestión de la seguridad, señalización del interfaz A y PSTN y control del BSS [21].

En la Figura 2.39 se puede observar los elementos que componen el NSS:

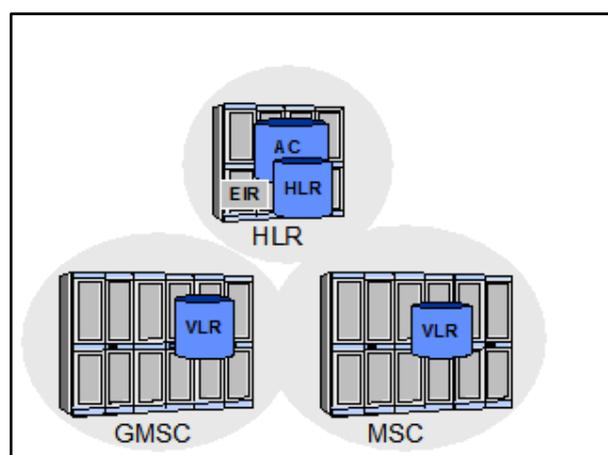


Figura 2. 39 Subsistema de Red (NSS).

Fuente: <https://sites.google.com/site/gsmtheory/planing-theory>

- **El MSC (Centro de Conmutación de Servicios Móviles):** Es el elemento principal del NSS. Es responsable del control de llamadas, funciones de control del BSS, funciones de interfuncionamiento, tarificación, estadísticas y señalización de los interfaces A y PSTN.
- **El HLR (Registro de Posición Base):** Es el lugar donde se almacenan permanentemente todos los datos del abonado. El HLR también da una posición conocida fija, para la información del encaminamiento de variables. Las funciones principales del HLR son los datos del abonado y gestión de servicios, estadísticas y gestión de la movilidad.
- **El VLR (Registro de Posición Visitante):** Da memoria local para las variables y funciones necesarias para gestionar llamadas hacia y desde un abonado móvil en el área correspondiente al VLR.

El AuC (Centro de Autenticación) y el EIR (Registro de Identificación del Equipo) son elementos de la red del NSS que se ocupan de los aspectos relacionados con la seguridad. El AuC se ocupa de la información de seguridad de identidad del abonado junto con el VLR. El EIR se ocupa de la información de seguridad del equipo móvil (hardware) junto con el VLR [21].

OSS (Operational Support Subsystem): El OSS está conformado por el OMC y por el NMC. El OMC (Centro de operación y mantenimiento) es un centro de trabajo donde se encuentra un cierto número de funciones de operación y mantenimiento que típicamente son: Modificación de parámetros de servicio en la MSC-VLR, HLR y BSC, gestión indirecta de los datos relativos a cada terminal móvil, registro de datos de transmisión de tráfico y de alarmas, registro de datos estadísticos relativos a las prestaciones de la red, configuración de los aparatos de la red, registro de los datos de tasación.

- El NMC (Centro de gestión de la red) junto con el OMC controla y gestiona el funcionamiento de la red.
- La MS (Estación Móvil) es una combinación de terminal y abonado. El terminal en sí mismo se llama ME (Equipo Móvil) y los datos del abonado se guardan en un módulo separado llamado SIM (Módulo de Identidad del Abonado). Por tanto, ME + SIM = MS. La SIM es una “tarjeta inteligente” que puede utilizarse con cualquier estación móvil portátil.

- El IMSI (Identificador de Terminal Móvil Internacional), memorizado en la tarjeta inteligente, sirve al operador de GSM para identificar al abonado en la red [22].

Servicios que ofrece GSM.

El estándar de telefonía móvil GSM facilita la existencia de una serie de servicios añadidos a los de la telefonía fija, tales como el envío de datos desde 300 bit/s hasta 9.6 Kbits/s (o 14,4 Kbits/s con un esquema de codificación mejorado y en buenas condiciones del canal de radio), sin necesidad de un modem externo a través de una tarjeta para la conexión con el puerto serie del ordenador, y el envío de fax grupo 3 gracias a la digitalización de las transmisiones de radio, tal y como se observa en la Figura 2.40 [23].

Servicio de Telecomunicación Móvil

El sistema GSM proporciona un servicio móvil. Los usuarios pueden hacer uso del sistema mientras se encuentran en movimiento o en situación fija pero no precisada, siempre y cuando estén dentro de la zona de cobertura y utilicen un terminal adecuado. [23]

Servicio de Telecomunicación Personal

El sistema proporciona facilidades de "servicio personalizado", esto es, las llamadas van dirigidas al usuario no al terminal como ocurre en las redes convencionales.

Cuando un usuario se da de alta en el servicio, se le proporciona una tarjeta inteligente (SIM) que incorpora sus datos y condiciones de abonado. Estos datos quedan también registrados en los correspondientes órganos del sistema.

De forma separada se dan de alta los terminales, los cuales quedan también registrados en elementos internos del sistema.

Cuando un usuario desea hacer uso de los servicios del sistema debe insertar su tarjeta SIM en un terminal dado previamente de alta y, desde ese momento, el terminal queda personalizado para un usuario concreto [23].

Clasificación de los Servicios

a) Servicios Portadores

Proporcionan capacidad de transmisión de señales entre puntos de acceso, usando conjuntamente recursos de las redes conmutadas y de la red GSM [23].

Modo circuito

- Voz codificada usando 13 Kbls en la interfaz radio y 64 Kbls en la red fija.
- Digital sin restricciones, para el envío de datos de forma transparente y no transparente (los datos se envían en tramas HDLC entre el móvil y el MSC).
- 3,1 KHz para el envío de datos vía modem.
- Circuitos de datos asíncronos con velocidades de 300, 1200, 2400, 4800 y 9600 bps.
- Circuitos de datos síncronos con velocidades de 1200, 2400, 4800 y 9600 bps.
- Circuitos de acceso a PAD, asíncrono, con velocidades de 300, 1200, 2400, 4800 y 9600 bps, con acceso transparente y no transparente.
- Voz seguida de envío digital sin restricciones de modo transparente y no transparente. El cambio se produce mediante el envío de un mensaje [23].

Modo Paquete

El sistema GSM ofrece dos tipos de servicios portadores de paquetes:

- Utilizando un circuito entre el terminal móvil (DTE) y el DCE situado en la red de conmutación de paquetes. Se emplea la capacidad portadora digital sin restricciones.
- Servicio portador que permite el envío hasta el MSC de las tramas LAPB generadas en cada terminal. En el MSC se multiplexan las tramas

provenientes de varios orígenes en un solo canal de acceso a la red de paquetes [23].

b) Tele Servicios

Proporcionan facilidades de comunicación total, incluyendo las funciones del terminal, entre usuarios de la red GSM y usuarios de otras redes.

En la Figura 2.40. Muestra los servicios ofrecidos por GSM.

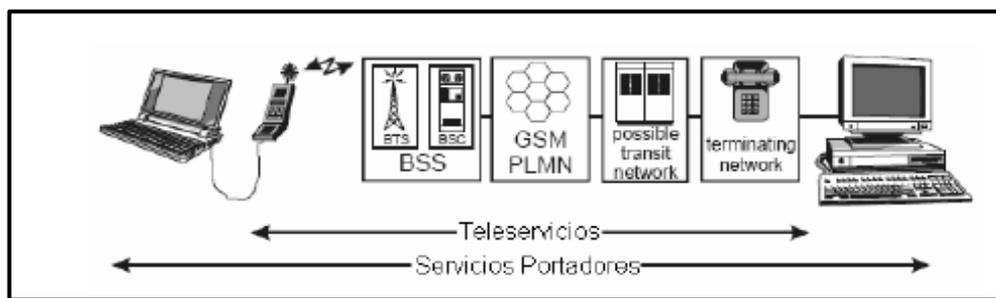


Figura 2. 40 Teleservicios y Servicios Portadores

Fuente: Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber.”GSM and Personal Comunicación Handbook”

Algunos de los Teleservicios básicos que la red GSM ofrece son:

- **Telefonía**

Facilita la realización de llamadas telefónicas hacia usuarios de la red fija y hacia usuarios de la red móvil. Los procedimientos de acceso son similares a los definidos para las redes fijas.

- **Llamadas de Emergencia**

Permite la realización de una llamada telefónica hacia un centro de atención especialmente habilitado (policía, etc.). El sistema debe posibilitar la realización de llamadas de emergencia independientemente de las restricciones impuestas a la estación móvil (restricción de llamadas salientes, ausencia de SIM, etc.) [23].

- **Mensajes Cortos**

Punto a punto originado en el móvil

Facilita la transmisión de un mensaje alfanumérico de hasta 160 caracteres desde un usuario móvil hacia un centro de servicio donde se almacena. La composición del mensaje en la estación móvil puede realizarse mediante mensajes predefinidos, utilizando un teclado auxiliar o mediante un terminal externo.

Punto a punto terminado en el móvil

Facilita la transmisión de un mensaje alfanumérico de hasta 160 caracteres entre un centro de servicio y un usuario móvil concreto. El centro de servicio recibe una confirmación de la recepción del mensaje por el móvil. Los mensajes pueden ser depositados en el centro de servicio por procedimientos diferentes y desde diferentes vías (RTC, RDSI, RPCP, etc.)

- **Difundido**

Facilita la transmisión de un mensaje alfanumérico de hasta 93 caracteres desde un centro de Servicio hacia todos los móviles que están dentro de un área determinada. No se confirma la recepción y los mensajes son recibidos por los móviles que se encuentran en estado libre [23].

Servicios Suplementarios

Los servicios suplementarios modifican o complementan a los servicios básicos. No pueden ser ofrecidos de forma independiente, debiendo estar necesariamente asociados a un servicio básico. El mismo servicio suplementario puede ser aplicado a diferentes servicios básicos.

Un servicio suplementario puede ser ofrecido con carácter exclusivamente nacional o puede tener carácter internacional, en base a acuerdos bilaterales entre operadores.

Los servicios suplementarios definidos en el sistema GSM se asemejan en gran medida a los proporcionados por las redes fijas.

Las recomendaciones GSM identifican 28 servicios suplementarios diferentes; no todos ellos pueden ser utilizados independientemente [23].

Descripción de los Servicios Suplementarios

- **Identificación del llamante:** el abonado móvil suscrito a esta facilidad recibe la identidad del llamante
- **Restricción de la presentación:** el abonado móvil suscrito a esta facilidad, puede impedir en las llamadas que lo desee la presentación de su identidad al llamado.
- **Presentación del número conectado:** facilidad semejante a la identificación del llamante, presentándose en este caso el número conectado.
- **Llamada maliciosa:** mediante acuerdo previo con la administración, el abonado móvil podrá requerir el registro del número llamante.
- **Desvío incondicional:** se tienen varias modalidades, si el abonado no contesta, si está ocupado, desvío incondicional, etc.
- **Llamada en espera:** el abonado móvil es avisado, mientras mantiene una conversación previa, de la llegada de una nueva llamada dirigida a él.
- **Consulta y conferencia múltiple:** el abonado puede pasar de una llamada a otra, o bien pasar a conferencia a tres.
- **Grupo cerrado de usuarios:** para comunicaciones entre un conjunto prefijado de usuarios
- **Cobro revertido y cobro revertido automático:** al abonado suscrito, se le factura el coste total de las llamadas entrantes que desee o de todas las llamadas.
- **Envío de información usuario a usuario:** el móvil puede enviar información dentro de los mensajes de establecimiento/ liberación.

- **Prohibición de llamadas:** todas las llamadas, solo llamadas internacionales, etc [23].

2.2.9 Sistema GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS es una tecnología que está orientada al tráfico de datos, es una extensión de GSM para establecer comunicación bajo datos empaquetados, como se puede observar en la Figura 2.41. Esto significa que se puede enviar información a través de GSM.

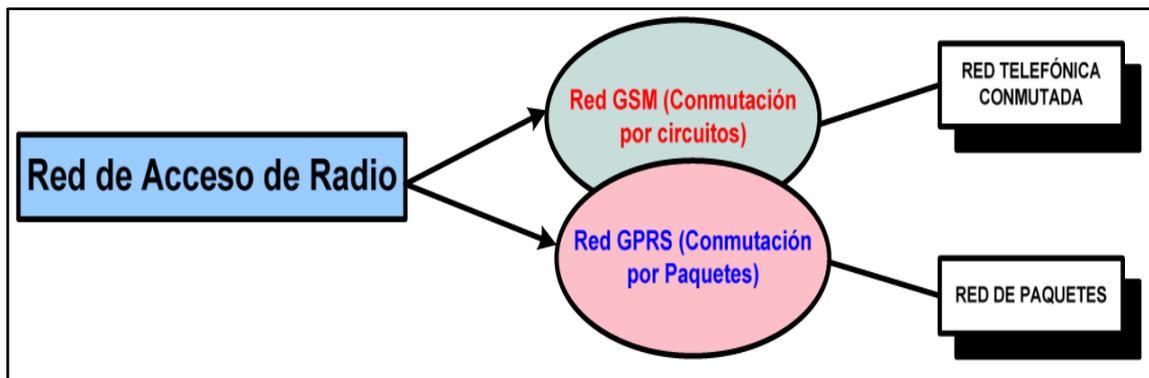


Figura 2. 41 Sistema GSM y GPRS

Fuente: T. Lamilla. « Migración de GSM a UMTS », Ecuador, pp 59-62

Esta tecnología incorpora nuevos servicios a la tecnología GSM tales como: WAP(*Wireless Application Protocol*), SMS(Servicio de Mensajes Cortos), MMS(Servicios de Mensajes Multimedia) e Internet. GPRS es un estándar inalámbrico de circuitos de paquetes conmutados que ofrece acceso instantáneo a protocolos IP. [24].

- Servicios Ofrecidos
- Los servicios que mejoran a la tecnología GSM son:
- Servicio de mensajería multimedia (MMS)
- Mensajería Instantánea
- Aplicaciones en red para dispositivos a través de protocolo WAP
- Servicios P2P utilizando el protocolo IP
- Servicio de mensajes cortos (SMS)
- Posibilidad de utilizar el dispositivo como modem.

2.2.10 EDGE (Enhanced Data for Global Evolution)

Es una tecnología de telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes de segunda y tercera generación. EDGE se considera una evolución de GPRS, esta tecnología funciona con las redes GSM, aunque EDGE funciona con cualquier red GSM que tenga implementado GPRS.

EDGE es un método para aumentar las velocidades de los datos sobre el enlace de radio de GSM, aumentar la eficiencia espectral y facilitar nuevas aplicaciones y mayor capacidad para el usuario móvil.

Usa la misma estructura TDMA, un canal lógico y 200KHz de ancho de banda de la portadora, como se utiliza actualmente en las redes GSM, lo que permite ser montada en las redes existentes GSM. Para muchas redes GSM-GPRS existentes, EDGE es una actualización de software. EDGE está clasificada como una tecnología 2.75 G y se considera como evolución del GPRS. [24].

Impacto de EDGE EN Sistemas GPRS

Para las operadoras el impacto técnico de EDGE es muy pequeño permitiendo una rápida implementación de las redes. La base instalada evoluciona incluyendo pequeños cambios a nivel de software y hardware, pero no se reemplaza desde cero.

Las operadoras tendrían la posibilidad de ofrecer contenidos multimedia de la llegada de UMTS (Transferencia de ficheros, servicios de voz IP, etc.), esta amplia oferta de servicios aumentaría la satisfacción de los usuarios favoreciendo el consumo, lo que se constituiría en mayores beneficios para las operadoras.

La necesidad de implementar EDGE es fundamental debido a que GPRS no alcanza las velocidades de transmisión requeridas para ofrecer servicios multimedia con un nivel óptimo de calidad y en general de servicios de datos de tercera generación.

2.2.11 Evolución de GSM a UMTS.

El sistema UMTS(Universal Mobile Telecommunication System), es la propuesta europea de la tecnología de Red de comunicaciones móviles de tercera generación que cumpliendo los requisitos técnicos de la IMT-2000 , se ha diseñado, con vocación mundial, para un escenario de la sociedad de información en el que se destacan los servicios de comunicaciones personales:

Entre los objetivos que planea implementar UMTS se destacan los siguientes:

- Amplia variedad de servicios y aplicaciones en entornos móviles.
- Proporcionar servicios con terminales móviles y portátiles en todos los entornos de radio.
- Presentación unificada de servicios a los usuarios.
- Velocidad flexible, asignable por demanda, hasta 2Mb/s
- Calidades de servicios negociables, iguales o superiores a las redes de segunda generación.
- Retrocompatibilidad con GSM para facilitar un funcionamiento coordinado GSM/UMTS en la primera etapa del despliegue de UMTS, con terminales duales e itinerancia y traspaso entre ambas redes.
- Eficiencia espectral.

Servicios UMTS

El soporte de aplicaciones de voz, datos, videos y en general, servicios multimedia con requisitos muy variados en lo que respecta el ancho de banda necesario y la tolerancia a factores como retardo y las pérdidas, lleva la necesidad de dotar a UMTS de mecanismo de QoS(Calidad de Servicio), en la figura 2.42 se ilustra los servicios que ofrece UMTS. [24].

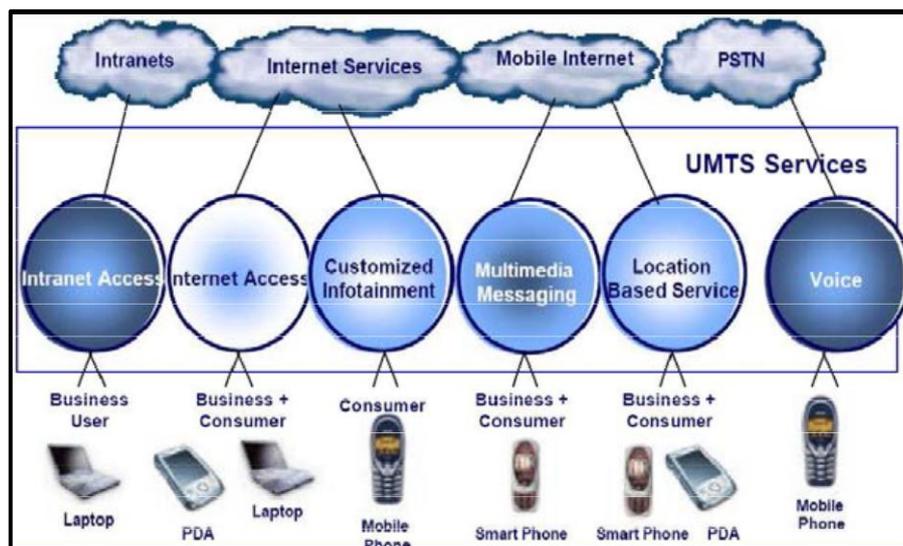


Figura 2. 42 Servicios UMTS.

Fuente: T. Lamilla. « Migración de GSM a UMTS », Ecuador, pp 59-62

Capacidades tecnológicas

La migración de GSM desde tecnología de segunda generación a tecnología de tercera generación incorpora optimizaciones relevante de capacidad y eficiencia. Esto hace que existan un número mayor de aplicaciones. En GSM el soporte para datos celulares se limita a aplicaciones de datos básicas, tales como mensajería, e-mail basado en texto, descarga de tonos de llamadas y carece de suficiente conectividad para acceso eficiente a Internet.

Con UMTS y HSDPA, los usuarios podrán acceder a teléfonos con video, música de alta fidelidad, aplicaciones multimedia, y un acceso efectivo [24].

2.2.12 Descripción guerras electrónicas

La “Guerra Electrónica” de las comunicaciones o EW por sus siglas en inglés “*Electronic Warfare*” es el nombre que se le da a todas aquellas acciones que tienen por objetivo bloquear, interceptar o negar la comunicación de un punto transmisor a otro receptor. Esta llamada “guerra” tiene tres elementos principales:

a) **Ataque electrónico (EA, Electronic Attack)**

El AE (ataque electrónico) se puede realizar por medio de tres tipos de acciones o técnicas:

- **Técnica Jammer:**

Hamming se define como aquella actividad que afecta la línea de tiempo en alguna comunicación. Es decir, logra que la información no llegue al receptor en el momento que debía de hacerlo. Al afectar esto, se afecta también la relevancia de la información. Esto se debe a que la información solamente es útil en determinado instante. No es útil si se recibe antes o después del tiempo establecido. La Figura 2.43 ilustra la intervención del hammer en el proceso de comunicación [25].

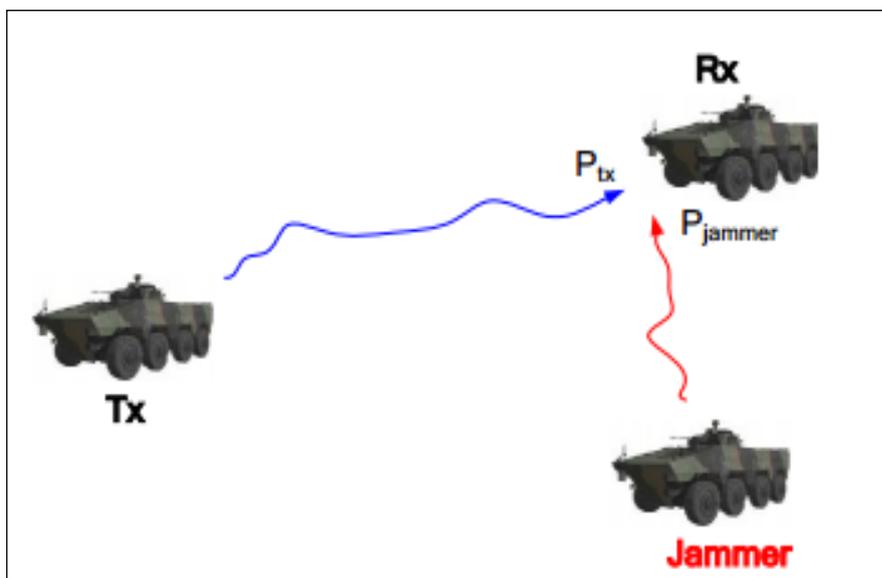


Figura 2. 43 Disposición de un jammer en la comunicación.

Fuente: http://www.une.edu.ve/~iramirez/te1/sistemas_moviles.htm

- **Técnica de engaño:**

La técnica de engaño tiene como objetivo formar una nueva ruta de comunicación. Es así que en lugar de que la información llegue al receptor deseado, ésta sufre un cambio de ruta y es recibida por otro sistema receptor. De igual forma, el engaño puede consistir en la sustitución del sistema transmisor. En este caso el receptor original está

recibiendo una señal que proviene de un segundo sistema transmisor. Cuando el receptor está ocupado no puede recibir la señal emitida por el transmisor original [24].

- ***Técnica de radiación directa de energía:***

La radiación directa de energía es la manera más fácil de atacar a un sistema de comunicación. Sin embargo, es la más fácil de detectar y poder evitar. Consiste en enviar una determinada señal con determinada potencia para dañar o destruir completamente la comunicación entre transmisor y receptor. La potencia emitida debe ser mayor a la que emplea el transmisor del sistema que está sobre ataque.

Un dispositivo capaz de emplear cualquiera de las tres técnicas o una combinación de ellas para interferir, dañar o destruir la transmisión de información dentro de un sistema electrónico de comunicaciones es llamado jammer [25].

- **Jammers o inhibidores de frecuencia**

Es un dispositivo electrónico compuesto de un circuito oscilador que genera la señal y una antena que la transmite. Además, un generador de ruido que da forma a las ondas; que obviamente no llevan información, también una etapa de ganancia que amplifica la señal para que tenga suficiente potencia, cuya potencia debe ser mayor a la señal que intenta anular [26].

- Como es lógico, hay inhibidores para todo tipo de frecuencias:
- Inhibidores GPS
- Inhibidores para radares
- Inhibidores para celulares (telefonía móvil celular AMPS /GSM /CDMA, etc)
- Inhibidores para dispositivos infrarrojos
- Inhibidores FR (Radio Frecuencia)
- Inhibidor de video.

b) Apoyo electrónico

El apoyo electrónico funciona como auxiliar del EA. Su función es la medición de parámetros de interés en el sistema de comunicación. Una de las razones principales de hacer esto radica en que si no hay señal que interferir no tiene caso gastar la potencia del jammer implementado. Sin embargo, dependiendo de la aplicación será el tipo de jammer que se emplee. Es así que se puede mantener en operación un jammer por tiempo indefinido o se puede encender siempre y cuando se detecte una comunicación. Entre los parámetros que se encarga de medir el apoyo electrónico se encuentran [27].

SNR (Signal-to-Noise Ratio): Determina la calidad con la que llega la señal al receptor después de recorrer la ruta del sistema de comunicación e ir contaminándose por ruido.

JSR (Jam-to-Signal Ratio): Determina si la potencia con que transmite el jammer es mayor o menor que aquella que emplea el transmisor original del sistema.

PSR (Packet Send Ratio): Relaciona los paquetes que fueron enviados correctamente por una ruta de tráfico con los paquetes que trataron de ser enviados fuera de la capa MAC.

PDR (Packet Delivery Ratio): Compara los paquetes que llegaron al receptor con los que fueron enviados.

BER (Bit Error Rate): Indica la fracción de bits que contiene o pudiera contener errores. Es decir, es la probabilidad de que un bit sea incorrecto.

SER (Symbol Error Rate): Es la probabilidad de que un símbolo sea incorrecto y se llega a escribir como Ps.

SIR (Signal-to-Interference Ratio): Relaciona la potencia de la señal deseada con la potencia de la suma de las señales no deseadas [27].

c) **Protección electrónica**

La PE (protección electrónica) consiste en el uso de estrategias para evitar los dos primeros elementos de la llamada “Guerra Electrónica”, es decir, el ataque y el

apoyo. La codificación y la modulación entran dentro de este elemento. Con la unión de modulación y codificación nacieron las comunicaciones AJ por sus siglas en inglés, antijam. Este tipo de comunicaciones tienen como objetivo evitar que un sistema externo pueda dañar, bloquear o interceptar la comunicación de otro sistema [28]

2.2.13 Comunicación jamming

El jamming es la interferencia o perturbación intencionada de una comunicación con el fin de evitar o al menos entorpecer el intercambio de información. Para ello, se introduce energía en el receptor, en el momento en el que se va a recibir la señal objetivo. Por lo tanto, lo que se consigue es disminuir la SIR en recepción, haciendo que se cometan errores al recuperar la información.

La energía necesaria para evitar o perjudicar significativamente la comunicación depende de la naturaleza de la señal objetivo, la señal de jamming y las técnicas o estrategias implementadas por el receptor para añadir robustez a la comunicación. La cantidad de potencia de la señal de interferencia en la entrada al receptor puede ser atascada en relación con la de potencia de la señal de interferencia en esa entrada lo que determina la eficacia del inhibidor [28].

La cantidad de esta potencia de interferencia depende de varios factores:

- La potencia radiada efectiva (ERP) del Jammer;
- La ERP del transmisor de comunicaciones.;
- La orientación de la antena de recepción con respecto a la de la antena del Jammer.
- La orientación de la antena de Jammer en relación a la de la antena del receptor.;
- El terreno intermedio.

Independientemente de la forma en que se desea negar la comunicación ya sea mediante el empleo de señales inteligentes o no, finalmente se radiara energía electromagnética hacia los receptores de comunicación a modo de interferirlos y esto se realiza mediante diferentes técnicas [28].

2.2.14 Tipos de señales anti jammer (AJ)

Existen varios tipos de señales AJ, pero para el siguiente trabajo solo se discutirán las dos principales.

El primero consiste en la secuencia directa de amplio espectro o DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Este tipo de señal es empleado en el estándar de segunda generación de telefonía móvil IS-95A conocida común y erróneamente como CDMA. Se debe recordar que CDMA (*Code Division Multiple Access*) es una técnica de acceso múltiple y no un estándar. De igual forma, se emplea en el estándar de 2.5G IS-95B y en el de 3G Cdma2000 [28].

El segundo tipo de señal AJ es el salto de frecuencia o FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). El estándar de segunda generación de telefonía móvil GSM emplea esta técnica para lograr la diversidad de frecuencia.

Para que una señal pueda ser considerada como AJ es necesario que el sistema que la transmita, sea un sistema LPD (*Low Probability of Detection*) y/o LPI (*Low Probability of Intercept*). En un sistema LPD el objetivo es lograr que la señal permanezca tan oculta como sea posible. DSSS es un ejemplo de sistema LPD [29].

