



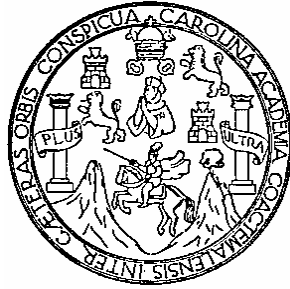
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

ASESORÍA TÉCNICA PARA EL MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE UNA SEÑAL DE RADIOFRECUENCIA

Pamela Ulianova Vega Morales
Asesorado por el Ing. Juan David Alvarado Corado

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ASESORÍA TÉCNICA PARA EL MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE UNA
SEÑAL DE RADIOFRECUENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PAMELA ULIANOVA VEGA MORALES

ASESORADO POR EL INGENIERO JUAN DAVID ALVARADO CORADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
SECRETARIA	Ing. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ASESORÍA TÉCNICA PARA EL MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE UNA SEÑAL DE RADIOFRECUENCIA

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en noviembre de 2005.

Pamela Ulianova Vega Morales

DEDICATORIA:

Mis padres Francisco Vega y Concepción Morales. A mis hermanos Viviana, Carlos Iván y Francisco. A mi cuñada Carmencita. Y así como lo dijera Francisco Bernardez:

Si para recobrar lo recobrado
debí perder primero lo perdido,
si para conseguir lo conseguido
tuve que soportar lo soportado,
*esto no lo habría logrado
de no estar ustedes a mi lado.*

Y además,

Porque después de todo he comprobado
Que no se goza bien de lo gozado
Sino después de haberlo padecido.

Porque después de todo he comprendido
que lo que el árbol tiene de florido
vive de lo que tiene sepultado.

AGRADECIMIENTOS:

El ayer... es un pasado que mantenemos presente en el tiempo, porque marcó algo en esos instantes. Y cuando retrocedemos las agujas del reloj, pasan frente a nosotros los momentos y las personas que los hicieron posibles.

A mis grandes amigos del colegio, de la U; a los amigos y amigas de Radio Universidad. GRACIAS, gracias porque ayer recibí un mensaje para seguir adelante; ayer me llamaron para felicitarme; ayer compartieron conmigo sus éxitos, confiaron en mí para ayudarlos; ayer me apoyaron, hicieron que reflexionara; ayer me guiaron con sus palabras, ayer aprendí y sigo aprendiendo de ustedes.

Gracias Roger, Diego, Manolo, Axel, Mario, Anita, a todos los Carlitos, Susy, Cristy, Claudita, Sergio, Nery, Greysi; gracias a todos por ese tiempo, por pasar un día y quedarse como hasta ahora.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. EN EL DIAL 92.1 FM	1
1.1. Primera voz radial universitaria	1
1.2. Tricentenaria en el dial y su importancia	2
1.3. Con espacio abierto	3
1.4. Visión y misión	4
2. ONDAS DE RADIO Y ANTENAS	5
2.1. Espectro radioeléctrico	5
2.2. Propagación de ondas	8
2.3. Antenas	11
2.3.1. Características de antenas	16
2.3.1.1. Ganancia de antenas	16
2.3.1.2. Diagrama o patrón de radiación	17
2.3.1.3. Ancho de haz	19
2.3.1.4. Impedancia de entrada	19
2.3.1.5. Polarización de antena	20

2.3.1.5.1.	Polarización vertical	21
2.3.1.5.2.	Polarización horizontal	21
2.3.1.5.3.	Polarización elíptica	22
2.3.1.5.4.	Polarización cruzada	22
2.3.1.6.	Pérdida de retorno	22
2.3.1.7.	Ancho de banda	22
2.4.	Tipo de antenas	23
2.4.1.	Dipolo de media onda	24
2.4.2.	Dipolo doblado	25
2.4.3.	Monopolo	25
2.4.4.	Antena Yagui-Uda	26
2.4.5.	Antena Log-Periódica	28
2.4.6.	Antenas para VHF-UHF	28
2.4.7.	Otros tipos de antenas	29
2.5.	Aislamiento de antena	30
2.5.1.	Aislamiento vertical	30
2.5.2.	Aislamiento horizontal	31
2.6.	Cables y conectores	31
2.7.	Divisor de potencia	35
2.8.	Pérdidas	36
2.8.1.	Pérdidas por trayectoria	36
2.8.2.	Pérdidas por cables y conectores	37
3.	FM Y TEORÍA DE ENLACES	39
3.1.	Frecuencia modulada	39
3.1.1.	Fundamentos matemáticos	42
3.1.2.	Índice de modulación y ancho de banda	49
3.1.2.1.	FM de banda angosta	52
3.1.2.2.	FM de banda ancha y la transmisión comercial	53

3.2. Generación de FM	54
3.2.1. FM indirecta	54
3.2.1.1. Modulador de FM indirecto	54
3.2.1.2. Transmisor FM indirecto de Armstrong	55
3.2.2. FM directa	56
3.2.2.1. Modulador de diodo varactor	57
3.2.2.2. Moduladores de circuito integrado lineal FM directo	59
3.2.2.3. Transmisores de FM directos	59
3.2.2.3.1. Transmisor directo de FM de Crosby	59
3.2.2.3.2. Transmisor FM directa de fase cerrada	61
3.3. Radioenlace terrestre	62
3.3.1. Cálculo de radioenlace	64
3.3.1.1. Pérdidas	64
3.3.1.2. Ganancia	66
3.3.1.3. Ecuación de enlace	67
3.3.1.4. Topografía digital	67
3.3.1.5. Protuberancia del terreno	68
3.3.1.6. Zona de fresnel	69
3.3.1.7. Altura de torres	71
4. LA RADIO, SU ENTORNO Y RADIO UNIVERSIDAD EN EL CONTEXTO LEGAL, GEOGRÁFICO Y FINANCIERO	73
4.1. Antecedentes de la radio en Guatemala	73
4.2. Organización de una radio	75
4.2.1. Organización de una radio generalista	75
4.2.2. Organización de una radio exclusivamente musical	79
4.2.3. Organigrama de una radio de pequeña cobertura	80
4.3. Inicio y continuidad de una emisora	83
4.3.1. Factor legal	83

4.3.1.1.	Solicitud de bandas de frecuencia	84
4.3.1.2.	Acerca del usufructo de frecuencia	87
4.3.2.	Factor geográfico	87
4.3.2.1.	Estudios centrales	88
4.3.2.2.	Planta transmisora	89
4.3.2.3.	Repetidoras	90
4.3.3.	Factor técnico	90
4.3.3.1.	Equipo de una radio	90
4.3.3.2.	Otras áreas a considerar	94
4.3.3.2.1.	Área de informática	95
4.3.3.2.2.	Área eléctrica	95
4.3.3.3.	Expansión de una radio	96
4.3.4.	Factor financiero	96
4.4.	Estructura actual de Radio Universidad	97
4.4.1.	Organización	97
4.4.2.	Factor legal	100
4.4.3.	Factor geográfico	101
4.4.4.	Factor financiero	102
5.	EMISIÓN DE LA SEÑAL DE RADIO UNIVERSIDAD EN FM	107
5.1.	Procesador de audio	109
5.2.	Enlace FM de Radio Universidad	111
5.2.1.	Cálculo de pérdidas	112
5.2.2.	Margen de desvanecimiento	114
5.2.3.	Ganancia del sistema de enlace	114
5.2.4.	Potencia de transmisión de enlace	115
5.2.5.	Cálculo del nivel de recepción de la señal (RSL)	115
5.2.6.	Zona de fresnel	117
5.2.7.	Enlace Alux con “Radio Mobile”	117

5.3. Excitador de FM	121
5.4. Amplificador de RF	124
5.5. Amplificador final	125
5.6. Sistema radiante	131
5.6.1. Potencia efectiva radiada	133
5.6.2. Densidad de potencia e intensidad de campo	135
5.7. Monitoreo de cobertura	139
6. AMPLIACIÓN DE COBERTURA DE LA SEÑAL DE RADIO	
UNIVERSIDAD 92.1 FM	147
6.1. Delimitación geográfica	147
6.2. Búsqueda de frecuencia	154
6.3. Cálculo de radioenlace Alux - volcán de Agua	157
6.4. Cálculo de radioenlace Alux - cerro Chino	159
6.5. Características de equipo	161
6.6. Costos de amplificación de cobertura	163
6.7. Consideraciones generales para la instalación	166
6.7.1. Equipo de alta frecuencia	166
6.7.2. Antenas	167
6.7.3. Toma de tierra	168
7. PUESTA A TIERRA, RUIDO Y VIDA ÚTIL DEL EQUIPO	171
7.1. Sistemas de conexión a tierra SCT	171
7.1.1. Sistema de electrodos de conexión a tierra SECT	172
7.1.2. Red de conexión a tierra RCT	172
7.1.3. Resistencia y resistividad	177
7.1.3.1. Métodos para la medición de resistencia	178
7.1.3.1.1. Método caída de potencial	178
7.1.3.1.2. Método de la pendiente	179

7.2. Recomendaciones SCT repetidora de Radio Universidad	179
7.3. Ruido	182
7.3.1. Definición de ruido	182
7.3.2. Ruido y FM	182
7.3.2.1. Efecto de umbral y captura	185
7.3.2.2. Pre-énfasis y de-énfasis	185
7.4. Guía para la medición de S/N en el receptor de Radio Universidad	186
7.5. Vida útil del equipo	188
7.5.1. Falla vs. tiempo de funcionamiento	188
7.5.2. Mantenimiento de equipo de radio	190
7.5.2.1. Laboratorio	191
7.5.3. Planes de mantenimiento	191
7.5.4. Costos y beneficios asociados a mantenimiento	192
CONCLUSIONES	195
RECOMENDACIONES	199
BIBLIOGRAFÍA	203
ANEXOS	205

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Espectro electromagnético	6
2. Diagrama de radiación	18
3. Representación de un diagrama en coordenadas polares	18
4. Puntos de media potencia en un diagrama de radiación	19
5. Transferencia de potencia desde una fuente a la carga	20
6. Polarización vertical	21
7. Polarización horizontal	21
8. Distribución de corriente y voltaje en una antena resonante	24
9. Patrón de radiación vertical	25
10. Antena Yagui para 800 MHz y diagrama de radiación	27
11. Aislamiento vertical	30
12. Aislamiento horizontal	31
13. Dimensiones X, Y y Z de una guía de onda rectangular	33
14. Gráfica potencia vs. distancia	37
15. Señal moduladora, señal portadora y señal modulada FM	40
16. Señales de mensaje para FM y PM	43
17. Relación entre FM y PM	49
18. Gráfica de Schwartz	51
19. Frecuencias laterales	52
20. Diagrama esquemático de un modulador indirecto	55
21. Diagrama de bloques del transmisor FM indirecto de Armstrong	56

22. Modulador de FM Directo con diodo varactor	58
23. Transmisor directo FM de Crosby (AFC)	60
24. Despejamiento	70
25. Organigrama de una radio generalista	78
26. Organigrama de una radio gran musical	80
27. Organigrama de una radio de pequeña cobertura	82
28 Estudios centrales	88
29. Planta transmisora	89
30. Organigrama de Radio Universidad	97
31. Ejemplo de la estructura del manual de clasificación	103
32. Gráfica del plan de funcionamiento 2007	105
33. Diagrama de bloques: transmisión Radio Universidad	108
34. Distancia entre estaciones	111
35. Primer radio de Fresnel	117
36. Propagación y patrón de la señal emitida	118
37. Patrón de radiación antena Yagui	119
38. Link_Radio_Alux	119
39 Visión del horizonte	120
40. Diagrama excitador FM	122
41 Cavidad del tubo tipo tríodo	127
42 Tubo tipo tríodo instalado	128
43. Regulación RF – MHz	130
44. Sistema radiante de 6 antenas instalado	131
45 Patrón H y V	132
46 Densidad de potencia e intensidad de campo	137
47. Mapa ruta 1	140
48. Mapa ruta 2	142
49. Mapa cobertura	145
50. Localización geográfica de los puntos más altos	149

51. Perfiles	149
52. Perfil de vista hacia zona de cobertura desde el volcán de Agua	151
53. Perfil de vista hacia zona de cobertura desde el cerro Chino	153
54 Radioenlace Alux_Agua a 3 W	158
55 Radioenlace Alux_cerro Chino a 4 W	160
56 Conexión RCT	173
57. Retorno de la corriente de falla del lado de potencia	176
58. Diagrama aproximado de puesta a tierra para la repetidora	180
59. Detector de FM usando discriminador	183
60. Gráfica de la PSD resultante a la salida del discriminador	184
61 Ruido a la salida del filtro paso bajo	184
62. Conexión de equipo para medición S/N en mono-estéreo	187
63. Conexión de equipo para medición S/N en estéreo	188
64. Curva de la bañera	189
65. Curvas de probabilidad falla vs. tiempo de funcionamiento	190

TABLAS

I.	Distribución del espacio radioeléctrico	7
II.	Fórmulas parámetros de antenas	15
III.	Fórmulas parámetros de antenas	16
IV.	Pérdidas en el alimentador	65
V.	Composición y valores del margen de desvanecimiento	66
VI.	Factores de rugosidad y climáticos	68
VII.	Lista de formularios para la banda regulada	86
VIII.	Equipamiento básico de baja frecuencia	91
IX.	Equipamiento de alta frecuencia	93
X.	Presupuesto Radio Universidad 2007	104
XI.	Resumen de las alturas en cada estación	112
XII.	Referencia de frecuencia	129
XIII.	Densidad de potencia e intensidad de campo	136
XIV.	Monitoreo de señal en la ruta 1	141
XV.	Monitoreo de señal en la ruta 2	143
XVI.	Puntos geográficos sur y centro de la República	148
XVII.	Lista de frecuencias ocupadas y posibles frecuencias libres	154
XVIII.	Lista de frecuencias de enlace	156
XIX.	Datos para cálculo de radioenlace Alux_Agua	157
XX.	Características del equipo de enlace	161
XXI.	Características de antenas para enlace	162
XXII.	Características del equipo de transmisión y radiación	163
XXIII.	Costos fijos y de inversión	164
XXIV.	Resistividad de suelos	181

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Factor de rugosidad
A₀	Atenuación en el espacio libre
B	Ancho de banda FM
B	Factor climático
D	Directividad de una antena
K	Coefficiente de curvatura de la tierra
m	Índice de modulación
λ	Longitud de onda
Ω	Ohmios, medida de resistencia
ω_c	Velocidad angular de la portadora

LISTA DE ABREVIATURAS

AFC	Control automático de frecuencia
AM	Amplitud modulada
ERP	Potencia efectiva radiada
EIRP	Potencia isotrópica radiada efectivamente
FM	Frecuencia modulada
GS	Ganancia de sistema
NBFM	FM de banda angosta
SIT	Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala
RF	Radiofrecuencia
UHF	Frecuencias ultra altas
VCO	Oscilador de voltaje controlado
VHF	Frecuencias muy altas
WBFM	FM de banda ancha

GLOSARIO

Acústica	Es la teoría del sonido. Investiga los fenómenos físicos, fisiológicos y psicológicos que aparecen en la formación y audición de los sonidos y en otros fluidos.
Antena isotrópica	Modelo idealizado de una antena que irradia en todas direcciones con la misma intensidad.
Decibeles	Son unidades logarítmicas que aparecen como fruto de aplicar un logaritmo a las unidades naturales. Es la unidad relativa empleada en acústica y telecomunicaciones para expresar la relación entre dos magnitudes. Cuyo símbolo es dB.
Decibeles isotrópicos	Número con el que se denota la ganancia de una antena con relación a una antena isotrópica. Su símbolo es dBi.
dBm	Decibeles referidos a un mili watt. Unidad de medida de potencia.
Espectro radioeléctrico	Porción del espectro electromagnético ocupada por ondas de radio desde los 3 KHz hasta los 300 GHz.
Programación generalista	Se refiere al tipo de programación que una radio emplea con multiplicidad de contenidos.

Ionosfera	Es un grupo de capas de la atmósfera donde el aire es muy delgado y se extiende entre unos 50 km y 500 km de altura. Los iones pueden reflejar o doblar ondas de radio hasta determinada longitud de onda.
Línea vista	Camino limpio sin obstrucciones entre la antena transmisora y la antena receptora.
Radioenlace	Es aquel que permite la conectividad entre dos estaciones en línea vista.
Usufructo	Es el derecho real y temporal de disfrutar de los bienes ajenos.

RESUMEN

Una estación de radio es un medio de comunicación capaz de llegar a todas las clases sociales. La variedad en el estilo de los programas radiales que distintas emisoras ofrecen, han permitido que el oyente interactúe de manera más personal con la oferta radial que escucha. Una radio independientemente si transmite en AM o FM; si es comunitaria, privada o estatal; funciona como cualquier empresa, donde la misma debe regirse bajo esquemas organizacionales que varían en función de su dimensión y su presupuesto, entre otras.

Cuando se sintoniza determinada estación de radio, se está escuchando el producto final de una serie de factores que tuvieron que intervenir para que los oyentes puedan deleitarse con los programas de su preferencia. Se destacan cuatro factores fundamentales estrechamente ligados: el factor legal, geográfico, técnico y financiero. Por lo tanto, una radiodifusora debe estar legalmente autorizada por la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala, poseer la solvencia económica no sólo para invertir en el equipo necesario, sino que contemple los gastos por mantenimiento del mismo. Además de instalarse en un lugar geográfico favorable para cubrir un determinado sector de la República, igualmente autorizado por la SIT.

Radio Universidad es una estación que transmite en Frecuencia Modulada, está legalmente constituida, localizada su planta transmisora en el Cerro Alux, lo que le permite radiar sobre los departamentos que tiene autorizados, Guatemala y Sacatepéquez.

La emisora Universitaria, voz de la Tricentenaria Universidad de San Carlos, y siendo la primera en Centroamérica, no cuenta con el presupuesto suficiente para darle mantenimiento tanto al equipo como a las instalaciones con las que cuenta. A pesar de ello, sus autoridades están pensando en ampliar la cobertura de la misma.

Expandir la señal Universitaria es posible desde el punto de vista técnico, puesto que la emisora cuenta con equipo de alta frecuencia que no emplea y que adquirió hace algunos años para el mismo fin, pero sin contar con una frecuencia. Además, puede llegar a cubrir las regiones del sur-oriental o sur-occidental del país desde cualquiera de los puntos geográficos que se plantean en el presente informe. Sin embargo, el obstáculo para la realización del proyecto sigue siendo el factor financiero.

La propuesta de colocar una repetidora, para Radio Universidad, también involucra lo relacionado con el arrendamiento del lugar seleccionado, una caseta donde resguardar el equipo, la instalación eléctrica del equipo, sistema de conexión de tierra, torre de transmisión, esto traducido en costos, entre otros.

OBJETIVOS

General

Brindar asesoramiento técnico para lograr una mayor cobertura en la transmisión de la señal de Radio Universidad.

Específicos

1. Analizar la estructura organizativa de la radiodifusora.
2. Determinar los distintos factores que inciden en la operación de una estación de radio como Radio Universidad.
3. Analizar el sistema de radioenlace operante en la emisora.
4. Examinar el proceso de amplificación final de la señal de radiofrecuencia.
5. Determinar y analizar el área de cobertura actual de la emisora
6. Determinar y analizar las regiones geográficas posibles de interés, donde se desea que Radio Universidad sea sintonizada.
7. Examinar las posibles frecuencias libres en el área geográfica seleccionada.
8. Diseñar un proyecto de radioenlace y amplificación final que permita ampliar la cobertura de la emisora, estableciendo al mismo tiempo el costo implicado en el mismo.

INTRODUCCIÓN

Como uno de los medios de comunicación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Radio Universidad emerge para romper con los esquemas radiales que mantienen una hegemonía totalitaria dedicada a difundir aquello que interesa a los sectores que poseen el poder económico y político del país. Su propuesta intenta transformarse en un espacio abierto para todos los sectores, teniendo como deber sagrado divulgar los valores culturales multiétnicos, científicos, además de contribuir con el análisis y las soluciones a los problemas nacionales.

De ahí la importancia que tiene para Radio Universidad, como medio de comunicación, la instalación de una repetidora que le permita expandir su señal. Para cubrir todo el territorio Nacional, se requiere de varios títulos de usufructo de frecuencia, ya que la geografía del país no permite que sea de otra forma. Y siendo el espectro radioeléctrico acaparado por la iniciativa privada, a Radio Universidad no le queda mucho margen para la adquisición de otra frecuencia, por lo que se hace necesario un monitoreo no sólo para determinar el alcance de la estación, sino que se determine las posibles frecuencias libres en un determinado sector del país.

Las propuestas para la ampliación de la cobertura de Radio Universidad, que se presenta a continuación, se encuentra limitada a cubrir parte del sur-oriental o sur-occidental del país, con base en un estudio de los puntos geográficos más altos cercanos al Cerro Alux que permitan realizar un radioenlace terrestre, determinando sus ventajas y desventajas, así como, el costo aproximado de implementar el proyecto.

1. EN EL DIAL 92.1 FM

1.1. Primera voz radial universitaria

Durante el acto de toma de posesión del doctor Alfonso Fuentes Soria como Rector de la Universidad de San Carlos de Guatemala, llevado a cabo el 29 de junio de 1990, en su discurso el doctor Fuentes Soria, hizo pública al Presidente de la República de ese entonces, Licenciado Marco Vinicio Cerezo Arévalo, la solicitud de asignarle a ésta casa de estudios superiores, una frecuencia de radio.

Entre recelos políticos de la oposición y de quienes perseguían el poder; en pleno conflicto armado interno, y sobre todo, la culminación de su mandato presidencial, el Licenciado Cerezo Arévalo le otorgó a la Universidad de San Carlos de Guatemala, la frecuencia 92.3 en la banda de FM, que posteriormente se cambiaría al actual 92.1 FM.

Radio Universidad fue creada por medio del ACUERDO No. 1,216-90, dictado el 30 de agosto de 1990, para difundir el conocimiento científico y tecnológico, la cultura nacional y universitaria, así como la preservación de nuestra identidad nacional. En dicho acuerdo se autorizó al Licenciado Everardo López García como encargado de realizar todos los trámites pertinentes desde la concesión de la frecuencia en frecuencia modulada, hasta la instalación de los equipos de transmisión requeridos para el funcionamiento de una radioemisora.

Como resultado de la investigación realizada, se ha establecido que las primeras pruebas se llevaron a cabo el 20 de octubre de 1991, como una feliz coincidencia con esa fecha histórica en nuestro país, como lo es la Revolución de 1944. El escenario de tan significativo acto fue el Campus Central de la Ciudad Universitaria en la zona 12 capitalina, específicamente en la Escuela de Ciencias de la Comunicación, sirviendo las instalaciones de la Escuela como laboratorio para estudiantes de las carreras de locución y periodismo.

La permanencia de los Estudios de la emisora en la Escuela de Ciencias de la Comunicación, fue relativamente corta, ya que fueron trasladados a la Academia de Ciencias, en el Centro Cultural Universitario, ubicado en la 2ª avenida 12-44 de la zona 1, y a través de una donación hecha por el gobierno español, se adquirió un transmisor de 1000 W, con el cual, la señal fue emitida hacia algunas zonas de la Ciudad Capital.

Un 30 de enero de 1992, sale al aire: la primera voz universitaria de Centroamérica.

1.2. Tricentenaria en el dial y su importancia

Los intereses que emergen alrededor de los medios de comunicación comercial, hacen que se cree un modelo de hegemonía totalitaria, difundiendo todo aquello que importa a los sectores que poseen el poder económico y político del país. Los modelos establecidos proporcionan al pueblo gran cantidad de desinformación, acompañada de una gama de estímulos consumistas y amenizados de propuestas que invitan a romper los valores morales y éticos de nuestra sociedad, con el propósito de mantenerla en el letargo de una falsa realidad.

De ahí la gran importancia que tiene para estos medios, la no democratización de la información, cuya condición constituye por sí sola, un reto, una gran responsabilidad y una misión impostergable, el surgimiento de radios públicas y en especial radios de naturaleza universitaria. De esta forma un medio como Radio Universidad está llamado a romper con esta hegemonía, partiendo de su condición como la voz de La Universidad de San Carlos de Guatemala, con autonomía y que la respalda una histórica participación en la vida del país, forjada durante más de trescientos años.

1.3. Con espacio abierto

Porque es un sagrado deber preservar a través de la divulgación los valores culturales multiétnicos; fomentar el respeto y el orgullo por esa rica diversidad de etnias, así como, su integración al desarrollo nacional; incentivar la investigación en estudiantes y profesionales, difundir sus logros científicos; aportar soluciones a los problemas nacionales a través de un correcto análisis de los mismos.

Por eso es fundamental que los personajes de la película social que solo son simples extras y a quienes nunca se les ha dado el papel protagónico en la historia, tengan en Radio Universidad, un espacio abierto, haciendo acopio del lema universitario: ID Y ENSEÑAD A TODOS.

1.4. Visión y misión

Visión:

Radio Universidad es un vínculo entre la sociedad guatemalteca y la Universidad de San Carlos de Guatemala, comprometida con la difusión científica, social y humanista, que procura la orientación en los diversos aspectos de la vida de los guatemaltecos y crear opinión con criterios realistas, que con su amplia y variada programación educa, forma, orienta y entretiene a la población universitaria y no universitaria fomentando una cultura democrática, con enfoque multi e intercultural.

Misión:

Radio Universidad debe difundir el saber científico y tecnológico, la cultura nacional y universitaria con objeto de preservar nuestra identidad nacional, cooperar al estudio y solución de los problemas nacionales y contribuir a la vinculación espiritual de los pueblos.

2. ONDAS DE RADIO Y ANTENAS

Las ondas de radio, conocidas también como ondas hertzianas, son ondas electromagnéticas, porque están compuestas de un campo eléctrico y uno magnético. Sus tres parámetros fundamentales son: frecuencia, velocidad y longitud de onda, este último es el resultado de dividir la velocidad de la onda entre su frecuencia. Una onda electromagnética viaja en el espacio vacío a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s), en otros medios su velocidad se reduce un 95% aproximadamente y en la atmósfera terrestre su reducción es insignificante.

2.1. Espectro radioeléctrico

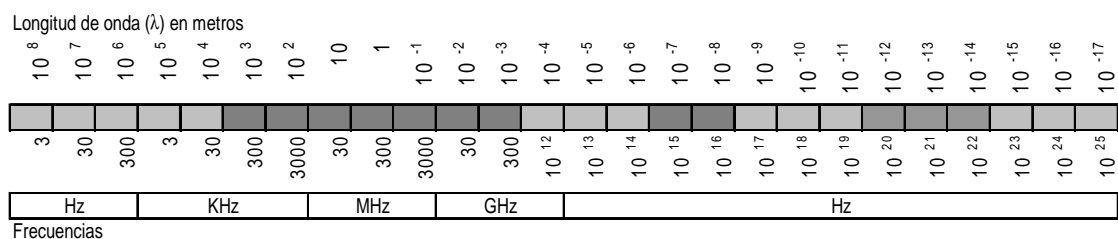
El espectro electromagnético está organizado de acuerdo a la frecuencia de las ondas que lo integran o a sus longitudes. En un extremo se encuentran agrupadas las ondas más largas, correspondientes a las frecuencias audibles por el ser humano, en tanto que el otro extremo se encuentran las ondas extremadamente cortas imperceptibles al oído humano, pero con mayor cantidad de energía y mayor frecuencia en hertz. El espectro electromagnético lo conforman las ondas de radio, luz infrarroja, luz visible, luz ultravioleta, rayos X, rayos gamma y cósmicos.

La sección del espectro electromagnético que posee las frecuencias extremadamente bajas, corresponde a la corriente alterna, 50 Hz en Europa y 60 Hz en América. Todos aquellos sonidos perceptibles por el oído humano abarcan desde los 20 Hz para los sonidos más graves, hasta los 20 kHz para los sonidos más agudos.

Los rayos infrarrojos abarcan aproximadamente desde los 300 GHz hasta los 380 THz. La radiación de la luz visible se localiza aproximadamente en los 380 THz, correspondiente a la frecuencia del color violeta y los 75 THz que corresponde al color rojo, esta es la única parte del espectro visible para el ojo humano. La franja comprendida entre los 75 THz y los 30 PHz pertenece a los rayos ultravioleta. Los rayos X abarcan frecuencias desde los 30 PHz hasta los 30 EHz. Las radiaciones de frecuencias extremadamente elevadas, liberan gran cantidad de energía que resulta muy peligrosa para los seres vivos, como es el caso de los rayos gamma de 30 EHz a 30 ZHz. Los rayos cósmicos procedentes del espacio superan los 30 ZHz.

La siguiente figura muestra la distribución completa de la radiación de las ondas electromagnéticas.

Figura1. Espectro electromagnético



Fuente: Así funciona, www.asifunciona.com

El espectro radioeléctrico es una porción del espectro electromagnético, ocupada por ondas de radio que comprende desde los 3 kHz hasta los 300 GHz. Dentro de este se incluyen las ondas que permiten la transmisión de señales de radio de amplitud modulada (AM) y frecuencia modulada (FM), incluyendo televisión, telefonía móvil, sistemas de posicionamiento global, controles para gobierno de equipos remotos, hornos microondas, radar, etc.

Tabla I. Distribución del espacio radioeléctrico

Banda	Frecuencia	Longitud de onda λ	Características	Uso típico
VLF (Very low frequencies- Frecuencias muy bajas)	3-30 kHz	100000 - 10000 m	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.	Enlaces de radio a gran distancia
LF (Low frequencies- Frecuencias bajas)	30-300 kHz	10000 - 1000 m	Propagación por onda de tierra, atenuación débil.	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.
MF (Medium frequencies- Frecuencias medias)	300-3000 kHz	1000 - 100 m	Propagación por onda de tierra, con una absorción elevada durante el día. Propagación ionosférica por la noche.	Radiodifusión
HF (High frequencies- Frecuencias altas)	3-30 MHz	100 - 10 m	Propagación prevalentemente ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en diferentes horas del día y de la noche.	Todo tipo de comunicaciones a media y larga distancia.
VHF (Very high frequencies- Frecuencias muy altas)	30-300 MHz	10 - 1 m	Propagación directa, esporádicamente propagación ionosférica o torposférica.	Enlaces de radio a corta distancia; televisión, radiodifusión en frecuencia modulada (FM)
UHF (Ultra high frequencies- Frecuencias ultra altas)	300-3000 MHz	1 m - 10 cm	Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, radar, ayuda a navegación aérea, televisión.
SHF (Super high frequencies- Frecuencias super altas)	3-30 GHz	10 - 1 cm	Propagación directa	IEEE 802.11a Wireless LANs, subidas y bajadas de satélites y enlaces terrestres de alta velocidad (backhauls); televisión vía satélite en la bandas C y Ku, radioenlaces, radar.
EHF (Extremely high frequencies- Frecuencias extremadamente altas)	30-300 GHz	1 cm - 1 mm	Propagación directa	Utilizada en radioastronomía. También es de utilidad para sistemas de radar de alta resolución.

Para distribuir de mejor forma los distintos servicios de telecomunicaciones, se dividió el espectro radioeléctrico en bandas, como se muestra en la Tabla anterior, cada una con una gama de frecuencias que permiten diferentes posibilidades de recepción para el diexista.

Esta división fue establecida por el Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR) en 1953. A su vez la Unión Internacional de Telecomunicaciones (IUT-ITU) dividió al planeta en tres regiones, donde las frecuencias para los distintos usos y servicios son similares en cada región. La Región 1 la componen Europa, África, el Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas de las ex-Unión Soviética. La Región 2 la integran los países de América, mientras que el resto está en la Región 3.

2.2. Propagación de ondas

Una propiedad importante de las ondas electromagnéticas es la forma en la que se mueven en el ambiente, no requieren de nada para trasladarse de un lugar a otro. Esto no quiere decir que puedan cambiar de dirección e intensidad, al momento de encontrar algún obstáculo en el trayecto. A todos aquellos mecanismos por los cuales las ondas pueden viajar de un punto a otro se le denomina propagación.

Las ondas de radio, se mueven relativamente libres de influencias. Un frente de onda lo hará en línea recta sin sufrir alteraciones más que la disminución de su intensidad con la distancia de la fuente que la emite. Las estaciones de radio terrestres están dentro de una serie de gases donde hay mucha actividad de distinto tipo que varía con la geografía, la presión, la altura, la temperatura, la carga eléctrica, etc. Modificando intensidad, dirección, polarización e integridad de las ondas de radio.

Entre las formas de propagación más comunes se tienen:

- **Propagación por onda directa:** la señal viaja desde el transmisor hacia el receptor mediante un rayo directo sin obstrucciones de importancia. La atenuación causada por agentes meteorológicos es mínima. Las señales de VHF/UHF/SHF se propagan por onda directa.
- **Propagación por onda terrestre o superficial:** la onda de superficie sigue la curvatura de la tierra por difracción. Tiene polarización vertical pues cualquier componente de campo eléctrico horizontal será rápidamente absorbida por la tierra, por ello, para aprovechar este tipo de propagación hay que emplear antenas con polarización vertical. Es la forma habitual por la cual se reciben señales de onda media (550 a 1750 kHz) durante las horas del día. Este tipo de propagación es efectivo en el mar en frecuencias MF y HF, no depende de la altura de las antenas. Se aprovecha mejor cuando las antenas emiten con ángulos bajos de radiación, las antenas de $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$ onda a nivel del suelo logran este cometido.
- **Propagación por onda reflejada:** es típico de las frecuencias elevadas. Las señales se reflejan en superficies que pueden considerarse “lisas” para la longitud de onda considerada pudiendo alcanzar lugares ocultos para las señales directas. En microondas suele emplearse esta posibilidad artificialmente estableciendo repetidores pasivos en lugares elevados.
- **Propagación por difracción (“filo de navaja”):** cuando una onda encuentra un obstáculo, puede rodearlo parcialmente. Las señales de VHF/UHF pueden “doblar” hacia abajo en los bordes de los edificios permitiendo alcanzar otros lugares con suficiente intensidad para hacer contacto.

- **Propagación por onda espacial o línea visual:** la señal puede propagarse sin necesidad de la onda terrestre si las antenas están elevadas sobre el terreno, también se designa como propagación troposférica. La onda espacial se compone de dos rayos, uno directo y uno reflejado en la tierra. Es el modo de propagación de las frecuencias superiores a los 30 MHz y todo el espectro HF.
- **Propagación por onda ionosférica:** en las regiones superiores de la atmósfera se producen los fenómenos más importantes relacionadas con la propagación de las señales a grandes distancias por medios naturales, allí se establecen electrones libres estratificados por la radiación ultravioleta del Sol. Esas zonas tienen la capacidad de reflejar hacia la tierra las ondas de radio que inciden sobre ellas, haciendo posible comunicarse alrededor del globo a pesar de su esfericidad. Los cambios producidos en la ionosfera provocan alteraciones en las señales.

En la propagación en VHF/UHF, la ionosfera ya no es capaz de reflejar las ondas de radio y prácticamente no existen comunicaciones por su intermedio, entonces se dice que las comunicaciones se realizan por onda directa que se mueven en líneas rectas, con lo cual el alcance queda limitado por la curvatura de la tierra. Aquí es importante la altura de las antenas. La propagación entre las estaciones se genera por ondas troposféricas.

Cuando se reciben ondas de radio de un mismo punto, se encuentra que la intensidad de las mismas varía notablemente según la hora del día, la época de año, etc. Las variaciones de la intensidad se conocen como desvanecimientos (fading) y obedecen a distintas causas:

- Que varíen las condiciones físicas del medio por el cual viajan las señales

- Que lleguen al receptor múltiples partes de una misma señal que arriban ligeramente desfasadas haciendo que se sumen o resten sus amplitudes.
- Que se produzcan reflexiones en los objetos que están en movimiento provocando el efecto anterior.
- Que el transmisor y/o el receptor estén en movimiento y los caminos de la señal estén variando con el tiempo.
- Que se atenúen algunas frecuencias mientras que otras inmediatamente cercanas no, deformando las señales (desvanecimiento selectivo).

2.3. Antenas

Una antena es una estructura en la cual las corrientes variables en el tiempo pueden ser excitadas con una amplitud relativamente grande cuando la antena es conectada a una fuente apropiada, usualmente por medio de una línea de transmisión o guía de onda.

Su función primordial es convertir la energía electromagnética, procedente de un generador a través de una línea de transmisión, en energía electromagnética que se propaga libremente en el espacio. Adapta la impedancia interna del generador a la impedancia del espacio.

Una antena debe transferir la máxima cantidad de energía desde el cable o guía de onda procedente del transmisor hacia la dirección donde se encontrará la estación receptora. Para ello, la impedancia característica de la antena debe acoplarse a la impedancia del cable o guía de onda. Los cables coaxiales se fabrican con impedancias de 50 o 75 ohmios¹.

¹ En TV se emplea frecuentemente 75Ω, pero en las demás aplicaciones predomina el valor de 50Ω

Si la impedancia de la antena es diferente a la de la guía de onda o cable que la alimenta, parte de la energía entregada se reflejará hacia el alimentador donde puede inclusive dañar seriamente el transmisor. Un mal acople de impedancias hace que la cantidad de energía disponible para la comunicación, disminuya.

El principio de reciprocidad, establece que el comportamiento de la antena de transmisión es idéntico al de la antena de recepción. Así una antena que transmita máxima señal en una dirección dada, también recibirá máxima señal en esa dirección. En una antena coexisten una serie de parámetros tales como:

- **Impedancia característica:** depende de la relación longitud/diámetro del conductor y de la frecuencia de trabajo. La Z_0 de cada punto del conductor es también función de su distancia al punto de alimentación de la antena, por lo que la misma varía a lo largo del conductor
- **Altura o longitud efectiva:** si se acorta la longitud de una antena determinada y se termina en sus extremos con unas capacidades adecuadas, consiguiéndose una distribución uniforme de la corriente y sin alterar la cantidad de energía radiada, esa longitud acortada se denomina longitud efectiva, y altura efectiva en el caso de un monopolo.
- **Coefficiente de onda:** ángulo medido en radianes ($2\pi/\lambda$) que corresponde a cada metro de la longitud de onda. También recibe el nombre de coeficiente de fase.

- **Longitud eléctrica:** teóricamente, la corriente en los extremos alejados del punto de alimentación es cero. Pero en realidad los nodos de corriente están en longitudes físicas algo más largas (efecto terminal), debido a un aumento de la inductancia y una disminución de la capacitancia cerca de los extremos, generando la disminución de la impedancia Z_0 y un aumento de la corriente en la zona terminal lo que produce un alargamiento aparente del conductor. Para que al final de una longitud eléctrica de cuarto de onda para monopolos y media onda para dipolos, la corriente sea cero en los extremos, la longitud física debe ser menor a la longitud física.
- **Factor de atenuación:** determina la pérdida de energía que se produce en cada punto de la antena. Es función de su longitud, resistencia de radiación y Z_0 . Su unidad es el neper.
- **Resistencia de radiación:** determinada por la capacidad que tiene la antena de disipar la energía que recibe del generador, radiándola al espacio. La resistencia de radiación es función de la longitud del conductor y de la frecuencia de trabajo.
- **Inductancia:** valor intrínseco del conductor y su valor depende de Z_0 y la frecuencia de trabajo.
- **Capacidad:** es la resultante de todas las capacidades entre puntos del conductor por el que, al igual que la inductancia, es un valor intrínseco del conductor y función de Z_0 y la frecuencia de trabajo.

- **Q y ancho de banda:** el factor de calidad Q , de una antena, está en función de Z_o y la resistencia de radiación. Determina la variación de frecuencia, respecto a la de trabajo, permitida por la antena para que ésta tenga un rendimiento aceptable. Dividiendo la frecuencia de resonancia por el Q , se obtiene la desviación de frecuencia que permite la antena y por lo tanto el ancho de banda.
- **Resistencia:** resultante de la suma vectorial de la inductancia y la capacidad de la antena. Es función de la longitud del conductor, el radio del mismo, y la longitud de onda de la frecuencia de trabajo.
- **Impedancia de entrada:** impedancia que presenta la antena en su punto de alimentación y es necesario conocer para obtener un correcto acoplamiento con la impedancia del generador.
- **Directividad:** la directividad D de una antena es su ganancia directiva en dirección de la máxima radiación (G_{max})
- **Área efectiva:** razón de potencia disponible en los terminales de antena a la potencia por unidad de área de una onda polarizada adecuadamente. Es función de la ganancia directiva (G_d) si la antena no tiene pérdidas. Si la antena es eléctricamente corta, tiene pérdidas, o es directiva, es función de la ganancia de potencia (G_p)

En las Tablas II y III se presentan las fórmulas para los parámetros de las antenas descritas anteriormente.

Tabla II. Fórmulas parámetros de antenas.

Impedancia Característica ¹	$Z_{op} = 120 \ln\left(\frac{2r}{a}\right)$	r = distancia del punto considerado al punto de alimentación del dipolo. a = radio del conductor r y a en las mismas unidades
	$Z_{om} = \left[\ln\left(\frac{2H}{a}\right) - 1 \right]$	H = semilongitud del dipolo a = radio del conductor H y a en las mismas dimensiones.
Altura o longitud efectivas ²	$H_c = \frac{tg \frac{\beta H_o}{2}}{\beta}$	H _o = semilongitud o altura física del dipolo o monopolo expresada en metros. β = constante de fase
	$L_c = \frac{2tg \frac{\beta H_o}{2}}{\beta}$	
Coeficiente de onda o Constante de fase	$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$	Expresado en radianes
Longitud eléctrica ³	$H = 1.05H_o$ <p><i>Longitud física = βH_o</i></p> <p><i>Longitud eléctrica = βH</i></p>	H y H _o semilongitudes o alturas del dipolo o monopolo, expresadas en metros.
Factor de atenuación	$\alpha = \frac{R_{rv}}{H \times Z_o}$	R _{rv} = resistencia de radiación en el vientre de corriente H = altura o semilongitud eléctrica en metros Factor de atenuación se expresa en nepers.
<p>1. Z_{po} impedancia característica de un punto cualquiera de un dipolo delgado. Z_{om} impedancia media de un dipolo.</p> <p>2. H_c para un monopolo y L_c para un dipolo.</p> <p>3. La longitud física y eléctrica corresponden a un monopolo, para un dipolo se duplica su valor.</p>		

Tabla III. Fórmulas parámetros de antenas

Resistencia de radiación	$R_{rv} = 30 \left[\ln \frac{2H}{\lambda} + 1.722 \right] + \cos \frac{4\pi H}{\lambda} - \frac{\pi}{2} \operatorname{sen} \frac{4\pi H}{\lambda} + 4.83 + 2 \ln \frac{2H}{\lambda}$	
Inductancia	$L_a = \frac{Z_o}{8F}$	Z _o = impedancia característica en ohmios F = frecuencia en Hz Inductancia medida en henrios
Capacidad	$C_a = \frac{2}{\pi^2 \cdot F \cdot Z_o}$	Capacidad medida en faradios
Q	$Q_a = \frac{\pi \cdot Z_o}{4 \cdot R_{rv}}$	
Reactancia	$x_v = -30 \left\{ \operatorname{sen} b \left[-\gamma + \ln \left(\frac{H}{\beta \cdot a^2} \right) \right] + 2C_1(b) - C_1(2b) \right\} - \cos b \cdot 2S_1(b) - S_1(2b) - 2S_1(b)$	
	$S_i = x - \frac{x^3}{3 \cdot 3!} + \frac{x^5}{5 \cdot 5!} - \frac{x^7}{7 \cdot 7!} + \dots$	$S_1 = \frac{x^2}{2 \cdot 2!} - \frac{x^4}{4 \cdot 4!} + \frac{x^6}{6 \cdot 6!} - \dots$
	$C_i(x) = \ln x + \gamma - S_1(x)$	$b = 2\beta H$
Impedancia de entrada	$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$	
Directividad	$G_{d \max} = \frac{120}{R_{rv}} [1 - \cos(\beta H)]^2$	β = coeficiente de onda H = longitud eléctrica
Área efectiva	$\frac{\lambda^2}{4\pi} \times G_{dmas}$	El área efectiva se expresa en m ² .

2.3.1. Características de antenas

2.3.1.1. Ganancia de antena

El concepto de ganancia se desarrolla a partir de un modelo idealizado de antena, se emplea una antena isotrópica, para comparar antenas reales. Este

tipo de antena irradia en todas direcciones con la misma intensidad, aunque es físicamente irrealizable, lo que permite tener un patrón de radiación esférico.

La ganancia de una antena se define como el cociente entre la cantidad de energía radiada en la dirección preferencial y la que irradia una antena isotrópica alimentada por el mismo transmisor. Este número lo expresamos en decibelios con relación a la isotrópica y por ende se denota dBi.

La ganancia de una antena es una forma de medir cuán directiva es en comparación con una antena isotrópica. A mayor ganancia de antena, mayor directividad y se hace mas angosto el haz de radio. Una antena es un elemento pasivo, no amplifica de ninguna forma una señal.

Si una antena posee una ganancia de 3 dBi en cierta dirección, quiere decir que la potencia será transmitida o recibida por una antena isotrópica que usa el doble de la potencia en el radiotransmisor. La ganancia de una antena es el producto de la directividad, determinada por factores geométricos, y la eficiencia, que depende del material con el que fue construida. La eficiencia (η) varia entre un 40 y 60%. Cuando la ganancia de una antena es expresada en dBd, la antena de referencia es una antena de dipolo que tiene una ganancia de 2.14 dBi comparado con una isotrópica.