En DSSS esto se logra al distribuir la señal por todo el espectro disponible, lo que hace que la potencia sea muy baja y parezca ruido. Es así que se vuelve complicado detectar si la señal es de información, o es simplemente ruido.

En un sistema LPI (*Low Probability of Intercept*) puede ser que se haya detectado la señal, pero mientras no se intercepte la información, ésta estará protegida. Un ejemplo de estos sistemas es FHSS. En FHSS la protección se logra cambiando de frecuencia constantemente. Contrario a DSSS, donde el ancho de banda requerido es grande, en los sistemas que emplean FH la señal ocupa generalmente un ancho de banda angosto que depende del propio sistema, de la aplicación y de la técnica de modulación.

Existen dos tipos de salto de frecuencia. FFH (*Fast Frequency Hopping*) y SFH (*Slow Frequency Hopping*). La diferencia radica en el número de bits de datos que “saltan”. Cuando el salto es rápido, FFH, existen muchos cambios de frecuencia pero se

encuentran involucrados pocos bits de datos. En cambio, en SFH es mayor la cantidad de datos pero los cambios de frecuencia no son tan numerosos. [29]

2.3 Propuesta de Solución

La implementación del prototipo de un sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM a un bajo costo sirve como punto de partida para futuras investigaciones , facilitando la adquisición de estos aparatos electrónicos a instituciones financieras centros de rehabilitación y entidades públicas con un nivel económico medio, mejorando la seguridad, tranquilidad, confidencialidad y bienestar de las mismas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la Investigación

El presente proyecto tiene una modalidad de investigación aplicada, con un enfoque cualitativo-cuantitativo. Cualitativo porque trabaja en forma representativa con la población inmersa en el problema; considerando las perspectivas evolutivas y cambiantes de los sistemas electrónicos para la interferencia de la señal celular en dispositivos que usen la tecnología GSM y por medio de una propuesta, llega a eficientes resultados. Cuantitativo porque resalta los conocimientos técnicos y científicos para crear una solución factible al problema, en una metodología estipulada con pruebas, cálculos y prototipos.

3.1.1 Investigación de Campo

La presente investigación tiene una modalidad de campo; porque permite adquirir nuevos conocimientos en el campo de los inhibidores de frecuencia celular, la electrónica y las comunicaciones móviles; además que facilita la indagación en el uso de esta tecnología para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos, y así dar solución a los mismos.

3.1.2 Investigación Experimental

Se recolecta diseños y prototipos en referencia a inhibidores de frecuencia celular para la tecnología GSM del Ecuador; se manipula y evalúa, organizada y controladamente variables y/o procesos para entender la metodología de solución a un problema real, en el cual un hardware conocido como jammer efectúa todo un proceso de ingeniería consolidando una propuesta radical a la falencia existente con el mal uso del teléfono celular por parte de la delincuencia.

3.1.3 Investigación Bibliográfica

Se reformula de manera congruente el contenido teórico y científico del proyecto de investigación, a través de diferentes fuentes de información primarias; llegando así a elaborar un documento recíproco a la ciencia y la tecnología, todo esto para enfatizar la fundamentación teórica-práctica para el sistema electrónico de interferencia para la señal celular en dispositivos que usen la tecnología GSM.

3.2 Recolección de Información

Para la recolección de información se empleó un procedimiento integral, coordinado a instrumentos para el registro de información como: libros, papers, documentos, herramientas informáticas y programas de computadora, etc.

Se recolectó información relevante sobre el sistema electrónico para la interferencia de la señal celular en dispositivos que usen la tecnología GSM, se analizó el funcionamiento de esta tecnología desarrollando según sus concepciones técnicas en electrónica, diagramas y circuitos simulados para depurar errores y se aplicó ingeniería obteniendo un sistema electrónico y eficiente en la tarea para la que fue construido.

3.3 Procesamiento y Análisis de Datos

Para el desarrollo del proyecto se realizó observaciones, investigaciones acerca de las restricciones del uso de teléfonos móviles y además se basó en materiales recopilados de internet y libros.

3.4 Desarrollo del Proyecto

El proyecto se desarrolló de la siguiente manera:

- Revisión técnica y legal para la aplicación de sistemas electrónicos para la interferencia de la señal celular en dispositivos con tecnología GSM.
- Análisis y estudio de los jammers
- Analisis de requerimientos y determinación de parámetros del sistema.
- Diagramación del sistema electrónico para la interferencia de la señal celular en dispositivos que usen la tecnología GSM.
- Diseño del circuito del sistema electrónico para la interferencia de la señal celular en dispositivos que usen la tecnología GSM.
- Simulación del diagrama esquemático en un programa electrónico.
- Fabricación del sistema electrónico para la interferencia de la señal celular en dispositivos que usen la tecnología GSM.
- Montaje y soldadura de componentes electrónicos.
- Pruebas de funcionamiento del inhibidor relacionadas a la zona de cobertura y tiempo de respuesta del mismo.
- Ensamblado final del prototipo.
- Documentación del proceso de desarrollo del prototipo.

CAPÍTULO IV

LA PROPUESTA

4.1 Fundamentación Legal.

En la actualidad, el Ecuador cuenta con un conjunto de leyes y reglamentos que impiden la interferencia de servicios de telecomunicaciones, existiendo reglamentos específicos de la telefonía móvil y la telefonía móvil avanzada. A continuación se señala las leyes y reglamentos que sustentan esto.

En el Reglamento para telefonía móvil el artículo 37 indica:

“Art. 37.- Interferencias.- La Operadora será la única responsable por las interferencias radioeléctricas que las estaciones de su sistema puedan causar a otros sistemas de radiocomunicaciones, previamente autorizados, o por daños que puedan causar sus instalaciones a terceros, y estará obligada a solucionar a su costo y a reconocer daños y perjuicios.

En caso de que las frecuencias asignadas a la Operadora de STMC sufrieren interferencias por terceros, la Superintendencia de Telecomunicaciones procederá, en el término de diez días a determinar la interferencia. El causante de la interferencia se someterá a lo establecido en el Reglamento de Radiocomunicaciones.”

Mediante la Resolución No. 133-05-CONATEL-2007, del 22 de febrero del 2007, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones prohibió la utilización y comercialización de equipos inhibidores de señal, en todo el territorio ecuatoriano, salvo en casos

excepcionales autorizados por el CONATEL. Para esto, se requiere un informe técnico y legal al respecto, elaborado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

La Constitución ecuatoriana garantiza el derecho a la comunicación y, conforme a la legislación, se prohibió la utilización y comercialización de equipos inhibidores de señal en todo el país, ya que provocan la interrupción y pérdida en la continuidad de las telecomunicaciones. Evidentemente, el interés público prevalece sobre el interés particular, por lo tanto, tiene más peso el derecho a la seguridad humana, a una vida libre de violencia, que el derecho a la continuidad de los servicios de telecomunicaciones. [30]

No se trata de una violación del decreto de telecomunicaciones, sino de una medida que permite brindar seguridad a las instalaciones del Sistema Financiero y Centros de Rehabilitación Social, dentro de los parámetros y condiciones establecidas.

Tomando en cuenta las diversas apreciaciones, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones decidió aprobar la Resolución 001-TEL-C-CONATEL-2011. en ésta se autoriza la instalación y operación de antenas inhibidoras de señal telefónica celular en los centros de rehabilitación social y en las agencias y locales de las entidades públicas y privadas del Sistema Financiero Nacional, excluyendo de dicha resolución a los cajeros automáticos (ATM) [30].

Por lo expuesto anteriormente se concluye que es ilegal interferir un servicio de telecomunicaciones de cualquier forma, sin embargo la utilización de inhibidores de señal ha ido creciendo en el Ecuador en los últimos años principalmente por razones de seguridad.

El trabajo de investigación que se realizó sobre el sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM fue solo con fines educativos, es por ello que no se va a incurrir en el incumplimiento de la ley.

4.2 Fundamentación Teórica

4.2.1 Bandas de frecuencia para las operadoras de telefonía móvil en el Ecuador.

- **CONECEL S.A (CLARO)**

CONECEL S.A (Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones S.A), más conocido como CLARO, concesionaria del servicio de telefonía móvil desde 1993, inició sus operaciones con tecnología americana (*Advance Mobile Phone Service AMPS*) de primera generación y actualmente brinda sus servicios a través de dos plataformas que son: la tecnología americana de segunda generación TDMA y la tecnología europea 3GSM que es la implementación de la tecnología de 2G(Group Special Mobile,GSM) y las tecnologías de 2.5G(General Packets Radio System. GPRS)).

Funciona en la banda A, en el grupo de frecuencias comprendido entre los rangos: 824 a 835 MHz, 845 a 846.5MHz, 869 a 880 MHz, 890 a 891.5 MHz.

- **OTECEL S.A (MOVISTAR).**

Funciona en la Banda B, el grupo de frecuencia comprendido entre los siguientes rangos: 835 a 845 MHz, 846.5 a 849 MHz, 880 a 890 MHz, 891.5 a 894 MHz.

Inicio sus operaciones al igual que CLARO con la tecnología americana Advance Mobile Phone Service, (AMPS), pero actualmente ofrece sus servicios mediante la implementación de dos plataformas tecnológicas como son: la tecnología europea 3GSM y CDMA2000.

- **CNT E.P (EX TELECSA)**

Presta sus servicios a través de la plataforma americana CDMA2000, definiendo dos tecnologías como son CDMA2000 1X y CDMA2000 AX EV-DO las cuales constituyen sistemas de 2.5G que presentan características de tercera generación. Funciona en la

banda C-C' de 1900 MHz. Sus rangos de operación son de 1895 a 1910 MHz y de 1975 a 1990 MHz.

4.2.2 Infraestructura del Servicio Móvil avanzado en el Ecuador

Según los registros de la Superintendencia de Telecomunicaciones, hasta abril del 2012 se han incrementado las líneas activas de la telefonía móvil en los últimos 5 años. Los datos de las operadoras se presentan en la tabla 4.1 [31].

Tabla 4. 1 Resumen Nacional de Abonados y líneas activas por concesionario

OPERADORA	ABONADOS 2007	LINEAS ACTIVAS JULIO 2012
CONECEL S.A-CLARO	6.907.911	11.318.271
OTECEL S.A- MOVISTAR	2.582.436	4.690.682
CNT E.P.(EX TELECSA)	449.630	326.827
TOTAL	9.939.977	16.335.780

Fuente: http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista_supertel_16_final.pdf

La participación en el mercado del mercado de cada una de la operadoras tiene relación con el ingreso de los operadores al país; en la Figura 4.1 se puede observar que, primero se encuentra Claro, segundo Movistar y tercero CNT [31].

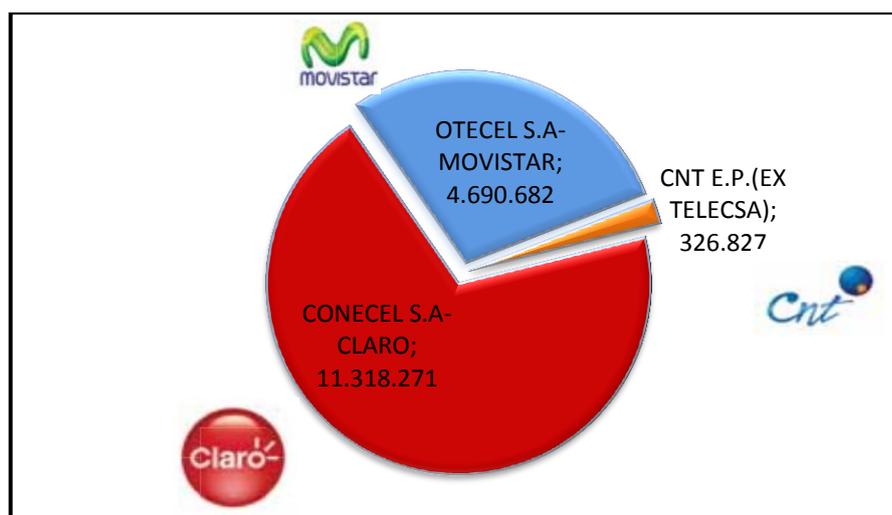


Figura 4. 1 Líneas activas de las operadoras móviles del Ecuador

Fuente: Investigador. Basado en:

http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista_supertel_16_final.pdf

El objetivo del jammer diseñado es bloquear la comunicación de equipos móviles en el mayor rango posible para los dos operadores móviles más utilizados en el Ecuador que son Movistar y Claro.

4.2.3 Estrategias de *Jamming*.

Cuando se trata de atacar sistemas que empleen señales anti jammer, el jammer debe de emitir una señal portadora en banda base que puede ser modulada por uno o más impulsos o bien por una señal de ruido.

***Jamming* por ruido**

El jammer por ruido transmite una potente señal de ruido a la frecuencia que está usando el adversario. El ruido que se introduce puede ocupar ya sea todo el ancho de banda empleado por la señal AJ, o simplemente una parte de él. Los efectos serán distintos pero se debe considerar que no siempre se necesita atacar todo el ancho de banda para interrumpir de manera eficiente la comunicación.

Se divide en jamming por ruido de banda ancha, jamming por ruido de banda parcial y jamming por ruido de banda angosta

- ***Jamming* por ruido de banda ancha**

El ruido de banda ancha o *Broadband Noise* (BBN) introduce energía a través de todo el ancho del espectro de frecuencias en el que opere la aplicación. El BBN *jamming* funciona elevando el nivel de ruido en el receptor lo que ocasiona un decremento en la relación señal a ruido. En cuanto a la eficiencia, depende del nivel de potencia y por tanto de la distancia entre el *jammer* y el receptor. Este tipo de *jamming* se le conoce también como jamming de banda completa [32].

Por ejemplo, suponiendo que la banda de operación elegida para el sistema fuese la comprendida entre 880 y 890 MHz, se elegiría dicha banda como objetivo para el jammer así como se ilustra en la Figura 4.2.

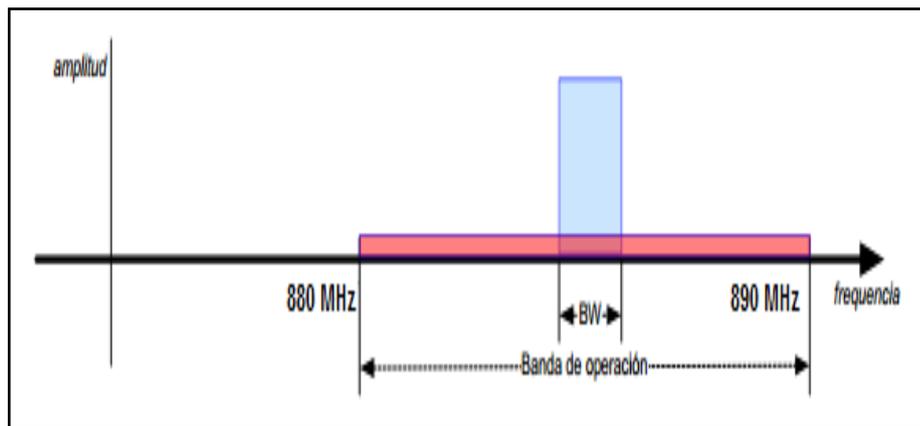


Figura 4. 2 Disposición de un jammer de banda ancha.

Fuente: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20121113JuanFDiazBejarano.pdf>.

- **Jamming por ruido parcial**

Se conoce también como *Partial Band Noise* (PBN). En este caso se introduce energía a través de una parte específica del espectro, cubriendo solamente algunos canales. Este tipo de jammer puede radiar ruido a los diferentes canales al mismo tiempo, utilizando el mismo transmisor y antena. Pero para ellos es necesario contar con un generador diferente para cada canal a inferir de tal manera que se está enviando ruido de interferencia a cada canal al mismo tiempo. Estos canales pueden ser o no continuos.

Este tipo de jamming es mejor que el anterior debido a que no desperdicia tanta potencia. En muchos casos no es necesario introducir ruido en todo el espectro, sino simplemente en los lugares donde se requiere interceptar la señal. La Figura 4.3 muestra que si se conoce la parte del espectro en donde se encuentran los canales de sincronización será mejor introducir ruido en esta parte que en todo el ancho de banda del espectro. Al no haber sincronización la comunicación no llega a ser exitosa [32].

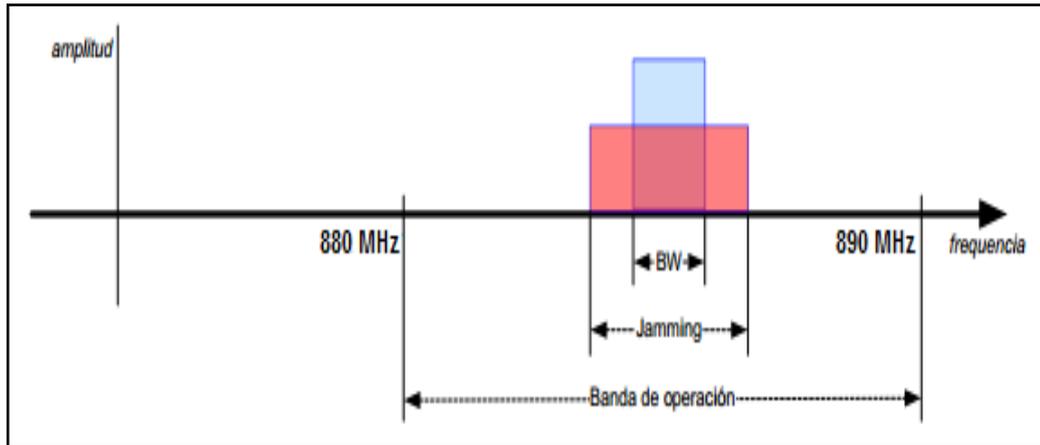


Figura 4. 3 Disposición de un jammer de banda parcial.

Fuente: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20121113JuanFDiazBejarano.pdf>.

- ***Jamming por ruido de banda angosta***

Un *jammer* por ruido de banda angosta puede ser utilizado cuando se desea atacar una frecuencia específica. El ancho de banda de esta energía podría abarcar todo el canal o simplemente una parte de él. Una vez más la diferencia radica en la potencia empleada y el espectro cubierto.

Este tipo de *jammer* puede ser útil contra sistemas de comunicación basados en DSSS (Espectro Disperso por Secuencia Directa). El estándar IS-95 de telefonía celular especifica que los sistemas que emplean esta técnica son particularmente sensibles a señales fuertes cerca del receptor. La eficiencia de esta forma de jamming dependerá en parte del conocimiento de la aplicación, esto es porque se debe de atacar el lugar exacto en el espectro en donde se encuentren los canales de interés. La potencia se puede canalizar a una pequeña parte del espectro, lo que representa una ventaja [32].

Jamming por pulsos

En este caso el factor a tomar en cuenta no es el ancho del espectro cubierto, sino el tiempo que el *jammer* está encendido. Al analizar el funcionamiento se encuentra similitudes con el *jamming* por ruido de banda ancha ya que al estar encendido el *jammer* trabaja con pulsos que cubren una parte amplia del espectro, ésta estrategia es

similar en resultados al *jamming* por ruido de banda parcial además presenta la ventaja de ahorrar gran cantidad de potencia si se diseña correctamente el ciclo de trabajo.

Jamming por barrido

Este tipo de *jammer* interfiere en todos los canales presentes dentro de la banda de frecuencia, es por ello que es preferible tenerlo cerca del adversario que de los sistemas de comunicación amigas, porque puede denegar completamente la comunicación dentro de un radio considerable alrededor del *jammer*. Consiste en introducir ruido en una pequeña parte del espectro; y una vez colocada está señal, se realiza un barrido por todo el ancho de banda que ocupe la señal anti jammer (AJ).

La Figura 4.4 muestra que el funcionamiento de *jamming* por barrido al introducir ruido en una parte del espectro se va ir desplazando dicha señal de ruido por todo el espectro que ocupe la señal objetivo [32].

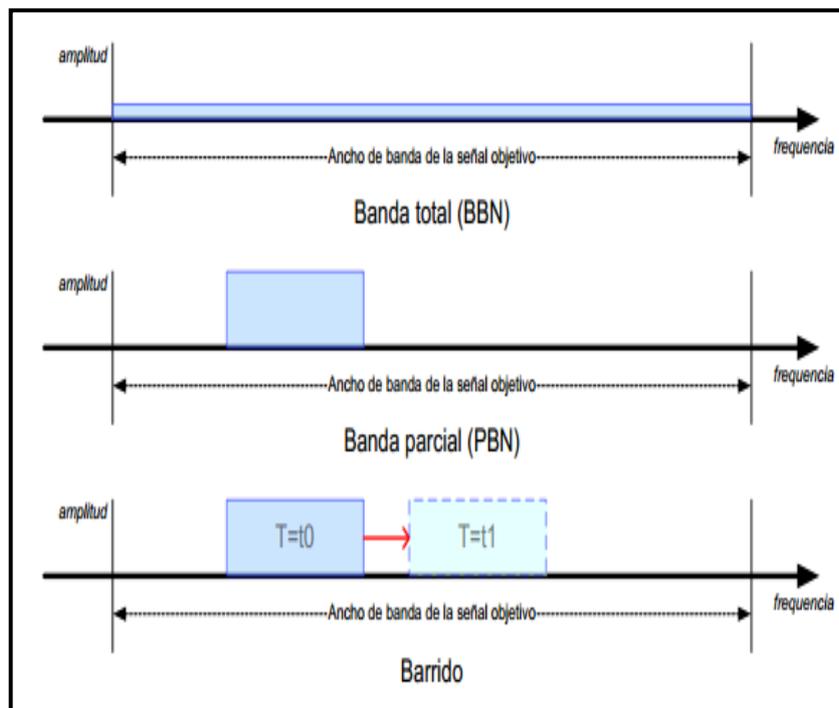


Figura 4. 4 Jammer por barrido.

Fuente: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20121113JuanFDiazBejarano.pdf>.

Esta estrategia se puede emplear en un sistema FHSS (Espectro Disperso por Saltos de Frecuencia), donde la comunicación se lleva a cabo empleando saltos en frecuencia, pues a pesar de que dichas frecuencia empleada están dentro de una banda, no se sabe exactamente a qué frecuencia se transmitirá en el siguiente intervalo de tiempo.

Sin embargo, se tiene que considerar que el barrido debe ser tan rápido como para identificar la frecuencia en la que se encuentre la señal pero sin llegar a una velocidad tal, que cuando se sitúe sobre el salto se tenga efecto solamente sobre una parte de él [32].

Jamming por seguimiento

En técnica de jamming por seguimiento, bloquea la frecuencia usada por cada salto por lo cual se reduce las interferencias entre canales vecinos.

Se conoce también como *jamming* de respuesta y *jamming* de repetición. Esta estrategia consiste en localizar la frecuencia a la cual “saltó” la señal, identificar la señal como blanco y emplear *jamming* por ruido, tonos o pulsos. Se aplica generalmente a sistemas FHSS. Sus limitantes están relacionadas con el tiempo de procesado del *jammer*, la aplicación en más de un canal ya que la potencia se distribuirá entre estos, e incluso las distintas modulaciones son un escudo ante esta estrategia.

La frecuencia del transmisor, así como la frecuencia de sintonía del receptor, se cambian rápidamente de manera que el *jammer* que opera en una frecuencia fija, tiene un efecto mínimo de toda la transmisión. Por estas razones la complejidad de estos sistemas es bastante alta y a pesar de ser una estrategia eficiente cuando se diseña correctamente, no representa una opción sencilla de implementación [32].

Los objetivos de ataque para un sistema por saltos de frecuencia depende de la distancia que haya entre: transmisor/ receptor, *jammer*/receptor, y *jammer*/transmisor. Si el *jammer* está demasiado lejos del transmisor en relación con la distancia entre el transmisor y el receptor. Para lo que el sistema realiza un siguiente salto haciendo de esto un Jamming ineficaz.

Jamming por tonos

Esta estrategia consiste en colocar uno, *single tone (ST)*, o varios, *multiple tone (MT)*, tonos a lo largo del ancho de banda donde se encuentre la señal anti jammer (AJ). La eficiencia de esta técnica depende completamente del lugar en el espectro donde se coloque los pulsos.

En un sistema DSSS es posible emplear *single tone jamming* para modificar el Offset en los receptores y ocasionar que se sobrepase el nivel máximo de la señal, lo que produce que no se pueda recibir la información [32].

Jamming inteligente

Es común que cuando se aplica alguna estrategia de *jamming* sobre una señal AJ, se desperdician recursos y no siempre se elige la opción más adecuada. Cuando se conoce como funciona el sistema que se desea atacar, se puede optimizar los recursos. Realmente el *jamming* inteligente no es una estrategia como las anteriores, sino que se refiere al estudio del ruido blanco para lograr mejores resultados [32].

4.2.4 Clasificación general de jammers.

De las distintas estrategias de *jamming* se derivan cuatro tipos principales de *jammers*. La elección del tipo de *jammer* depende de la aplicación específica.

Jammer constante

El *jammer* constante emite continuamente una señal de radio. Este tipo de *jammer* emplea la estrategia de ruido y la de barrido. Su principal ventaja es la relativa facilidad de implementarse. Sin embargo, en aplicaciones donde se desea que el jamming pase desapercibido no es recomendable emplear un jammer constante. Esto debido a que excede los niveles de ruido y por tal motivo es fácil su detección, debido a que una vez

encontrado el ruido es posible detectar la fuente que lo genera, además otro inconveniente es que requiere de mucha potencia [32].

Jammer de engaño

Emplea la técnica de engaño que pertenece al jamming inteligente. En este caso se envían señales que parecen ser legítimas, pero no se incluye una separación entre ellas.

Esto ocasiona que se mantenga el estado de recepción y no haya confirmación de haber recibido información alguna. Siendo su ventaja ser menos propenso a la detección, sin embargo aún es posible detectarse, pero la potencia requerida es grande todavía

Jammer aleatorio

Este tipo de jammer funciona por determinado tiempo y deja de hacerlo por otro.

El ciclo de trabajo es programado de acuerdo a su aplicación. Se puede utilizar jamming por ruido, por pulsos, por tonos e incluso por barrido. Su detección es posible realizando un análisis de la actividad de la red, mientras que la potencia requerida es menor debido a que no se encuentra en funcionamiento todo el tiempo.

Jammer reactivo

Este tipo es el más complejo pero es el que ofrece una menor posibilidad de ser detectado. Consiste en censar la actividad de la red para saber en qué momento debe de actuar el jammer. Podría pensarse que el consumo de potencia es mínimo. Sin embargo, a pesar de no ser excesivo si se requiere determinada potencia para estar monitoreando la actividad de la red. Una vez que se detecta el envío de la señal, se realiza un jamming por ruido, por tonos o por pulsos [32].

4.3 Elección del tipo y la técnica de jammer.

De acuerdo a las diferentes técnicas y tipos de *jammers* analizados anteriormente se llegó a la conclusión de que la estrategia de barrido es la ideal para utilizar en este trabajo, debido a las razones siguientes:

- El *jamming* por barrido optimiza el uso de la potencia. Esto se debe a que no se tiene que esparcir la potencia por todo el ancho del espectro, sino que se utiliza la máxima potencia en determinado lugar y determinado momento.
- Interfiere una pequeña parte del espectro, pero debido al barrido, en un corto periodo de tiempo se puede abarcar un amplio rango de frecuencias.
- Selecciona solo las áreas del espectro por la que se hace el barrido, dejando aquellas que no usa el enemigo o pertenecen a comunicaciones amigas

Las principales desventajas de los otras técnicas de *jamming* frente a la de barrido es la alta potencia que se requiere (*jamming* de banda ancha), el poco ancho de banda que ofrece (*jamming* de banda angosta), la complejidad al momento de su implementación (*jamming* por seguimiento), entre otras.

El tipo de jammer que se diseñó es de tipo constante debido a que frente a los demás este es el más sencillo a la hora de trabajar.

4.4 Analisis de requerimientos y determinación de parámetros del sistema.

4.4.1 Requerimiento del usuario

El inhibidor de señal celular puede ser utilizado en prácticamente cualquier lugar, pero se encuentra principalmente en lugares en los que una llamada de teléfono o un mensaje podría ser perjudicial.