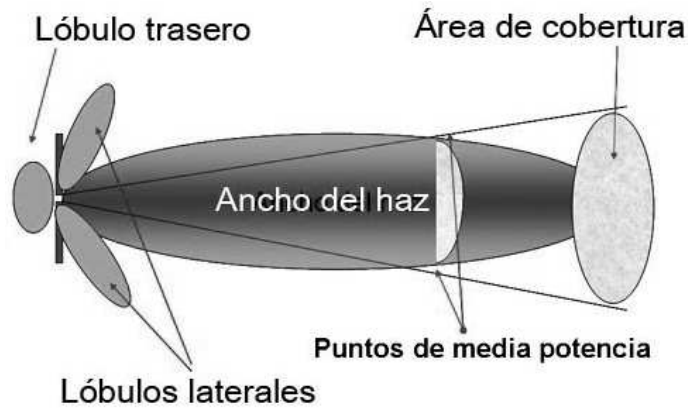
$$\text{Ganancia en dBd} = \text{Ganancia en dBi} - 2.1 \quad (2.1)$$

2.3.1.2. Diagrama o patrón de radiación

Es una gráfica de la potencia de la señal transmitida en función del ángulo espacial, en ella se aprecian los lóbulos laterales y traseros, los puntos en los cuales no se irradia potencia (nulos) y los puntos de media potencia. En el diseño de antenas se busca reducir los lóbulos secundarios, laterales y traseros

mediante la geometría de la antena, debido a que son perjudiciales. La siguiente figura muestra un diagrama de radiación:

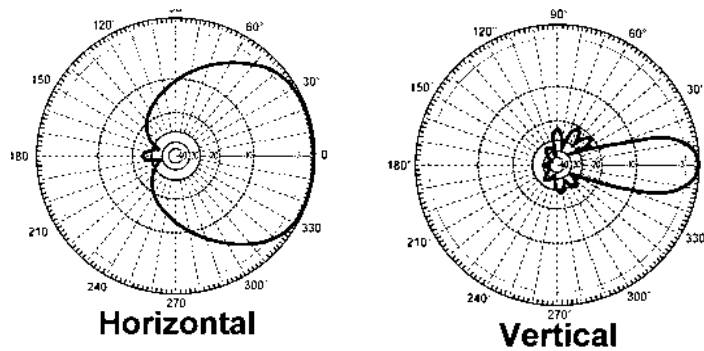
Figura 2. Diagrama de radiación



Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

El campo electromagnético producido por una antena a gran distancia corresponde a la transformada de Fourier en dos dimensiones de la distribución de cargas eléctricas en la antena. Normalmente, los diagramas de radiación se representan de forma bi-dimensional en dos planos, el vertical y el horizontal; representados en coordenadas rectangulares o polares, como se muestra a continuación.

Figura 3. Representación de un diagrama en coordenadas polares

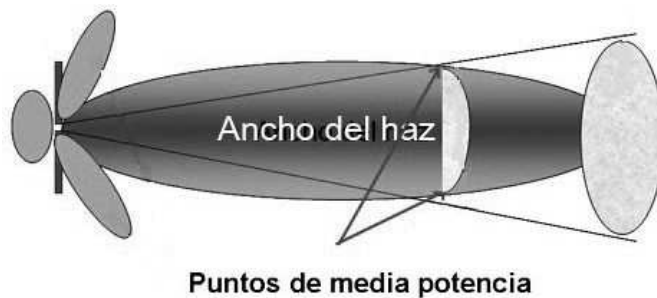


Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

2.3.1.3. Ancho de haz

Es el ángulo subtendido por la radiación emitida entre los puntos en que la potencia disminuye a la mitad, 3 dB respecto a la radiación máxima.

Figura 4. Puntos de media potencia en un diagrama de radiación



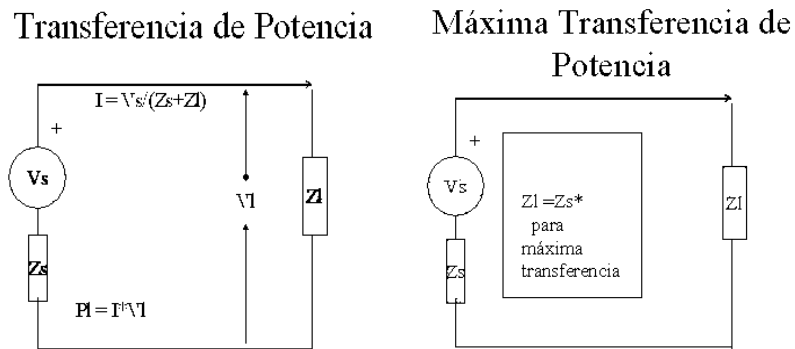
Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

En el diagrama de la figura anterior, se puede determinar la cobertura espacial donde la antena ofrece buena cobertura. El ángulo entre los puntos de media potencia es conocido como ancho de haz o beamwidth en inglés, y se define tanto para el plano horizontal como para el plano vertical. Sólo para el caso de una antena con simetría circular perfecta ambos ángulos son iguales. La ganancia es inversamente proporcional a la extensión de la cobertura.

2.3.1.4. Impedancia de entrada

Para la máxima transferencia de potencia la impedancia de la antena debe estar acoplada a la de la línea de transmisión que la alimenta. La calidad del acoplamiento debería ser la unidad si las impedancias son iguales, pero si excede de dos o tres el transmisor puede dañarse. La calidad del acoplamiento se mide en términos de la relación de onda estacionaria, VSWR (Voltaje Standing Wave Ratio).

Figura 5. Transferencia de potencia desde una fuente a la carga



Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

En la figura 5, la fuente representa el transmisor y la carga la antena. La estacionaria se mide con un vatímetro que permita medir tanto la potencia incidente como la reflejada, o con un analizador de espectros dotado de generador de barrido y acoplador de señales.

$$VSWR = (P_i + P_r) / (P_i - P_r) \quad (2.2)$$

Donde P_i es la potencia incidente y P_r potencia reflejada.

La impedancia que ve el transmisor TX debe ser igual a su impedancia de salida, de otra forma se genera una onda reflejada que no solo disminuye la señal efectivamente irradiada, sino que si es muy elevada puede dañar el TX .

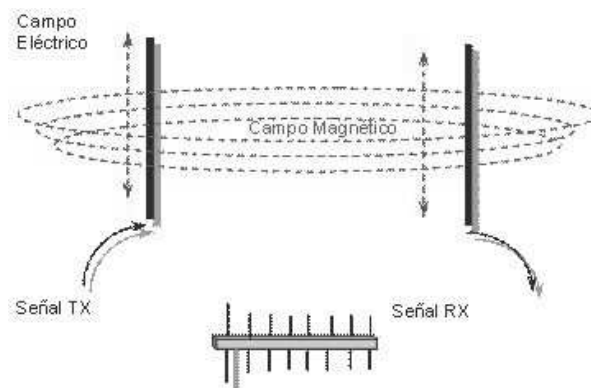
2.3.1.5. Polarización de antena

La polarización de una antena corresponde a la dirección del campo eléctrico emitido por una antena. Pudiendo ser vertical, horizontal, elíptica, o circular hacia la derecha o izquierda.

2.3.1.5.1. Polarización vertical

La polarización vertical se produce cuando el campo eléctrico permanece en la dirección vertical durante toda la trayectoria de la onda. Para un dipolo el movimiento de los electrones dentro del alambre responde al campo eléctrico y por tanto define la polarización.

Figura 6. Polarización vertical

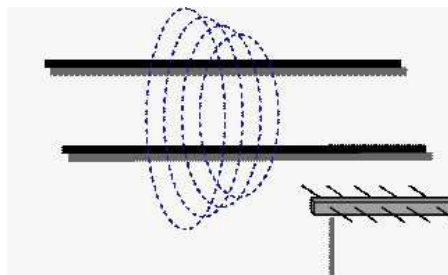


Fuente: wnd-es-ebook

2.3.1.5.2. Polarización horizontal

Si el campo eléctrico de una onda se mantiene horizontal toda su trayectoria, se dice que existe polarización horizontal. (Ver figura 7)

Figura 7. Polarización horizontal



Fuente: wnd-es-ebook

2.3.1.5.3. Polarización elíptica

Se produce cuando el campo eléctrico va girando en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Un caso particular de la elíptica, es la polarización circular la cual puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda. Es importante que ambos extremos del enlace tengan la misma polarización, en este caso se debe tener el mismo sentido de giro. La polarización elíptica se emplea en transmisión satelital y la producen antenas helicoidales.

2.3.1.5.4. Polarización cruzada

La polarización cruzada tiene lugar cuando un extremo del enlace tiene diferente polarización, lo cual implica pérdida de señal que pueden alcanzar los 20 dB.

2.3.1.6. Pérdida de retorno

Es una forma de expresar la desadaptación de impedancias. Es una medida logarítmica expresada en dB, que compara la potencia reflejada por la antena con la potencia entregada por el transmisor. Siempre existe una cantidad de energía que va a ser reflejada hacia el transmisor, pero una pérdida de retorno elevada genera un funcionamiento inadecuado de la antena.

2.3.1.7. Ancho de banda

Es el rango de frecuencias en el cual la antena puede operar satisfaciendo ciertos criterios, por ejemplo la gama de frecuencias para la cual la antena va a tener una Razón de Onda Estacionaria (SWVR) menor que 2:1.

2.4. Tipos de antenas

Las antenas pueden clasificarse según:

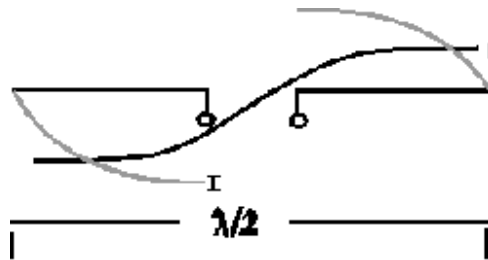
- **Frecuencia y tamaño:** la longitud de onda es diferente a diferentes frecuencias, por lo tanto las antenas deben ser diferentes en tamaño para radial señales a la correcta longitud de onda.
- **Directividad:** las antenas pueden ser omnidireccionales, sectoriales o directivas. Las antenas omnidireccionales irradian aproximadamente con la misma intensidad en todas las direcciones del plano horizontal. Los tipos más populares de antenas omnidireccionales son los dipolos y las de plano de tierra. Las antenas sectoriales irradian principalmente en un área específica. El haz puede ser tan amplio como 180° , o tan angosto como 60° . Las direccionales o directivas son antenas en las cuales el ancho del haz es mucho mas angosto que en las antenas sectoriales. Tienen la ganancia más alta y por lo tanto se utilizan para enlaces a larga distancia. Tipos de antenas directivas son las Yagui, Biquad, las de bocina, helicoidales, match, platos parabólicos entre otras.
- **Construcción física:** las antenas pueden construirse de muchas formas diferentes, desde simples mallas, platos parabólicos, o latas de café.
- **Aplicaciones:** los puntos de acceso tienden a hacer redes punto a multipunto, mientras que los enlaces remotos son punto a punto. Esto implica diferentes tipos de antenas para el propósito. Los nodos utilizados para accesos multipunto pueden utilizarse tanto antenas omnidireccionales, como antenas sectoriales. En el caso de los enlaces punto a punto, las antenas se usan para conectar dos lugares. Las antenas directivas son la elección principal para esta aplicación.

A continuación se describen algunos de los tipos más comunes de antenas:

2.4.1. Dipolo de media onda

Es la más sencilla y fácil de construir en una variedad de frecuencias arriba de 2 MHz, conocida también como antena Hertz. Una antena Hertz es una antena resonante, es un múltiplo de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda de largo y de circuito abierto en el extremo más lejano. En la Figura 8, se observa la distribución de corriente y voltaje ideales a lo largo de un dipolo de media onda.

Figura 8. Distribución de corriente y voltaje en una antena resonante

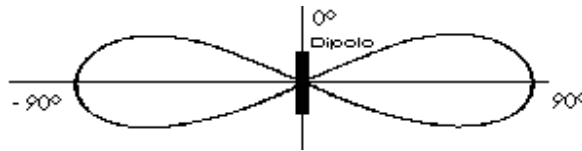


Fuente: WEBCB "tipos de antenas" www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html

En los extremos hay un voltaje máximo y una corriente mínima, mientras que en el centro sucede lo contrario, así la impedancia en los extremos será máxima y en el centro mínima, aproximadamente de 2500Ω y 73Ω respectivamente.

El patrón de radiación de espacio libre depende de la localización horizontal o vertical de la antena con relación a la superficie de la tierra. En la Figura 9 se observa que los dos lóbulos principales irradian en direcciones opuestas y están en ángulo derecho a la antena.

Figura 9. Patrón de radiación vertical



Fuente: WEBCB "tipos de antenas" www.todoantenas.cl/tipos-de-antenas.html

2.4.2. Dipolo doblado

Cerrando el dipolo pero manteniendo la misma dimensión, se aumenta el ancho de banda y la resistencia de entrada se multiplica por cuatro. Es muy utilizada en televisión.

2.4.3. Monopolo

Un plano conductor infinito refleja la distribución de cargas eléctricas que están por encima de él. Esto se aprovecha para reducir a la mitad las dimensiones físicas de un dipolo de media onda, aspecto importante en radiodifusión AM, donde $\frac{1}{4}$ de longitud de onda son un centenar de metros, pero también se emplea a frecuencias altas. La reflexión que se produce en el plano de tierra produce un efecto equivalente al de una antena de media onda. También es conocida como antena Marconi. El plano de la tierra en la práctica es suficiente que se extienda por lo menos a $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, y no tiene que ser continuo, pueden ser solo varios trozos de alambre denominados "radiales".

2.4.4. Antena Yagui-Uda

Construida por varios elementos paralelos y coplanarios, directores, activos y reflectores, empleada principalmente por enlaces punto a punto; tienen una ganancia desde 10 a 20 dBi y un ancho de haz horizontal de 10 a 20 grados. Los elementos directores dirigen el campo eléctrico, los activos radian el campo y los reflectores lo reflejan. La antena Yagi básica consiste en un cierto número de elementos rectos que miden cada uno aproximadamente la mitad de la longitud de onda. 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 y 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. 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, mayor la ganancia y es físicamente más larga. Su ganancia está dada por:

$$G = 10 \log n \quad (2.3)$$

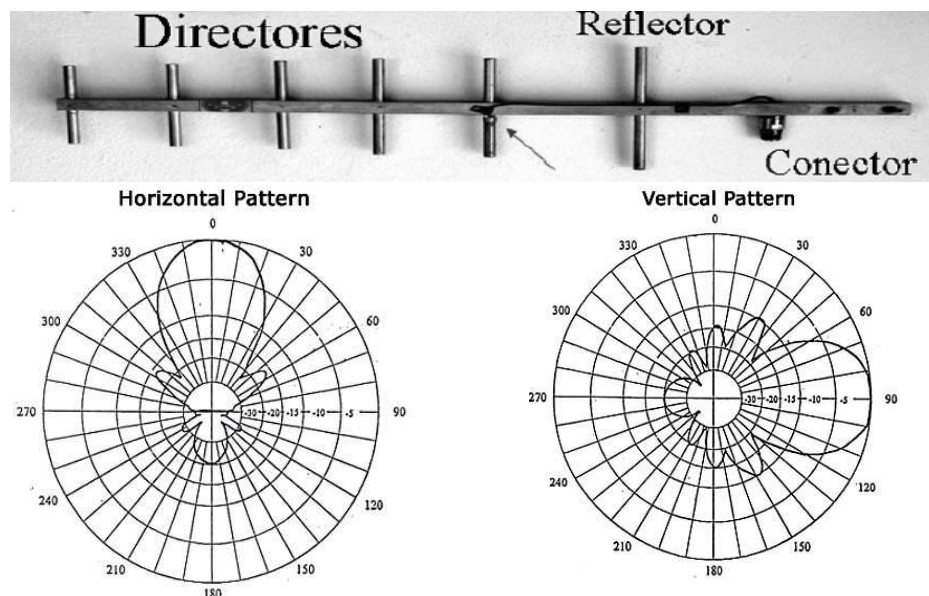
Donde n es el número de elementos por considerar.

Una antena Yagui presenta las siguientes características:

- La ganancia directiva es inversamente proporcional a la relación Frente-Espalda (F-E)

- La ganancia directa es directamente proporcional al número de elementos.
- El ancho de banda es inversamente proporcional a la ganancia directa.
- El ancho de banda es directamente proporcional a la separación de los elementos.
- La anchura del lóbulo principal del diagrama de radiación es inversamente proporcional al número de elementos.
- La resistencia de radiación es directamente proporcional a la separación de elementos y siempre menor a la de un dipolo.
- La relación Frente-Espalda (F-E) es directamente proporcional a la separación del reflector.
- La relación Frente-Espalda (F-E) es inversamente proporcional a la separación de los directores

Figura 10. Antena Yagui para 800MHz y diagrama de radiación



Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

2.4.5. Antena Log-Periódica

Se asemeja a la Yagi, pero la diferencia fundamental es que todos los dipolos se alimentan y la fase de alimentación se invierte en cada paso. La impedancia es una función periódica de la frecuencia de operación. Es unidireccional y de mayor ancho de banda, pero la ganancia es inferior respecto a la yagi con el mismo número de elementos. El elemento más corto es menor a media longitud de onda de la frecuencia más alta, mientras que el elemento mas corto es mayor a media longitud de onda de la frecuencia más baja.

2.4.6. Antenas para VHF-UHF

Una sencilla antena vertical de $1/4$ de onda con plano de tierra artificial puede proporcionar buenos resultados en un entorno urbano. Inclinando los radiales hacia abajo se logra rebajar el ángulo de radiación y elevar la impedancia hasta los 50 ohmios convenientes para alimentarla con cable coaxial. Combinando varias antenas verticales con sus elementos «en línea» se obtiene la antena denominada colineal, con la que se logran mayores prestaciones al concentrar la energía en un menor ángulo vertical, de forma que no se desperdicia energía hacia lo alto. Comercialmente se ofrecen antenas de este tipo que resultan prácticas y convenientes de instalar, tanto en situaciones fijas como sobre un vehículo. La comunicación en VHF o UHF a través de repetidores (analógicos o digitales) se efectúa exclusivamente en FM y utilizando polarización vertical, por lo que las antenas verticales omnidireccionales ofrecen una excelente solución para repetidores relativamente cercanos.

Cuando se desea incrementar el alcance de la estación en VHF o UHF es necesario optar por una antena direccional, fija o acoplada a un rotor. Dadas las dimensiones relativamente reducidas de estas antenas, incluso con múltiples elementos, es factible mejorar sustancialmente el alcance de un equipo sin necesidad de apelar a amplificadores utilizando antenas direccionales.

2.4.7. Otros tipos de antenas

Entre otros tipos de antenas se tienen:

- Antena colectiva: antena receptora que, mediante la conveniente amplificación y el uso de distribuidores, permite su utilización por diversos usuarios.
- Antena de cuadro: antena de escasa sensibilidad, formada por una bobina de una o varias espiras arrolladas en un cuadro, cuyo funcionamiento bi-direccional la hace útil en radiogoniometría.
- Antena de reflector o parabólica: antena provista de un reflector metálico, de forma parabólica, esférica o de bocina, que limita las radiaciones a un cierto espacio, concentrando la potencia de las ondas; se utiliza especialmente para la transmisión y recepción vía satélite.
- Antena lineal: la que está constituida por un conductor rectilíneo, generalmente en posición vertical.
- Antena multibanda: la que permite la recepción de ondas cortas en una amplitud de banda que abarca muy diversas frecuencias.
- Antena helicoidal: produce una onda con polarización circular, que tiene la ventaja de no cambiar su polarización cuando se refleja en algún objeto. Cuando se establece un enlace entre una antena de polarización circular y una lineal, las pérdidas por desadaptación son de 3 dB.

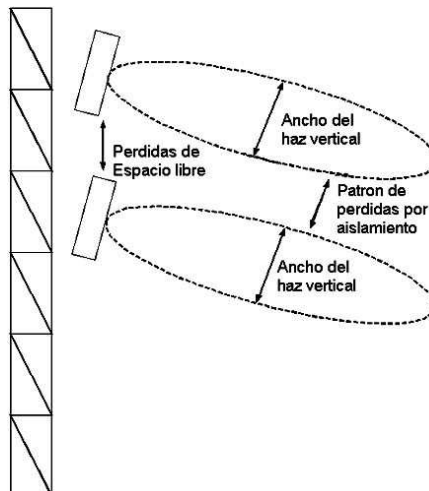
2.5. Aislamiento de antena

Cuando se instalan dos antenas en la misma torre, se debe constatar que no exista interferencia entre las señales de radio. El aislamiento entre las antenas se debe hacer tanto en la vertical como en la horizontal.

2.5.1. Aislamiento vertical

Al colocar antenas en el mismo plano vertical, se tiene que tomar en cuenta la pérdida de espacio libre, que está directamente relacionado con la distancia entre las antenas en la torre. Es la pérdida de energía de la señal entre las dos antenas en el espacio libre. Como regla, una distancia de 3 m en 2.4 GHz garantizará una pérdida de espacio libre de 49 dB. También se debe considerar un cambio en el patrón de radiación por la presencia de objetos metálicos. Ver Figura 11.

Figura 11. Aislamiento vertical

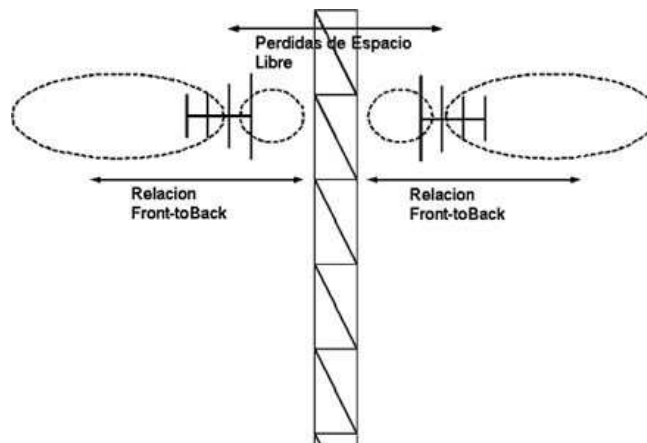


Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

2.5.2. Aislamiento horizontal

Con dos antenas en el mismo plano horizontal, se debe considerar una pérdida en el espacio libre similar a la del aislamiento vertical. Es necesario saber cuánta energía se irradia en la parte posterior de la antena para que no sufra alteraciones el patrón de radiación. Es importante comparar que la relación frente/espalda de las antenas sea alta para minimizar la interferencia. Ver Figura 12.

Figura 12. Aislamiento horizontal



Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

2.6. Cables y conectores

Para frecuencias mayores que HF, los cables empleados son casi exclusivamente los coaxiales. Poseen un conductor central recubierto por un material no conductor llamado dieléctrico. El dieléctrico se recubre con una pantalla conductora envolvente a menudo en forma de malla. El material dieléctrico evita una conexión eléctrica entre el conductor central y la pantalla.

El coaxial está protegido por un recubrimiento generalmente de PVC. El conductor interior transporta la señal de RF, y la pantalla evita que la señal de RF sea radiada a la atmósfera, así como impide que posibles señales externas interfieran con la que está siendo transmitida por el cable. Las señales eléctricas de alta frecuencia siempre viajan a lo largo de la capa exterior del conductor central: cuanto más grande el conductor central, mejor va a ser el flujo de la señal, (efecto piel).

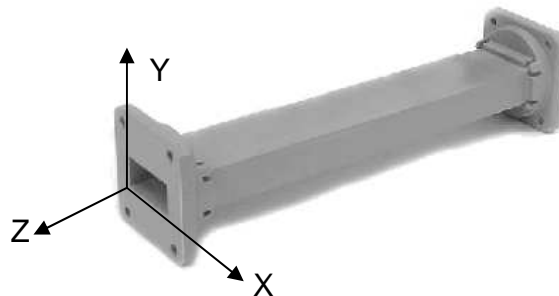
La señal que viaja a través del cable disminuye su intensidad. Este debilitamiento es conocido como atenuación, y para las líneas de transmisión se mide en decibeles por metro (dB/m). El coeficiente de atenuación es una función directa de la frecuencia de la señal y la construcción física del cable.

El tipo de cable RG-58 fue pensado para redes Ethernet, radio VHF pero no para microondas. El RG-213 fue diseñado para señales HF. Para conectar el transmisor a la antena se emplea cable Heliac, también llamados foam – espuma-. Los cables Heliac tienen un centro conductor sólido o tubular con un conductor externo sólido y corrugado que lo hace flexible. Estos cables pueden construirse de dos formas, utilizando aire o espuma para el dieléctrico. Los cables Heliac con dieléctrico de aire son los más caros y garantizan la menor pérdida, pero son muy difíciles de manipular. Los de espuma tienen una pérdida ligeramente mayor, pero son más económicos y sencillos de instalar. La marca de cables coaxiales Times Microwave LMR los produce en varios diámetros, y funcionan bien en frecuencias de microondas. Los cables LMR-400 y LMR-600 se utilizan como alternativas al Heliac.

Por encima de los 2 GHz, la longitud de onda es lo suficientemente corta como para permitir una transferencia de energía práctica y eficiente por diferentes medios, por lo que se emplea guía de onda.

Una guía de onda es un tubo conductor a través del cual se transmite la energía en la forma de ondas electromagnéticas. El tubo actúa como un contenedor que confina las ondas en un espacio cerrado. El efecto de Faraday atrapa cualquier campo electromagnético fuera de la guía. Los campos electromagnéticos son propagados a través de la guía de onda por medio de reflexiones en sus paredes internas, que son consideradas perfectamente conductoras. La intensidad de los campos es máxima en el centro a lo largo de la dimensión X y debe disminuir a cero al llegar a las paredes, porque la existencia de cualquier campo paralelo a las mismas en su superficie causaría una corriente infinita en un conductor perfecto. Las guías de ondas, no pueden transportar señales RF de esta forma.

Figura 13. Dimensiones X, Y y Z de una guía de onda rectangular



Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

Si una guía de onda se deja abierta en uno de sus lados, puede radiar energía, es decir, que puede ser empleada como una antena en lugar de línea de transmisión.

Los conectores permiten unir un cable a otro. Existe una gran variedad de adaptadores y conectores diseñados para concordar con diferentes tipos de tamaños de líneas coaxiales. Algunos de ellos se describen a continuación:

- **Conector tipo BNC:** es un conector miniatura de conexión y desconexión rápida. Tiene dos postes de bayoneta en el conector hembra, y el apareamiento se logra con sólo un cuarto de vuelta de la tuerca de acoplamiento. Los conectores BNC son ideales para la terminación de cables coaxiales miniatura o subminiatura (RG-58 a RG-179, RG-316, etc.). Tienen un desempeño aceptable hasta unos pocos cientos de MHz. Son los que se encuentran más comúnmente en los equipamientos de prueba y en los cables coaxiales Ethernet 10base2. Los conectores TNC son una versión roscada de los BNC. Debido a que proveen una mejor interconexión, funcionan bien hasta unos 12GHz.
- **Conectores tipo N:** desarrollados originalmente durante la Segunda Guerra Mundial. Se pueden utilizar a más de 18 Ghz y se utilizan comúnmente en aplicaciones de microondas. Se fabrican para la mayoría de tipos de cable. Las uniones del cable al conector macho o hembra son impermeables, y proveen un agarre efectivo.
- **Conectores SMA:** son unidades subminiatura de precisión que proveen excelentes prestaciones eléctricas hasta más de 18 GHz. Estos conectores de alto desempeño son de tamaño compacto y tienen una extraordinaria durabilidad.
- **Conectores SMB:** sub miniatura B, son el segundo diseño subminiatura. Constituyen una versión más pequeña de los SMA con un acoplamiento a presión y funcionan hasta los 4 GHz.
- **Conectores MCX:** aunque utilizan contactos internos y aislantes idénticos a los SMB, el diámetro exterior de la clavija es 30% más pequeño que la del SMB. Esta serie provee a los diseñadores de opciones cuando el espacio físico es limitado. MCX tiene una capacidad de banda ancha de 6 GHz con un diseño de conector a presión.

Los adaptadores pueden ser utilizados para interconectar dispositivos o cables de diferentes tipos. Por ejemplo, un adaptador puede ser utilizado para conectar un conector SMA a un BNC. También pueden servir para unir dos conectores del mismo tipo que no pueden hacerlo directamente por su género (macho-macho/hembra-hembra). Por ejemplo, un adaptador muy útil es el que permite unir dos conectores machos Tipo N, que tiene dos conectores hembra en ambos extremos.

2.7. Divisor de potencia

A veces llamado "Splitter" o "Combiner", se usa para conectar varias antenas a un mismo radio. Combinar varias antenas nos permite crear nuevos diagramas de radiación y modificar el área de servicio de un punto de acceso. Normalmente, se usan divisores de potencia en los casos donde existe una gran necesidad de personalizar un área de servicio, por ejemplo en la caso de repetidores, los cuales dan servicios a áreas que no tienen línea de vista. Imagine el caso que se desea conectar dos pueblos en valles separados colocando un repetidor en el tope de una montaña o una colina.

Un divisor de potencia difundirá la potencia en igual cantidad a cada antena individual dentro del sistema de antenas. Este tipo de configuración requiere de buenas destrezas de diseño para prevenir las colisiones debido a los nodos escondidos.

2.8. Pérdidas

2.8.1. Pérdidas por trayectoria

También se conoce como pérdida en el espacio libre. Para una antena isotrópica, la densidad de potencia, es decir, la potencia por unidad de área de la superficie de una esfera es:

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (2.4)$$

Donde P_t es la potencia transmitida por la antena y d es la distancia entre las antenas y el punto en estudio, el radio de la esfera.

El área efectiva de una antena receptora se define como la superficie del frente de onda plano con densidad de potencia P_d que dispone de una potencia equivalente a la entregada por la antena. Para una antena isotropita el área es:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2.5)$$

La potencia de recepción P_r está en función de la potencia de transmisión P_t , por lo que tenemos:

$$P_r = P_t \left\{ \frac{\lambda}{4\pi d} \right\}^2 \quad (2.6)$$

Debido a que es imposible captar el cien por ciento de la potencia transmitida, siempre la potencia de recepción será inferior, se puede expresar como una pérdida por la propagación en el espacio libre. El valor de pérdida es expresada en decibeles y esta definida por:

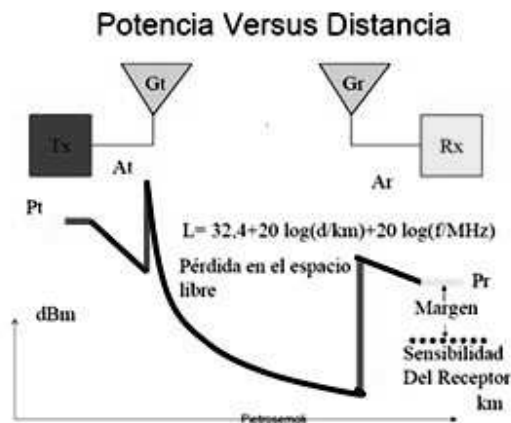
$$A_o = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \quad (2.7)$$

De las dos ecuaciones anteriores, y simplificando, se obtiene la siguiente expresión para la atenuación en el espacio libre:

$$A_o = 32.5 \text{ dB} + 20 \log(f d) \quad \text{dB} \quad (2.8)$$

La frecuencia f debe estar en MHz y la distancia d en km. La Figura 14, representa la gráfica de la potencia contra la distancia.

Figura 14. Gráfica potencia vs. distancia.



Fuente: TRICALCAR www.wilac.net/tricalcar

2.8.2. Pérdidas por cables y conectores

Las pérdidas en la señal de radio tendrán lugar en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Dependen del cable y de la frecuencia de operación y son medidas en dB/m. El cable que va hacia la antena debe ser lo más corto posible. La pérdida típica en los cables es de 0,1 dB/m a 1 dB/m y aumentan con la frecuencia. Es necesario consultar las hojas de datos del fabricante. Aunque las pérdidas en un cable coaxial son menores mientras más grueso sea el cable, su calidad es lo más importante.

El cable RG8 tiene el mismo grosor que el LMR400, pero con pérdidas mucho más elevadas. Esto se manifiesta en la mayor rigidez del LMR400, producto de un conductor externo más efectivo. No se emplea cable RG8 en la frecuencia de 2,4 GHz o 5 GHz.

Se considera al menos 0,25 dB de pérdida por cada conector en el cableado. Deben examinarse las hojas de datos para conocer las pérdidas para la frecuencia y tipo de conector. Si los cables usados son largos, la suma de las pérdidas de los conectores son normalmente incluidos en la "Pérdida de cable"².

Adicionalmente, los protectores contra rayos (lightning arrestors) que son usados entre antenas y el equipo de radio, típicamente introducen 0,5 dB de pérdida.

² Consultar tabla de pérdidas en cables en el anexo A

3. FM Y TEORÍA DE ENLACES

3.1. Frecuencia modulada

Es común hablar de emisoras AM y FM, lo que significa que las mismas hacen referencia al tipo de modulación que emplean en dichas bandas y no la banda en sí. La voz humana emite ondas de baja frecuencia en el orden de 20 a 20,000 Hz, comparadas con ondas de alta frecuencia como la de la luz visible del orden de 10^{14} Hz.

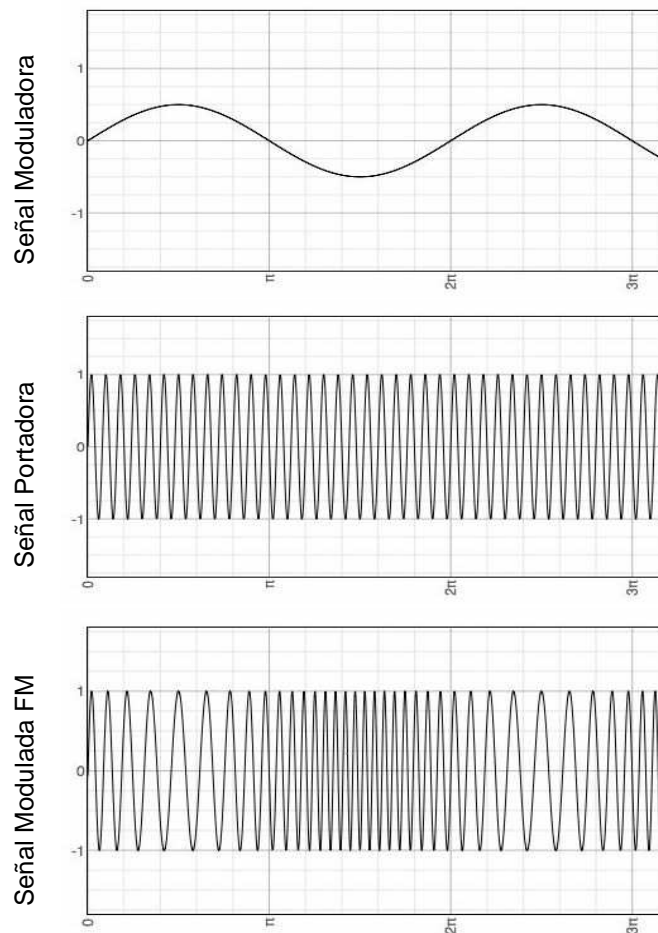
Modular es el proceso de colocar la información contenida en una señal de banda base generalmente de baja frecuencia, sobre una senoide de alta frecuencia, denominada portadora. Este proceso genera la modificación de alguno de los parámetros de la portadora (amplitud, frecuencia o fase). Como resultado se obtiene una señal modulada que finalmente puede ser transmitida.

Es importante modular debido a que si todos los usuarios transmiten a la frecuencia de la señal moduladora, no será posible reconocer la información por la interferencia ocasionada entre las señales transmitidas. A frecuencias altas, se obtiene mayor eficiencia en la transmisión, según el medio empleado y el espectro electromagnético se aprovecha mejor, ya que permite la multiplexación por frecuencias y disminuye el tamaño de las antenas.

La modulación permite aprovechar mejor el canal de comunicación, y transmitir en forma simultánea más información por un mismo canal, así como, minimizar interferencias y ruido. Existen dos formas de modulación:

- **Modulación analógica:** realizada a partir de señales analógicas de información, como la voz humana, audio y video, en su forma eléctrica. Dentro de ésta, se encuentra la modulación en amplitud (AM), la modulación en frecuencia (FM) y la modulación en fase (PM); éstas dos últimas pertenecen a la modulación angular.
- **Modulación digital:** generada a partir de señales provenientes de fuentes digitales

Figura 15. Señal moduladora, señal portadora y señal modulada FM



Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

En las señales de la Figura 15 se observa que la modulación en frecuencia, consiste en hacer variar la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la señal que contiene la información, es decir la señal moduladora, permaneciendo constante su amplitud.

La modulación en frecuencia crea un conjunto de bandas laterales cuya extensión dependerá de la amplitud de la señal moduladora. Si ocurre un incremento en las bandas laterales, el ancho del canal de FM se incrementa, también aumentará el ancho de la banda de sintonización de los aparatos receptores.

Modular en frecuencia permite una mayor calidad de reproducción como resultado de la poca influencia que generan las interferencias eléctricas, por lo tanto, se emplea como alternativa en radiodifusión de la amplitud modulada (AM). Las características derivadas de un ancho de canal mayor, no son consecuencia directa de la tecnología FM, sino más bien una decisión política de comunicación.

En los inicios de FM, la banda de media frecuencia MF, tradicional en el servicio de radio, estaba saturada, por lo tanto se adjudicó la banda VHF. Un espectro que ofrecía grandes posibilidades de expansión para los nuevos servicios de radiodifusión. Sin limitación en la banda de VHF y con el ánimo de otorgar a FM la posibilidad de emitir programación de alta fidelidad, hizo que los canales de FM tuvieran mayor capacidad. El ancho de los canales depende de las decisiones de cada Estado, algunas naciones han adjudicado canales entre 100 y 200 KHz. Si el espectro de audiofrecuencia necesita una amplitud de 20 KHz, un canal de FM puede emitir simultáneamente por medio de una multiplexación de frecuencias entre cinco y diez canales completos de alta fidelidad.

La banda emisora FM cubre las frecuencias de 88 a 108 MHz. Si por ejemplo, la banda de un emisor fuera de 1 MHz, entonces pueden caber:

$$(108 - 88) / 1 = 20 \text{ emisores}$$

Ahora bien, si la banda de emisor es 0.2 MHz (200 KHz), entonces cabrían 100 emisores en FM. Cuando la cantidad de emisores aumenta, la banda de cada uno disminuye proporcionalmente, lo que ocasiona una menor transmisión de información haciendo imposible obtener una buena calidad en el audio. Esto no solo es valido para la banda emisora FM, sino para otras bandas como AM, de radioaficionados, de la policía, etc.

3.1.1. Fundamentos matemáticos

Una señal analógica puede variar en amplitud, frecuencia o fase. La modulación angular resulta de la variación del ángulo de fase $\theta(t)$ de una senoide, respecto del tiempo sin alterar ninguno de los otros parámetros. En la modulación angular existe modulación de frecuencia (FM) y de fase (PM). La diferencia entre ambas está en cual parámetro de la portadora varia directamente con la señal moduladora y cual indirectamente. Una onda con modulación angular $y(t)$ está dada por:

$$y(t) = V_c \cos [\omega_c t + \theta(t)] \quad (3.1)$$

en donde

- $y(t)$ = onda con modulación angular
- V_c = amplitud pico de la portadora (voltios)
- ω_c = velocidad angular de la portadora
- $\theta(t)$ = desviación instantánea de fase

Si $v_m(t)$ es la señal moduladora, $\theta(t)$ debe ser función de la misma, entonces se tiene:

$$\theta(t) = f [v_m(t)] \quad (3.2)$$

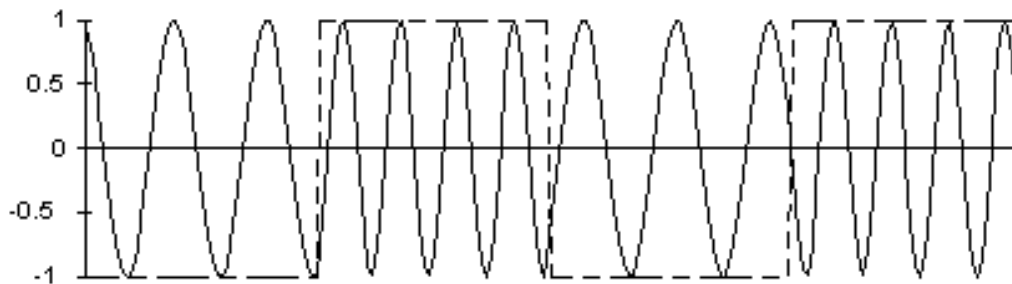
Al variar la frecuencia de la portadora, también lo hace la fase y viceversa, por lo tanto FM y PM deben ocurrir cuando se realiza cualquiera de las dos formas de modulación angular.

- Una señal FM se obtiene variando directamente la frecuencia instantánea de una portadora de amplitud constante con la señal moduladora.
- Una señal PM se obtiene variando directamente la fase de una portadora de amplitud constante con la señal moduladora.

A continuación, se presentan dos ejemplos de ondas moduladas en PM y en FM. En un caso el mensaje es una señal cuadrada y en el otro el mensaje es sinusoidal. Las señales FM y PM son muy parecidas en este último caso.

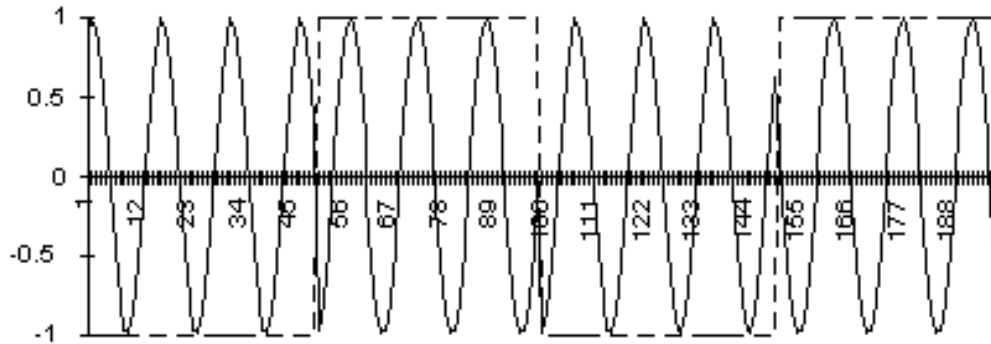
Figura 16. Señales de mensaje para FM y PM

a) Señal cuadrada periódica (FM)



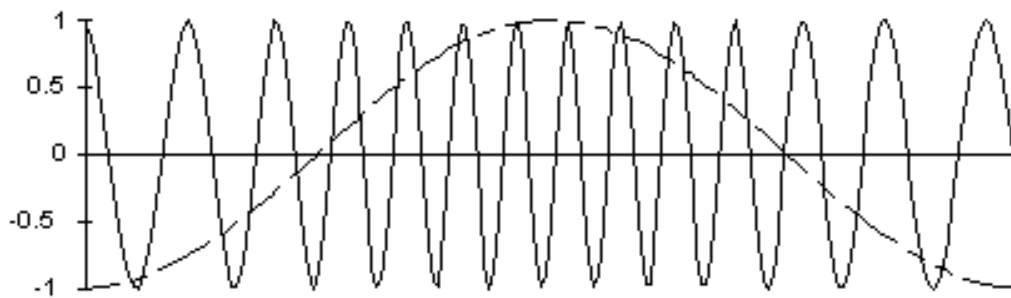
Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

b) Señal cuadrada periódica (PM)



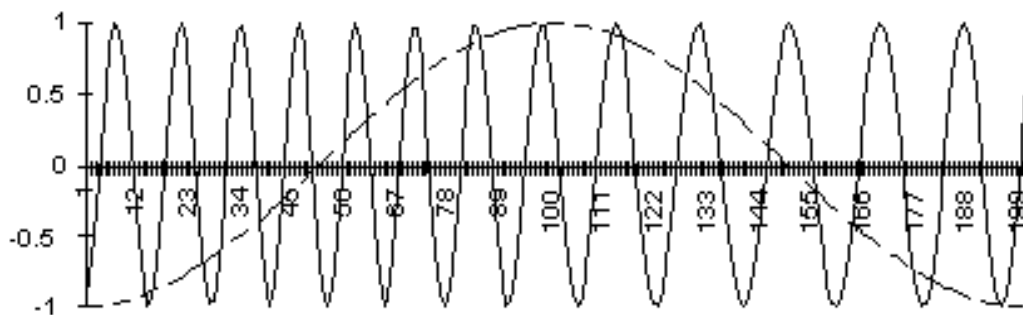
Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

c) Señal sinusoidal (FM)



Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

d) Señal sinusoidal (PM)



Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

La frecuencia y la fase cambian proporcionalmente con la amplitud de la señal moduladora. Un cambio en la frecuencia Δf generado por un desplazamiento relativo de la frecuencia de la portadora en hertz, se conoce como desviación de frecuencia. El cambio que resulta del desplazamiento angular relativo de la fase de la portadora en radianes, se denomina como desviación de fase $\Delta\theta$. La velocidad a la que ocurre cualquiera de estas desviaciones es igual a la velocidad de la frecuencia de la señal moduladora.