El prototipo construido puede ser instalado en un salón de clases o sala de juntas en la FISEI, en este caso los usuarios a quien va dirigido el proyecto son los profesores y estudiantes de esta institución

El inhibidor será usado para las siguientes actividades:

- Para que los estudiantes se centren en el estudio y la actitud correcta hacia el aprendizaje
- Para evitar que los estudiantes utilicen sus teléfonos celulares en exámenes o puedan compartir información a través de mensajes de texto.
- Para mantener la tranquilidad de una reunión, pues es muy molesto que en medio de un momento solemne o de una reunión importante se reciba llamadas de interrupción

4.4.2 Requerimientos de hardware

Dentro de la elaboración del circuito se tomó en cuenta tres factores que son: la potencia, frecuencia y tipo de antena.

Potencia requerida por el jammer

La potencia que se utiliza no es muy fuerte debido al problema que existe en la legalidad de este tipo de dispositivo, además de que al momento de implementar se debe realizar diversas etapas de ganancia a la salida del circuito, sin embargo se debe utilizar toda la potencia disponible y en distintos intervalos de tiempo.

A continuación se encuentran los cálculos realizados para saber la potencia que se requiere emitir y la distancia que puede interferir el *jammer*. Es necesario calcular el campo eléctrico mediante la potencia recibida de la señal GSM en el primer piso de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, la misma que se obtuvo a través de un analizador de espectros de la marca ANRITSU, que en este caso es de -86.7 dBm como se puede apreciar en la figura 4.5.

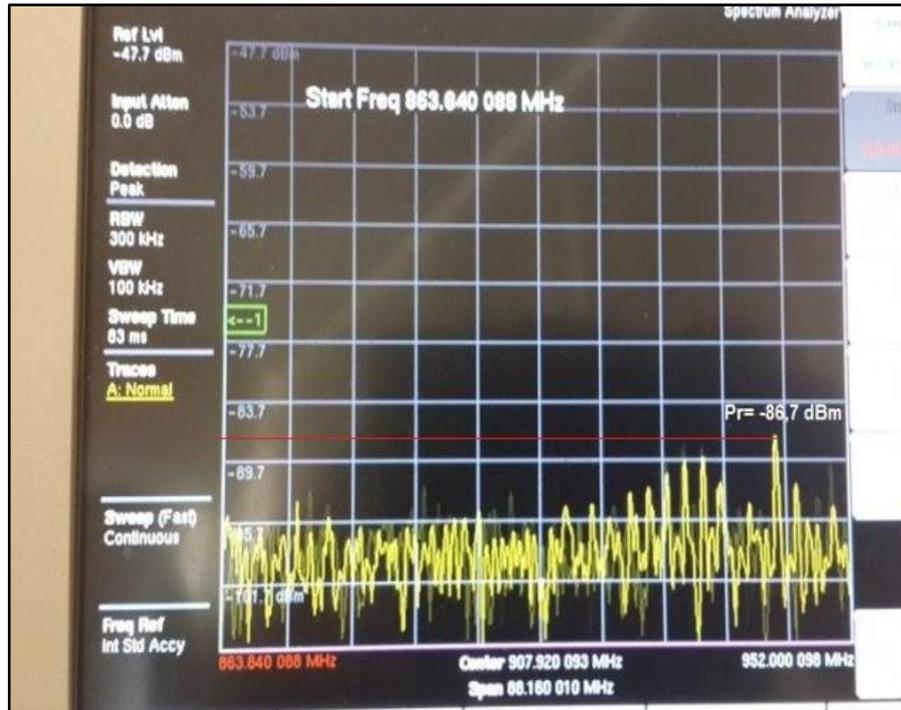


Figura 4. 5 Potencia recibida de la señal GSM en la planta baja de la FISEI

Fuente: Investigador.

Los cálculos se realizaron mediante un radiador omnidireccional, es por ello que se escogió una directividad de 1,64dB correspondiente a una antena dipolo omnidireccional de media onda.

Unidades y Simbología

λ = Longitud de onda

c = Velocidad de la luz

f = Frecuencia

E = Intensidad de campo

φ = Densidad de potencia Radiada

P_t = Potencia Radiada

R = Distancia

D = Directividad de la antena

- **Cálculos en interiores**

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8 \text{ m/s}}{900 \text{ MHz}} = 0,33 \text{ m}$$

$$Pr = -86,7 \text{ dBm} \longrightarrow \text{Potencia recibida de la estación base}$$

- **Convertir de dBm a Watts**

$$-86,7 \text{ dBm} - 30 = -116,7 \text{ dB} \longrightarrow 10^{\frac{-116}{10}} = 2,137 \text{ pW}$$

- **Intensidad de campo**

$$E = \sqrt{\frac{Pt * 4 * 80 * \pi^2}{\lambda^2}}$$

$$E = \sqrt{\frac{2,137 \text{ pW} * 4 * 80 * \pi^2}{0,33^2}} = 0,248 \text{ mV/m}$$

- **Densidad de potencia radiada**

$$\varphi = \frac{E^2}{120\pi}$$

$$\varphi = \frac{(0,248 \text{ mV/m})^2}{120\pi} = 0,163 \text{ nW/m}^2$$

Una vez calculada la intensidad de campo se calculó la densidad de potencia recibida, para finalmente calcular la potencia que será radiada para que alcance una distancia de 1,5m.

- **Potencia radiada**

$$Pt = \frac{\varphi * 4 * \pi * R^2}{D}$$

$$Pt(1,5\text{m}) = \frac{0,163 \text{ nW/m}^2 * 4 * \pi * 1,5^2}{1,64} = 2,81 \text{ nW}$$

- **Potencia de watts a dBm**

$$P(dBm) = 10\log_{10}(P(mW))$$

$$P(dBm) = 10\log_{10}(0,00000281)$$

$$Pt(dBm) = -55,51dBm$$

La potencia con la que se radiará la señal es de -55,51 dBm, con ello se logrará un alcance de 1,5m; distancia suficiente para cubrir un área determinada de la institución.

Parámetros de Frecuencia del Jammer

En este factor se toma en cuenta el espectro en el que se realiza el bloqueo, en este caso es en las bandas de los 850MHz y 900 MHz, debido a que en estas frecuencias se realiza la comunicación de voz, transferencia de datos y mensajes de texto para las operadoras móviles de mayor acogida en el Ecuador que son Movistar y Claro.

Para predecir la zona de cobertura del jammer se utilizó el modelo ITU para interiores basándose en la ecuación 2.13.

En la Tabla 4.3 Se indican los parámetros típicos basados en el resultado de algunas medidas que se han realizado.

Tabla 4. 2 Coeficiente de pérdida de potencia "n" para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores.

Frecuencia	Edificio Residencial	Edificio de Oficinas	Edificio Comercial
900MHz	-	3,3	2,0
1,2-1,3 GHz	-	3,2	2,2
1,8-2,0 GHz	28	3,0	2,2
4GHz	-	2,8	2,2
60GHz	-	2,2	1,7

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/soriano_m_jc/capitulo2.pdf

En la Tabla 4.3. Se muestran los factores de pérdida de penetración en el suelo, L_f (dB), siendo n el número de pisos penetrados para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores.

Tabla 4. 3 Factor de pérdida de penetración en el suelo L_f (dB)

Frecuencia	Edificio Residencial	Edificio de Oficina	Edificio Comercial
900MHz	-	9 (1piso) 19 (2pisos) 24 (3pisos)	-
1,8-2,0GHz	4n	15+4(n-1)	6+3(n-1)

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/soriano_m_jc/capitulo2.pdf

Los datos que se tiene de acuerdo al modelo ITU para interiores se detallan en la Tabla 4.4

Tabla 4. 4 Modelo ITU para interiores.

d(m)	L_p (dBm)	P_{rx} (dBm)
0,1	11,7895493	0,21045067
0,2	19,6163292	-7,61632921
0,3	24,1947019	-12,1947019
0,4	27,4431091	-15,4431091
0,5	29,9627694	-17,9627694
0,6	32,0214818	-20,0214818
0,7	33,7620984	-21,7620984
0,8	35,269889	-23,269889
0,9	36,5998546	-24,5998546
1	37,7895493	-25,7895493
2	45,6163292	-33,6163329
3	50,1947019	-38,1947019
4	53,4431091	-41,4431091
5	55,9627694	-43,9627694
6	58,0214818	-46,0214818
7	59,7620984	-47,7620984
8	61,269889	-49,269889
9	62,5998546	-50,5998546
10	63,7895493	-51,7895493

Fuente: Investigador

En la Figura 4.6 se puede observar que mientras mayor sea la distancia, mayor será la atenuación de la señal.

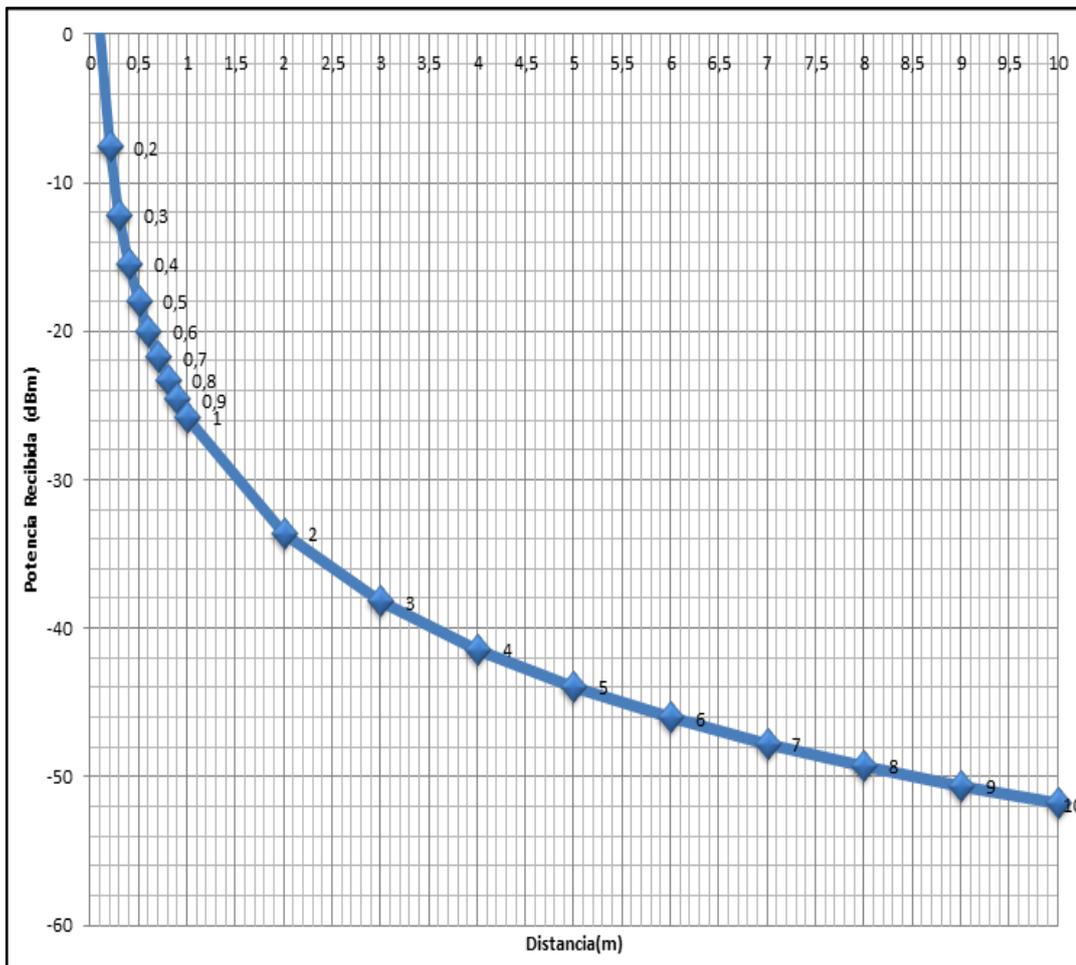


Figura 4. 6 Gráfica del modelo ITU para interiores

Fuente: investigador

Tipo de antena

Una vez analizado los diferentes tipos de antenas que existen se utilizaron una antena omnidireccional, debida a que irradia energía en todas las direcciones por igual y en consecuencia tiene un patrón de radiación excelente, ya que es en forma de esfera.

4.5 Diagrama esquemático del circuito

El jammer se compone, básicamente, de un generador y un transmisor. El generador emite una señal que es enviada a través del transmisor, con una potencia determinada

según la necesidad. Esta señal carece de información útil, únicamente, es generada por un oscilador o generador de onda.

Dicha señal al emitirse con mayor potencia que los sistemas de transmisión a interferir, los suprime, evitando que el emisor y el receptor establezcan la comunicación. La Figura 4.7 muestra el diagrama de bloques del jammer.

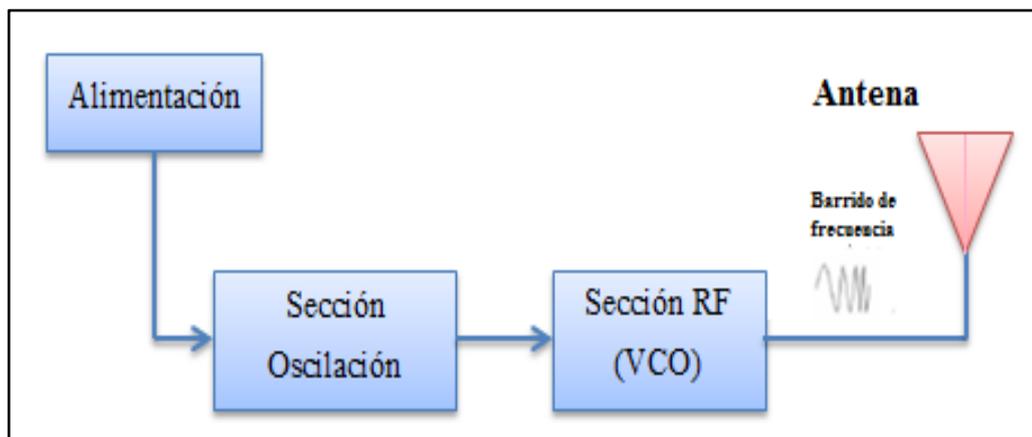


Figura 4. 7 Diagrama de bloques del jammer.

Fuente: Investigador

En la figura 4.8 se puede observar el circuito completo del jammer, con cada una de las etapas que lo compone.

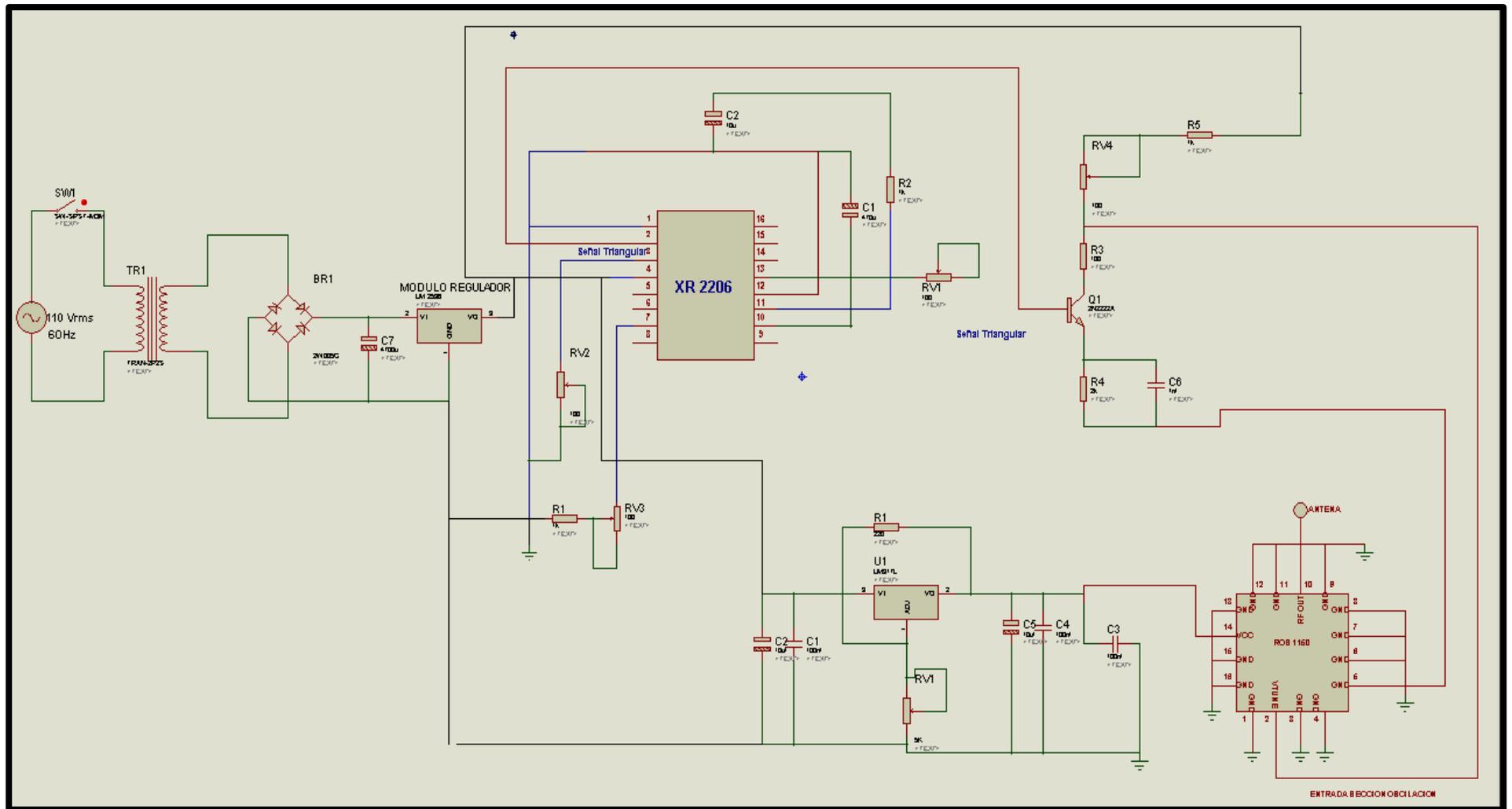


Figura 4. 8 Diagrama General del jammer
Fuente: Investigador.

4.5.1 Fuente de Alimentación

Es un circuito que convierte la tensión alterna en una tensión prácticamente continua, los componentes fundamentales de la fuente de continua, que se han representado en el esquema de bloques de la Figura 4.9.

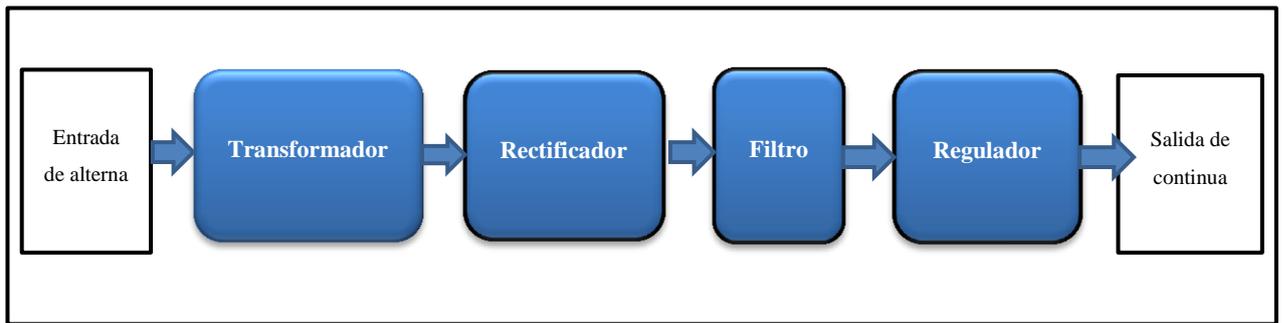


Figura 4. 9 Esquema de la fuente de alimentación.

Fuente: Investigador

Una fuente de alimentación consta de las siguientes secciones:

Transformador

Adecua la tensión alterna a valores apropiados a la tensión de continua que se desea obtener al final de la fuente de alimentación, el transformador es un dispositivo eléctrico que consta de una bobina de cable situada junto a una o varias bobinas, y que se utiliza para unir dos o más circuitos de corriente alterna aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas.

Rectificador

Transforma en unidireccional la tensión bidireccional (o alterna). Para esta etapa de rectificación de onda se utiliza un puente de diodos, el mismo que será colocado en los terminales +12V y -12V del transformador

Filtrado

La corriente continua que se ha obtenido en el proceso de rectificación se la debe mejorar para lograr una corriente continua libre de fluctuaciones de amplitud.

Para realizar los cálculos del capacitor se debe toma en cuenta que el voltaje que proviene del transformador que es de 12V.

$$V_{max} = \sqrt{2} * V_o$$

$$V_{max} = \sqrt{2} * 12V$$

$$V_{max} = 17V$$

Para obtener el voltaje máximo total se debe restar el voltaje consumido por los diodos (0,7V por cada diodo), por lo que se restara 1,4 V debido a que funcionan 2 diodos por cada ciclo.

$$V_{max} = 17V - 1,4V$$

$$V_{max} = 15,6V$$

Para determinar el valor del condensador se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$C = \frac{5 * I}{f * V_{max}}$$

$$C = \frac{5 * 1A}{120MHz * 15,6V}$$

$$C = 2670uf$$

Para esta etapa de la fuente se colocó un capacitor de 4700uf.

Regulador

En la etapa de regulación se colocó un módulo Convertidor de Voltaje DC-DC Ajustable LM2596 que se muestra en la figura 4.10. Este módulo permite visualizar en los displays, tanto la entrada como la salida de voltaje.

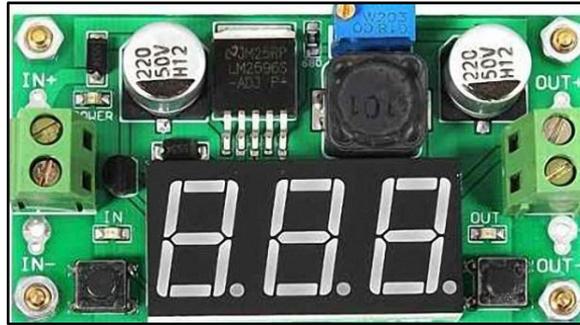


Figura 4. 10 Módulo Regulador de Voltaje LM2596

Fuente: electropro.pe/index.php?route=product/product&product_id=100

Las características de este módulo son las siguientes:

Voltaje de entrada: DC 3.2-40V.

Voltaje de salida: DC 1.25-35V.

Corriente de salida: 3A (Pico), para trabajar con 2.5A por mucho tiempo se recomienda usar un disipador de calor.

Frecuencia de conmutación: 150KHz.

Ripple de salida: 30mV (max).

Rectificación: Asíncrona.

Dimensiones: 48 x 23 x 14 mm.

La fuente que se utilizó en el proyecto es regulable debido a la facilidad para manipular el voltaje que se requiere para alimentar la etapa de oscilación.

4.5.2 Circuito Sintonizador

El circuito sintonizador es el que se encarga de suministrar el voltaje de entrada al Oscilador Controlado por Voltaje (VCO), esto lo realiza a través de una onda de diente de sierra, debido a que este tipo de señal posee variaciones de voltaje lineales entre sus voltajes pico. Así se logra que el barrido que realiza el VCO sea más uniforme.

Integrados generadores de señales.

En el mercado existen múltiples circuitos integrados generadores de señal, en la Tabla 4.5 se detallan tres tipos de generadores con sus respectivas características.

Tabla 4.5 Características de los circuitos integrados generadores de señal

Elemento		Características
XR 8038		<p>Tensión de alimentación: 10V a 30V Corriente de alimentación: 30mA Formas de onda de salida: senoidal, cuadrada y triangular Frecuencia de trabajo: 0,001Hz-200KHz Amplitud de la salida: Variable hasta 5V Amplitud máxima de las señales triangulares: 5V Amplitud máxima de las señales rectangulares: 5V Amplitud máxima de las señales senoidales: 5V</p>
XR 2206		<p>Tensión de alimentación: 10V a 26V Corriente de alimentación: 12 y 17mA Formas de onda de salida: senoidal, cuadrada, triangular y rampa Frecuencia de trabajo: 0.01 Hz-1MHz Amplitud de la salida: Variable hasta 5V Amplitud máxima de las señales triangulares: 3V Amplitud máxima de las señales rectangulares: 6V Amplitud máxima de las señales senoidales: 0,8V</p>
IC 741		<p>Tensión de alimentación: +/-18 V Corriente de alimentación: 1.7 a 2.8 mA Formas de onda de salida: senoidal, cuadrada, triangular Frecuencia de trabajo: 1MHz Amplitud de la salida: Variable hasta 5V Amplitud máxima de las señales triangulares: 4V Amplitud máxima de las señales rectangulares: 4V Amplitud máxima de las señales senoidales: 4V</p>

Fuente: Investigador.

Integrado seleccionado para el inhibidor de señal

Una vez analizadas las características del XR 8038, el XR 2206 y el IC741, se concluye que para esta etapa del jammer lo más apropiado es utilizar el circuito integrado XR 2206, debido a que es un generador de funciones en circuito integrado monolítico, que puede producir formas de onda de alta calidad de tipo senoidal, cuadradas, triangular, en rampa y de pulso con alto grado de estabilidad y exactitud.

Dichas formas de onda de salida del XR2206 se pueden modular tanto en amplitud como en frecuencia con una señal moduladora externa; la frecuencia de operación se puede seleccionar externamente dentro del intervalo de 0.01 Hz hasta más de 1Mhz.

Para comprender las funciones de los pines y los controles del circuito, se considera el circuito de prueba básica para el XR 2206 que se muestra en la Figura 4.11 que es obtenida de la hoja de datos del elemento (Ver Anexo 1). [34]

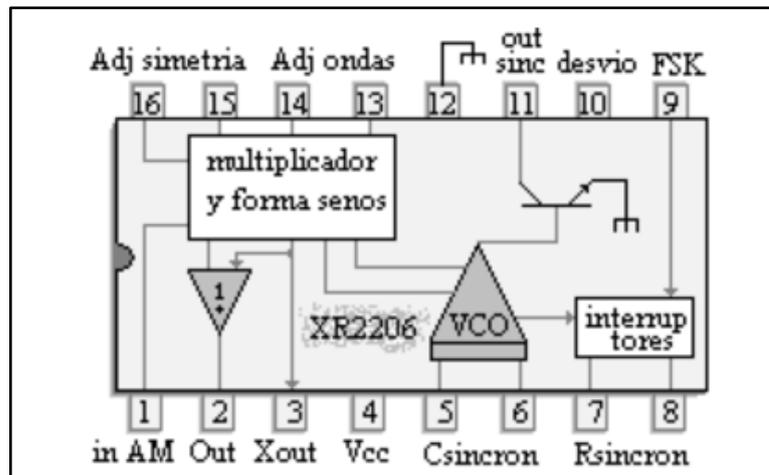


Figura 4. 11 Diagrama de bloques del generador monolítico de funciones XR 2206.

Fuente: www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/619/A6.pdf?sequence=6

El generador de funciones está formado por cuatro bloques funcionales que son:

- Un oscilador controlado por voltaje.(VCO)
- Un multiplicador y conformador senoidal analógico.
- Un amplificador separador de ganancia unitaria.
- Un conjunto de interruptores de corriente de entrada.

El VCO de este generador funciona por medio de un sistema no lineal, formado por un integrador y un comparador con histéresis. Un capacitor toma la función del integrador, alimentado por una fuente de corriente, la cual cambia de sentido de acuerdo a la salida del comparador, que a su vez compara el valor de tensión entre las terminales del capacitor. Por lo tanto, la frecuencia de este oscilador depende de la magnitud de la corriente y del capacitor utilizado. [34]

Como el VCO entrega una frecuencia proporcional a la corriente, ésta es regulada desde el módulo de interruptores de corriente con resistencias externas; lo cual nos permite colocar un potenciómetro en la terminal siete del XR2206 para variar la frecuencia

La frecuencia de salida se puede cambiar entre f_1 y f_2 tan solo cambiando el voltaje en la terminal 9. Las fórmulas para determinar las dos frecuencias de operación son:

$$f_1 = \frac{1}{R_1 C} , f_2 = \frac{1}{R_2 C}$$

Dónde:

R_1 : Resistor conectado con la terminal 7

R_2 : Resistor conectado con la terminal 8

La salida de onda triangular o sinusoidal se toma en el 2. Los pines 13 y 14 son los puntos de ajuste de forma de onda donde el interruptor S1 está cerrado, la forma de onda sinusoidal está disponible en el pin 2. Con potenciómetro conectado al pin 13, la distorsión armónica total se puede ajustar. La simetría de forma de onda se ajusta variando el potenciómetro conectado entre los pines 15 y 16. La configuración seleccionada para el funcionamiento del XR-2206 es la que se muestra en la Figura 4.12.