Para obtener la expresión matemática para FM, se asume la siguiente señal portadora:

$$y_c = A_c \cos(\omega_c t + \phi) \quad (3.3)$$

donde $(\omega_c t + \phi)$ es la fase instantánea de la portadora, entonces:

$$\theta = \omega_c t + \phi \quad (3.4)$$

sustituyendo la ecuación (3.4) en (3.3) tenemos:

$$y_c = A_c \cos \theta \quad (3.5)$$

La frecuencia angular instantánea (ω_i) es la frecuencia precisa de la portadora en un instante de tiempo, y se define como la primera derivada respecto del tiempo de la fase instantánea. De la Ec. (3.4)

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} \quad (3.6)$$

$$\omega_i = \omega_c \quad (3.7)$$

De esta forma la ecuación (3.7) muestra la frecuencia angular instantánea de la señal portadora de la Ec. (3.3) sin modulación. Ahora bien, si la portadora se ve afectada por una señal moduladora, quiere decir que ϕ será una función variable en el tiempo. Así la frecuencia angular instantánea será entonces:

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_c + Kf(t) \quad (3.8)$$

$$\omega_i = \omega_c + Kf(t) \quad (3.9)$$

si $f(t)$ es la señal moduladora,

$$f(t) = f_m(t) = A_m \cos \omega_m t \quad (3.10)$$

Sustituyendo la Ec. (3.10) en la Ec. (3.9) se obtiene:

$$\omega_i = \omega_c + KA_m \cos \omega_m t \quad (3.11)$$

$$\omega_i - \omega_c = KA_m \cos \omega_m t \quad (3.11a)$$

Esa diferencia entre la frecuencia angular instantánea y la frecuencia angular de la portadora de la Ec. (3.11a) se conoce como desviación angular de frecuencia $\Delta\omega_i$.

$$\Delta\omega_i = (\omega_i - \omega_c) \quad (3.11b)$$

$$\Delta\omega_i = KA_m \cos \omega_m t \quad (3.11c)$$

La portadora se desvía proporcionalmente con la amplitud de la señal moduladora. Así la desviación de frecuencia esta dada por la Ec. (3.11c). Y la máxima desviación de frecuencia angular, ocurre cuando $\cos\omega_m t = 1$, en $t=0$, entonces:

$$\Delta\omega_{\max} = KA_m \quad (3.12)$$

Se sabe que $\omega = 2\pi f$, al sustituir en la Ec. (3.12) y despejar para f se obtiene la siguiente expresión para la desviación de frecuencia máxima.

$$\Delta f = \frac{KA_m}{2\pi} \quad (3.13)$$

Por lo tanto, el cambio o desviación de frecuencia instantánea provocada por la señal moduladora es únicamente función de la amplitud de la señal de audio. La variación de frecuencia se realizará con una velocidad proporcional a la frecuencia de la señal moduladora.

Para hallar la fase en función del tiempo, únicamente se integra la frecuencia instantánea.

$$\theta(t) = \int \omega_t dt \quad (3.14)$$

sustituyendo la Ec. (3.11) en la Ec. (3.14), y desarrollando la integral se tiene:

$$\theta(t) = \int (\omega_c + KA_m \cos \omega_m t) dt \quad (3.15)$$

$$\theta(t) = \omega_c t + K \int (A_m \cos \omega_m t) dt \quad (3.15a)$$

$$\theta(t) = \omega_c t + \left(\frac{KA_m}{\omega_m} \right) \text{sen } \omega_m t \quad (3.15b)$$

Nótese que en la Ec. (3.15a) $A_m \cos \omega_m t$ es $f_m(t)$, por lo que se podría escribir la fase en función del tiempo de la forma siguiente:

$$\theta(t) = \omega_c t + K \int f_m(t) dt \quad (3.16)$$

Finalmente, la expresión matemática para una señal modulada en frecuencia queda representada de la siguiente forma:

$$y(t) = A_c \cos\left[\omega_c t + K \int f_m(t) dt\right] \quad (3.17)$$

De lo anterior se resume que la modulación en frecuencia resulta de una modificación de la fase de la onda, pero se debe tener en cuenta que dicha modificación es producto de la integral de la señal moduladora. Para generar una señal FM existen dos métodos:

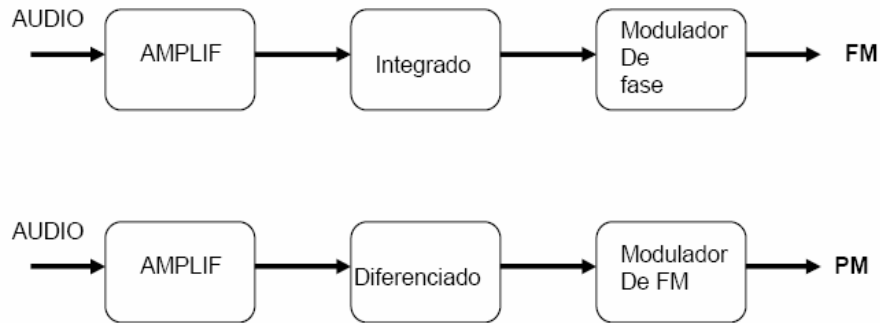
- Modificar directamente la frecuencia de la portadora (oscilador) proporcionalmente a la variación de la amplitud de la onda de la señal moduladora.
- Trabajar sobre la fase de la portadora, con la integral de la señal moduladora.

En la modulación de fase (PM), la frecuencia instantánea varía linealmente con la derivada de la señal moduladora. Si la señal moduladora está dada por $f_m(t) = A_m \cos \omega_m t$, entonces la señal modulada en PM es:

$$y(t) = A_c \cos[\omega_c t + K A_m \cos \omega_m t] \quad (3.18)$$

A partir de las expresiones matemáticas obtenidas para la modulación FM y PM, se halla una relación entre ambos tipos de modulación, como lo muestra la siguiente figura.

Figura 17. Relación entre FM y PM



Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

3.1.2. Índice de modulación y ancho de banda

El índice de modulación m en PM es directamente proporcional a la amplitud de la señal moduladora e independiente de la frecuencia.

$$m = KA_m \quad (3.19)$$

En FM el índice de modulación m es directamente proporcional a la amplitud de la señal moduladora e inversamente proporcional a su frecuencia.

$$m = \frac{KA_m}{\omega_m} \quad (3.20)$$

Si $\Delta\omega_{\max} = K A_m$, se obtienen las siguientes expresiones para m :

$$m = \frac{\Delta\omega_{\max}}{\Delta\omega_m} \quad (3.21)$$

$$m = \frac{\Delta f_{\max}}{f_m} \quad (3.21a)$$

El índice de modulación de FM es una relación adimensional entre la desviación de frecuencia pico y la desviación de frecuencia de la señal moduladora.

Cuando una señal de FM es modulada, el número de bandas laterales es infinito y el ancho de banda requerido abarca una extensión similarmente infinita de tal señal. El ancho de banda requerido para transmitir y recibir una señal FM está dado por:

$$B = 2(m + 1)f_m \quad (3.22)$$

$$B = 2(\Delta f + f_m) \quad (3.22a)$$

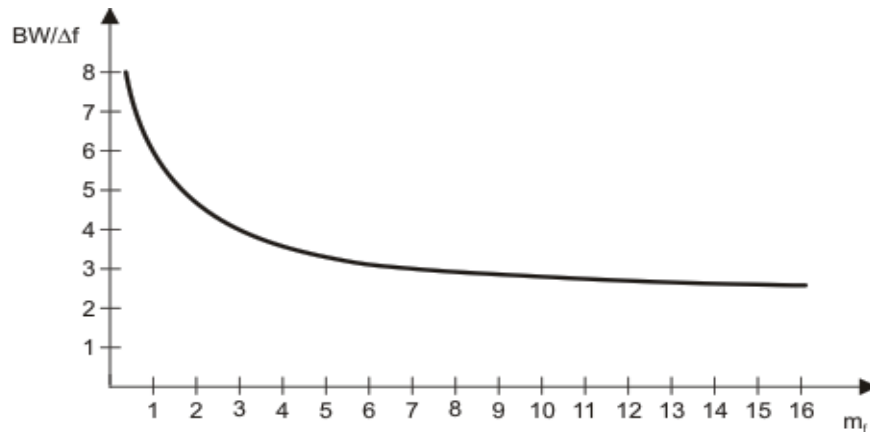
El ancho de banda es dos veces la suma de la desviación máxima de frecuencia y la desviación de la frecuencia de la señal moduladora. Esta es una regla que se conoce como Regla de Carson.

Cuando m es lo bastante pequeño, el ancho de banda es aproximadamente $B \cong 2f_m$, lo que se conoce como FM de banda angosta (NBFM). Se toma un valor de $m < 0.2$ para esta condición de NBFM.

Cuando m es mucho mayor que uno, el ancho de banda es aproximadamente $B \cong 2mf_m$. Por lo tanto, el máximo valor que se puede asignar a m está dado por el máximo valor de ancho de banda permitido y la frecuencia de modulación.

Puede determinarse el ancho de banda necesario para transmitir una señal de FM conociendo el índice de modulación, a partir de la gráfica desarrollada por Schwartz.

Figura 18. Gráfica de Schwartz



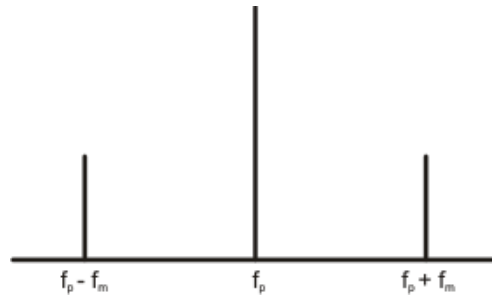
Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

En la curva obtenida se aprecia que para altos valores de m , la curva tiende a la asíntota horizontal, mientras que para valores bajos de m tiende a la asíntota vertical. Para un índice de modulación $m < \pi/2$, el ancho de banda para transmitir una señal de FM depende principalmente de la frecuencia de la señal moduladora pero no así de la desviación de frecuencia.

Para una señal de FM de banda angosta se requiere de un índice de modulación $m < \pi/2$, y para una señal de FM de banda ancha se necesita que el índice de modulación $m > \pi/2$.

Cabe destacar que por cada frecuencia moduladora aparecen dos frecuencias laterales una inferior y otra superior, a cada lado de la frecuencia de la portadora, separadas en f_m de la frecuencia portadora, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 19. Frecuencias laterales



Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/2422/Capi/cap3/cap31/Cap31.htm>

3.1.2.1. FM de banda angosta

FM de banda angosta, que por sus siglas en inglés se denota como NBFM, es ampliamente utilizado en comunicaciones del servicio público. El índice de modulación se restringe a los valores entre 0.5 y 1. Sosteniendo m a valores pequeños, solamente la portadora y la primera banda lateral tienen amplitud significativa. Cuando se transmite solamente una banda lateral y la portadora, la señal de NBFM ocupa el mismo ancho de banda que una señal AM.

Una señal NBFM es lineal, teniendo la posibilidad de una respuesta a cero hertz, lo cual es importante en telemetría y grabación, otra ventaja es el rechazo de grandes pulsos de ruido que puede tender a saturar el receptor. La FCC (*Federal Communications Commission*) permite un ancho de banda para señales NBFM de 10 a 30 KHz, dependiendo de la frecuencia portadora asignada y el tipo de operación autorizados. Puede ser empleada en sistemas de comunicación móvil.

3.2.1.2. FM de banda ancha y la transmisión comercial

Las señales con una desviación de frecuencia grande pueden apoyar transmisiones de alta calidad, lo que requiere de un ancho de banda mayor. Los niveles de desviación altos se emplean en radiodifusión (broadcasting). Esto se conoce como FM de banda ancha, WFM por sus siglas en inglés.

Al aumentar la amplitud de la señal moduladora sólo se incrementa la desviación de frecuencia y el índice de modulación, generando más bandas laterales significativas y por lo tanto incrementa el ancho de banda. Por consideraciones prácticas de la conservación del espectro y del funcionamiento del receptor, se establece un límite para la desviación de frecuencia superior y la frecuencia moduladora superior. Para la radiodifusión comercial FM, la FCC, asigna frecuencias portadoras espaciadas por intervalos de 200 KHz en el intervalo de 88-108 MHz, y fija la desviación de frecuencia en 75 KHz. Los 200 KHz permiten transmitir material de alta fidelidad. La transmisión de un canal de audio deja espacio para material adicional dentro del ancho de banda asignado. Cuando se especifican las desviaciones máximas es importante que el porcentaje de modulación se mantenga en menos del 100%, porque las estaciones de FM operan en canales de frecuencia asignados. Estos son adyacentes a otros que corresponden a otras emisoras. Si se permite que la desviación exceda el máximo permitido, habrá un mayor número de bandas laterales, un ancho de banda excesivo, lo que ocasionaría interferencia en los canales adyacentes. El porcentaje de modulación es:

$$\% \text{ de modulación} = \frac{\Delta f_{p \text{ max real}} \times 100}{75 \text{ KHz}} \quad (3.23)$$

3.2. Generación de FM

3.2.1. FM indirecta

El método indirecto supone generar primero una señal de banda angosta, y luego multiplicar las frecuencias para incrementar el índice de modulación. El multiplicador de frecuencias es un dispositivo no lineal, que multiplica las frecuencias de la señal de entrada por un factor dado. El uso de un dispositivo de ley n -ésima seguido de un filtro proporciona una portadora y un índice de modulación incrementados en un factor n , así mismo, la desviación de frecuencia pico aumenta, permaneciendo inalterable la frecuencia de la señal moduladora. En la práctica pueden generarse no linealidades abruptas por el uso de diodos especiales que generan armónicos lo que hace necesario amplificar. Las pequeñas inestabilidades de fase del proceso de multiplicación se acumulan y aparecen como ruido en la señal de salida.

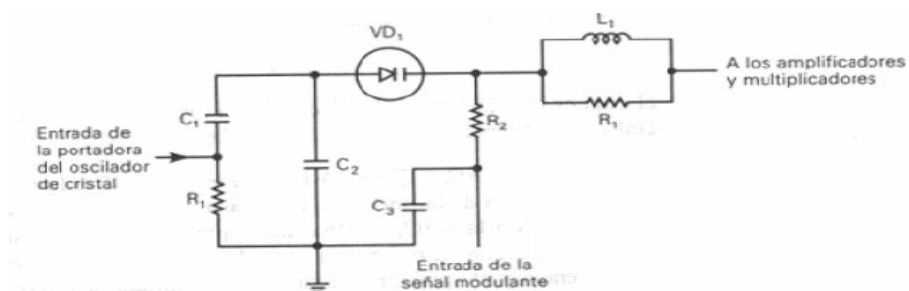
Para poder controlar el valor de la portadora, se emplean convertidores de frecuencia que trasladan el espectro de una señal cierta cantidad sin alterar su contenido espectral. Mientras en el multiplicador todas las componentes espectrales de la señal de entrada se multiplican por sí mismas, en el convertidor todas esas componentes se multiplican por una senoidal de frecuencia fija.

3.2.1.1. Modulador de FM indirecto

El modulador de la figura 20 consiste en un diodo varactor VD, en serie con una red inductiva. La red combinada serie-paralelo, aparece como un circuito resonante en serie a la frecuencia de salida del oscilador de cristal.

Una señal modulante se aplica a VD, el cual cambia su capacitancia y en consecuencia, el ángulo de fase de la impedancia visto por la portadora varía, lo cual resulta en un desplazamiento de fase correspondiente en la portadora proporcional a la amplitud de la señal modulante.

Figura 20. Diagrama esquemático de un modulador indirecto



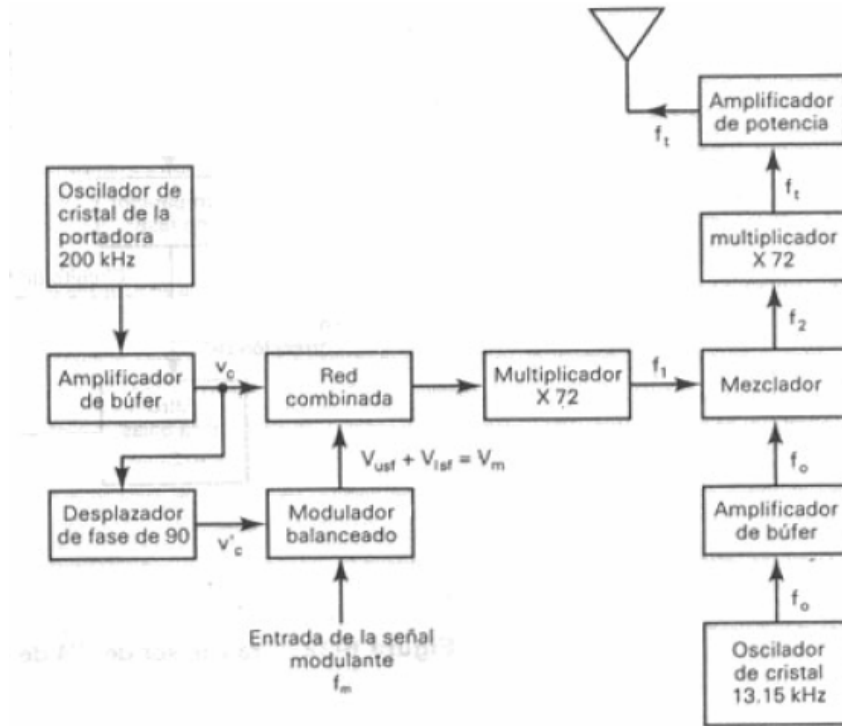
Fuente: <http://prof.usb.ve/scoscar/docencia/Capi/cap7/transmisores/Cap7.htm>

3.2.1.2. Transmisor FM indirecto de Armstrong

La señal modulante desvía directamente la fase de la portadora, la cual cambia indirectamente la frecuencia. En la figura 21 se muestra el diagrama de bloques para un transmisor FM indirecto de Armstrong de banda ancha.

La fuente de la portadora es un cristal. Una portadora de frecuencia relativamente baja (f_c) se cambia de fase 90° (f_c') y se alimenta a un modulador balanceado, en donde se mezcla con la señal modulante de entrada (f_m). La salida del modulador balanceado es una onda portadora de doble banda lateral con portadora suprimida que se combina con la portadora original en una red de combinación, para producir una forma de onda modulada en fase con índice bajo de modulación.

Figura 21. Diagrama de bloques del transmisor FM indirecto de Armstrong



Fuente: <http://prof.usb.ve/scoscar/docencia/Capi/cap7/transmisores/Cap7.htm>

3.2.2. FM directa

La frecuencia portadora es controlada directamente. Intentando generar una desviación de frecuencia lo mas grande posible, estos sistemas requieren menos multiplicación de frecuencias, que el método indirecto. La frecuencia está controlada por la tensión moduladora.

Para generar FM de forma directa se emplea un oscilador electrónico sintonizado, haciendo variar la inductancia o la capacitancia. La frecuencia de oscilación está dada por:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.24)$$

La frecuencia del oscilador se cambia directamente por la señal modulante y la magnitud del cambio de frecuencia es proporcional a la amplitud del voltaje de la señal modulante.

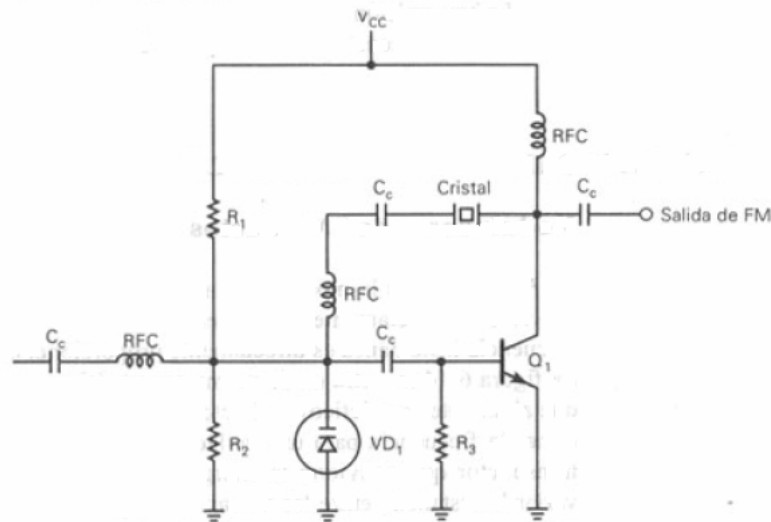
Algunos diseños de transmisores de FM directos poseen un circuito que permite la estabilidad de la frecuencia portadora de transmisión cercana a la de un cristal, conocido como circuito control automático de frecuencia (AFC). La señal de la portadora se mezcla con la señal de salida de un oscilador de cristal de referencia en un dispositivo no lineal, convirtiendo en forma descendente la frecuencia y luego regresándola a la entrada del discriminador de frecuencia. El discriminador es un dispositivo selector de frecuencia cuyo voltaje de salida es proporcional a la diferencia entre la frecuencia de entrada y la frecuencia resonante. Responde a los cambios a largo plazo y frecuencias bajas, en la frecuencia central de la portadora debido al arrastre de la frecuencia del oscilador principal y a que el filtro pasa bajos no responde a la desviación de frecuencia producida por la señal modulante. Si el discriminador respondiera a la desviación de frecuencia el circuito de retroalimentación cancelaría la desviación, lo que removería la modulación de la onda FM, lo que se conoce como borrado. Un voltaje de corrección c.c. se agrega a la señal modulante para ajustar la frecuencia central del oscilador principal, para compensar el arrastre de baja frecuencia.

3.2.2.1. Modulador de diodo varactor

El generador de FM más práctico y directo es el que emplea un diodo varactor para desviar la frecuencia de un oscilador de cristal. Un modulador de FM directo con diodo varactor, como el que se muestra en la figura 22 tiene dos resistencias, R_1 y R_2 que desarrollan un voltaje c.c. que invierte el diodo varactor VD_1 determinando la frecuencia de reposo del oscilador.

El voltaje de la señal modulante suma y resta el nivel de c.c. polarizado, lo que cambia la capacitancia del diodo y por lo tanto la frecuencia de oscilación. Para cambios positivos de la señal modulante, se produce un incremento en la polarización inversa del diodo varactor, lo que genera una disminución de la capacitancia y como consecuencia un incremento de la frecuencia de oscilación. Los cambios negativos de la señal modulante, disminuyen la frecuencia de oscilación.

Figura 22. Modulador de FM Directo con diodo varactor



Fuente: <http://prof.usb.ve/scoscar/docencia/Capi/cap7/transmisores/Cap7.htm>

Los moduladores de diodo varactor son confiables, fáciles de usar y tienen la estabilidad de un oscilador de cristal. La desviación pico de frecuencia se limita a valores pequeños. Diseñado para aplicaciones de banda angosta.