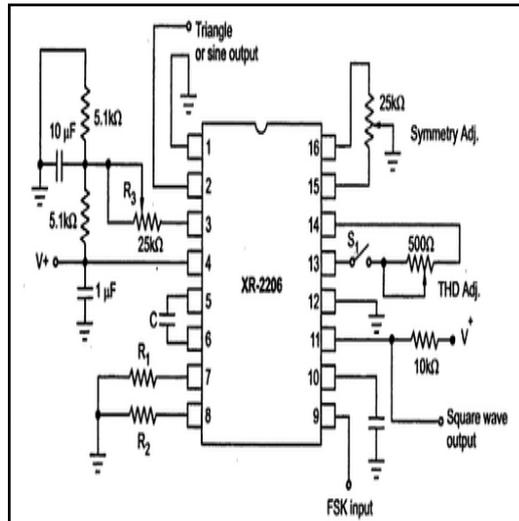


Figura 4. 12 Configuración utilizada del XR2206.

Fuente: www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/619/A6.pdf?sequence=6

En la tabla 4.6 se puede observar una descripción de los terminales del XR 2206.

Tabla 4. 6 Esquema de conexiones del XR 2206

#Pin	Uso	Tipo
1	-Vcc	Entrada
2	Salida de la señal triangular y sinusoidal	Salida
3	Ajuste de amplitud	Salida
4	Vcc	
5	Capacitor de frecuencia	Entrada
6	Capacitor de frecuencia	Entrada
7	Resistencia de frecuencia	Salida
8	NC	
9	NC	
10	Referencia de voltaje interno	Salida
11	Salida de la señal cuadrada	Salida
12	-Vcc	
13	Ajuste de forma de onda	Salida
14	Ajuste de Forma de onda	Salida
15	NC	
16	NC	

4.5.3 Acondicionamiento de la señal

Para que el VCO oscile dentro de la banda de frecuencia que se requiere (850Mhz-900Mhz), es necesario realizar un ajuste del nivel de referencia de la señal triangular, para ello se utilizó el transistor 2N2222.

El transistor 2N2222 es de tipo NPN de baja potencia, el mismo que sirve tanto para aplicaciones de amplificación como de conmutación, además puede amplificar pequeñas corrientes a tensiones pequeñas o medias y trabajar a frecuencias medianamente altas que está dentro de los 300 MHz.

Las principales características del 2N2222 se presentan en la Tabla 4.7 que se obtienen de la hoja de datos del elemento (Ver Anexo 2). [35]

Tabla 4. 7 Características del transistor 2N2222.

Voltaje colector emisor en corte	60 V (V_{ce0})
Corriente de colector constante	800mA (I_c)
Potencia total disipada	500mW(P_d)
Ganancia o hfe	35 mínima
Frecuencia de trabajo	300Mhz (F_t)
Tiempo de respuesta	250 ns

Fuente: Investigador

Curva característica de salida

La figura 4.13 muestra la curva característica de I_c vs V_{ce} para el transistor 2N2222, esta curva permite determinar el punto de trabajo del transistor bipolar (es decir, las tensiones y las corrientes en el mismo) una vez polarizado.

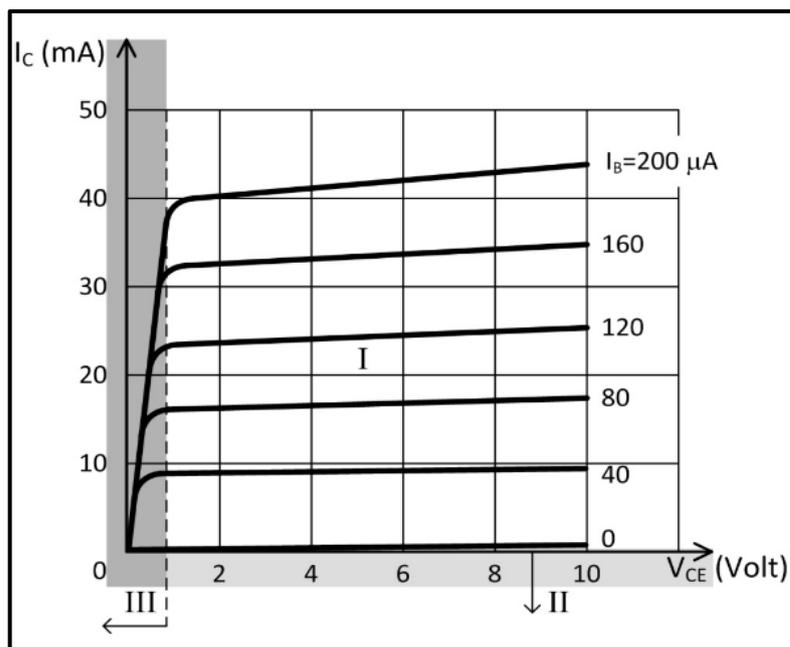


Figura 4. 13 Curva característica de I_c vs V_{ce} para el transistor 2N2222

Fuente: <http://www.nexoformacion.es/admon/ficheros/fck/file/Polarizacion4.pdf>

Para realizar el diseño se tomaron valores de resistencia de 1,5K para emisor y 2K para colector para que no sobrepasen la región saturación del transistor. Para ello se realizan los siguientes cálculos de corriente y potencia.

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c + R_E}$$

$$I_c = \frac{16V}{2K + 1,5K} = 4,57mA$$

$$P_{cmax} = (V_{CE})(I_C)$$

$$P_{cmax} = (16V)(4,57mA) = 73,12mW$$

Con los resultados obtenidos se puede deducir que el transistor trabajará de manera adecuada debido a que los valores no se sobrepasan el máximo nivel de potencia dado por el fabricante

4.5.4 Sección RF

La sección RF es la parte primordial del proyecto, es donde finalmente se tendrá la señal a ser radiada por el *jammer*. Esta parte está constituida por un oscilador controlado por voltaje (VCO), una línea de transmisión y una antena. Además las interfaces (conectores) comprendidas entre la línea de transmisión y la antena, como se muestra en la Figura 4.14.

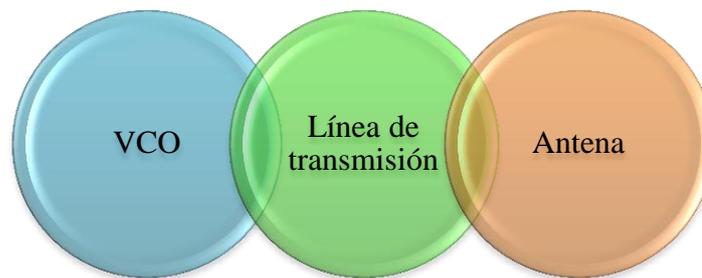


Figura 4. 14 Diagrama de bloques de la sección RF

Fuente: Investigador

- **VCO (Oscilador Controlado por voltaje)**

El centro medular del jammer es el oscilador controlado por voltaje. Un Oscilador Controlado por Voltaje o VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) es un dispositivo electrónico que usa amplificación, realimentación y circuitos resonantes que da a su salida una señal eléctrica de frecuencia proporcional a la tensión de entrada. Típicamente esa salida es una señal sinusoidal, aunque en VCO's digitales es una señal cuadrada.

Un oscilador controlado por voltaje es un oscilador en el cual dependiendo del voltaje de entrada, será la frecuencia de oscilación a la salida, es por ello que el VCO necesita tener un suministro continuo de voltaje en la entrada para que pueda generar una frecuencia de oscilación en la salida.

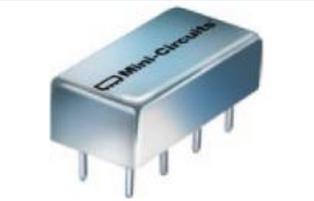
Cuando la entrada es 0V, el VCO tiene una señal con una frecuencia llamada frecuencia libre de oscilación y ante variaciones de la entrada, sube o baja la frecuencia de su

salida de forma proporcional. Una aplicación típica de los VCO es generar señales moduladas en frecuencia (FM).

En el mercado existen múltiples circuitos osciladores controlados por voltaje, los mismos que son analizados en la Tabla 4.8 y dependiendo las características se elige un circuito para el desarrollo del proyecto.

Tabla 4. 8 Características de los VCO's

Elemento	Gráfico	Características
JTOS-2000		<p>Frecuencia de operación: Mínima:1370 MHz Máxima:2000MHz Potencia de Salida: 12 dBm Voltaje de alimentación: 12V Corriente de alimentación: 30mA Tensión de sintonización:1 a 22V</p>
VCO DCMO 80210-10		<p>Frecuencia de operación: Mínima:800 MHz Máxima:2100MHz Potencia de Salida: 6 dBm Voltaje de alimentación: 10V Corriente de alimentación: 35mA Tensión de sintonización:0.5 a 24V</p>

<p>ROS-1150-519+</p>		<p>Frecuencia de operación: Mínima: 750 MHz Máxima: 1150MHz Potencia de Salida: 7 dBm Voltaje de alimentación: 5V Corriente de alimentación: 35mA Tensión de sintonización: 0,5 a 13,5V</p>
<p>ROS-2000-1419+</p>		<p>Frecuencia de operación: Mínima: 1720 MHz Máxima: 2000MHz Potencia de Salida: 6 dBm Voltaje de alimentación: 10V Corriente de alimentación: 30mA Tensión de sintonización: 1 a 10 V</p>
<p>POS 1060</p>		<p>Frecuencia de operación: Mínima: 750 MHz Máxima: 1060MHz Potencia de Salida: 12dBm Voltaje de alimentación: 10V Corriente de alimentación: 30mA Tensión de sintonización: 1 a 20 V</p>

Fuente: Investigador

VCO seleccionado para la aplicación

Al realizar el análisis de los Osciladores Controlados por voltaje, se elige el ROS-1150-519+ de MINICIRCUITS, el cual teóricamente hace un barrido de 750 MHz a 1150 MHz con una potencia de salida típica de 7dBm, favoreciendo así a las condiciones que se requieren para la implementación del proyecto.

VCO ROS-1150-519+

El voltaje que se va a suministrar para el barrido en frecuencias es de 0 a 13.5 V, con lo que se consigue frecuencias de salida desde 600 MHz hasta 1300MHz; espectro de frecuencia que cubre las bandas GSM de la telefonía móvil celular del Ecuador, Claro y Movistar (850 MHz). La figura 4.15 muestra el VCO ROS-1150-519+.

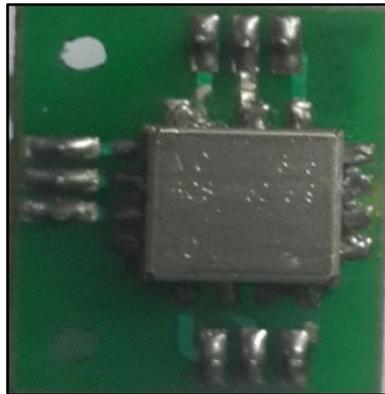


Figura 4. 15 VCO ROS-1150-519+

Fuente: Investigador

En la Tabla 4.9 y la Figura 4.16 se muestran las características de tensión del VCO ROS-1150-519+ y su frecuencia de salida que son obtenida de la hoja de datos del elemento que se encuentra en el Anexo 3, en la cual se observa que el voltaje de sintonización deberá ser variado entre 5.5 y 7.5 Voltios aproximadamente para cubrir el espectro de frecuencia deseado en la banda de 850MHz. [36]

Tabla 4. 9 Relación entre el voltaje sintonizador y la frecuencia de salida para el ROS-1150-519+.

Voltaje Tune(V)	Frecuencia (MHz)		
	-55°C	+25°C	+85°C
0.00	686.5	673.8	663.4
0.50	713.8	702.8	693.9
1.00	738.0	727.4	718.9
1.50	760.3	750.1	741.8
2.00	781.0	771.2	763.3
2.50	800.8	791.3	783.5
3.50	838.8	829.8	822.4
4.50	877.1	867.7	860.2
5.50	915.7	906.2	898.6
6.50	956.0	946.0	937.9
7.50	996.8	987.4	979.6
8.50	1040.0	1030.1	1022.2
9.50	1085.1	1074.8	1066.6
10.50	1130.9	1120.0	1111.5
11.00	1153.4	1142.1	1133.4
11.50	1175.7	1163.8	1155.1
12.00	1197.2	1185.1	1176.3
12.50	1218.0	1205.5	1196.7
13.00	1238.6	1225.6	1216.4
13.50	1258.5	1244.9	1235.6

Fuente: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ROS-1150-519+.pdf>.

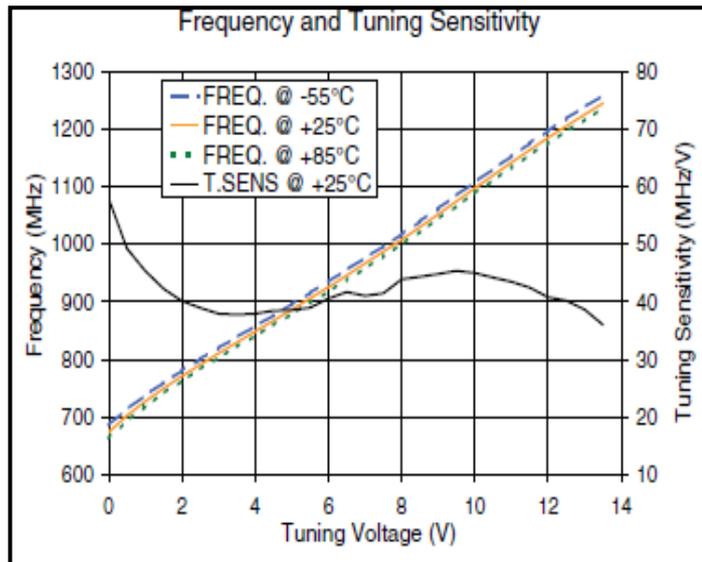


Figura 4. 16 Diagrama Vdc vs Frecuencia del VCO ROS-1150-519+.

Fuente: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ROS-1150-519+.pdf>.

Hay que tomar en cuenta que al realizar este barrido de frecuencias se van a ver afectadas bandas intermedias, en la Tabla 4.10 se muestran las asignaciones otorgadas en estas frecuencias. Después de analizar esta tabla se concluye que las bandas afectadas no son utilizadas en sitios donde se pretende anular la comunicación telefónica móvil.

Tabla 4. 10 Asignación de frecuencias (Plan Nacional de Frecuencias MINTEL).

Frecuencia (MHz)	Asignación
614 – 806	Radio difusión
890 – 902	Móvil aeronáutico, radio localización
1215 – 1300	Exploración de la tierra por satélite
1518 – 1559	Móvil por satélite (espacio – tierra)
1668 – 1668.4	Móvil por satélite (tierra – espacio)
1668.4 – 1670	Ayuda a la meteorología, móvil por satélite

Fuente: Investigador

Si se desea realizar el bloqueo para la señal de CNT sería recomendable utilizar el VCO ROS-2000, el mismo que se muestra en la figura 4.17. El voltaje para el barrido en frecuencias es de 0 a 10 V, con lo que se consigue frecuencias de salida desde 1720 MHz hasta 2000 MHz; espectro de frecuencia que cubre la telefonía móvil celular del Ecuador, CNT (1900 MHz)

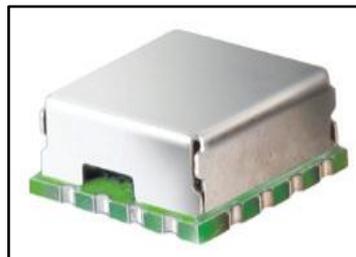


Figura 4. 17 VCO ROS-2000

Fuente: Investigador

En la Tabla 4.11 y la Figura 4.18 se muestran las características de tensión del VCO ROS-2000 y su frecuencia de salida que se obtuvo de la hoja de datos de elemento (Ver Anexo 4), en las mismas que se puede observar que el voltaje de sintonización deberá ser variado entre 5.5 y 7.5 voltios aproximadamente para cubrir el espectro de frecuencia en la banda de 1900MHz [37].

Tabla 4. 11 Relación en el voltaje sintonizador y la frecuencia de salida para el ROS-2000-419+.

Voltaje de entrada (V)	Frecuencia (MHz)		
	-55°C	+25°C	+85°C
0.00	1566.7	1553.2	1540.3
0.50	1603.4	1590.9	1579.3
1.00	1636.1	1624.0	1612.7
1.50	1666.8	1654.7	1643.5
2.00	1697.1	1684.8	1673.3
2.50	1726.6	1714.4	1702.8
3.00	1756.1	1743.6	1731.8
3.50	1785.7	1772.7	1760.6
4.00	1815.2	1802.2	1790.0
4.50	1844.6	1831.3	1818.8
5.00	1873.7	1860.2	1847.5
5.50	1903.2	1889.2	1876.1
6.00	1931.9	1918.1	1905.0
6.50	1960.5	1946.3	1933.1
7.00	1989.2	1974.7	1961.1
7.50	2017.5	2003.1	1989.4
8.00	2045.2	2030.8	2017.3
8.50	2073.2	2058.4	2044.5
9.00	2101.3	2086.2	2072.2
10.00	2156.2	2141.2	2127.3

Fuente: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ROS-2000-1419+.pdf>.

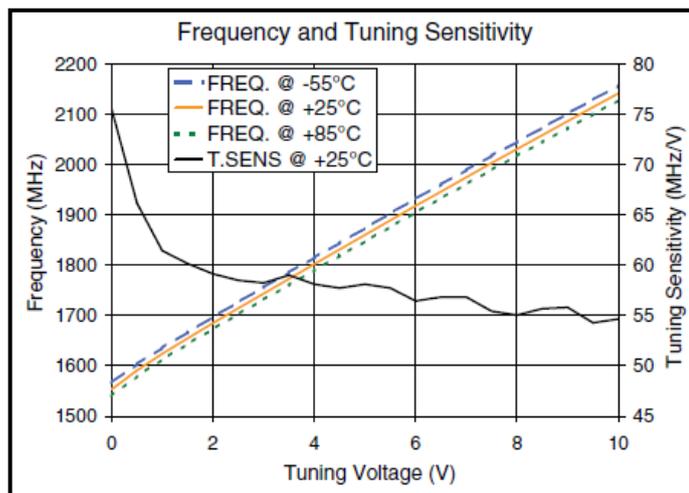


Figura 4. 18 Diagrama Vdc vs Frecuencia del VCO ROS-2000-1419.

Fuente: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ROS-2000-1419+.pdf>.

- **Línea de transmisión**

Existen diferentes tipos de líneas de transmisión, sin embargo para la implementación del circuito sólo se consideró la línea de tipo planar ya que además de permitir transmitir a altas frecuencias, se adapta perfectamente a un circuito impreso.

Como se analizó anteriormente, dentro de este tipo de línea se tiene la microcinta (microstrip), la línea de ranura (stripline) y la guía de onda coplanar (coplanar waveguide).

Para la elaboración de este proyecto se utiliza la guía de onda coplanar ya que es la más apropiada para el diseño del circuito por su adecuación al VCO, dado que este es de montaje superficial y la mayoría de sus terminales van conectadas al plano tierra. La Figura 4.19 muestra un ejemplo de las líneas de tipo coplanar.

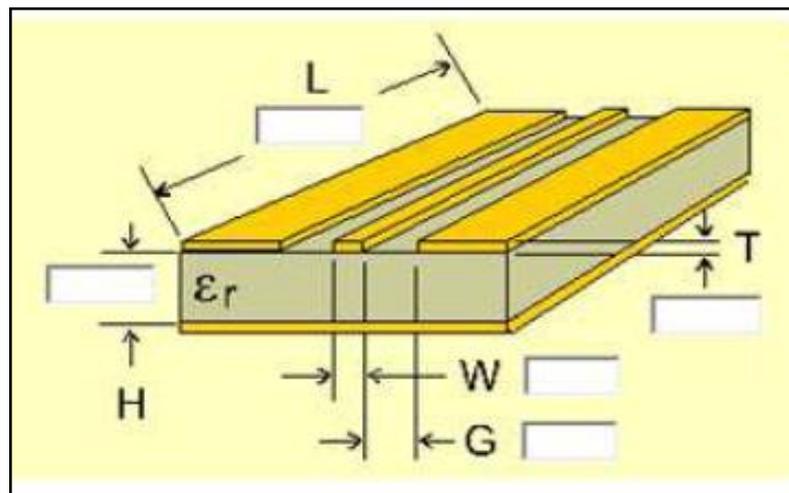


Figura 4. 19 Línea de tipo coplanar

Fuente: Investigador.

Al trabajar con líneas de transmisión sobre un circuito impreso, se debe tener en cuenta el dieléctrico con el que está hecha la placa, ya que su constante dieléctrica, el ancho de la línea y la separación con el plano tierra, determinan la impedancia característica de la línea.

- **Antena:**

La antena es esencial en un transmisor, pues a partir de este punto es donde se irradia toda la señal, esta depende esencialmente de algunos factores como:

- Ancho de banda
- Ganancia (este parámetro es importante ya que influye en el área de cobertura)
- Perdida
- Potencia de transmisión
- Impedancia

Cálculos de la Antena GSM (890MHz-935MHz)

En el rango de los 850MHz y 935MHz se encuentra la señal de Movistar y Claro.

Tomamos como frecuencia promedio la de 900MHz para realizar los cálculos

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8 m/s}{900MHz} = 0,33m$$

$$L \text{ antena} = \frac{\lambda}{4}$$

$$L \text{ antena} = \frac{0,33}{4} = 0,0825 \text{ m}$$

$$L \text{ antena} = 8,25 \text{ cm}$$

La longitud de la antena será de 8,25cm

Simulación de la antena en software 4NEC

Zona de Cobertura de la antena

La zona de cobertura del equipo se determina por la antena transmisora y receptora que posee, para ello se requiere obtener el patrón de radiación que indica la intensidad de

campo electromagnético en relación a la posición en el espacio, este se obtiene al realizar mediciones girando la antena así como se indica en la figura 4.20.

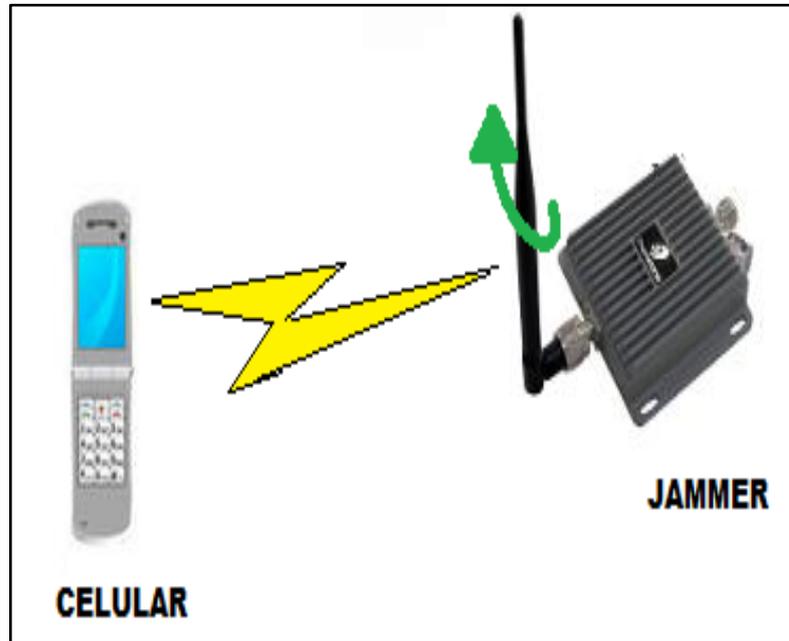


Figura 4. 20 Zona de cobertura

Fuente: Investigador

Para observar el patrón de radiación de la antena utilizamos el programa 4NEC2

- **Polarización Vertical**

En el software 4 NEC2 se debe colocar los parámetros de la antena para poder simular el patrón de radiación de la misma.

En la figura 4.21 se puede observar el patrón de radiación en el plano vertical, en el cual se puede apreciar la ganancia de la antena que es de 0,9dbi o 60,9 V/m.

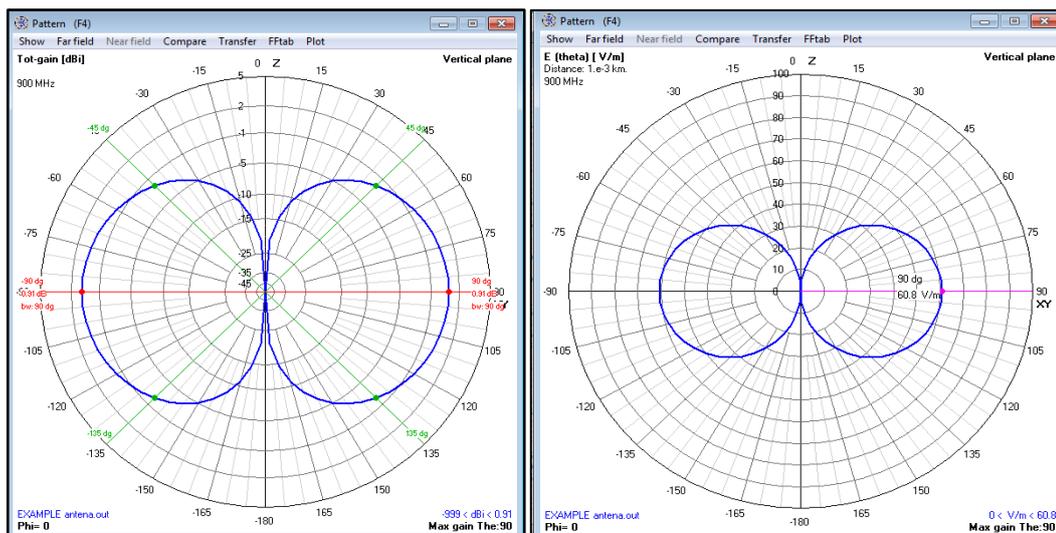


Figura 4. 21 Patrón de radiación en el plano Vertical

Fuente: 4NEC2

Los datos del patrón de radiación se generan en el mismo programa al realizar un click en Plot Opción 3D plot como se observa en la Figura 4.22.

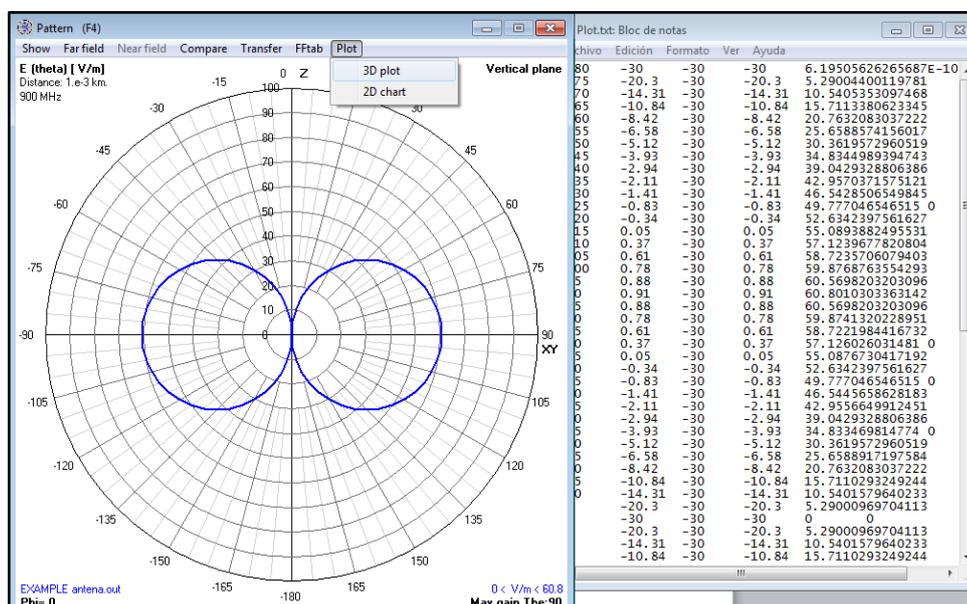


Figura 4. 22 Generación de valores en 4NEC2

Fuente: 4NEC2

Allí se muestra la potencia en V/m del patrón de radiación de acuerdo a los grados de inclinación de la antena; los datos obtenidos se detallan en la Tabla 4.12.

Tabla 4. 12 Datos generados en 4NEC2 con la ganancia de la antena.

Grados	Ganancia(dBi)	Intensidad de potencia (V/m)
-180	-30	6,1950E-10
-175	-20.3	5,290044
-170	-14.31	10,540535
-165	-10.84	15,711338
-160	-8.42	20,763208
-155	-6.58	25,658857
-150	-5.12	30,361957
-145	-3.93	34,834499
-140	-2.94	39,042933
-135	-2.11	42,957037
-130	-1.41	46,542851
-125	-0.83	49,777047
-120	-0.34	52,634240
-115	0.05	55,089388
-110	0.37	57,123968
-105	0.61	58,723571
-100	0.78	59,876876
-95	0.88	60,569820
-90	0.91	60,801030
-85	0.88	60,569820
-80	0.78	59,874132
-75	0.61	58,722198
-70	0.37	57,126026
-65	0.05	55,087673
-60	-0.34	52,634240
-55	-0.83	49,777047
-50	-1.41	46,544566
-45	-2.11	42,955665
-40	-2.94	39,042933
-35	-3.93	34,833470
-30	-5.12	30,361957
-25	-6.58	25,658892
-20	-8.42	20,763208
-15	-10.84	15,711029
-10	-14.31	10,540158
-5	-20.3	5,290010
0	-30	0,000000
5	-20.3	5,290010
10	-14.31	10,540158

15	-10.84	15,711029
20	-8.42	20,763208
25	-6.58	25,658892
30	-5.12	30,361957
35	-3.93	34,833470
40	-2.94	39,042933
45	-2.11	42,955665
50	-1.41	46,544566
55	-0.83	49,777047
60	-0.34	52,634240
65	0.05	55,087673
70	0.37	57,126026
75	0.61	58,722198
80	0.78	59,874132
85	0.88	60,569820
90	0.91	60,801030
95	0.88	60,569820
100	0.78	59,876876
105	0.61	58,723571
110	0.37	57,123968
115	0.05	55,089388
120	-0.34	52,634240
125	-0.83	49,777047
130	-1.41	46,542851
135	-2.11	42,957037
140	-2.94	39,042933
145	-3.93	34,834499
150	-5.12	30,361957
155	-6.58	25,658857
160	-8.42	20,763208
165	-10.84	15,711338
170	-14.31	10,540535
175	-20.3	52,900440
180	-30	6,1956 E-10

Fuente: Software 4NEC2

Polarización Horizontal

En el software 4NEC2 se puede generar el patrón de radiación en el plano Horizontal, así como se observa en la Figura 4.23, el cual es en forma de esfera ya que por ser una antena omnidireccional irradia en todas las direcciones. El patrón de radiación presenta una ganancia de la antena de 0,91 dbi.

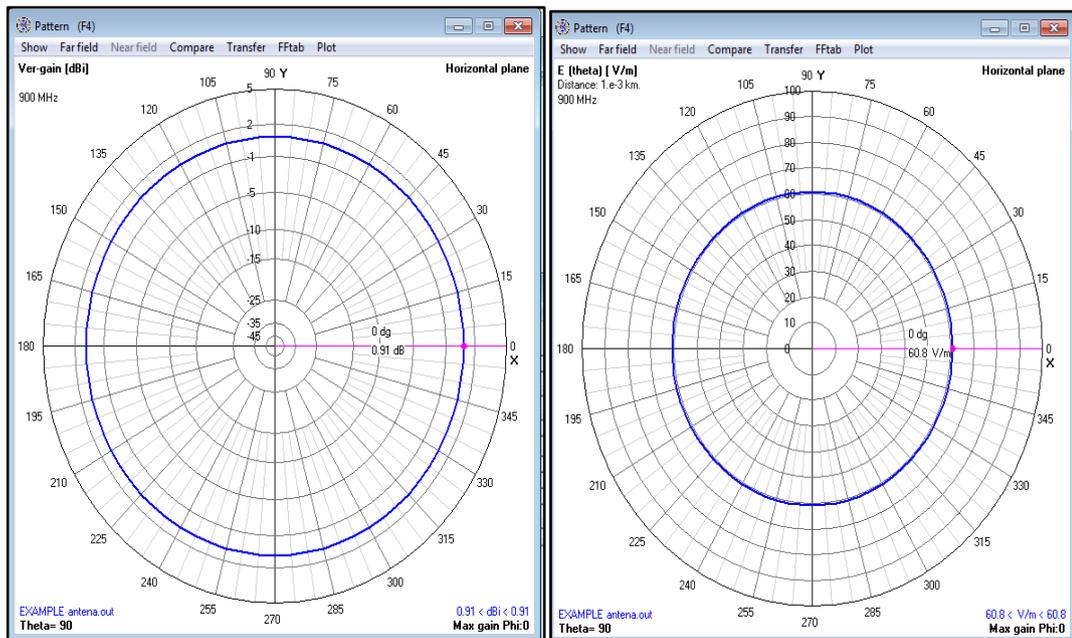


Figura 4. 23 Polarización Horizontal de la antena

Fuente: Software 4NEC2

Patrón de radiación en 3D

Una vez obtenido el patrón de radiación de la antena en el plano horizontal y plano vertical, también se puede generar dicho patrón en 3D como se puede observar en la Figura 4.24, aquí se puede apreciar la ganancia que es de 0,91 dbi.

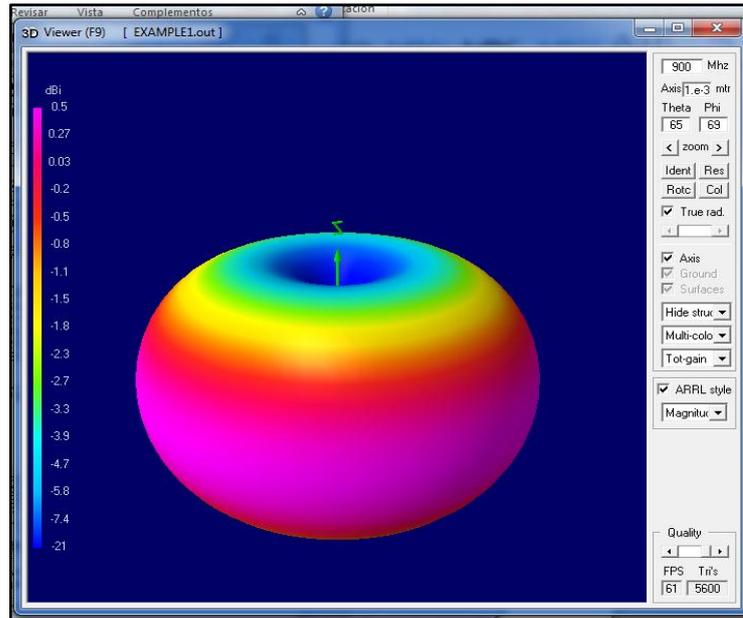


Figura 4. 24 Patrón de radiación de la antena en 3D

Fuente: Software 4NEC2

4.6 Simulación del jammer

4.6.1 Simulación de la fuente de voltaje

Para realizar la simulación de la fuente de voltaje se utilizó el software NI Multisim de National Instrument.

Como lo descrito anteriormente la fuente de voltaje está constituida por cuatro secciones que son la del transformador, la sección de rectificación, la sección de filtrado y la de regulación. Para ello se utiliza un transformador de 24 V, un puente de diodos, un capacitor de 4700 μf ,

La Figura 4.25 representa la simulación de fuente de alimentación que se utiliza para la implementación del jammer.

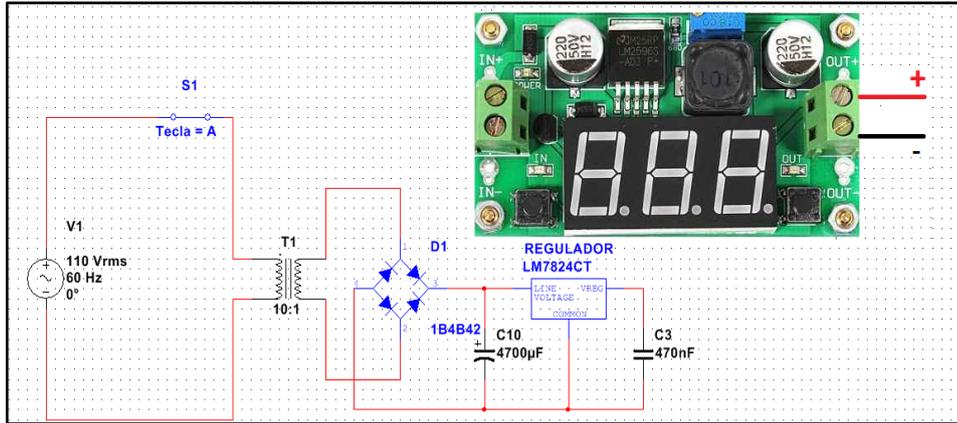


Figura 4. 25 Simulación de la fuente de voltaje

Fuente: Investigador

4.6.2 Simulación de la sección de oscilación.

Para la sección de oscilación del inhibidor se utiliza el circuito integrado XR 2206, en la figura 4.26 se muestra la simulación del circuito encargado de generar la onda triangular, para la cual se utilizan los valores sugeridos por el fabricante, cambiando el potenciómetro de 500 ohms por un potenciómetro de 1K Ω , para tener mayor rango de ajuste en el conformador de onda.

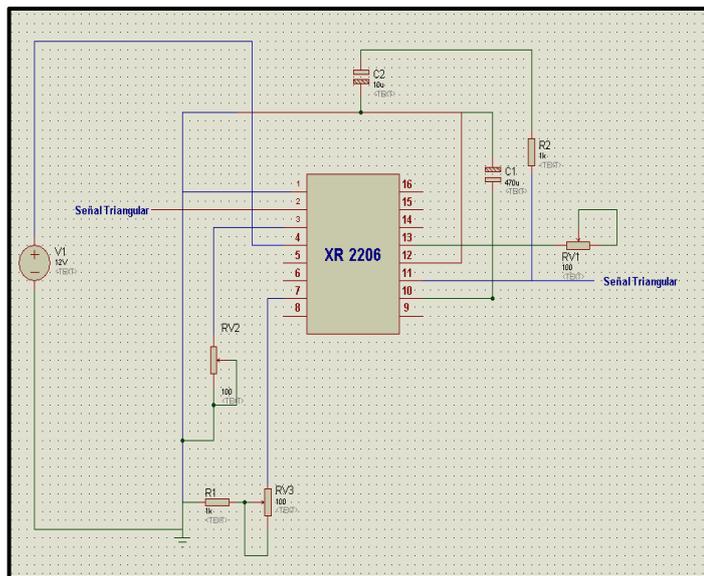


Figura 4. 26 Circuito generador de la onda triangular

Fuente: Investigador

En la Figura 4.27 se puede observar los resultados de la simulación visualizados en el osciloscopio, el cual muestra la señal triangular generada por el circuito. Ahí se puede apreciar que se obtiene 3,84 V como voltaje mínimo y 5,34 V como voltaje máximo.

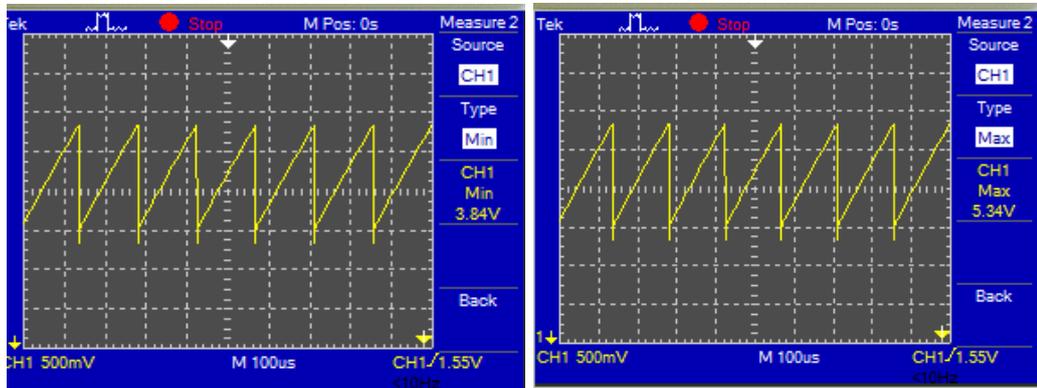


Figura 4. 27 Salida del generador de onda triangular.

Fuente: Investigador

En la figura 4.28 además de mostrar los ajustes realizados al generador de funciones para simular la onda triangular también presenta la configuración que se utiliza para la simulación del transistor 2N2222.

Para realizar el circuito de ajuste de la señal se requiere un arreglo de resistencias en serie en la parte del colector del transistor 2N2222, entre ellas un potenciómetro 500Ω, una resistencia de 100Ω, una resistencia de 1KΩ; en la parte del emisor se tiene una resistencia de 2KΩ, y un capacitor de 1nf.

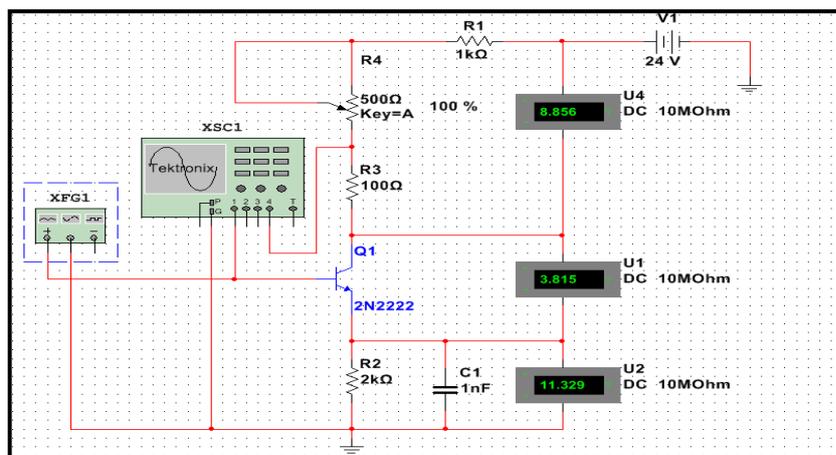


Figura 4. 28 Circuito generador de ruido.

Fuente: Investigador

El regulador LM 317 es un regulador de tensión positivo con sólo 3 terminales y con un rango de tensiones de salida desde los 1.25 hasta 37 voltios, en el proyecto el regulador controla el voltaje que entra al circuito RF, que en este caso debe ser de 8V que es el voltaje con el que trabaja el VCO.

4.7 Armado de los circuitos del sistema electrónico

Una vez desarrolladas las simulaciones en el programa electrónico se procede a armar los circuitos de cada una de las etapas del inhibidor. La primera sección que se desarrolla es la fuente de alimentación que nos da un voltaje regulable de 0 a 16 V suficiente para alimentar la sección de oscilación.

La próxima etapa a armar es la etapa del circuito generador de la onda triangular junto con el de ajuste de señal, conformando así la sección de oscilación, la misma que debe generar la señal adecuada para que ingrese al VCO y allí se pueda realizar el barrido de la señal.

En la Figura 4.31 se observa el circuito generador de onda y en la Figura 4.32 la visualización de la misma en el osciloscopio, el voltaje pico-pico que se tiene es de 4,80 V, así también el voltaje máximo es de 9,3 V y con un voltaje mínimo de 4,20V y la frecuencia a la que está operando es de 59,59 KHz



Figura 4. 31 Circuito Generador de onda triangular

Fuente: Investigador

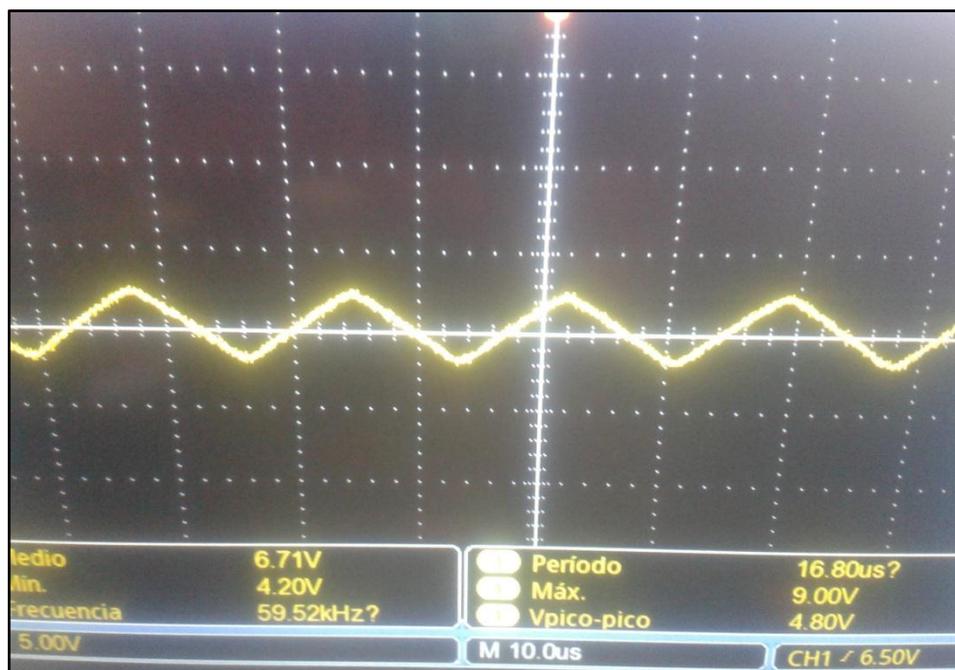


Figura 4. 32 Salida del Circuito Generador de onda triangular visualizada en el osciloscopio

Fuente: Investigador

Además se realiza el armado del circuito de ajuste de voltaje que se representa en la Figura 4.33, el mismo que tiene como elemento principal el transistor 2N2222

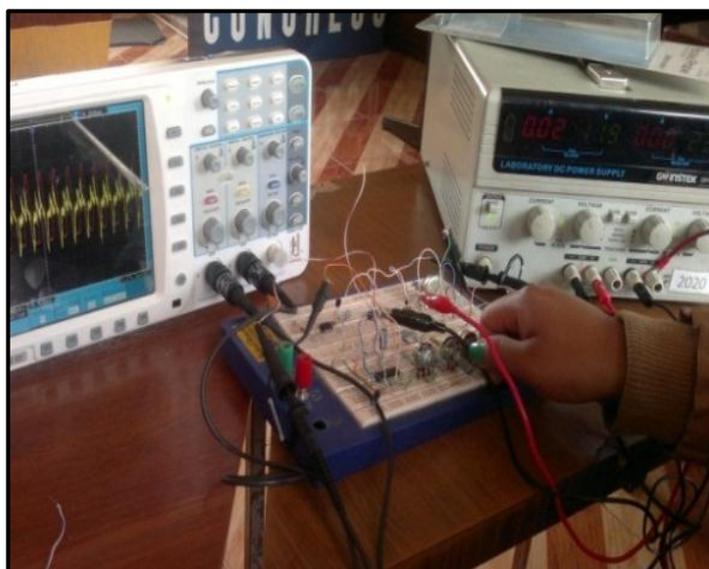


Figura 4. 33 Circuito ajuste de señal.

Fuente: Investigador

Además en la Figura 4.34 se muestra la salida en el osciloscopio de las formas de onda de dicho circuito, en el que se puede apreciar que la frecuencia a la que está trabajando el transistor 2N2222 es de 57,40 KHz, la onda posee un voltaje máximo de 4V y un voltaje mínimo de 2,62 V

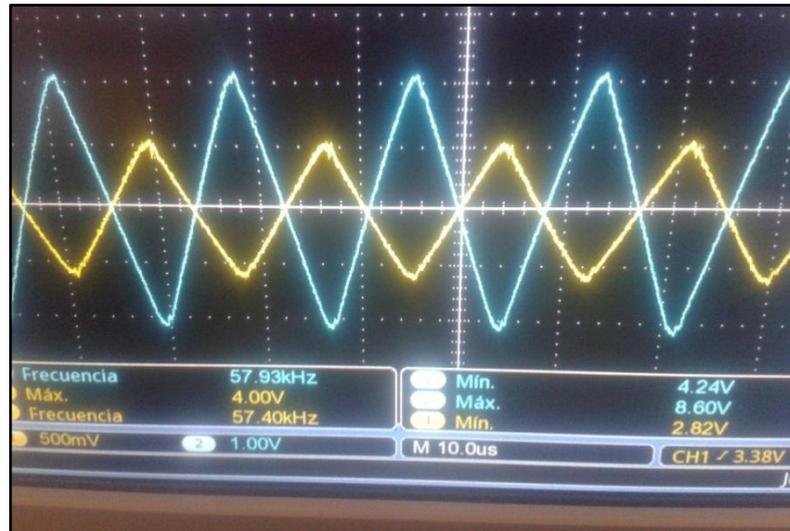


Figura 4. 34 Salida del circuito ajuste de señal.

Fuente: Investigador.

4.8 Proceso de fabricación del inhibidor

- **Construcción de la sección de alimentación y oscilación**

Una vez comprobado el funcionamiento de la sección de alimentación y oscilación en el protoboard se procedió a la fabricación de la placa electrónica del circuito inhibidor. En las Figuras 4.35 y 4.36 se puede observar la placa con todos los componentes soldados, en la cual se incluye un regulador con voltímetro.

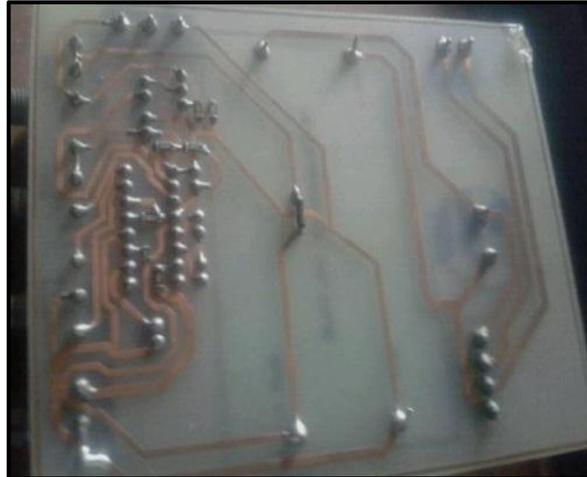


Figura 4.35 Parte posterior del circuito.

Fuente: Investigador



Figura 4.36 Parte delantera del circuito impreso.

Fuente: Investigador

El regulador de voltaje se introdujo en la placa debido a la facilidad que brinda para observar y regular el voltaje con el que se alimenta el circuito

- **Construcción de la sección RF**

En la Figura 4.37 se observa las pistas para la elaboración de la etapa de RF diseñada en Proteus Professional en la que comprenden todos los elementos de esta sección, además de la línea de transmisión necesaria para la antena.

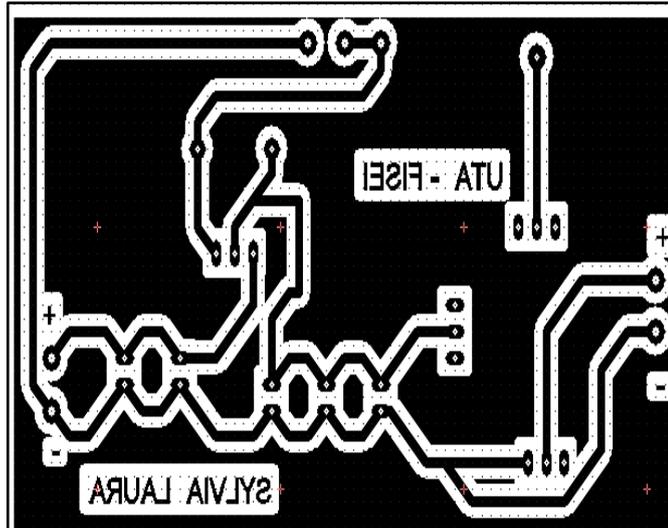


Figura 4. 37 Pistas para el circuito de la sección RF.

Fuente: Investigador

Una vez realizada las pistas se procede a hacer la placa en la baquelita. En la figura 4.38 y Figura 4.39 se muestra la parte posterior y delantera respectivamente de la placa de la etapa de RF con todos los elementos soldados, la cual requiere un voltaje de 8 V para el funcionamiento del VCO y un voltaje de sintonización de 6.5 V para realizar el barrido de frecuencia.

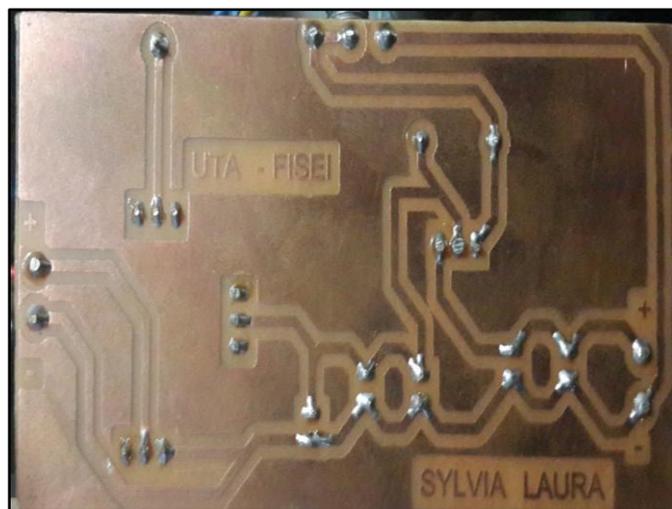


Figura 4. 38 Parte posterior de la placa.

Fuente: Investigador



Figura 4. 39 Parte delantera de la placa RF.

Fuente: Investigador

- **Dispositivo terminado**

Una vez que las etapas del jammer están terminadas procedemos a unir cada una de ellas. En la figura 4.40 se muestra el prototipo terminado y ensamblado.

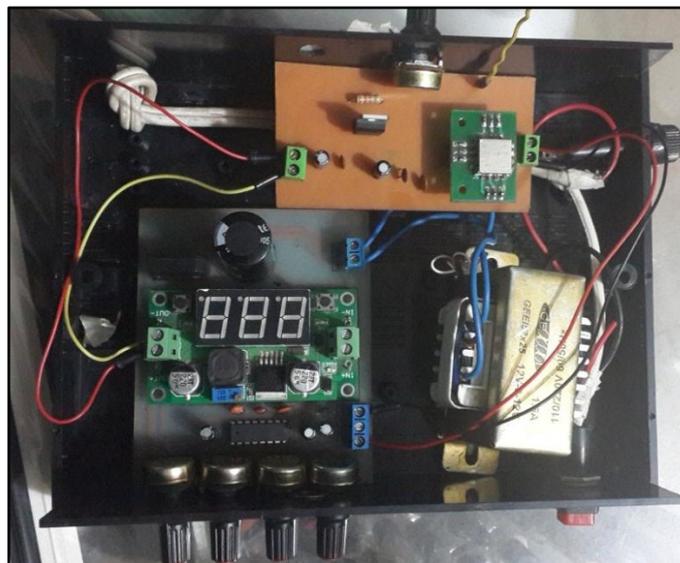


Figura 4. 40 Prototipo del jammer.

Fuente: Investigador

4.9 Construcción del prototipo

Para construir la carcasa final del prototipo se toma en cuenta las siguientes dimensiones

Placa de la fuente de alimentación y sección de oscilación

Largo: 10cm

Ancho: 8cm

Placa electrónica de la sección de RF

Largo: 9cm

Ancho: 5cm

Tomando en cuenta las dimensiones de cada una de las placas electrónicas del circuito y los espacios para los cables de conexión, se construyó una carcasa que tiene una medida de 19,5 cm de ancho; 6,5cm de altura y 15,5 cm de largo distribuida de acuerdo a la figura 4.41.



Figura 4. 41 Distribución de las placas electrónicas en la carcasa

Fuente: Investigador

Para construir el prototipo se realizó la simulación en el software AutoCAD, el mismo que se muestra en la figura 4.42.