Otros moduladores de diodo varactor poseen un oscilador de voltaje controlado (VCO). El diodo varactor efectúa los cambios de la amplitud de la señal modulante a cambios de frecuencia.

3.2.2.2. Moduladores de circuito integrado lineal FM directo

Una forma de onda de salida de FM directa relativamente estable, exacta y directamente proporcional a la señal modulante de entrada puede generarse a través de osciladores de voltaje controlado de circuito integrado lineal (LIC) y generadores de funciones. La desventaja es su baja potencia de salida de información y la necesidad de componentes externos adicionales, tales como: capacitores para el tiempo, resistores para la frecuencia y filtros para el abastecimiento de potencia.

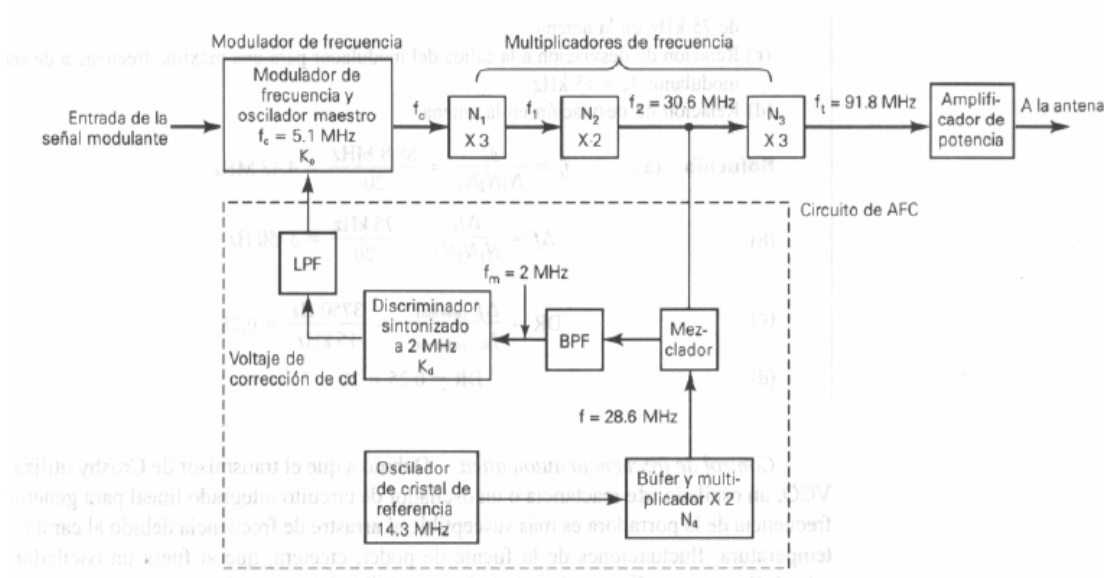
3.2.2.3. Transmisores de FM directos

La forma de onda de salida generada hace que la desviación de frecuencia sea directamente proporcional a la señal moduladora. El oscilador de la portadora debe desviarse directamente. Para los sistemas de índice mediano y alto, el oscilador no puede ser un cristal, ya que la frecuencia de oscilación de éste no puede variarse de forma significativa. Como consecuencia, la estabilidad de los osciladores en los transmisores de FM directos frecuentemente no pueden llenar las especificaciones. Por ello se emplea un circuito de control de frecuencia automático (AFC).

3.2.2.3.1. Transmisor directo de FM de Crosby

Un transmisor de banda de radiodifusión comercial, conocido como transmisor directo de FM de Crosby, se muestra en la siguiente figura integrado con un circuito de control de frecuencia automático (AFC).

Figura 23. Transmisor directo FM de Crosby (AFC)



Fuente: <http://prof.usb.vc/scoscar/docencia/Capi/cap7/transmisores/Cap7.htm>

El modulador de frecuencia puede ser un oscilador de voltaje controlado o un modulador de reactancia. La frecuencia central designada a este transmisor es $f_c = 5.1$ MHz, la cual pasa por tres multiplicadores de frecuencia, el primero con un factor de multiplicación de 3, el segundo de 2 y el tercero de 3, para finalmente obtener una frecuencia de portadora de transmisión final de $f_t = 91.8$ MHz. Existen tres aspectos de la conversión de frecuencia que deben notarse: Primero, cuando la frecuencia de una portadora de frecuencia modulada se multiplica, la desviación de frecuencia y de fase se multiplican también. Segundo, la frecuencia de la señal moduladora f_m no se afecta por el proceso de multiplicación, pero sí el índice de modulación. Tercero, cuando una portadora de modulación angular es heterodinada con otra frecuencia en un mezclador no lineal, la portadora puede convertirse hacia arriba o hacia abajo, dependiendo del filtro pasa banda de salida. Sin embargo, la desviación de fase, de frecuencia y la razón de cambio no se afectan por el proceso de heterodinaje (mezcla).

Para lograr la máxima desviación de frecuencia permitida a las estaciones de banda de radiodifusión FM en la antena (75 KHz), la desviación de la salida del modulador debe ser:

$$\Delta f = \frac{75K}{3 \times 2 \times 3} = 4166.7Hz \quad (3.25)$$

Y el índice de modulación:

$$m = \frac{4166.7}{f_m} \quad (3.26)$$

Para la máxima frecuencia de señal modulante permitida $f_m = 15$ KHz, el índice de modulación sería 0.2778. El índice de modulación también se ve afectado por la multiplicación de frecuencia, por lo tanto $m = (0.2778)(3 \times 2 \times 3) = 5$ el cual es la relación de desviación para los transmisores de radiodifusión comercial con una señal modulante de 15 KHz.

3.2.2.3.2. Transmisor FM directa de fase cerrada

Este transmisor emplea un circuito de fase cerrada para lograr estabilidad en el oscilador de cristal maestro VCO y genera una señal de salida de FM de banda ancha e índice de modulación alto. La frecuencia de salida del VCO se divide y se retroalimenta a un comparador de fase PLL, para compararla con una frecuencia de cristal de referencia estable. El comparador de fase genera un voltaje de corrección proporcional a la diferencia entre las dos frecuencias. El voltaje de corrección se añade a la señal modulante y se aplica a la entrada del VCO. El voltaje de corrección ajusta el VCO a su valor correcto. Un filtro paso bajo previene los cambios en la frecuencia de salida del VCO, debido a que la señal modulante no se convierte en voltaje, y se retroalimenta al VCO y borra la modulación. EL filtro paso bajo también previene que se adhiera a una frecuencia lateral.

3.3. Radioenlace terrestre

Un radioenlace terrestre es aquel que permite la conectividad entre dos sitios o estaciones terrenas topográficamente altas en línea vista. El concepto de línea vista se refiere a un camino (path) limpio, sin obstrucciones entre las antenas transmisoras y receptoras de las estaciones terrenas, con el fin de que exista una mejor propagación de las señales de radiofrecuencia RF. En el diseño de radioenlace deben considerarse los siguientes aspectos:

- La ubicación de los puntos geográficos en coordenadas U.T.M. de las estaciones transmisora y receptora.
- Perfil del terreno entre los dos puntos para determinar existencia de obstáculos en la trayectoria, su distancia a la estación transmisora y su altura.
- Variaciones en las condiciones atmosféricas de la región, que se traducen en pérdidas en la propagación de onda.
- En un primer paso se admite que un rayo directo une las antenas y luego se tratan los problemas producidos por los caminos múltiples.
- El modelo de radioenlace considera antenas isotrópicas, con idéntica densidad de potencia emitida en todas direcciones. Las antenas con cierta directividad están provistas de una ganancia de potencia respecto a la antena isotrópica.

La estructura de un radioenlace esta constituido por estaciones terminales y repetidoras intermedias, con equipos transreceptores, antenas y elementos de supervisión y reserva. Además de las estaciones repetidoras, existen las estaciones nodales donde se demodula la señal se baja a banda base y en ocasiones se extraen o se insertan canales.

Al tramo terminal, estación nodal se le denomina sección de conmutación y es una entidad de control, protección y supervisión. En cuanto a los repetidores se los puede clasificar en activos o pasivos.

- **Activos:** en ellos se recibe la señal en la frecuencia de portadora y se baja a una frecuencia intermedia (FI) para amplificarla y retransmitirla en la frecuencia de salida. No hay demodulación y son transreceptores.
- **Pasivos:** se comportan como espejos que reflejan la señal y se los puede dividir en pasivos convencionales, que son una pantalla reflectora y los pasivos back-back, que están constituidos por dos antenas espalda a espalda. Se los utiliza en ciertos casos para salvar obstáculos aislados y de corta distancia.

Los enlaces son estructuralmente sistemas en serie, de tal manera que si uno falla se corta todo el enlace. Por ello se le exige una alta disponibilidad y confiabilidad utilizándose la redundancia de equipos frente a las averías y técnicas de diversidad frente a los desvanecimientos. Esto también implica que es necesario sistemas de supervisión y control que realice automáticamente la aplicación de estas técnicas.

La supervisión comprende todo el conjunto de medios que se ponen a disposición de la adecuada explotación en las condiciones definidas como operativas, que pretende obtener la máxima información posible sobre el estado del radioenlace en un momento determinado y facilitar las operaciones de mantenimiento. Por economía las estaciones funcionan de manera no atendida. Las informaciones que se transmiten deberán permitir localizar con exactitud el equipo que ha sufrido averías y además debe existir la posibilidad de telemando es decir, enviar señales desde la central al equipo en cuestión.

3.3.1. Cálculo de radioenlace

Lo ideal en un sistema de comunicación es que la señal enviada desde el transmisor hasta el receptor tenga un nivel aceptable después de sufrir todas las pérdidas a las que estará expuesta. Las antenas tienen la función de actuar como amplificadores primitivos. Por lo tanto, para analizar si una instalación es viable, se debe realizar el cálculo del radioenlace, consistente en tomar la potencia de transmisión en términos de la ganancia absoluta, sumarle las ganancias, restarle las pérdidas y ver si el resultado alcanza para sensibilizar al receptor.

3.3.1.1. Pérdidas

La señal emitida está sometida a pérdidas en la alimentación, en la trayectoria y por desvanecimiento.

- **Pérdidas en la alimentación:** el alimentador introduce una pérdida (L_a) específica en función de la frecuencia que se usará en la transmisión y del tipo de alimentador. Necesita estar acoplado a las interfaces del equipo de Unidad de Radio Base (RBU) y del radiante. Los acoples tienen una pérdida cuya variabilidad puede despreciarse y trabajar con una tabla tabulada que incluye las pérdidas en el par de acoples del alimentador, uno en el lado RBU y uno en el lado radiante. En la tabla IV se tabulan las pérdidas cada 100 m. Cuando no es posible medir la longitud del alimentador se estima, así para una torre puesta en tierra será 20 metros más la altura de la torre; o bien será 5 metros más 1.2 veces la altura del edificio sobre el que está la torre y la altura de la torre en sí.

Tabla IV. Pérdidas en el alimentador

Aliment.	Banda de operación GHz	Atenuación específica dB/100m	Pérdida por diversidad dB	Pérdida por par de acoples dB
Coaxial	Hasta 0.9	3.00	2	1.2
	0.9 - 1.5	4.80		
	1.5 - 1.9	5.00		
	1.9 - 2.2	5.40		
	2.2 - 2.4	5.80		
Guía de onda	2.4 - 3.1	1.40	4	0.6
	3.1 - 4.4	2.10		
	4.4 - 6.2	3.60		

La señal puede descomponerse en el alimentador en distintos modos y frecuencias generando pérdidas por diversidad. Para la transmisión y recepción, los cálculos se realizan por separado dependiendo del tipo de alimentador en cada extremo y de la suma se obtiene la pérdida total L_{at} .

- **Pérdida por trayectoria:** este punto ya fue discutido en el capítulo 2, pero hay que recordar que una señal que es enviada por el espacio libre, sufre una atenuación en el medio hasta alcanzar el receptor y esta dada por la Ec. (2.8).
- **Pérdidas por desvanecimiento:** el efecto llamado *fading* o desvanecimiento, depende de condiciones especiales para cada transmisión. Por lo tanto se establece un margen de desvanecimiento. Factores como el tipo de suelo, clima y entorno³ son considerados.

³ Refiérase a la Tabla VI Factores de rugosidad y climáticos

Además, la diversidad modal y el factor de confiabilidad (R) que requiere el enlace, y el error de transmisión en un período de tiempo específico, permiten obtener la siguiente ecuación para el margen de desvanecimiento (L_D):

$$L_D(dB) = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 70 - 10 \log(1 - R) \quad (3.27)$$

La tabla V muestra el significado y los valores tabulados de cada término de la ecuación del margen de desvanecimiento.

Tabla V. Composición y valores del margen de desvanecimiento

Término	Pondera	Factores
30 logD	La diversidad modal	D Distancia visual ente antenas en km
10 log(6ABf)	El entorno de propagación	A Factor de rugosidad
		B Factor climático
		f Frecuencia en GHz
10 log(1-R)	El objetivo de confiabilidad	R Confiabilidad esperada o convenida como un decimal.

3.3.1.2. Ganancia

La ganancia (dB) proviene de las antenas y se determina de acuerdo con la frecuencia de transmisión y al tipo de antena empleada. Los fabricantes de antenas proporcionan las especificaciones técnicas, permitiendo conocer la ganancia de las antenas a emplear.

3.3.1.3. Ecuación de enlace

El receptor tiene un margen de sensibilidad (S_r), establecido como la mínima potencia (P_r) que puede llegar a la entrada del receptor para tener un nivel aceptable de señal. El cálculo de enlace permite ver si una señal emitida por el transmisor (P_{tx}) luego de ser afectada por las distintas pérdidas y haber sido amplificada por las antenas, es capaz de sensibilizar al receptor.

La ganancia del sistema (G_S) es el conjunto de pérdidas y ganancias de las antenas en transmisión (G_{atx}) y en la recepción (G_{arx}), y se calcula como la máxima pérdida que tendrá el sistema:

$$G_S(dB) = L_{at} + L_e + L_D - G_{arx} - G_{atx} \quad (3.28)$$

La condición de sensibilidad se establece a manera de asegurar que en el receptor se tenga una señal de nivel aceptable.

$$P_r(dB) = P_{Tx}(dB) - G_S(dB) > S_r(dB) \quad (3.29)$$

3.3.1.4. Topografía digital

Las bases de datos topográficas deben contener información relacionada con el tipo de predicción que va llevarse a cabo. En frecuencias superiores a los 30 MHz, se requiere información sobre la altura del terreno y la superficie del mismo. A frecuencias mayores de 1000 MHz, y estando en zonas urbanas, se necesita conocer también el emplazamiento, el tamaño y la orientación de las edificaciones.

Los sistemas cartográficos internacionales se basan en la proyección transversal de Mercator. El sistema de proyección de Mercator (UTM) es un conjunto de dichas proyecciones en definiciones uniformes para distintas longitudes, en los cuales el norte está referido al Ecuador, proporcionando un grado útil de normalización. Con coordenadas UTM se tiene una directa correspondencia a las unidades utilizadas en los cálculos. Pero no sólo la base topográfica es importante, también se debe conocer las condiciones climatológicas de la zona. De acuerdo con las normas internacionales ITU, el cual desarrolla un conjunto de categorías de superficie del terreno (ver tabla VI) que se utilizarían en todas las aplicaciones.

Tabla VI. Factores de rugosidad y climáticos

Factor	Valor del factor	Factor
Factor de rugosidad (A)	4	Espejos de agua, ríos anchos, etc.
	3	Sembrados densos; pastizales; arenales
	2	Bosques (la propagación va por encima)
	1	Terreno normal
	0.25	Terreno rocoso disparejo
Factor climático (B)	1	Áreas marinas
	0.5	Áreas tropicales calientes y húmedas
	0.25	Áreas mediterráneas de clima normal
	0.125	Áreas montañosas de clima seco y fresco

3.3.1.5. Protuberancia del terreno

El valor medio estándar utilizado generalmente para el coeficiente de curvatura de la tierra K es de 4/3. Se puede determinar el valor de la curvatura (protuberancia) de la Tierra en un punto del enlace mediante:

$$C = \frac{4d_1d_2}{51K} \quad (3.30)$$

Donde, C es la curvatura expresada en metros y las distancias d1 y d2 se indican en km. El valor de C se incrementa cuando K disminuye.

3.3.1.6. Zona de fresnel

Las coronas circulares concéntricas determinadas por los rayos difractados que se suman en fase y en contrafase en forma alterna, se conocen como zonas de fresnel. Dentro del elipsoide de revolución la primera zona de Fresnel se caracteriza por el radio F1 a una determinada distancia de la antena. Para calcular n radios del elipsoide se tiene la siguiente ecuación⁴:

$$FN = 550 \sqrt{\left(\frac{Nd_1d_2}{f(d_1 + d_2)} \right)} \quad (3.31)$$

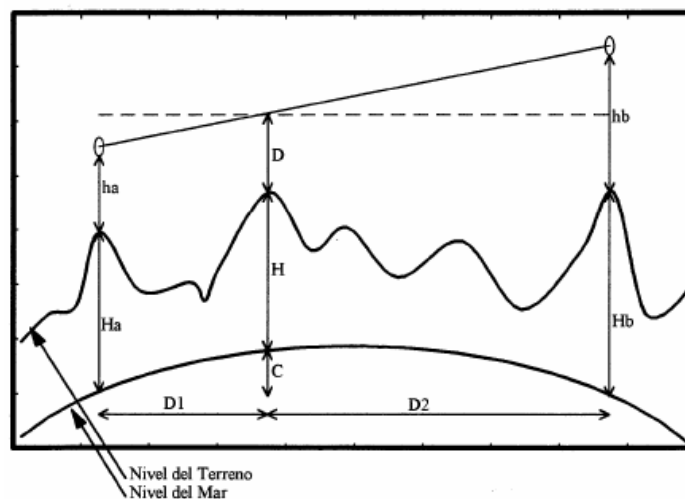
Donde d1 y d2 corresponden a las distancias desde las antenas en km hacia el obstáculo, f es la frecuencia en MHz y N es el número del elipsoide. El valor de FN resulta en metros.

Las zonas pares (N= 2,4,6, etc) tienen una contribución sustractiva de potencia pues el rayo directo y el difractado se suman en contrafase y las zonas impares tienen una contribución aditiva. La potencia de recepción es la suma de todas las contribuciones; las amplitudes de estas contribuciones disminuyen en la medida que se incrementa el orden N.

⁴ ITU-R I.715 indica la relación entre los distintos elementos que intervienen.

Las zonas de Fresnel aportan una intensidad de campo proporcional a la superficie de la zona y a un factor de oblicuidad. Por causa de este factor el aporte de cada zona disminuye con el orden de la zona. En conjunto el aporte combinado desde la zona 2 en adelante es sólo la mitad del aporte de la primera zona.

Figura 24. Despejamiento



Fuente: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Antenas%20y%20Propagacion/1513.pdf>

El despejamiento D indicado en la figura 24 determina la separación entre el obstáculo y el rayo directo entre antenas. Es natural que el valor de D sea finito y por lo tanto se produzca una obstrucción de alguna parte de las zonas de Fresnel.

3.3.1.7. Altura de torres

De la figura 24, teniendo en cuenta el efecto de protuberancia y de difracción de fresnel, se tiene:

$$H1 = Ha + ha \quad (3.32)$$

$$H2 = Hb + hb \quad (3.33)$$

$$H3 = C + H + D \quad (3.34)$$

Siendo H_a y H_b la altura del terreno sobre el nivel del mar para cada estación, h_a y h_b es la altura de cada una de las dos antenas. C es la curvatura del terreno, H la altura del obstáculo sobre el nivel del mar y D el despejamiento. H_3 representa la altura del rayo en el obstáculo. Aplicando una relación de proporcionalidad a los elementos de la figura 24 tenemos:

$$(H3 - H1)d2 = (H2 - H3)d1 \quad (3.35)$$

A partir de la ecuación (3.35) se puede hallar la altura la antena transmisora y la receptora del enlace (h_a, h_b).

4. LA RADIO, SU ENTORNO Y RADIO UNIVERSIDAD EN EL CONTEXTO LEGAL, GEOGRÁFICO Y FINANCIERO

4.1. Antecedentes de la radio en Guatemala

A principios del siglo XIX, Alessandro Volta inventa la pila voltaica y comienzan a construirse los primeros telégrafos; aparatos por entonces muy primitivos que luego fueron evolucionando gracias a las aportaciones de Samuels Morse, quien en 1840 sustituye las agujas magnéticas utilizadas por Henry Cook, para el proceso de identificación de señales, por una tira de papel. Además creó un código que, a través de una combinación de puntos y rayas, pudo transmitir cualquier tipo de mensaje, surgiendo así el Código Morse.

En 1875, Graham Bell consiguió que los sonidos pudieran propagarse a través de un cable y así propicia el nacimiento de la telefonía. Pero aún no nacía la radio. El descubrimiento y medición de las ondas electromagnéticas, también conocidas como hertzianas por Heninrich Hertz en 1887, generó la creación del primer receptor de radio. Sin embargo, hasta la llegada de la telegrafía sin hilos con Guillermo Marconi, la transmisión era muy limitada, Marconi logró que las señales sonoras pudieran propagarse a algo menos de 20 Kilómetros. Si bien el sistema tenía sus imperfecciones por no poder transmitir voz y música, resultó ser un gran paso, para que a inicios del siglo XX A. Fleming y R. A. Fessenden permitieran la transmisión de la voz humana. A partir de ese momento se iniciaría la radio que hoy conocemos. Se inaugura la primera emisora en Nueva York el año 1916, y en países como Francia y Gran Bretaña, la radio llega a consolidarse entre los años 1914 y 1918. Mientras que en España, la radio da sus primeros pasos en la década de los veinte.

En Guatemala, la radio se desarrolló de una forma rápida y supuso una serie de avances en el país que fueron vividos día a día por los guatemaltecos. Son muchos los que le adjudican a Julio Caballeros Paz el cargo de ser quien puso en marcha el mecanismo de funcionamiento de las emisoras de radio. En un principio eran contactos entre aficionados, hasta que se empezaron a crear una serie de programas piloto que cada vez fueron adquiriendo más profesionalidad. La primera emisora del país nace en 1930, conocida como TGW. Aunque en sus inicios todavía seguían siendo de novatos, programas como “Gran Concierto” o “El Tiempo”, adquirieron importancia.

TGW se convirtió en el modelo a seguir para el surgimiento de otras emisoras, tales como: TGC Vidaris en 1931, le siguieron TG1/TG2, que era la radio morse que pertenecía a telégrafos guatemaltecos y la primera radio departamental, TGQ La Voz de Quetzaltenango. Por el año de 1944 empezaron a surgir todo tipo de emisoras en las que afloraba la música, la información, las radionovelas y el radioteatro.