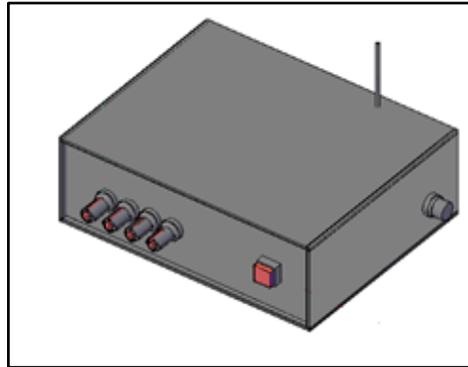


Figura 4. 42 Diseño del prototipo del inhibidor de señal

Fuente: Investigador

4.10 Pruebas de funcionamiento

Para realizar las pruebas de funcionamiento del circuito se utiliza un analizador de espectros de la marca ANRITSU como se aprecia en la figura 4.43, en el cual se puede visualizar el movimiento de la energía electromagnética que se genera en la banda de frecuencia de 850MHz a 950 Mhz que es la frecuencia a la que trabajan las operadoras de Movistar y Claro.

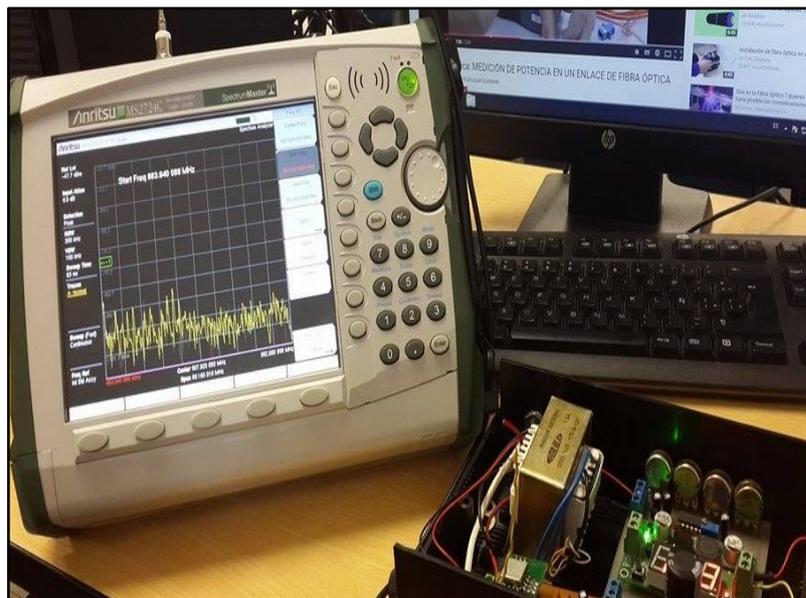


Figura 4. 43 Analizador de espectros marca Anritsu

Fuente: Investigador.

En la figura 4.44 se puede observar la señal analizada en el rango de frecuencia de 863MHz a 952MHz, que es la frecuencia que se fijó en el analizador de espectros para poder realizar el análisis.

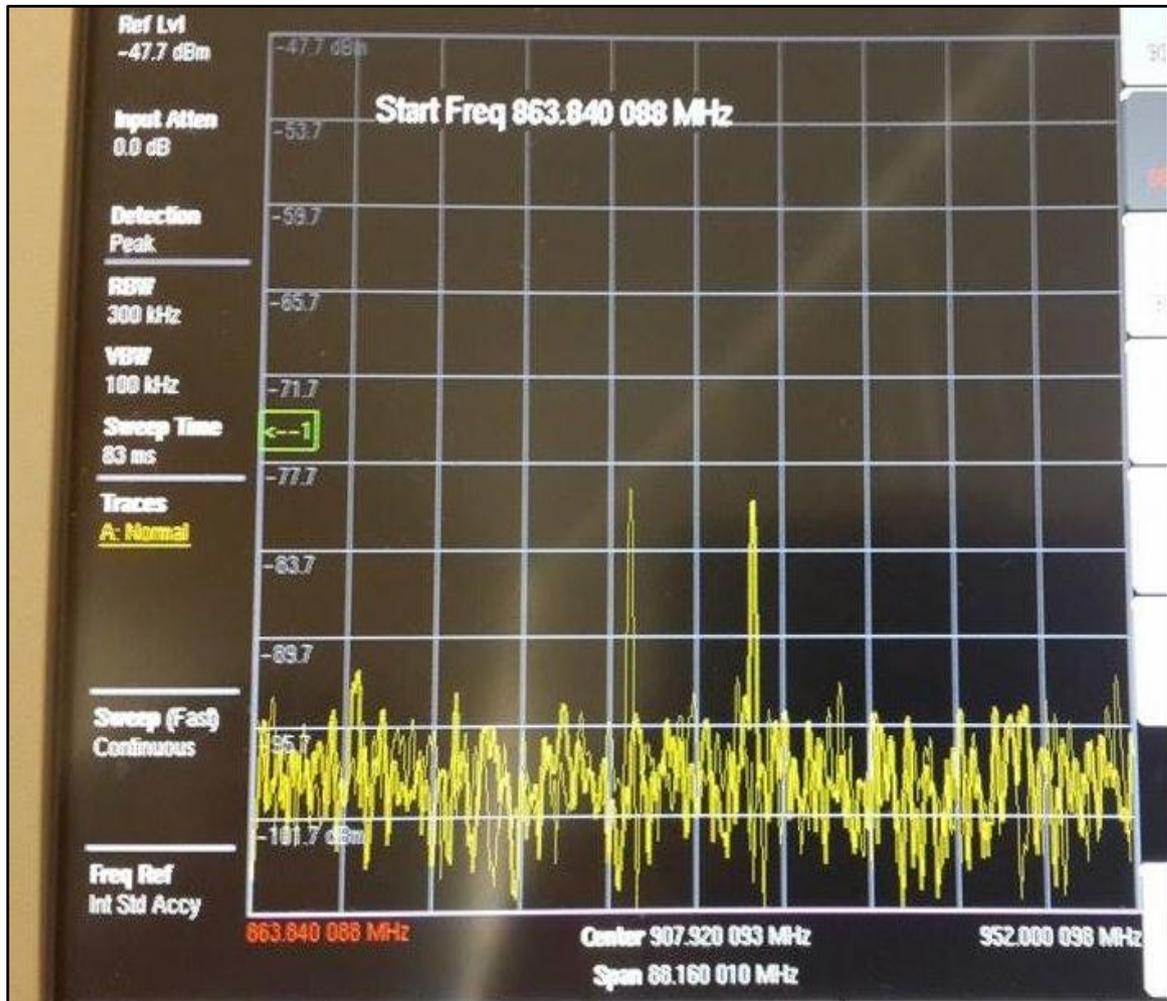


Figura 4. 44 Distribución de la energía a lo largo del rango de frecuencias

Fuente: Investigador

Al encender el inhibidor de señal celular se puede apreciar la forma de actuar del mismo sobre la señal cubriendo por completo la señal de celulares con tecnología 2G y 2.5G, como se observa en la figura 4.45.

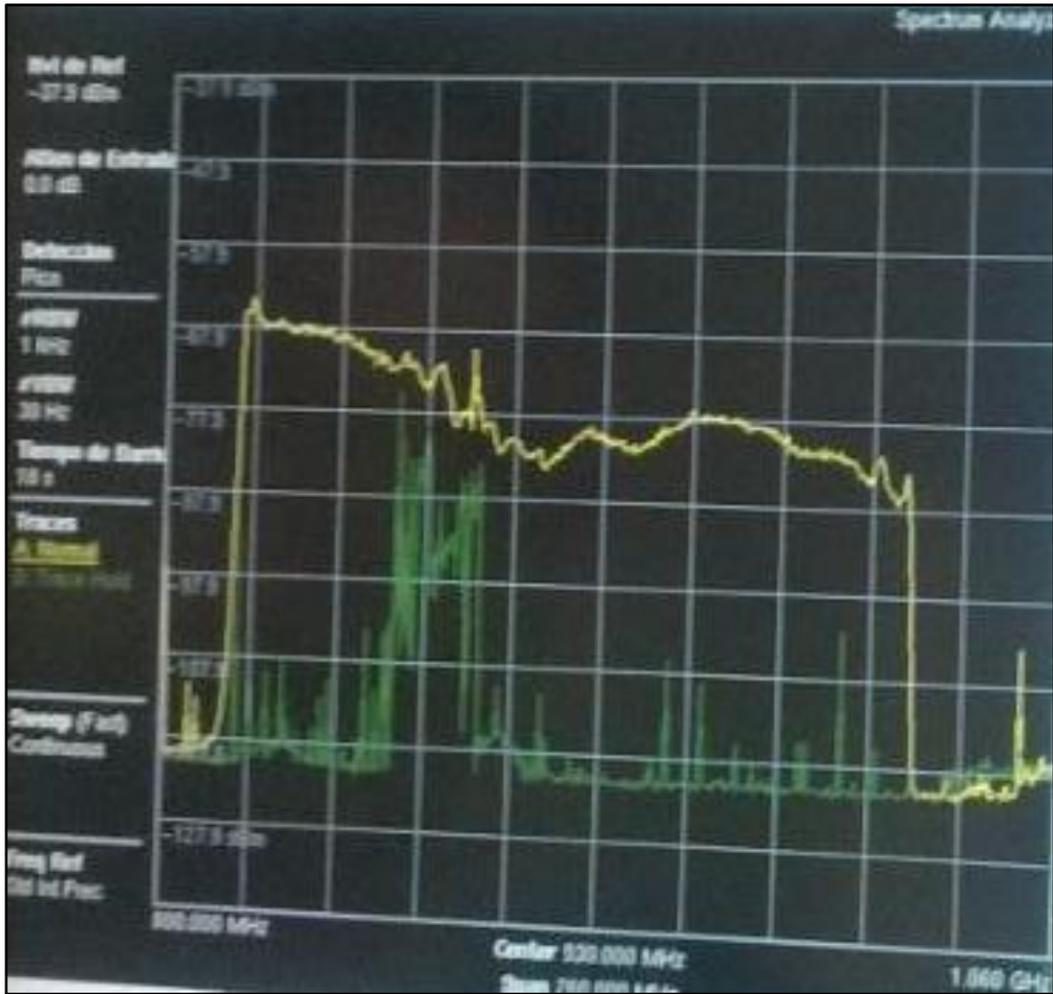


Figura 4. 45 Análisis de la señal con el jammer encendido

Fuente: Investigador

En el analizador de espectros se puede medir la potencia que se genera en un determinado espacio de frecuencia tal y como se puede observar en la figura 4.46, en donde se aprecia que la potencia en el rango de 892,636MHz es de -97dBm.

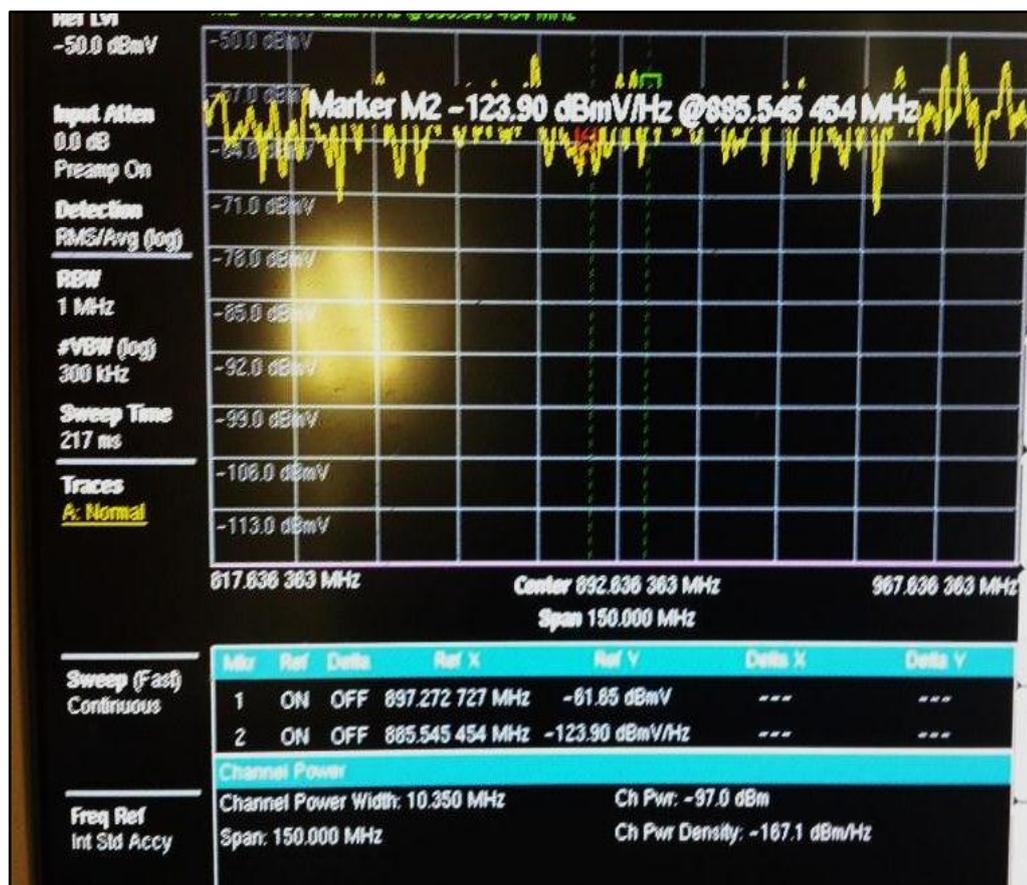


Figura 4. 46 Medición de potencia en 892,636 MHz

Fuente: Investigador.

Los datos que se obtuvieron del analizador de espectros son los que se encuentran en la tabla 4.13

Tabla 4. 13 Potencia del canal visualizado en el analizador de espectros

Potencia del canal	
Ancho de la potencia del canal	10,35MHz
Rango de frecuencia	817,63MHz-967,636 MHz
Espacio entre rango	150MHz
Potencia del canal	-97 dBm
Densidad de potencia del canal	-167,1 dBm/Hz

Fuente: Investigador

Pérdidas de propagación de la señal

Una vez realizado el enlace se colocan los equipos de tal manera que no tengan línea de vista, es decir obstruimos la comunicación adicionando una barrera entre ellos, así como se aprecia en la Figura 4.47.

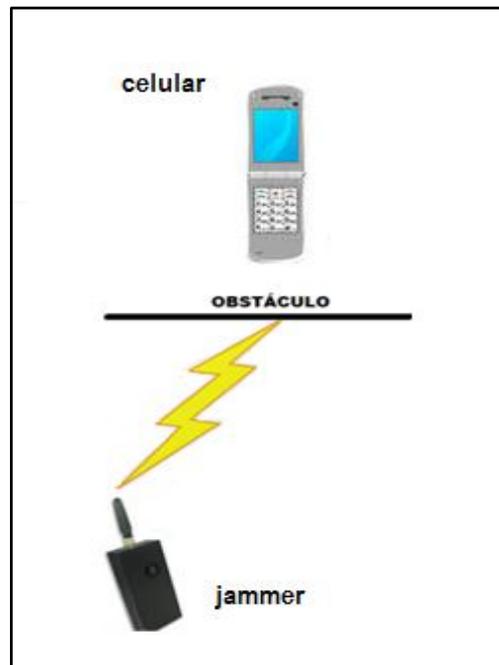


Figura 4. 47 Reflexión electromagnética

Fuente: Investigador

Los datos que se obtienen del analizador de espectros son los mostrados en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Reflexión de la señal

Señal	Nivel de la señal		Material	
	DBm	Hormigón	Madera	Ladrillo
Transmitida	-50	-48	-50	-48
Recibida	-50	-76	-56	-62
Reflejada	0	28	6	14

Fuente: Investigador

El nivel que se obtienen como señal recibida es la señal transmitida menos la señal reflejada, según los resultados obtenidos de las mediciones se puede observar que existe mayor atenuación cuando tenemos hormigón como un elemento de interferencia.

Pruebas del alcance del dispositivo

Otras de las pruebas realizadas son las referentes al alcance del jammer y al tiempo de retardo en la inhibición del mismo, en la figura 4.48 se observa que el jammer construido tiene un alcance de 1,5m de radio.

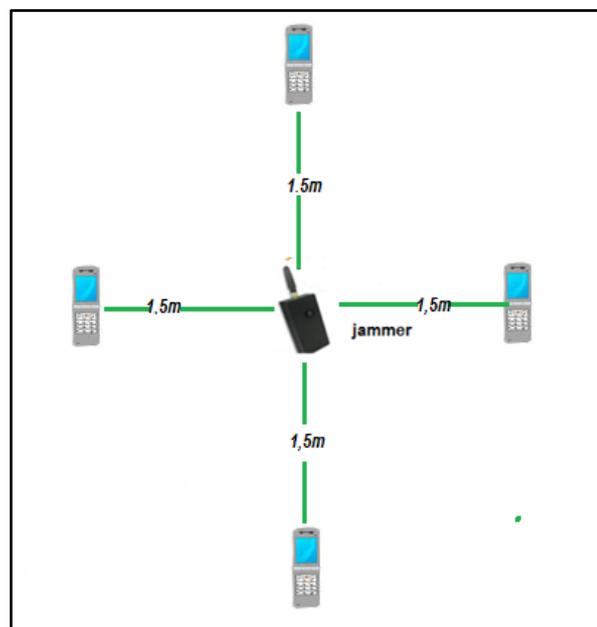


Figura 4. 48 Distancia de bloque del jammer

Para la verificación de este proceso se tomaron en cuenta cuatro celulares de diferentes marcas, dos para la operadora Movistar y dos para la operadora Claro.

Los resultados obtenidos una vez que el jammer está encendido son los que se detallan en las tablas 4.15 y 4.16, en donde se visualiza que el tiempo promedio de retardo para la pérdida de la señal de los celulares es de 25 seg, con un alcance de 1.5 m. Para la recuperación de la señal del celular una vez que el jammer se apaga se tiene un tiempo promedio de 32.5seg.

Tabla 4. 15 Pruebas de funcionamiento para la operadora Movistar.

Operadora	Celular	Tiempo de retardo en el bloque	Tiempo de recuperación de la señal	Alcance
MOVISTAR	Samsung Champ C3300	20 seg	40 seg	1.5 m
	LG	30 seg	25seg	1.5 m

Fuente: Investigador

Tabla 4. 16 Pruebas de funcionamiento para la operadora Claro

Operadora	Celular	Tiempo de retardo en el bloque	Tiempo de recuperación de la señal	Alcance
CLARO	Motorola razr v3	25 seg	40seg	1.5 m
	Samsung	25seg	35seg	1.5 m

Fuente: Investigador

En la figura 4.49 se muestra el efecto del jammer sobre los celulares LG y Samsung Champ C3300(Movistar) con tecnologías 2G y 2.5G, en la cual se observa que los equipos perdieron la cobertura de la señal de las operadoras a las que pertenecen



Figura 4. 49 Celulares sin cobertura de la operadora Movistar

Fuente: Investigador

En la figura 4.50 se aprecia el funcionamiento del inhibidor sobre el celular SAMSUNG que pertenece a la operadora de Claro, el cual luego de 25 seg de encender el jammer pierde la señal.



Figura 4. 50 Celulares sin cobertura de la operadora Claro

Fuente: Investigador

Se realizaron pruebas de funcionamiento con celulares Samsung S3 y Samsung S4 que son de tecnología 3G, dando como resultado que el prototipo implementado no inhibe la señal de dichos celulares, debido a que requieren una mayor potencia e incluso alguno de ellos trabajan a frecuencia de 1900MHz y ese rango no se alcanza con el VCO que se posee.

4.11 Análisis económico del proyecto

El sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM requiere diferentes elementos para la implementación del prototipo. La mayoría de los elementos utilizados en esta aplicación han sido comprados en el Ecuador a excepción del VCO que se tuvo que importar de New York, de la empresa Minicircuits. A continuación se muestra una lista detallada de los precios de los materiales

Para el diseño de la fuente de alimentación se utilizan los elementos que se detallan en la tabla 4.17.

Tabla 4. 17 Precios elementos fuente de alimentación

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Transformador de 18V (0,5A)	6,00	6,00
1	Componentes electrónicos	5,00	5,00
1	Placa reguladora de voltaje con voltímetro	25,00	25,00
1	Cable de poder	1,00	1,00
1	Interruptor	0,50	0,50
TOTAL(USD)			37,50

Fuente: Investigador.

Para realizar la etapa de oscilación se utilizan los elementos que se detallan en la tabla 4.18.

Tabla 4. 18 Precios elementos etapa de oscilación

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
1	XR 2206	1,00	1,00
1	BJT 2N2222	0,60	0,60
1	Componentes electrónicos	4,00	4,00
TOTAL(USD)			5,60

Fuente: Investigador.

En lo que respecta al circuito de RF se utilizan los elementos que se detallan en la tabla 4.19.

Tabla 4. 19 Precio elementos de la sección RF

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
1	ROS-1150-519+	40,00	40,00
1	LM317	0,75	0,75
1	Elementos electrónicos	5,00	5,00
1	Baquelita	5,00	5,00
1	cloruro férrico	2,25	2,25
1	Carcasa	15,00	15,00
TOTAL(USD)			68,00

Fuente: Investigador

Tabla 4. 20 Costo total del proyecto

PLACA ELECTRÓNICA	COSTO (USD)
Fuente de alimentación	37,50
Etapas de oscilación	5,60
Sección RF	68,00
COSTO TOTAL	111,10

Fuente: Investigador

Por lo tanto el costo total de los materiales que se utilizan para el proyecto es de \$111,10 dólares americanos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- A partir del contenido científico de la propuesta se estableció que la mejor estrategia de inhibición de señal celular es el barrido de voltaje para proporcionar una frecuencia de bloqueo del sistemas de telefonía móvil con tecnología GSM, ésta cubre de ruido los datos normales de comunicación móvil transmitidos en una determinada frecuencia durante un cierto intervalo de tiempo con FHSS (Tecnología de Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia).
- La ley de Telecomunicaciones actual y los reglamentos de telefonía móvil no permiten el uso de bloqueadores de señal celular, por tal motivo se requiere de una autorización previa por parte del CONATEL antes de instalar estos equipos en los lugares que cumplan con los requerimientos necesarios.
- Se estableció que para la banda de los 850 MHz (CLARO) el tiempo de retardo en la inhibición de la señal fue 30 seg, para la banda de los 850 MHz (MOVISTAR) fue de 25 segundos, debido a que los teléfonos móviles en los cuales se realizaron las pruebas fueron de distinta sensibilidad de recepción y las características de la antena varían en la operatividad del jammer.
- El dispositivo jammer implementado es capaz de bloquear toda operación de teléfonos móviles en la banda Claro y Movistar (850 MHz), porque inhibe en el 100% la señal de las tecnologías 2G y 2.5G con un alcance de 1.5 metros.

5.2 RECOMENDACIONES

- Si el jammer pretende cubrir una distancia mayor de inhibición de señal GSM es importante enfocarse en la etapa de amplificación de potencia y la ganancia de la antena, para la etapa de amplificación se puede utilizar circuitos integrados que favorecen a la ganancia de la antena y por ende a la cobertura.
- El elemento principal del proyecto es el VCO, este componente no se encuentra en el país, por lo que el pedido de importación de Estados Unidos se tuvo que hacer con tiempo de anticipación para terminar el trabajo.
- Para que el jammer tenga una mayor zona de cobertura es necesario trabajar en una etapa de amplificación de la señal, por lo que se recomienda que se continúe trabajando en la mejora del proyecto, pues debido al tiempo no se pudo incrementar el alcance del dispositivo. .
- El jammer podría modificarse de tal manera que pueda bloquear la señal de telefonía móvil con tecnología 3G, 4G, LTE, WIFI para ello se podría utilizar el incremento del ancho de barrido con más de un VCO, o también se podría utilizar un dispositivo de programación FPGA (Field Programmable Gate Array).

BIBLIOGRAFIA

- [1] M.Zavia. «Qué es y cómo funciona un inhibidor de frecuencia». Ecuador, febrero 2013. [En línea]. Available: <http://www.xatakamovil.com/movil-y-sociedad/que-es-y-como-funciona-un-inhibidor-de-frecuencias>. [Último acceso: enero 2014].
- [2] Anónimo. «Inhibidores y Anuladores Telefonía Móvil». Ecuador. [En línea]. Available: <http://www.inhibidores.com/los-inhibidores-son-legales/>. [Último acceso: enero 2014]
- [3] D.H. Tapia. «Aspectos técnicos y legales para la aplicación de sistemas de interferencia para teléfonos celulares con tecnología GSM en el Ecuador » Sangolquí, Pichincha, 2009, pp. 2. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/107>.
- [4] C.M. Gualoto. «Diseño e implementación de un jammer capaz de bloquear la señal celular de ALEGRO» Ecuador, 2009, pp .2. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/355>
- [5] A.J. Flores «Diseño y elaboración de un jammer ». Mexico, 2011, pp 56-58
- [6] J.C. Soriano. «Modelos de Propagación” ». [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/soriano_m_jc/capitulo2.pdf [Último acceso: junio 2014]
- [7] V.E. Boria «Líneas de transmisión” ». Vol. 2 .España, 2002, pp. 255-259.
- [8] J. M. Huidobro, «Radiocomunicaciones: Viajando a través de las ondas ». Primera ed., México. pp. 114,115
- [9] Anónimo, «Tipos de Antenas y Funcionamiento». [En línea]. Available: http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenasoporate&catid=31:general&Itemid=79. [Último acceso: junio 2014]

- [10] J. Butler, «Redes Inalámbricas en los países en desarrollo », tercera ed., febrero 2013, pp. 105-108.
- [11] Anónimo. «Antenas de uso especial” ». [En línea]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/leccin_38_antenas_de_uso_especial.html
- [12] J. Isi, «Telefonía Celular». [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos34/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml> . [Último acceso: mayo 2014].
- [13] J. M. Huidobro. «Comunicaciones Móviles, Sistemas GSM, UMTS y LTE ». Primera ed., México, noviembre 2012, pp.60, 61,75.
- [14] F. Amado «Técnicas de acceso múltiple y algoritmos de detección de múltiples usuarios en telefonía celular: análisis comparativo », Costa Rica, 2008, págs. 25-32. [En línea]. Available: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0802t.pdf>.
- [15] L. E. Mena « Diseño e Implementación de un bloqueador de teléfonos celulares para banda GSM que operan en la banda B». [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3220/1/T-ESPEL-0639.pdf>
- [16] W. Tomasi, « Electronic Communications Systems». Octava Ed., Estados Unidos, New Jersey, 2010, pp. 867-874.
- [17] D. Muñoz Rodríguez, « Sistemas inalámbricos de Comunicación Personal». Primera Ed., México, pp. 12-14
- [18] J. D. Cabezas, «Sistemas de Telefonía», primera ed. España, pp. 157-159
- [19] W. Tomasi, « Electronic Communications Systems». Octava Ed., Estados Unidos, New Jersey, 2010, pp. 577-574.
- [20] Doble, J. «Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile Communications», First Edition, Norwood, New York, 2010, pp. 26-28

- [21] Anónimo “Subsystems and network elements in GSM”, [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/gsmtheory/planning-theory>. [Último acceso: 12 de enero del 2014]
- [22] UACJ.MX. «La telefonía móvil y sus aplicaciones prácticas », Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México, [En línea]. Available: http://docentes.uacj.mx/vhinostr/cursos/telefoniamovilap/capitulo_IV.doc. [Último acceso: 12 de enero del 2014]
- [23] Anónimo «Sistemas Móviles GSM, CDMA, TDMA». Mayo 2014. [En línea]. Available: http://www.une.edu.ve/~iramirez/te1/sistemas_moviles.htm
- [24] T. Lamilla. « Migración de GSM a UMTS », Ecuador, pp 59-62 [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11178/1/MIGRACION%20DE%20GSM%20A%20UMTS.pdf>
- [25] Anónimo, “Social Defense Mechanisms: Tools for Reclaiming Our Personal Space”, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Estado Unidos, recuperado 12 de enero del 2014
- [26] SUPERTEL. «Cobertura y Calidad de Servicio ». Ecuador, Noviembre 2011, pp.24-25.
- [27] Poisel, R., «Introduction to Communication Electronic Warfare Systems », Second Edition, Norwood: Artech House, New York, June 2009, pp-33-35.
- [28] Poisel, R. «Modern Communication Jamming Principles and Techniques », First Edition, Norwood, Artech House, New York, July 2010, pp. 19-26.
- [29] RUTGERS.EDU. «The Feasibility of Launching and Detecting Jamming Attacks in Wireless Networks », University of New Jersey, 2009, [En línea]. Available: http://www.winlab.rutgers.edu/pub/JamDetect_Mobihoc.pdf
- [30] SUPERTEL. «Cobertura y Calidad de Servicio ». Ecuador, Noviembre 2011, pp.26.

- [31] SUPERTEL, « Evolución de la Telefonía Móvil en el Ecuador », Ecuador. [En línea]. Available: http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista_supertel_16_final.pdf
- [32] J.F. Díaz. « Aplicación de técnicas anti-jamming a un sistema de comunicaciones convencional para su explotación en entornos tácticos » España, 2012, pp. 38-39. [En línea]. Available: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20121113JuanFDiazBejarano.pdf>.
- [33] J.D. Sánchez. « Dispositivos electrónicos de potencia», México, 2002, pp 53-55.
- [34] Anónimo, « Diseño de un generador de funciones» .Ecuador, pp. 20-22. [En línea]. Available: www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/619/A6.pdf?sequence=6
- [35] Anónimo «El transistor Bipolar BJT» , pp 6, [En línea]. Available: <http://www.nexoformacion.es/admon/ficheros/fck/file/Polarizacion4.pdf>
- [36] Minicircuit. «Voltage controlled Oscillator ROS 1150-519+ » [En línea]. Available: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ROS-1150-519+.pdf>.
- [37] Minicircuit. «Voltage controlled Oscillator ROS 2000-1419+ » [En línea]. Available: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ROS-2000-1419+.pdf>.

ANEXOS



XR-2206

Monolithic
Function Generator

February 2008-8

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

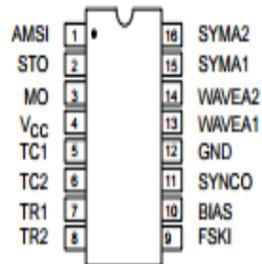
The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

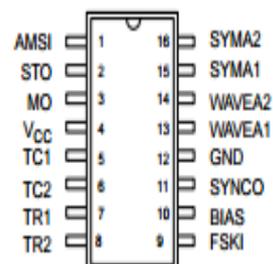
Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

Rev. 1.04





16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{CC}		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 2 $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	+5		+13	+5		+13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_0	$f_0 = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	Figure 5
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	$k\Omega$	
Triangle Sine Wave Output¹								Figure 3
Triangle Amplitude		160			160		mV/ $k\Omega$	Figure 2, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/ $k\Omega$	Figure 2, S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See Figure 7 and Figure 8

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 2 $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_0	$f_0 = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	Figure 5
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	k Ω	
Triangle Sine Wave Output¹								Figure 3
Triangle Amplitude		160			160		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See Figure 7 and Figure 8

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		k Ω	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Fall Time		50			50		ns	$C_L = 10\text{pF}$
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	$I_L = 2\text{mA}$
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μA	$V_{CC} = 26\text{V}$
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes
¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	26V	Total Timing Current	6mA
Power Dissipation	750mW	Storage Temperature	-65°C to +150°C
Derate Above 25°C	5mW/°C		

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

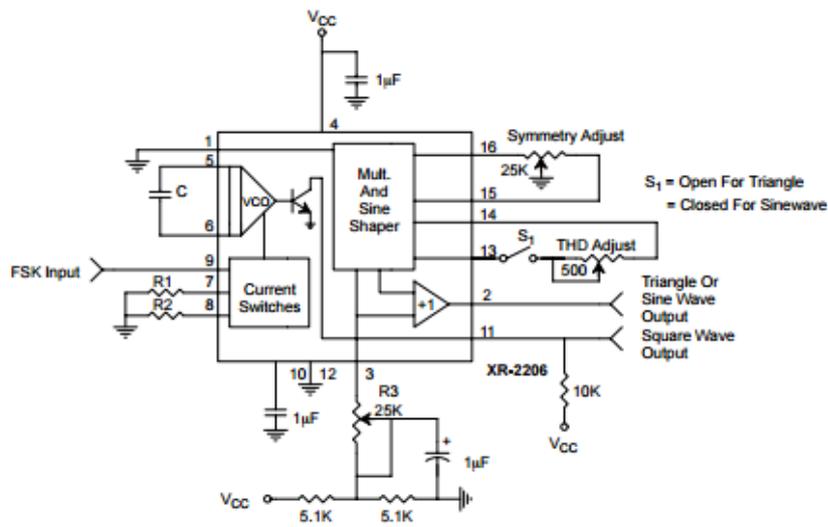


Figure 2. Basic Test Circuit

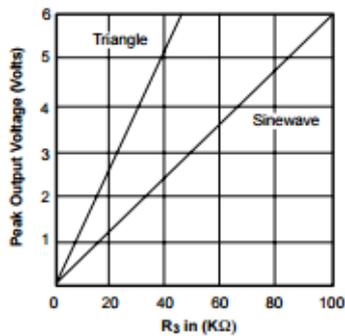


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

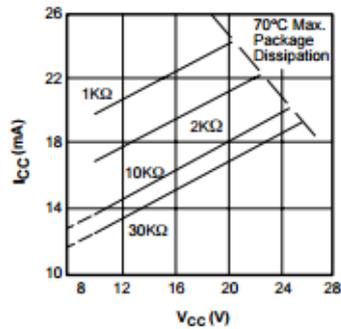


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

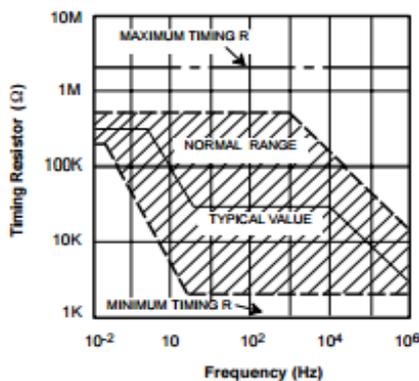


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

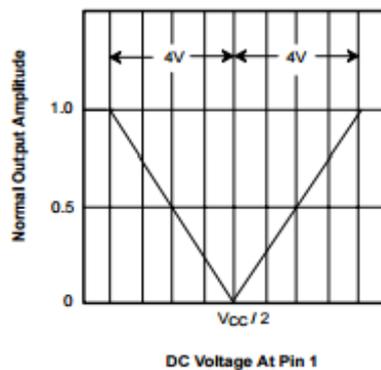


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

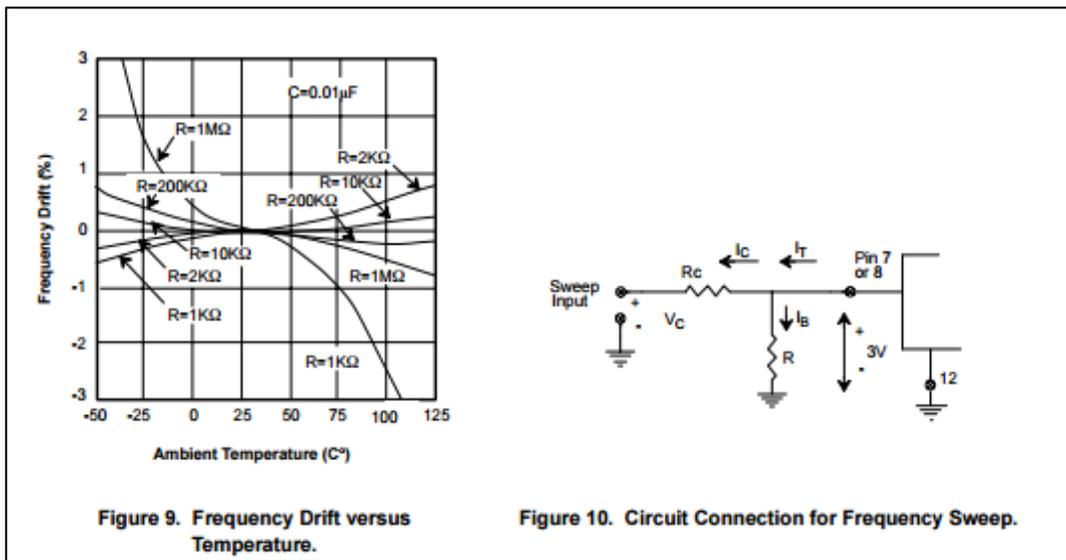
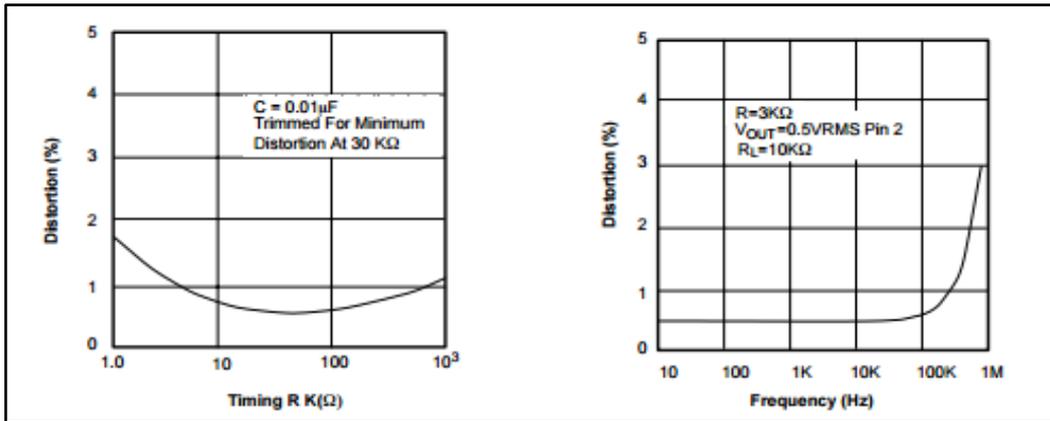


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

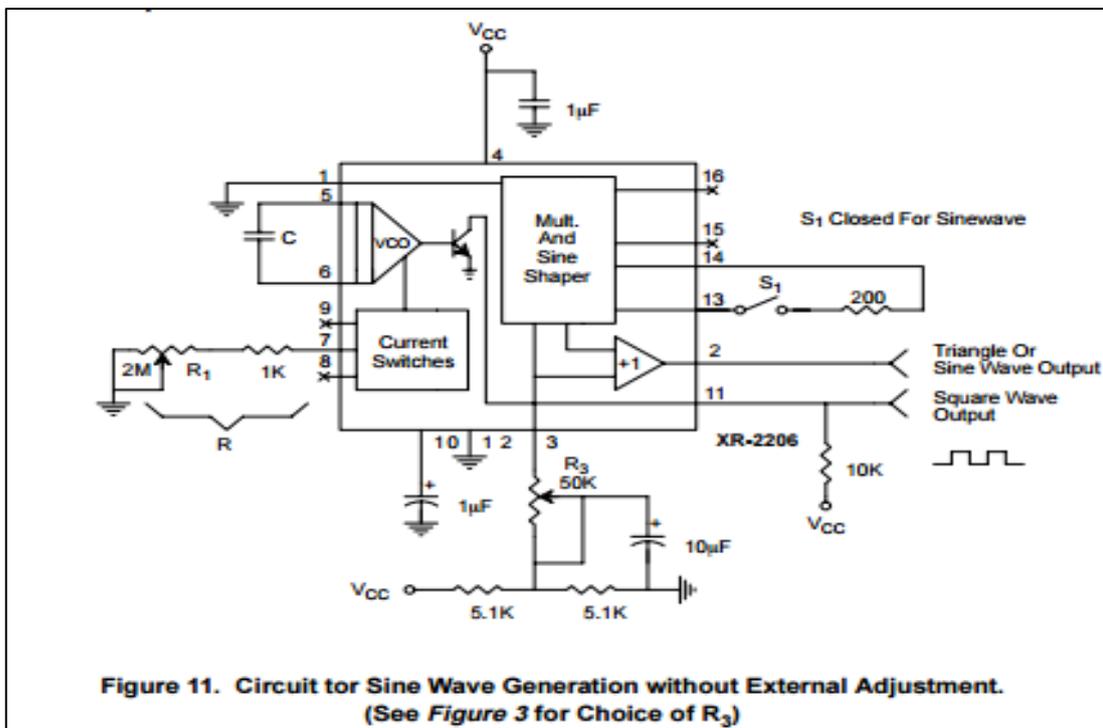


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 3 for Choice of R₃)

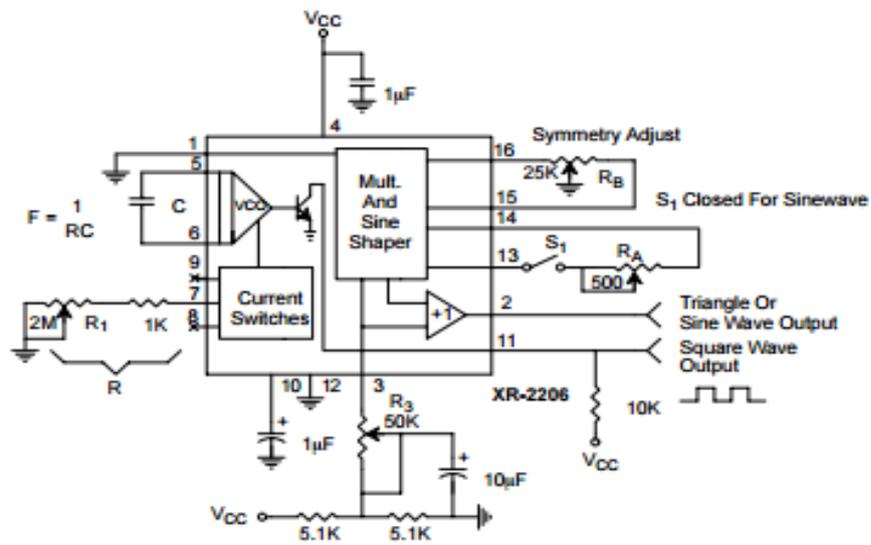


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion.
 (R₃ Determines Output Swing - See Figure 3)

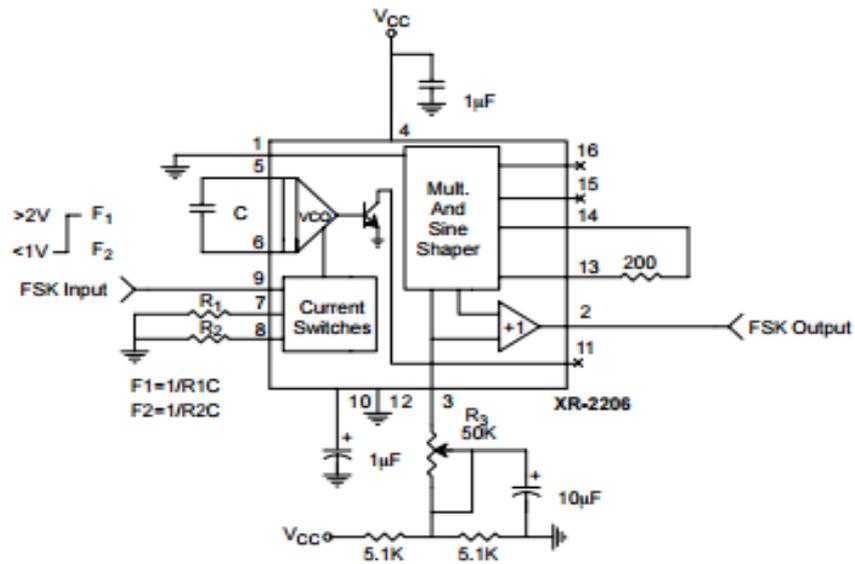


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

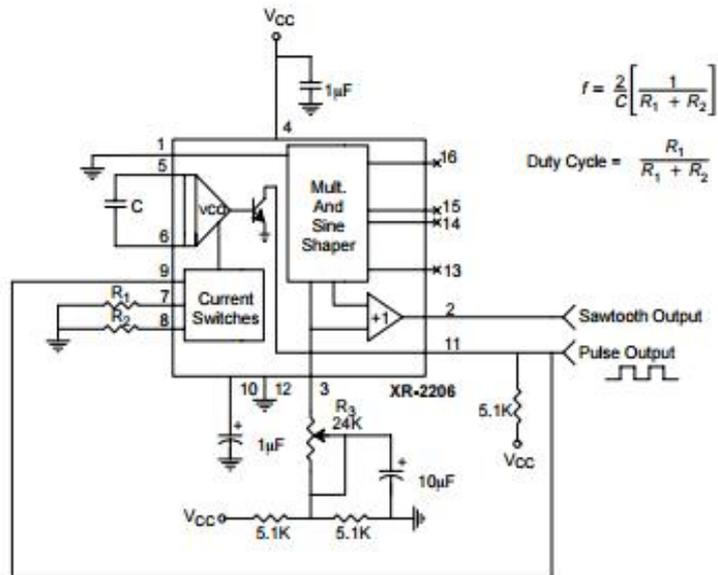


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

Frequency-Shift Keying

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2 , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 13. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage $\geq 2V$, only R_1 is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is $\leq 1V$, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels, f_1 and f_2 , as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to V^- .

Output DC Level Control

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figure 11, Figure 12 and Figure 13, Pin 3 is biased midway between V^+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment

Figure 11 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_1 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is $< 2.5\%$. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 11 can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^- . For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

Anexo 2. Datasheet Transistor 2N2222

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by P2N2222A/D

Amplifier Transistors
NPN Silicon

P2N2222A

CASE 29-04, STYLE 17
TO-18 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	40	Vdc
Collector-Base Voltage	V _{CBO}	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	V _{EBO}	6.0	Vdc
Collector Current — Continuous	I _C	600	mA _{dc}
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	1.5 12	Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _C = 10 mA _{dc} , I _B = 0)	V _{(BR)CEO}	40	—	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μA _{dc} , I _E = 0)	V _{(BR)CBO}	75	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μA _{dc} , I _C = 0)	V _{(BR)EBO}	6.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	I _{CEX}	—	10	nA _{dc}
Collector Cutoff Current (V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0) (V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0, T _A = 150°C)	I _{CBO}	— —	0.01 10	μA _{dc}
Emitter Cutoff Current (V _{EB} = 3.0 Vdc, I _C = 0)	I _{EBO}	—	10	nA _{dc}
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 10 V)	I _{CEO}	—	10	nA _{dc}
Base Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	I _{BEX}	—	20	nA _{dc}

P2N2222A**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain ($I_C = 0.1\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$) ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ⁽¹⁾ ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 1.0\text{ Vdc}$) ⁽¹⁾ ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$) ⁽¹⁾	h_{FE}	35 50 75 35 100 50 40	— — — — 300 — —	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾ ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_B = 15\text{ mAdc}$) ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $I_B = 50\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	— —	0.3 1.0	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾ ($I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_B = 15\text{ mAdc}$) ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $I_B = 50\text{ mAdc}$)	$V_{BE(sat)}$	0.6 —	1.2 2.0	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain — Bandwidth Product ⁽²⁾ ($I_C = 20\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 20\text{ Vdc}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	300	—	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{obo}	—	8.0	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ibo}	—	25	pF
Input Impedance ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{ie}	2.0 0.25	8.0 1.25	k Ω
Voltage Feedback Ratio ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{re}	— —	8.0 4.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{fe}	50 75	300 375	—
Output Admittance ($I_C = 1.0\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) ($I_C = 10\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{oe}	5.0 25	35 200	μmhos
Collector Base Time Constant ($I_E = 20\text{ mAdc}$, $V_{CB} = 20\text{ Vdc}$, $f = 31.8\text{ MHz}$)	τ_b/C_C	—	150	ps
Noise Figure ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $R_S = 1.0\text{ k}\Omega$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	N_F	—	4.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	$(V_{CC} = 30\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = -2.0\text{ Vdc}$, $I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_{B1} = 15\text{ mAdc}$) (Figure 1)	t_d	—	10	ns
Rise Time		t_r	—	25	ns
Storage Time	$(V_{CC} = 30\text{ Vdc}$, $I_C = 150\text{ mAdc}$, $I_{B1} = I_{B2} = 15\text{ mAdc}$) (Figure 2)	t_s	—	225	ns
Fall Time		t_f	—	60	ns

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.2. f_T is defined as the frequency at which $|h_{fe}|$ extrapolates to unity.

SWITCHING TIME EQUIVALENT TEST CIRCUITS

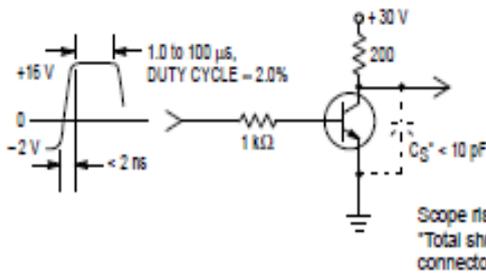


Figure 1. Turn-On Time

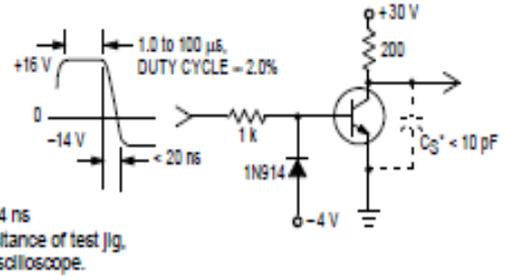


Figure 2. Turn-Off Time

Scope rise time $< 4\text{ ns}$
 *Total shunt capacitance of test jig,
 connectors, and oscilloscope.

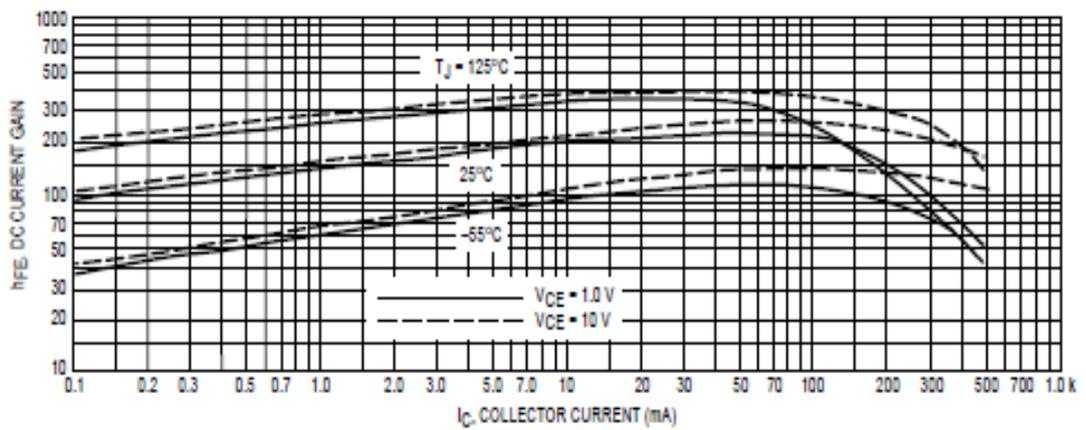


Figure 3. DC Current Gain

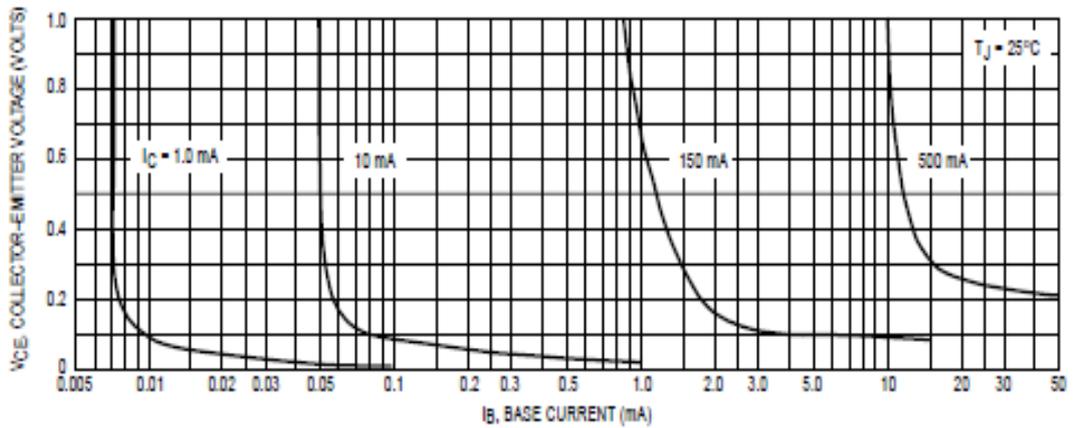


Figure 4. Collector Saturation Region

P2N2222A

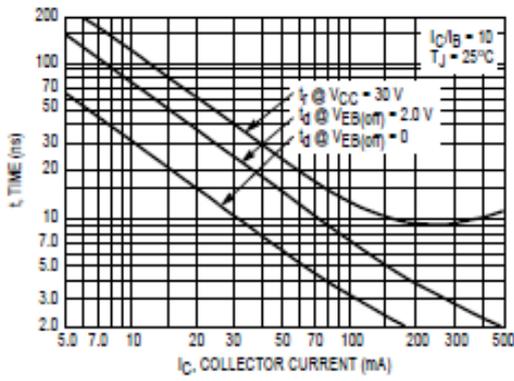


Figure 5. Turn-On Time

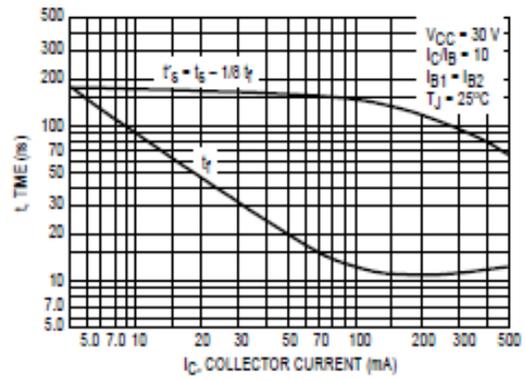


Figure 6. Turn-Off Time

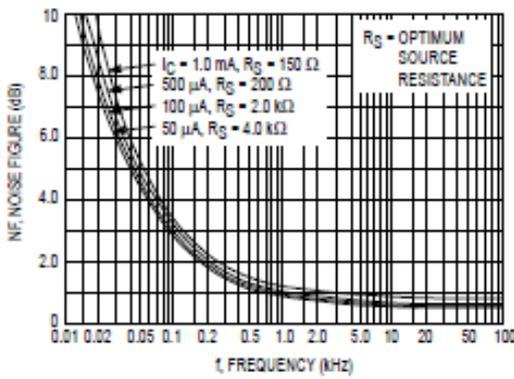


Figure 7. Frequency Effects

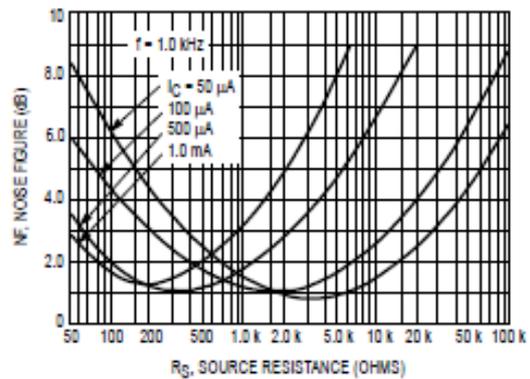


Figure 8. Source Resistance Effects

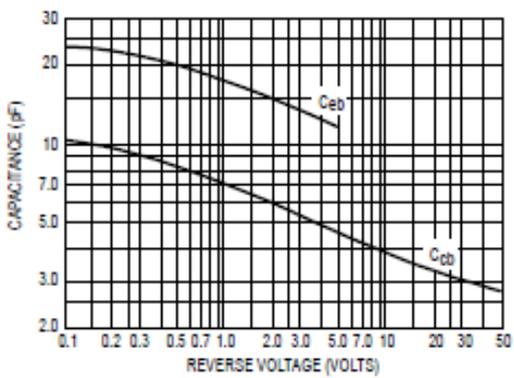


Figure 9. Capacitances

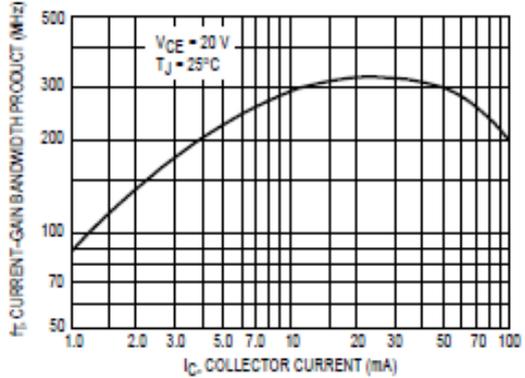


Figure 10. Current-Gain Bandwidth Product

Surface Mount

Voltage Controlled Oscillator

ROS-1150-519+

Wide Band 750 to 1150 MHz

Features

- linear tuning characteristics
- low phase noise
- low pushing
- low pulling
- aqueous washable