Un fenómeno que alcanzó gran importancia en Guatemala, fue el surgimiento de las radios comunitarias por los años 80, que hasta hoy siguen ocupando un espacio muy importante en el espectro radiofónico. Al principio estaban bajo la supervisión de la Iglesia Católica que era quien instalaba estas emisoras en poblaciones desfavorecidas, pero con el paso de los años fueron miembros de las comunidades los que se encargaron del funcionamiento de las mismas, convirtiéndose en los programadores y locutores, desligándose así de la iglesia. Las radios comunitarias surgieron como la voz del pueblo y en sus espacios se daba paso a la reivindicación, a la solución de sus problemas, a su música, etc

4.2. Organización de una radio

Una radio es como cualquier otra empresa, por lo que para su correcto funcionamiento requiere de una organización interna más o menos compleja en la que participan diversos agentes distribuidos en áreas o departamentos según las distintas atribuciones que les son asignadas.

Los organigramas de las estaciones de radio pueden variar sustancialmente en función de variables tales como su dimensión, su presupuesto, su pertenencia o no a una gran cadena que opere para todo el país, etc. Pero, independientemente de que las emisoras sean de mercado pequeño, mediano o grande, o que dispongan de más o menos dinero para pagar a sus trabajadores o dotarse de la tecnología más avanzada, la variable que más pesa a la hora de organizar el trabajo en una emisora es, sin duda alguna, la programación. Debe tomarse en cuenta que el engranaje productivo que debe ponerse en marcha en una red que explota distintos contenidos y géneros programáticos, no es el mismo que el de una emisora que se limite a difundir música las 24 horas del día.

4.2.1. Organización de una radio generalista

Las radios generalistas son aquellas cuyas programaciones explotan diversos tipos de contenidos, por lo que ofrece a sus oyentes espacios de distinta índole: informativos, magazines de entretenimiento, debates, tertulias, concursos, retransmisiones deportivas, musicales, etc. Se califica como emisora grande a toda aquella que se dirige a una población superior a las quinientas mil personas, y cuanto más grande sea una radio y cuantos más programas realice, indudablemente requiere de más personal.

El organigrama para una radio como ésta podría concretarse de la siguiente manera:

- **Propietarios (Consejo de Administración):** en lo más alto del organigrama, se sitúan los propietarios de la emisora, representados generalmente por un Consejo de Administración⁵. Este consejo aprueba los presupuestos y nombra cargos con responsabilidad, como es el caso, por ejemplo, del director general. Hay que tener en cuenta que el nombre utilizado para designar un cargo puede ser diferente en cada empresa, a pesar de que desarrollen tareas prácticamente idénticas. No debe de extrañarse que a un director general se le denomine gerente o coordinador. También cabe destacar, que existen propietarios tanto privados como públicos, tal es el caso de las emisoras del Estado o de cualquier otra institución pública.

- **Director General y Director Financiero:** por debajo de los propietarios se hallan los directores, nombrados directamente por el Consejo de Administración. El director general llevará todo el peso de la emisora y deberá cumplir con los objetivos que el Consejo dictamine. Por su parte, el director financiero es el responsable de organizar y controlar las finanzas de la empresa. Habitualmente, en las grandes redes los directores generales y financieros tienen adscritos un amplio departamento administrativo.

Dentro de la estructura del organigrama, se encuentran varios cargos con diferentes responsabilidades, de los cuales dependen también otra serie de puestos de inferior categoría.

⁵ El Consejo de Administración, generalmente esta formado por los socios en caso de una emisora de carácter privado. En caso sea el Estado el propietario puede cambiar según la organización del propio Estado.

- **Director de programación, director de producción:** el director de programación es el encargado de coordinar todos los espacios que se producen en la emisora. De él dependerán los directores de los servicios informativos, de los espacios musicales y deportivos. Por su parte el director de producción tiene la responsabilidad de organizar todas las grabaciones de anuncios, ya sea promociones internas o cualquier tipo de publicidad exterior (comercial o institucional). Este, además, deberá estar muy bien coordinado con los responsables de los comerciales y el director de programación. El director de producción mantiene una estrecha relación y dependencia con el director de programación, debido al alto grado de sintonía que deben mantener estos dos responsables. De esta forma ambos cargos ocupan el mismo escalafón.

- **El responsable o jefe técnico:** tiene a su cargo un equipo técnico y deben mantener y conducir todo el equipamiento de alta y baja frecuencia de la emisora.

- **El responsable o jefe comercial:** tiene como principal objetivo dirigir el departamento de ventas de la radio. Su responsabilidad y la de los agentes comerciales que están integrados en su departamento es la de proporcionar ingresos a la emisora y conseguir, el mayor número de anunciantes posible. En el caso de las emisoras no lucrativas este cargo puede no ser empleado.

- **Responsable de relaciones públicas:** velará porque la emisora mantenga buenas relaciones y buenos contactos con todo el entorno público, económico, político, cultural y social que pueda ser de interés para la radio.

Se han enumerado aquellos puestos cuya responsabilidad dentro del organigrama es mayor, pero no menos importante es el resto del personal que se puede observar en la plantilla de una gran emisora.

- **Plantilla de administrativos:** dentro de la zona de alta dirección encontraremos al equipo que trabaja en apoyo a los administrativos, tal es el caso de secretarías/os, auxiliares, recepcionistas, etc., que dará el tratamiento oportuno a todas las tramitaciones administrativas y a la atención personal y telefónica que se genera en una empresa radiofónica.

- **Plantilla de productores y otros:** en el área de programación localizamos a productores, locutores, redactores, trabajadores del área de musicales, que van desde los presentadores de música, conocidos popularmente como discjockey's, hasta los encargados de la discoteca y sus respectivos responsables.

En la siguiente figura puede observarse el organigrama para una radio generalista.

Figura 25. Organigrama de una radio generalista

Propietarios (Consejo de Administración)				
Director General		Director Financiero		
Plantilla de administrativos				
Director de Programación	Director de Producción	Jefe Técnico	Jefe Comercial	Relaciones Públicas
Responsables de productores, informativos, deportes y musicales.	Plantilla de productores	Plantilla de técnicos	Plantilla de comerciales	
Plantilla de productores de servicios informativos y de deportes.				
Locutores, discjockey's y ayudantes				

4.2.2. Organización de una radio exclusivamente musical

Conocer el organigrama de una red de gran cobertura pero con una programación exclusivamente musical, permite comprender mucho mejor las diferencias organizativas que pueden existir entre las emisoras dependiendo de su tamaño de mercado y de su programación. A diferencia de las emisoras generalistas, las de programación exclusivamente musical no requieren de mucho personal para producir sus emisiones. La mayoría de los cargos intermedios ya no son necesarios e incluso algunas desaparecen.

Los propietarios (Consejo de Administración) cumplen las mismas funciones antes descritas. Así mismo el Director General y el Director Financiero siguen guiándose bajo las premisas del Consejo. La diferencia entre el organigrama anterior y éste comienza en el director de programación, debido a que posee menos personal a su cargo y, en consecuencia, menos cuestiones que coordinar. Ya no cuenta con los directores de servicios informativos y deportivos, debido a que la radio no explota este tipo de contenidos. No obstante puede emitir informativos conectando con otras emisoras que si lo realizan o bien generando cortos informativos que no se manejan con la misma inmediatez que la generalista.

Siguen siendo sumamente necesarios los directores de programación, producción, jefes comerciales, técnicos y de relaciones públicas. El director de producción seguirá teniendo las mismas responsabilidades. El jefe técnico se encargará junto con su equipo técnico del funcionamiento del equipo. El jefe comercial dirigirá a los agentes comerciales en la búsqueda de anunciantes. Finalmente, el de relaciones públicas seguirá con su tarea de mantener los contactos de la emisora a todos los niveles, en especial con las discográficas.

El resto del personal que, aunque más reducido, configura la plantilla de una gran radio musical será: el de administración, locutores, productores, redactores, discjockey's y ayudantes del mantenimiento del material musical en la discoteca. Así el organigrama propuesto de forma esquemática para una gran emisora musical es el siguiente. No obstante, pueden encontrarse muchos otros igualmente válidos.

Figura 26. Organigrama de una gran radio musical

Propietarios (Consejo de Administración)				
Director General		Director Financiero		
Plantilla de administrativos				
Director de Programación	Director de Producción	Jefe Técnico	Jefe Comercial	Relaciones Públicas
Responsables de productores, informativos, deportes y musicales.	Plantilla de productores	Plantilla de técnicos	Plantilla de comerciales	
Locutores, discjockey's y ayudantes				

4.2.3. Organigrama de una radio de pequeña cobertura

Una estación mediana o pequeña se distingue por emitir en territorios con poblaciones inferiores a los doscientos cincuenta mil habitantes. Por lo que respecta a su organigrama interno, las radios consideradas pequeñas destacan por tener poco personal, pero no significa que se reduzcan las áreas de trabajo. Esa reducción en el personal, exige que los profesionales de las emisoras pequeñas sean polivalentes y capaces de desarrollar diferentes tareas, lo que conlleva a realizar un esfuerzo mayor, y más en el caso de las programaciones generalistas.

El organigrama para una radio de pequeña cobertura puede describirse de la siguiente manera:

- **Propietarios (Consejo de Administración):** la emisora contará siempre con un propietario o propietarios representados por un Consejo que nombrará a un director para que rija los destinos de la empresa.

- **Director:** coordinará todas las actividades que le permitan alcanzar los objetivos propuestos por el Consejo. Asumirá las responsabilidades y tareas que en una gran emisora recaen en el director financiero. En los organigramas anteriores el equipo de dirección contaba con el apoyo directo de un equipo administrativo. En este caso algunas emisoras pequeñas no pueden soportar económicamente dicho personal.

- **Director de programación:** se mantiene el director de programación, quien coordinará todos los espacios. De él también dependerán, en caso de una radio generalista o musical, los servicios informativos, los espacios musicales y los deportivos, o bien, la organización de las grabaciones, la relación de contenidos anuncios comerciales y de programación interna.

- **Jefe técnico:** no contará con ningún equipo de técnicos a su disposición y bajo su responsabilidad recaerá el mantenimiento de los equipos de alta y baja frecuencia de la emisora. Solamente tendrá el apoyo de los llamados técnicos de continuidad u operadores de radio. En las radios locales o comunitarias, el personal se reduce aun más, ya que los mismos locutores o presentadores de programas hacen de operadores. Las emisoras pueden contratar eventualmente servicios técnicos adicionales según la necesidad y posibilidad económica, los mismos son supervisados por el jefe técnico.

- **Jefe comercial:** trabajará habitualmente sólo en la búsqueda de clientes que quieran anunciarse en la emisora. Si la emisora no es lucrativa generalmente se suprime este cargo.

- **El resto del personal:** los locutores y productores deben asumir tareas que, a priori, no les corresponden, pero que necesariamente tendrán que hacer si quieren que la emisora subsista. Los locutores no solo presentarán programas, sino que también redactarán guiones, producirán espacios, almacenarán música, grabarán publicidad, etc. Por su parte, los redactores trabajarán informaciones de todo tipo: deportivas, sociales, culturales, políticos, etc., y realizarán grabaciones sin el apoyo de personal técnico.

En la siguiente figura puede observarse el organigrama esquemático de una radio de pequeña cobertura.

Figura 27. Organigrama de una radio de pequeña cobertura

Propietarios (Consejo de Administración)		
Director		
Director de Programación	Jefe Técnico	Jefe Comercial
Plantilla de los servicios informativos. (Si la emisora es exclusivamente musical no será necesario)		
Locutores y productores		

4.3. Inicio y continuidad de una emisora

Desde el punto de vista técnico, una radio posibilita la transmisión de señales mediante la modulación de ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio libre en todas direcciones. Pero fundamentalmente una radio es un medio de comunicación capaz de llegar a todas las clases sociales interactuando con el radio-escucha de manera más personal, ofreciéndole cierto grado de participación con el acontecimiento o noticia que se esta generado.

Detrás de esas voces, sonidos, música y efectos que produce la radio, existen cuatro factores que permiten no sólo iniciar con un proyecto radial, sino que también intervienen para que el mismo se pueda expandir geográficamente y logre mantenerse por mucho tiempo al aire. Siendo estos legales, geográficos, técnicos y financieros.

4.3.1. Factor legal

El Estado, como propietario del espectro radioeléctrico, debe velar porque sea empleado en beneficio de la nación, propiciar el desarrollo económico-social sostenible, además de proporcionar bienestar y seguridad a la población. Por ser un recurso natural y un bien de dominio público, la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala⁶ (SIT), a través de la Gerencia de Regulación de Frecuencias y Radiodifusión se encarga de dictar las recomendaciones técnicas que permiten administrar el espacio radioeléctrico.

⁶ La Ley General de Telecomunicaciones establece un marco regulatorio, la SIT, un organismo eminentemente técnico del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda,

La transmisión de información a grupos masivos de receptores se conoce como radiodifusión. Internacionalmente se encuentra definida como: “Servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general. Dicho servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género.”

La Constitución Política de la República reconoce que es de interés público, la actividad que realizan los medios de comunicación social. Estos emplean el servicio de radiodifusión como medio para llegar a la población, así la Ley General de Telecomunicaciones reconoce el carácter especial que tiene el servicio de radiocomunicaciones. El servicio de radiodifusión se divide en sonoro, donde se agrupan las radioemisiones en amplitud modulada, frecuencia modulada y onda corta; y televisivo, donde se agrupan las radioemisiones de TV VHF y UHF.

4.3.1.1. Solicitud de bandas de frecuencia

Las bandas reservadas son exclusivas de los organismos y entidades estatales, su uso no es transferible fuera del ámbito gubernamental. Las bandas para radioaficionados están regidas por las normas establecidas en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y los acuerdos y convenios sobre la materia ratificados por el Estado de Guatemala. Pero las bandas de frecuencias reguladas⁷ solo podrán emplearse adquiriendo previamente los derechos de usufructo de las mismas.

La administración del espectro radioeléctrico implica aplicar procedimientos y herramientas técnico-jurídicas que permitan el desarrollo de telecomunicaciones que hacen uso del espectro radioeléctrico.

⁷ De conformidad con el Artículo 54 de la Ley General de Telecomunicaciones.

Una de las principales herramientas utilizadas es la llamada Tabla Nacional de Atribución de Frecuencias TNAF⁸, instrumento técnico-legal emitido por la Superintendencia de Telecomunicaciones⁹, cuyo fin es asignar los distintos servicios de radiocomunicaciones reconocidos internacionalmente a las diferentes bandas de frecuencia que componen el espectro radioeléctrico. Es una herramienta a ser consultada por los interesados en implementar sistemas de radiocomunicaciones previo a realizar la solicitud de los derechos de usufructo, de esta forma se aseguran que el servicio a explotar se encuentra atribuido al rango de frecuencia de su interés.

Cualquier persona individual o jurídica, sea esta nacional o extranjera, o cualquier entidad estatal interesada en adquirir un título de usufructo¹⁰ de frecuencia, deberá presentar una solicitud a la Superintendencia detallando la banda o rango de frecuencias, el horario de operación, la potencia máxima efectiva de radiación, la potencia máxima admisible en el contorno y el área geográfica de influencia.¹¹ El solicitante deberá llenar el o los formularios para banda regulada, según su conveniencia y necesidades técnicas. La Superintendencia de Telecomunicaciones, en su página de Internet www.sit.gob.gt pone a disposición de los interesados los formularios correspondientes para las bandas reguladas, así como una guía de apoyo para llenar los mismos de forma correcta¹².

Existen varios formularios para banda regulada, cada uno con ciertas características según las necesidades de los interesados. La lista de formularios se muestra en la tabla siguiente.

⁸ La TNAF puede ser consultada ingresando al sitio www.sit.gob.gt

⁹ De conformidad con el Artículo 7 literal b) de la Ley General de Telecomunicaciones.

¹⁰ El usufructo es el derecho real y temporal de disfrutar de los bienes ajenos.

¹¹ De conformidad con el Artículo 57 literal a) de la Ley General de Telecomunicaciones

¹² Consultar la guía para llenar los formularios en el Anexo B del presente informe.

Tabla VII. Lista de formularios para banda regulada

Formulario	Descripción
SIT-RF-01	Solicitud de frecuencia para aplicaciones terrenales.
SIT-RF-01P	Solicitud de frecuencia para usar enlaces punto a punto terrenales
SIT-RF-02	Solicitud de inscripción de constelación de satélites de baja altura
SIT-RF-03	Solicitud de licencia para transmitir hacia satélites geoestacionarios
SIT-RF-04	Solicitud de licencia para recibir desde satélites geoestacionarios
SIT-RF-05	Muestra de interés u oposición en publicaciones de solicitudes de frecuencia
SIT-RF-09	Solicitud de licencia de proveedor de facilidades satelitales

En un lapso de tres días a partir de la entrega de la solicitud, la Superintendencia debe resolver y notificar si la admite o no. En caso de admitirla se hacen las publicaciones oficiales en el Diario de Centroamérica, en uno de los periódicos de mayor circulación del país y en un periódico financiero de circulación internacional.

En un período de 25 días cualquier persona individual o jurídica usufructuaria de alguna frecuencia o simple interesada puede oponerse a la solicitud publicada. Las oposiciones presentadas se resuelven en un plazo no mayor a diez días. Si se declara con lugar, el proceso concluye¹³, sin embargo, si es declarado sin lugar se adjudica al solicitante el título de usufructo.

¹³ Si existen interesados en adquirir la misma frecuencia del solicitante, la Superintendencia invita a subasta de conformidad con el artículo 62 de la Ley General de Telecomunicaciones.

4.3.1.2. Acerca del usufructo de frecuencia

El título de usufructo para el aprovechamiento de las bandas de frecuencia reguladas, podrá ser arrendado y/o enajenado total o parcialmente. Y ser inscrito en el Registro de Telecomunicaciones de conformidad con la Ley General de Telecomunicaciones. Los títulos se otorgan por un plazo de quince años, el cual puede prorrogarse mediante solicitud entre los doscientos y ciento veinte días antes del vencimiento del plazo. Dentro del tiempo de vigencia, los títulos podrán negociarse total o parcialmente. La transferencia se efectúa mediante endoso e inscripción en el Registro General de Telecomunicaciones.

4.3.2. Factor geográfico

Todo proyecto radial contempla el área geográfica en el que tendrá incidencia su señal, es decir, su cobertura. Y siendo Guatemala un país cubierto de montañas, cerros y valles, es necesario ubicar los puntos geográficos de transmisión lo suficientemente alto para obtener una mejor propagación de la señal emitida.

Una estación de radio puede poseer un único punto de transmisión, lo cual no le permite expandir su señal a otros lugares. Según las posibilidades de la emisora, ésta puede tener más de dos puntos de transmisión¹⁴. Se destacan tres puntos geográficos para la transmisión, como lo son: estudios centrales, la planta transmisora y las repetidoras.

¹⁴ Están dados en coordenadas UTM

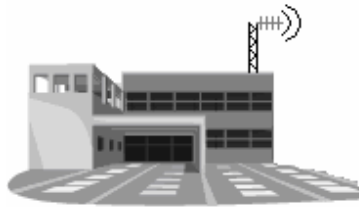
4.3.2.1. Estudios centrales

Se ubican en zonas urbanas de fácil acceso. En sus terrazas, es común observar torres de mediana altura con antenas apuntando en dirección a puntos geográficos más altos, como cerros, montañas o volcanes, con la finalidad de enlazarse con la planta transmisora.

Algunas emisoras, en cambio, emiten desde los estudios centrales sin necesidad de enlace, ya sea por cuestiones económicas que no les permite ampliar su cobertura, o bien porque su finalidad es llegar a una determinada porción de la población. Este es el caso de las radios comunitarias, donde su señal va dirigida a una región específica, pero no significa que en un futuro decidan expandirse.

Figura 28. Estudios centrales

a) Como enlace



b) Como planta transmisora



Es importante mencionar que en los estudios centrales se genera toda la producción y edición de los programas que serán emitidos al aire, así como de la distribución inteligente de la programación en distintos días y horarios, esta distribución es denominada pauta radial y cambia según las expectativas y objetivos de la propia estación.

4.3.2.2. Planta transmisora

Es el punto de recepción del enlace proveniente de los estudios centrales, la señal es captada y amplificada para ser transmitida hacia la población. Las plantas son instaladas en lugares como cerros, montañas o volcanes y en algunos casos es difícil el acceso. Pero la ventaja de la altura es que permite una mejor propagación de la señal.

Figura 29. Planta transmisora



Fuente: http://www.indunedltda.com/prod_estrucMetal_torresTel_riendadas

4.3.2.3. Repetidoras

Las repetidoras son fundamentales cuando las emisoras desean ampliar su cobertura, permitiéndoles llegar a lugares geográficamente inaccesibles como valles, o bien ser escuchados mas allá de las montañas que obstaculizan el paso de la señal. Una radiodifusora puede tener varias repetidoras que le permitan abarcar todo el territorio del país en donde transmite.

Estos repetidores son de tipo terrestre, donde el concepto de línea vista es sumamente importante a la hora de realizar los cálculos y elegir el lugar de instalación de la repetidora, en especial los enlaces punto a punto en FM. Pero también existe la posibilidad de repetidores satelitales, permitiéndole a la estación mayores facilidades para encontrar un lugar donde instalar sus equipos.

4.3.3. Factor técnico

4.3.3.1. Equipo de una radio

El factor técnico abarca muchas áreas, iniciando con el equipo requerido en una radio que se divide en dos grupos: el equipo de baja frecuencia y el de alta frecuencia. El primer grupo lo integran todos aquellos aparatos que generan, captan y manejan el sonido que posteriormente va a ser transmitido, mientras que el segundo lo componen todos aquellos aparatos transmisores que son capaces de modular y transmitir la señal en forma de ondas electromagnéticas por el espacio libre, que han generado los equipos de baja frecuencia.