Applications

- lab
- wireless communications



CASE STYLE: CK605
PRICE: \$24.95 ea. QTY (5-49)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz				TUNING					NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @12 dBc (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER	
	Min.	Max.		Typ.	1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSI- TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)		Typ.	Typ.			Typ.	Max.
ROS-1150-519+	750	1150	+7	-78	-101	-121	-141	0.5	13.5	38-45	60	70	-90	-20	-12	2	2	5	35

Pin Connections

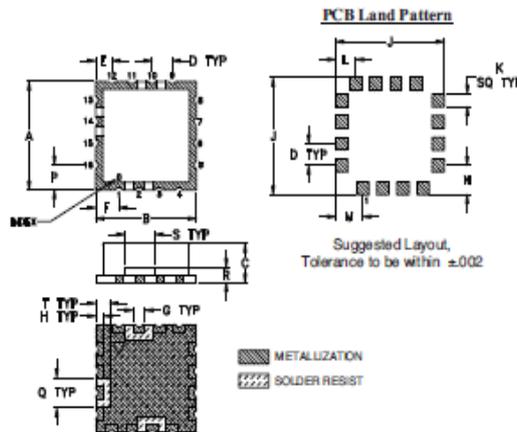
RF OUT	10
VCC	14
V-TUNE	2
GROUND	1,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,15,16

Maximum Ratings

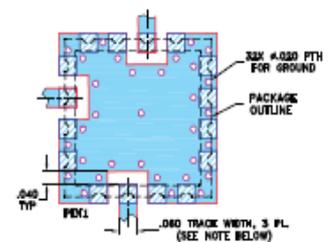
Operating Temperature	-55°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)	7V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)	16V
All specifications	50 ohm system

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Outline Drawing



Demo Board MCL P/N: TB-10 Suggested PCB Layout (PL-012)



NOTES:

1. TRACE WIDTH IS SHOWN FOR FRA WITH DIELECTRIC THICKNESS .030" ± .002"; COPPER: 1/2 OZ. EACH SIDE. FOR OTHER MATERIALS TRACE WIDTH MAY NEED TO BE MODIFIED.
 2. BOTTOM SIDE OF THE BOTTOM IS CONTINUOUS GROUND PLANE.
- DENOTES PCB COPPER LAYOUT WITH SMOBC (SOLDER MASK OVER BARE COPPER)
- DENOTES COPPER LAND PATTERN FREE OF SOLDER MASK

Outline Dimensions (inches)

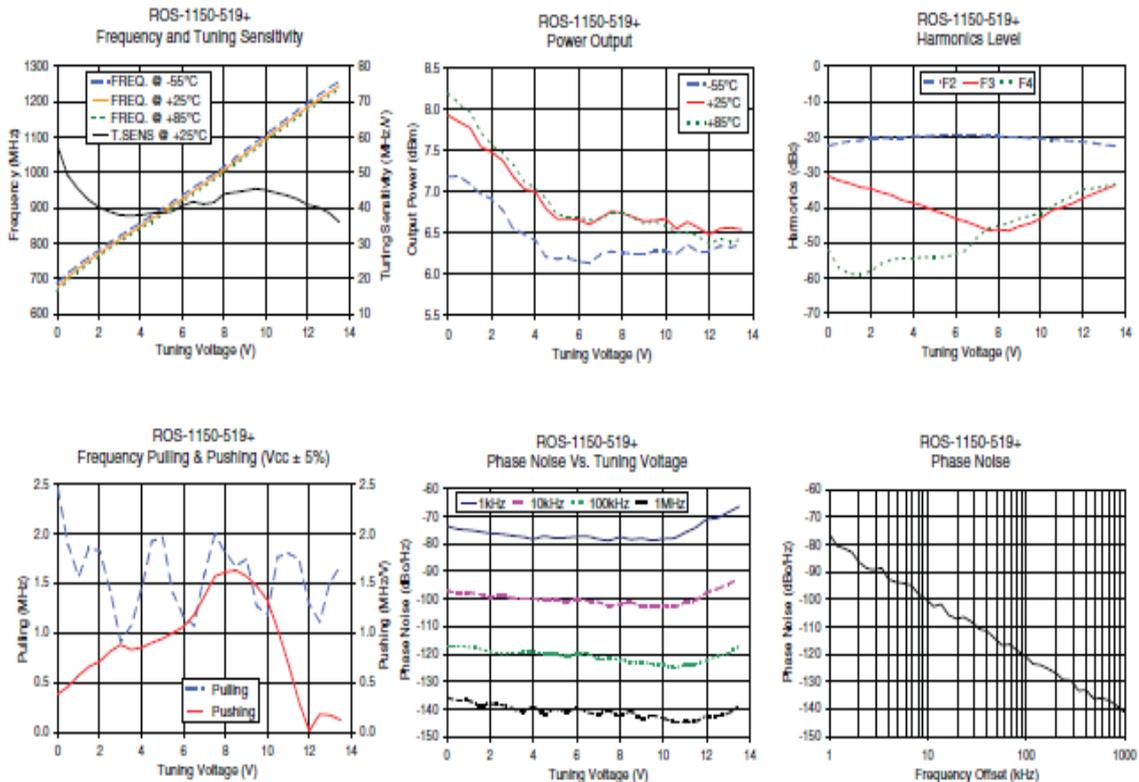
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
.500	.500	.180	.100	.080	.115	.090	.040	.540	.060	.100	.135	.135	.115	.140	.070	.150	.070	grams
12.70	12.70	4.57	2.54	2.03	2.92	1.52	1.02	13.72	1.52	2.54	3.43	3.43	2.92	3.56	1.78	3.81	1.78	1.0

Performance Data & Curves*

ROS-1150-519+

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			I _{cc} (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 950 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	57.93	686.5	673.8	663.4	7.18	7.93	8.20	22.99	-22.6	-31.0	-52.2	0.38	2.46	-73.6	-97.0	-117.3	-135.8	1.0	-76.26
0.50	49.28	713.8	702.8	693.9	7.19	7.85	8.07	23.05	-21.7	-32.4	-56.9	0.46	1.88	-74.7	-97.9	-117.2	-136.8	2.0	-86.50
1.00	45.39	738.0	727.4	718.9	7.09	7.78	7.97	23.09	-21.2	-33.1	-58.9	0.57	1.57	-75.1	-97.8	-117.5	-136.9	3.4	-88.64
1.50	42.29	760.3	750.1	741.8	6.97	7.55	7.73	23.13	-21.0	-34.2	-59.1	0.66	1.85	-75.6	-98.4	-118.1	-138.7	5.7	-94.23
2.00	40.15	781.0	771.2	763.3	6.91	7.48	7.57	23.19	-20.5	-34.7	-58.0	0.71	1.83	-76.3	-99.3	-119.2	-138.2	8.1	-98.14
2.50	38.98	800.8	791.3	783.5	6.77	7.38	7.47	23.24	-20.5	-35.7	-56.0	0.81	1.43	-76.5	-98.5	-119.7	-138.4	10.0	-100.50
3.50	37.81	838.8	829.8	822.4	6.48	7.03	7.13	23.39	-20.2	-38.0	-54.4	0.83	1.07	-77.6	-99.9	-119.5	-141.0	19.6	-107.16
4.50	38.49	877.1	867.7	860.2	6.21	6.79	6.91	23.55	-19.9	-39.6	-54.0	0.90	1.92	-77.3	-100.3	-119.9	-141.8	33.3	-110.90
5.50	39.00	915.7	906.2	898.6	6.19	6.67	6.69	23.80	-19.4	-41.8	-54.0	1.00	1.39	-77.8	-100.9	-120.9	-141.1	57.2	-116.89
6.50	41.72	956.0	946.0	937.9	6.13	6.60	6.65	24.08	-19.5	-44.0	-52.0	1.18	1.07	-77.4	-100.8	-119.7	-141.2	81.8	-118.84
7.50	41.51	996.8	987.4	979.6	6.27	6.78	6.74	24.54	-19.8	-46.5	-46.0	1.57	1.99	-78.8	-102.5	-121.8	-140.7	100.0	-121.04
8.50	44.37	1040.0	1030.1	1022.2	6.24	6.69	6.69	24.99	-20.0	-46.6	-44.4	1.63	1.67	-78.4	-101.3	-123.0	-140.9	139.3	-124.00
9.50	45.42	1085.1	1074.8	1066.6	6.27	6.65	6.64	25.59	-20.3	-44.5	-42.4	1.47	1.27	-78.8	-102.6	-123.6	-142.4	167.3	-125.40
10.50	44.23	1130.9	1120.0	1111.5	6.24	6.55	6.51	26.27	-20.8	-40.9	-39.8	1.03	1.76	-77.9	-103.0	-125.1	-144.7	199.2	-126.90
11.00	43.51	1153.4	1142.1	1133.4	6.36	6.63	6.50	26.59	-20.9	-40.0	-38.2	0.69	1.80	-76.0	-101.4	-123.9	-144.6	284.8	-129.57
11.50	42.50	1175.7	1163.8	1155.1	6.26	6.56	6.46	26.90	-21.2	-38.8	-36.6	0.31	1.74	-74.1	-100.5	-123.7	-144.4	342.1	-133.35
12.00	40.82	1197.2	1185.1	1176.3	6.27	6.48	6.36	27.22	-21.4	-37.3	-34.8	0.01	1.29	-71.3	-97.8	-122.3	-142.6	489.1	-136.37
12.50	40.21	1218.0	1205.5	1196.7	6.34	6.55	6.43	27.46	-21.7	-36.1	-34.5	0.18	1.12	-70.7	-96.4	-120.8	-142.4	600.0	-136.12
13.00	38.67	1238.6	1225.6	1216.4	6.32	6.56	6.39	27.71	-22.2	-34.9	-34.0	0.17	1.52	-68.6	-94.6	-119.8	-141.5	832.6	-138.86
13.50	36.03	1258.5	1244.9	1235.6	6.36	6.54	6.42	28.04	-22.5	-33.6	-33.4	0.12	1.67	-66.6	-92.9	-117.3	-138.7	1000.0	-141.23

*at 25°C unless mentioned otherwise



Anexo 4. Datasheet ROS-2000-519+

Surface Mount
Voltage Controlled Oscillator

ROS-2000-1419+

Linear Tuning 1720 to 2000 MHz

Features

- linear tuning characteristics
- low phase noise
- low pushing
- aqueous washable

Applications

- wireless communications
- military communications
- personal communication systems
- DCS 1800/DCS 1900



CASE STYLE: CK605
PRICE: \$15.95 ea. QTY (5-49)

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz				TUNING				NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @12 dBc (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER		
	Min.	Max.		Typ.	1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSITIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)		3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)	Typ.			Max.	Typ.	Max.
ROS-2000-1419+	1720	2000	+6	-78	-102	-123	-143	1	10	56-59	50	100	-90	-14	-	3	0.7	10	30

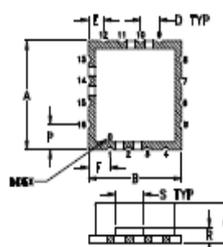
Pin Connections

RF OUT	10
VCC	14
V-TUNE	2
GROUND	1,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,15,16

Maximum Ratings

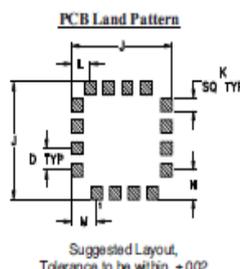
Operating Temperature -55°C to 85°C
 Storage Temperature -55°C to 100°C
 Absolute Max. Supply Voltage (Vcc) 12V
 Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune) 12V
 All specifications 50 ohm system
 Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Outline Drawing

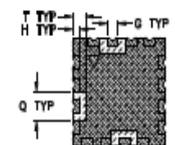


MEK

PCB Land Pattern



Suggested Layout, Tolerance to be within ±0.02



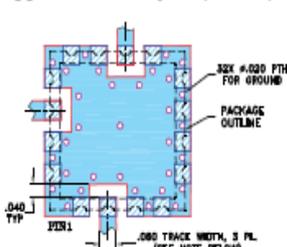
T TYP
H TYP
G TYP
Q TYP

METALLIZATION
 SOLDER RESIST

Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
.500	.500	.180	.100	.080	.115	.060	.040	.540	.060	.100	.135	.135	.115	.140	.070	.150	.070	grams
12.70	12.70	4.57	2.54	2.03	2.92	1.52	1.02	13.72	1.52	2.54	3.43	3.43	2.92	3.56	1.78	3.81	1.78	1.0

Demo Board MCL P/N: TB-10
Suggested PCB Layout (PL-012)



DENOTES PCB COPPER LAYOUT WITH SMOBC (SOLDER MASK OVER BARE COPPER)
 DENOTES COPPER LAND PATTERN FREE OF SOLDER MASK

NOTES:

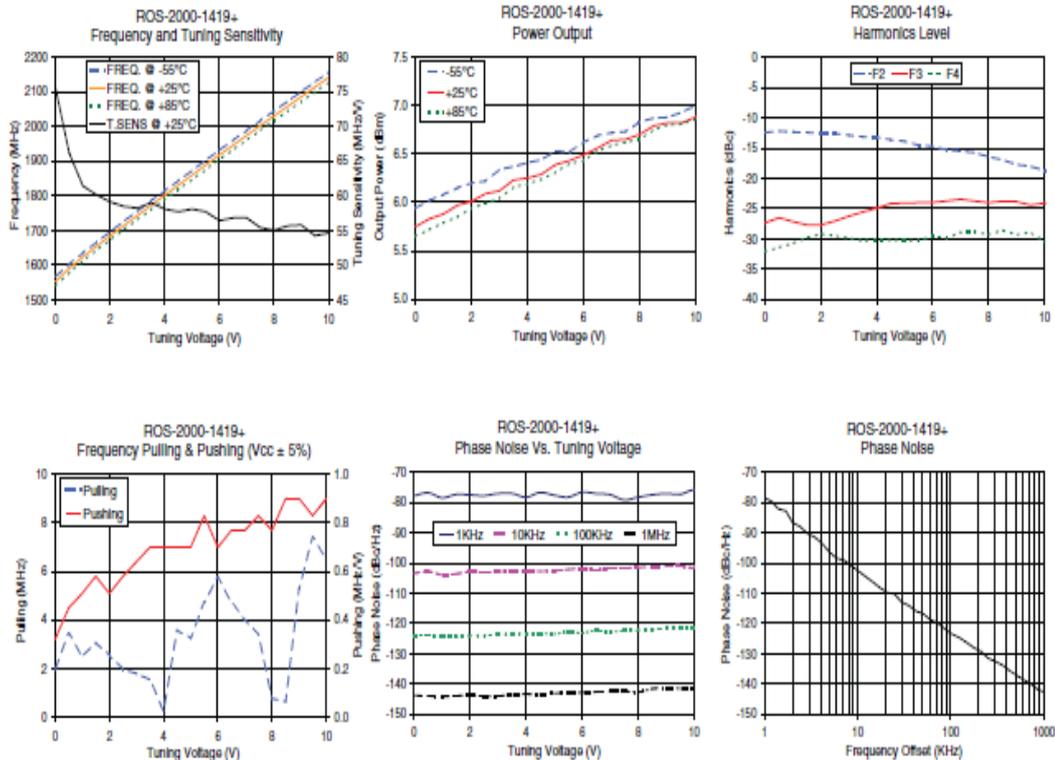
- TRACE WIDTH IS SHOWN FOR FR4 WITH DIELECTRIC THICKNESS .030" @ .002" COPPER; 1/2 OZ. EACH SIDE. FOR OTHER MATERIALS TRACE WIDTH MAY NEED TO BE MODIFIED.
- BOTTOM SIDE OF THE BOTTOM IS CONTINUOUS GROUND PLANE.

Performance Data & Curves*

ROS-2000-1419+

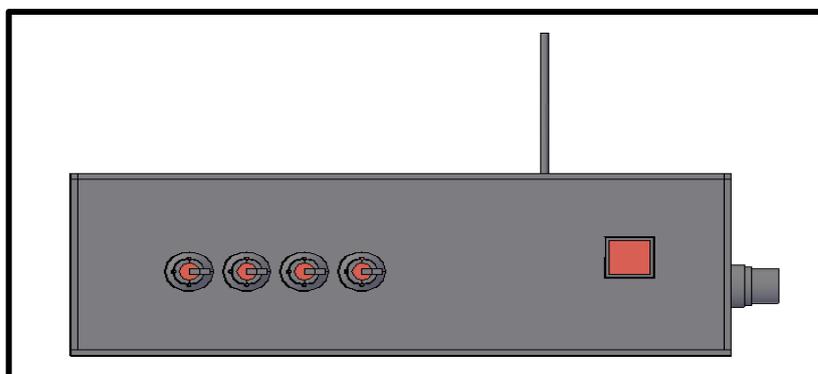
V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			Icc (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 1800 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	75.52	1566.7	1553.2	1540.3	5.94	5.75	5.65	23.54	-12.4	-27.3	-32.1	0.32	1.98	-77.8	-103.4	-124.0	-143.8	1.0	-78.19
0.50	68.18	1603.4	1590.9	1579.3	6.02	5.83	5.72	23.56	-12.1	-26.5	-31.4	0.45	3.46	-76.8	-102.8	-123.9	-144.0	2.0	-86.52
1.00	61.44	1636.1	1624.0	1612.7	6.08	5.88	5.79	23.59	-12.3	-27.2	-30.7	0.51	2.50	-78.5	-104.0	-124.2	-144.1	3.5	-91.44
1.50	60.16	1666.8	1654.7	1643.5	6.15	5.97	5.85	23.61	-12.4	-27.7	-29.8	0.58	3.07	-77.4	-103.6	-124.3	-143.9	6.0	-98.39
2.00	59.14	1697.1	1684.8	1673.3	6.20	6.01	5.94	23.61	-12.5	-27.7	-29.2	0.51	2.56	-77.5	-102.9	-124.1	-143.8	8.5	-100.80
2.50	58.50	1726.6	1714.4	1702.8	6.22	6.09	5.99	23.64	-12.5	-27.1	-29.5	0.58	1.98	-77.8	-103.1	-124.0	-144.1	10.0	-102.39
3.00	58.24	1756.1	1743.6	1731.8	6.34	6.12	6.04	23.65	-12.8	-26.2	-29.9	0.64	1.79	-77.1	-102.9	-123.7	-144.0	20.8	-109.71
3.50	59.01	1785.7	1772.7	1760.6	6.37	6.23	6.16	23.65	-13.1	-25.5	-30.3	0.70	1.54	-77.1	-102.7	-123.5	-143.6	35.5	-114.00
4.00	58.11	1815.2	1802.2	1790.0	6.41	6.25	6.19	23.67	-13.2	-24.9	-30.1	0.70	0.26	-78.3	-102.9	-123.4	-143.3	60.7	-118.77
4.50	57.73	1844.6	1831.3	1818.8	6.44	6.29	6.24	23.68	-13.6	-24.2	-30.2	0.70	3.58	-76.7	-102.7	-123.3	-143.5	86.7	-121.76
5.00	58.11	1873.7	1860.2	1847.5	6.53	6.39	6.31	23.68	-13.8	-24.1	-30.3	0.70	3.26	-77.6	-102.6	-123.5	-143.1	100.0	-123.26
5.50	57.73	1903.2	1889.2	1876.1	6.52	6.43	6.40	23.68	-14.5	-24.0	-30.3	0.83	4.74	-78.3	-102.1	-122.8	-142.9	148.1	-126.27
6.00	56.45	1931.9	1918.1	1905.0	6.62	6.49	6.43	23.70	-14.7	-24.0	-29.5	0.70	5.76	-76.6	-101.8	-123.1	-142.8	177.0	-127.95
6.50	56.83	1960.5	1946.3	1933.1	6.69	6.56	6.53	23.69	-15.3	-23.7	-29.9	0.77	4.74	-77.1	-102.4	-122.4	-142.6	211.6	-129.24
7.00	56.83	1989.2	1974.7	1961.1	6.72	6.64	6.59	23.68	-15.5	-23.4	-28.9	0.77	4.03	-77.4	-101.7	-122.8	-142.5	302.4	-132.56
7.50	55.42	2017.5	2003.1	1989.4	6.73	6.65	6.62	23.69	-15.7	-23.7	-28.8	0.83	3.39	-79.2	-101.7	-122.4	-142.4	361.5	-133.80
8.00	55.04	2045.2	2030.8	2017.3	6.83	6.70	6.65	23.69	-16.4	-24.0	-29.3	0.77	0.77	-78.3	-101.5	-122.2	-142.7	507.5	-137.06
8.50	55.68	2073.2	2058.4	2044.5	6.87	6.79	6.75	23.67	-16.9	-23.8	-28.6	0.90	0.64	-77.5	-101.2	-121.9	-141.6	606.7	-138.66
9.00	55.81	2101.3	2086.2	2072.2	6.88	6.82	6.80	23.65	-17.7	-23.8	-29.3	0.90	5.31	-77.1	-101.1	-121.7	-141.3	851.6	-141.74
10.00	54.66	2156.2	2141.2	2127.3	7.00	6.88	6.86	23.63	-18.7	-24.1	-30.4	0.90	6.53	-75.9	-101.6	-121.4	-141.6	1000.0	-142.64

*at 25°C unless mentioned otherwise

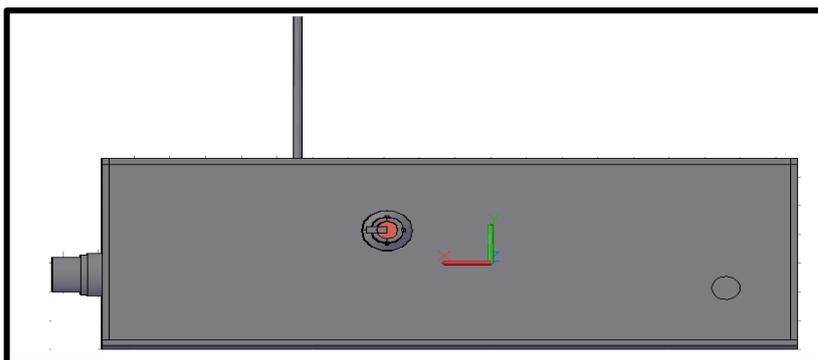


Anexo 5. Diseño del prototipo en AutoCAD

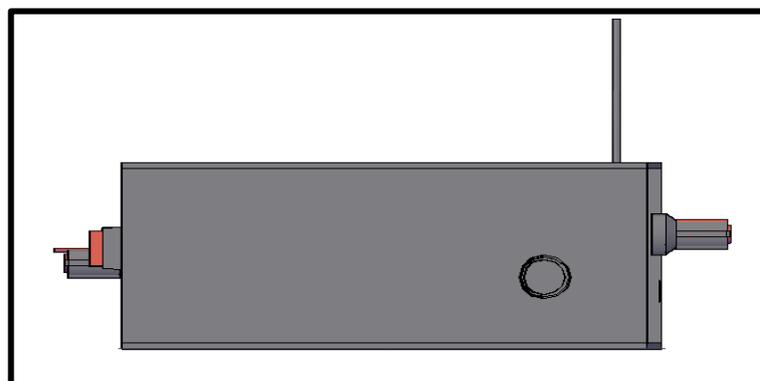
Vista Frontal



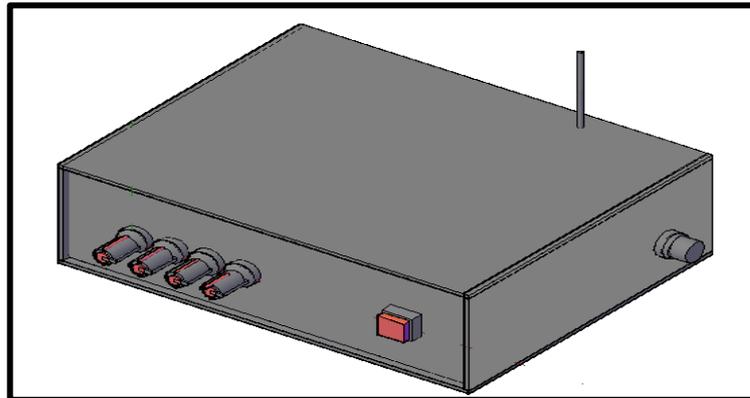
Vista Posterior



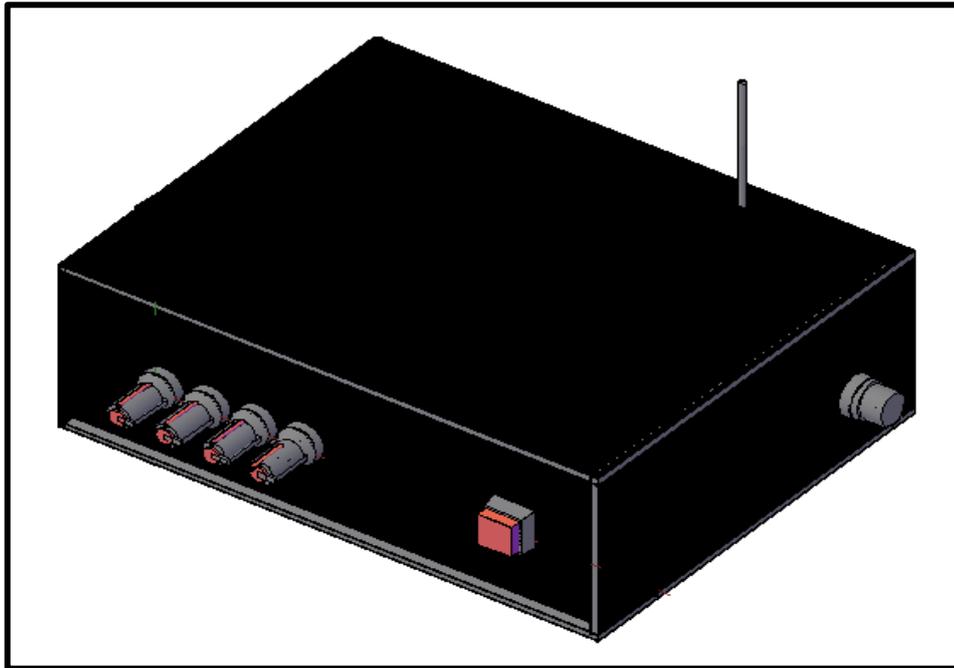
Vista cara derecha



Vista Total



**SISTEMA DE INTERFERENCIA DE SEÑAL CELULAR EN DISPOSITIVOS
CON TECNOLOGÍA GSM**



Introducción

El presente manual tiene como objetivo proporcionar información necesaria del prototipo del sistema de interferencia de señal celular en dispositivos con tecnología GSM para una correcta manipulación por parte del usuario, también consta de una pequeña guía para realizar el respectivo mantenimiento del equipo

MANUAL DE USO DEL DISPOSITIVO

Para que el dispositivo se ponga en funcionamiento se debe seguir los siguientes pasos:

1. Enchufar el cable de alimentación del prototipo a la toma de energía del lugar.



2. Energizar el dispositivo presionando el switch que se encuentra en la parte delantera del prototipo.



PROTECCIÓN DEL SISTEMA

El inhibidor de señal celular cuenta con un fusible colocado en la bobina del secundario del transformador, el mismo que se encarga de alimentar a la fuente, de tal manera que si existe algún corto circuito en el sistema se corta el paso de corriente de la fuente.

MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Para realizar el respectivo mantenimiento del equipo de debe seguir las siguientes instrucciones:

1. Verificar que el dispositivo se encuentre apagado.

2. Limpiar con un paño seco toda la superficie del inhibidor así como los elementos exteriores del mismo.
3. Utilizando un destornillador extraer los tornillos del prototipo ubicados en la parte inferior del mismo.
4. Retirar cuidadosamente la tapa del prototipo para poder observar el circuito interno del inhibidor de señal
5. Con la ayuda de una pequeña brocha retirar el polvo que se encuentra en la superficie de las placas electrónicas y aplicar un líquido apropiado para proteger los elementos.
6. Montar el prototipo colocando la tapa y ubicar el prototipo en el lugar adecuado.