Tabla VIII. Equipamiento básico de baja frecuencia

ÁREA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
CONTROL DE AUDIO	Consola o mezclador para transmisión	Elemento central imprescindible para llevar a cabo una realización y emisión radiofónica. A través de este pasan todas las fuentes de sonido provenientes de los micrófonos, reproductoras de CD's, etc. Regula el sonido, añade efectos, mezcla música con música, voz con música, etc. La creación sonora final es la que ira directamente a ser modulada para emitirla al aire.
	Reproductor – Grabador de CD's	Equipo capaz de leer el contenido grabado en un disco compacto con formato musical, otros tienen la ventaja de reproducir CD's grabados en otros formatos como mp3. A esto podemos añadir que algunos tienen la capacidad de grabar.
	Reproductor – Grabador de cassette	Es un equipo que quizá no sea muy empleado en la actualidad. Pero no puede descartarse del todo, aun existen materiales que no han sido digitalizados y deben reproducirse a la manera antigua.
	Reproductor – Grabador de mini-disc	Al igual que el lector de CD's, este aparato ofrece facilidad de manejo, calidad digital de grabación, reproducción y rapidez en la búsqueda de las fuentes de sonido registradas dentro del mini-disc
	Ordenadores	La revolución en la incorporación del ordenador ha sido el hecho de poder llegar a automatizar toda una emisión, consiguiendo que funcione sin la presencia física de una persona.
	Sintonizador AM-FM	Imprescindible a la hora de captar o monitorear la emisión real en el propio estudio. Además de poder realizar enlaces (cadenas) con otras emisoras en determinado momento.
	Monitores	Se instalan para poder escuchar todo lo que se genera a través de la consola, ya sea sonido directo o grabado.
	Amplificador	Se emplea para amplificar la señal que proviene de la consola y va hacia los monitores.
	Intercomunicador	Sistema de intercomunicación entre la persona de control y los locutores. Es de uso interno exclusivamente, es decir, no se emite al aire. Algunas consolas tienen incorporado un módulo para realizar esta función, sin necesidad de equipo extra.
Distribuidor de audífonos	Equipo que permite la entrada del audio general de la consola para luego poder conectar cierto número de audífonos que sirven de referencia a los locutores y al operador, cuando están al aire.	
LOCUTORIO	Micrófonos	Permiten transformar la energía acústica de la voz en energía eléctrica manteniendo la máxima proporcionalidad entre la intensidad del sonido captado y la tensión eléctrica de salida.
	Audífonos	Utilizados para que los locutores e invitados escuchen emisión de forma directa sin distorsionar la emisión cuando los micrófonos están abiertos.

De la tabla anterior se observa el equipo básico para dos áreas de una radio. Toda emisora convencional dispone de dos áreas bien diferenciadas donde se desarrolla la actividad radiofónica. Por un lado tenemos el estudio o cabina de control de audio, donde se controla un programa de radio, y, por otro lado, la cabina de radio o locutorio, donde se lleva a cabo la actividad de locutar. Ambos espacios pueden ser de diferentes tamaños y formas y se encuentran comunicados visualmente por medio de una ventana.

Las radios mas grandes suelen tener varios controles de audio desde los cuales pueden trabajar simultáneamente, incluso disponen del llamado control central, desde donde se coordina la emisión general de toda la emisora. Ahora bien, las radios más pequeñas disponen de una o bien dos cabinas de control.

La instalación del equipo de baja frecuencia esta bajo la responsabilidad del técnico asignado. Debe adecuar los equipos en función del espacio destinado para la tarea o bien sugerir los cambios o modificaciones pertinentes del lugar. Generalmente los equipos de la cabina de control son dispuestos en forma de U, para facilitar la operación de los mismos.

Uno de los aspectos importantes en la instalación, es revisar o bien modificar y adecuar las instalaciones eléctricas, con su respectiva protección y sistema de tierra. Algunas de las consolas para transmisión que se emplean en la cabina de control, operan con 240 V, pero generalmente trabajan con 110 V, el resto del equipo de baja frecuencia opera con 110 V.

El cableado es otro punto importante, mantener el orden visual de la cabina de control y del locutorio empleando cableado estructurado, de esta forma se protege la instalación y permite que sea chequeado más adelante. Las cajas de conexiones ayudan a distribuir el entramado de los cables, especialmente las conexiones que van del locutorio a la cabina de control y viceversa.

Algo que el técnico no puede pasar por alto, es que tanto en el locutorio como en la cabina de control, a parte del equipo, es muy importante tener en cuenta dos aspectos, el primero es la insonorización, los estudios de una radio deben estar contruidos con materiales que consigan aislarlos para evitar la filtración de ruidos externos que vayan a afectar la emisión al aire. El segundo es la acústica, ya que es necesario evitar las reverberaciones y las resonancias del sonido.

Por otro lado, el equipo de alta frecuencia se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IX. Equipamiento de alta frecuencia

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Equipo Transmisor	Integrado por un limitador, un codificador, un excitador y un amplificador final que hace llegar la señal a la antena.
Mástil o torre / antena	La torre suele tener una altura considerable puesto que en su parte más elevada se instala la antena radiante. Las torres son hechas de aluminio o hierro galvanizado y sus secciones pintadas de color rojo y blanco.
Baliza	Es un indicador luminoso que se instala en la torre para que el tráfico aéreo pueda visualizarla.
Radioenlace	Si una emisora se encuentra en el centro de la ciudad, es muy difícil que pueda emitir desde ese lugar, por lo que requiere de un equipo de radioenlace para enviar su señal a otro punto geográficamente adecuado, donde esta instalado el equipo transmisor y radiar con mejor cobertura.

Puede parecer que el equipo de alta frecuencia necesario es muy reducido, pero en realidad es el equipo más delicado de la emisora. Su ubicación depende de si la emisora puede o no emitir desde los estudios centrales o requiere de un equipo adicional (radioenlace), para obtener mejor cobertura.

Estos equipos son trifásicos, por lo que debe realizarse una instalación eléctrica adecuada al voltaje que demanda el fabricante. Los equipos de radioenlace son monofásicos 110 V. Siempre se debe aislar el equipo de alta frecuencia del de baja, debido que pueden producirse interferencias entre los mismos, además cualquier corto circuito en el área del equipo de baja frecuencia no dañará el equipo de alta. Un equipo de baja puede reemplazarse o sustituirse más fácilmente que uno de alta.

La mayoría de emisoras tienen a su disposición equipo de transmisión de emergencia que entra en funcionamiento casi inmediatamente que ocurre alguna falla con el equipo de transmisión ordinaria, esto garantiza que la emisora se mantenga emitiendo. O bien es necesario realizar un mantenimiento al equipo de transmisión.

4.3.3.2. Otras áreas a considerar

Hasta ahora dentro del factor técnico se ha expuesto el equipamiento mínimo necesario que compone a una emisora, enfocándose en la cabina de control, el locutorio y la parte designada a la transmisión de la señal. Sin bien, existen otros espacios físicos equipados que merecen la atención del técnico (redacción, programación, producción, estudios de grabación, administrativos, etc.), es importante destacar que la parte técnica es una integración de sub-áreas técnicas que permiten mantener el funcionamiento de la emisora.

Entonces se resalta la parte de informática, eléctrica o bien conocida como potencia, como sub-áreas técnicas, tomando en cuenta que el manejo, funcionamiento y mantenimiento del equipo de alta frecuencia puede ser clasificada en la sub-área de transmisión.

4.3.3.2.1. Área de informática

Para entender las funciones de ésta área, se comenzará por decir que la informática es la ciencia que se encarga del tratamiento automático de la información, propiciando y facilitando la manipulación de grandes volúmenes de datos y la ejecución rápida de cálculos complejos. La informática estudia lo que los programas son capaces de hacer (teoría de la computabilidad), de la eficiencia de los algoritmos que se emplean (complejidad y algorítmica), de la organización y almacenamiento de datos (estructuras de datos, bases de datos) y de la comunicación entre programas, humanos y máquinas (interfaces de usuario, lenguajes de programación, procesadores de lenguajes...), entre otros. Tiene a su cargo también, estudiar continuamente los programas que permiten administrar adecuadamente la emisora de forma sencilla y confiable. Además de proporcionar soporte al equipo de cómputo y redes instaladas en la emisora.

4.3.3.2.2. Área eléctrica

El equipo de radio es sumamente sensible a los armónicos que se generan en las instalaciones eléctricas. Un adecuado aterrizaje de las instalaciones y del equipo, permiten no solo la protección del mismo sino su adecuado funcionamiento. Estrechamente relacionado con la parte de transmisión, debido a que en algunos casos es necesario adecuar el voltaje suministrado por la empresa eléctrica para poder cumplir con el voltaje operativo del equipo.

Es importante destacar que las emisoras pelean por posicionarse en ser las primeras en el dial, por lo que es de suma importancia que su señal no se vea afectada por las interrupciones del fluido eléctrico, de esta forma, la instalación, mantenimiento y supervisión del funcionamiento de las plantas eléctricas es vital para tener un mecanismo de emergencia que permita mantener la señal al aire, en estos casos.

4.3.3.3. Expansión de una radio

Recae sobre el técnico la responsabilidad de realizar todos los cálculos pertinentes en el diseño de la expansión de la señal de la emisora, así como trabajar conjuntamente con la parte administrativa de la estación para cumplir con todos los requerimientos que establece la Ley General de Telecomunicaciones. Además de encargarse de proporcionar todas las especificaciones técnicas del equipo requerido para la o las repetidoras.

Resumiendo todo lo anteriormente expuesto, se puede decir que dependiendo de los objetivos de la emisora, la parte técnica es la encargada de los estudios, diseños, instalaciones, mantenimiento, reparación y sistemas de protección de todo el equipo de los estudios centrales, la planta transmisora y las repetidoras.

4.3.4. Factor financiero

Uno de los factores más importantes en el desarrollo y mantenimiento de un proyecto radial es sin duda alguna el económico. Ya que todo recae en un adecuado programa de planificación que permita ser cuantificado en costos para así dar inicio y sostener el proyecto, así como la ampliación futura de la emisora.

La parte administrativa es la encargada de planificar, organizar, dirigir y controlar los recursos para la obtención de los resultados. Sin una adecuada administración que guíe el proyecto y evalúe los riesgos a los que se enfrenta, resulta difícil alcanzar las metas propuestas. El costo de mantener una determinada estación al aire, se incrementa según el alcance de la misma. Se incrementan los recursos materiales y humanos que permiten la continuidad y expansión de la emisora.

4.4. Estructura actual de Radio Universidad

4.4.1. Organización

Radio Universidad es una emisora generalista no comercial de mediana cobertura, cuyo diagrama de organización se muestra a continuación:

Figura 30. Organigrama de Radio Universidad

Rectoría					
Director General de Extensión Universitaria					
Coordinador General de Radio Universidad					
Coordinador Producción	Coordinador Programación	Coordinador Noticias Matutino /Vespertino	Coordinador Técnico	Tesorería	Secretaria
Sub-Coord Producción		Reporteros	Operador Planta de Transmisión	Mensajero	
Locutores / Productores		Locutores de Noticias			
Grabadores de Audio		Grabador/Editor de Noticias			
Operadores cabina control		Piloto			

En lo más alto del organigrama aparece el Rector de La Universidad de San Carlos de Guatemala, quien es el representante legal de esta casa de estudios, nombra al profesional que tendrá a su cargo la Dirección General de Extensión Universitaria, y al Coordinador General de Radio Universidad.

El Coordinador General es la persona encargada de cumplir con los objetivos que demanden las autoridades universitarias para el funcionamiento de Radio Universidad. En el organigrama no existe el cargo de Director Financiero, de esta forma, el Coordinador General debe plantear las estrategias que permitan gestionar ante las autoridades universitarias los fondos según la planificación anual de la emisora.

El cargo de Tesorería en Radio Universidad debe cumplir con el manejo y la ejecución presupuestaria asignada a la emisora, con base a las normas de tesorería ya establecidas por la Universidad de San Carlos. Es de vital importancia que mantenga estrecha relación con el Coordinador General, porque de una gran parte de la planificación realizada por éste, depende el éxito de la adquisición y ejecución de los fondos. Además debe encargarse de las transferencias monetarias, la elaboración de los contratos del personal, mantener los suministros necesarios que requiera el personal para realizar su trabajo, y llevar el control del inventario de la emisora. También tiene bajo cargo, supervisar y asignar las tareas diarias al mensajero.

El puesto de secretaria, en este caso, cumple las funciones de recepcionista, además de ser la secretaria del Coordinador General, se encarga del manejo de la correspondencia, avisos, notificaciones, etc., que ingresan y de la elaboración de la correspondencia solicitada tanto por el Coordinador General, como de los Coordinadores de otras áreas que lo requieran. También es salva guarda de los archivos de la radio.

A diferencia de los organigramas vistos, en Radio Universidad el Coordinador de Producción tiene bajo su mando a los locutores, productores, grabadores y operadores de la cabina de control. Sus atribuciones siguen siendo las expuestas con anterioridad. Mientras que el Coordinador de Programación no tiene personal bajo su cargo, pero la estrecha comunicación con el Coordinador de Producción se mantiene.

La Coordinación de Noticias, tanto matutina como vespertina, no están supeditadas a las órdenes del Coordinador de Producción o del de Programación. Sin embargo, la comunicación entre todos los Coordinadores es fundamental a la hora de realizar transmisiones especiales que puedan interrumpir o modificar los espacios establecidos por el Coordinador de Programación. La Coordinación de Noticias tiene bajo su cargo el personal de reporteros, locutores, un grabador-editor de noticias, además de girar órdenes al piloto de la unidad móvil, quien es el encargado de trasladar principalmente a los reporteros a sus distintas fuentes.

Finalmente, la Coordinación Técnica o Departamento Técnico, compuesto por una sola persona, tiene a su cargo el mantenimiento y reparación del equipo de baja y alta frecuencia. También debe velar por el funcionamiento de todo lo que compone el área informática. Tiene la responsabilidad del mantenimiento y funcionamiento de la planta eléctrica. Es la persona encargada de montar el equipo de transmisión que se emplea en los enlaces remotos de distintos puntos del país, hacia los estudios centrales. Además realiza las solicitudes de compra de los repuestos, accesorios y equipo que necesite la emisora, esto lo hace conjuntamente con tesorería, analizando las distintas opciones para lograr que la radio adquiera lo necesario para mantener la operatividad de la misma en el aspecto técnico.

El técnico debe supervisar el trabajo realizado por el operador de la planta de transmisión, cuyas atribuciones son: el encendido y apagado del transmisor a los horarios establecidos por la emisora, reportando cualquier anomalía que el mismo presente durante esta tarea o bien durante el transcurso de su operación. Tiene a su cargo encender la planta eléctrica para verificar su funcionamiento aún cuando el suministro eléctrico este funcionando normalmente, así como constatar que arranque automáticamente al momento de una interrupción en el fluido eléctrico. Se encarga del mantenimiento y limpieza de las instalaciones de la planta de transmisión. Fundamentalmente, se encarga de la vigilancia del lugar durante las 24 horas del día, notificando cualquier amenaza que ponga en riesgo su propia seguridad como la del equipo que ahí se encuentra instalado.

4.4.2. Factor legal

En Resolución SIT-249-98, consta que de conformidad con los artículos No. 1, 7 literal b, y 96 de la Ley General de Telecomunicaciones, declara procedente el uso de la frecuencia central 92.1 MHz, con los límites de frecuencia establecidos entre 92.0 y 92.2 MHz, así como una potencia máxima de radiación de 10.0 dBKw, una potencia máxima de intensidad de campo eléctrico de -70 dBm, dentro de los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez; a la Universidad de San Carlos de Guatemala, concesionario de la radiodifusora, Radio Universidad, el tres de febrero del 1998.

Se le otorga a la Universidad de San Carlos el Título de Usufructo de Frecuencia para la banda 92.0 a 92.2 MHz, con fecha de emisión del 18 de diciembre de 1996 y vigencia de 15 años.

El Título de Usufructo para el aprovechamiento del rango de frecuencias de 315.9000 a 316.3000 MHz, para la aplicación de un enlace punto a punto, es otorgado a favor de la Universidad de San Carlos mediante endoso, quedando inscrito en el Registro de Telecomunicaciones el 6 de abril de 1999. La Iglesia El Shaddai Centro de Adiestramiento Cristiano era el usufructuario inicial. En el Título de Usufructo se especifica una potencia máxima efectiva de radiación de 40 dBm, una máxima intensidad de campo eléctrico de -50 dBm; fue emitido a su primer usufructuario el 24 de junio de 1998 con una vigencia de 15 años¹⁵.

4.4.3. Factor geográfico

Radio Universidad posee dos puntos geográficos de operación. El primero se trata de los Estudios Centrales de Radio Universidad, ubicados en la 2da. Av. 12-40 de la Zona 1 Ciudad Capital, en el Centro Cultural Universitario; de donde emite hacia un segundo punto geográfico, su planta transmisora, ubicada en el Cerro Alux; mediante enlace FM.

Las coordenadas U.T.M. correspondientes tanto a los Estudios Centrales como a la Planta Transmisora son: Lat. 14° 38.156' N, Lon. 90° 31.101' W y Lat. 14° 36.931' N, Lon. 90° 38.119' W respectivamente. Recuérdese que legalmente Radio Universidad no tiene autorización para el aprovechamiento de otras bandas frecuencias reguladas que le permitan ampliar su cobertura, por lo tanto, carece de repetidoras.

¹⁵ Ver Anexo C

4.4.4. Factor financiero

El Presupuesto General de Ingresos y Egresos de la Universidad de San Carlos de Guatemala debe ajustarse a las normas del Sistema de Presupuesto por Programas y del Sistema Integrado y Uniforme de Contabilidad. Es un instrumento operativo de la planificación universitaria, debe contener acciones proyectadas para el cumplimiento de los fines y objetivos de la Institución. Se adopta y establece el uso obligatorio del Manual de Planificación y Programación Presupuestaria del Sector Público de Guatemala, con las adaptaciones necesarias. Y debe realizarse atendiendo las instrucciones dictadas por la Dirección General Financiera, a través del Departamento de Presupuesto, acordes a los criterios de política presupuestal aprobados por el Consejo Superior Universitario.

Radio Universidad, como cada dependencia de la Universidad de San Carlos, debe elaborar su propio Plan Operativo Anual (POA), donde refleje las actividades y estrategias programadas para alcanzar las metas planteadas, justificando además cada una de las necesidades de la dependencia. El POA, se traduce finalmente en una reprogramación del presupuesto con el cual cada dependencia opera. El mismo es estudiado y analizado detenidamente para su aprobación, en especial si se pretende solicitar una ampliación al techo presupuestal, es decir, a la cantidad monetaria fija o tope asignada desde un principio por las autoridades universitarias correspondientes.

El Manual de Clasificación Presupuestaria para la Universidad de San Carlos de Guatemala constituye una ordenación sistemática y homogénea de los bienes y servicios, las transferencias y las variaciones de activos y pasivos que el sector público aplica en el desarrollo de su proceso productivo.

Su estructura cuenta con tres niveles, el primer dígito corresponde al grupo de gasto, el segundo dígito al subgrupo y el tercer dígito para el renglón presupuestario. Ver figura 31.

Figura 31. Ejemplo de la estructura del manual de clasificación

2	6	2
Materiales y suministros	Productos químicos y conexos	Combustibles y lubricantes
1er. Dígito	2do. Dígito	3er. Dígito

2	6	3
Materiales y suministros	Productos químicos y conexos	Abonos y fertilizantes
1er. Dígito	2do. Dígito	3er. Dígito

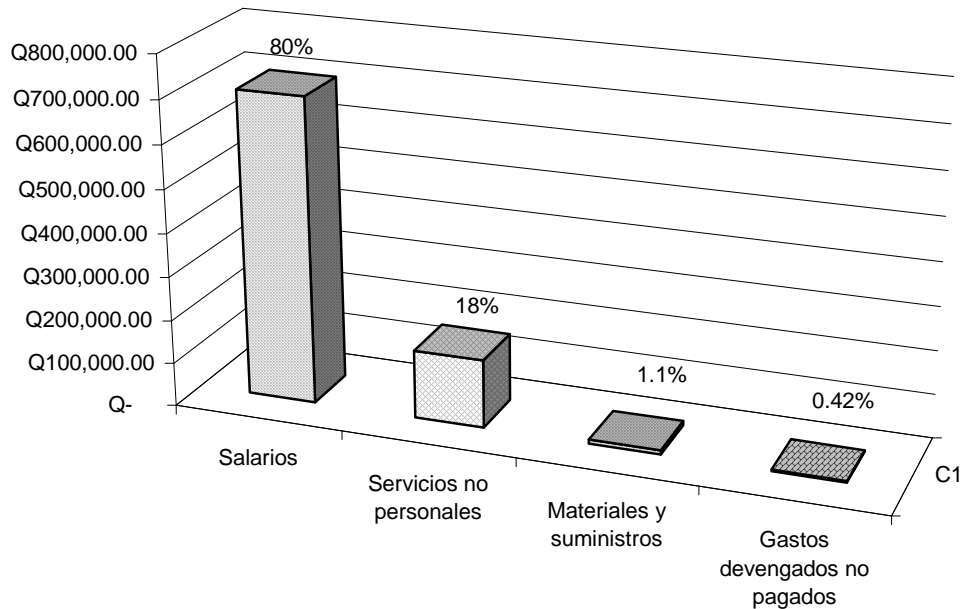
El Manual de Clasificación describe las cuentas en diez grupos del 0 al 9: servicios personales, servicios no personales; materiales y suministros; propiedad, planta, equipo e intangibles; transferencias corrientes; transferencias de capital; activos financieros; servicios de la deuda pública y amortización de otros pasivos; otros gastos y finalmente asignaciones globales.

El presupuesto asignado a Radio Universidad contempla la retribución de los servicios personales prestados en relación de dependencia, como el personal permanente, supernumerario, personal por contrato, etc. Todos los egresos por servicios no personales tales como, el pago de la energía eléctrica, telefonía, etc. Además tiene una partida presupuestaria que le permite adquirir ciertos materiales y suministros que requiere la emisora, tales como papel, combustible, repuestos, etc. La siguiente tabla muestra el presupuesto asignado a Radio Universidad en el año 2007.

Tabla X. Presupuesto Radio Universidad 2007

Grupo/ Subgrupo/ Renglón	Nombre	Monto	Descripción
<i>GRUPO 0: Servicios personales</i>		Q. 702,046.49	El Grupo Cero comprende la retribución de los servicios prestados en relación de dependencia, miembros de juntas, comisiones, etc. Subgrupo 01- Personal en cargos fijos y 02- Personal temporal
011	Personal permanente		
017	Derechos escalafonarios		
021	Personal supernumerario		
022	Personal por contrato		
029	Otras remuneraciones al personal		
<i>GRUPO 1: Servicios no personales</i>		Q. 156,585.00	
100	Resumen otros renglones	Q. 1,000.00	
111	Energía eléctrica	Q. 110,000.00	Subgrupo 11- servicios básicos . Gastos por servicios públicos.
113	Telefonía	Q. 6,000.00	
152	Arrendamiento tierras y terrenos	Q. 39,585.00	Pago del arrendamiento terreno en Cerro Alux.
<i>GRUPO 2: Materiales y suministros</i>		Q 9,621.55	
200	Resumen otros renglones	Q 700.10	
211	Alimentos para personas	Q 1,500.00	
241	Papel escritorio	Q 800.00	Egresos por compra de papel de escritorio, cartones; libros, revistas y periódicos, etc.
243	Productos de papel o cartón	Q 800.00	
244	Productos de artes gráficas	Q 100.00	
262	Combustibles y lubricantes	Q 3,000.00	Para móvil y planta elec.
291	Útiles de oficina	Q 500.00	Egresos por adquisición de útiles de oficina, limpieza; repuestos y accesorios menores de maquinaria y equipos.
292	Útiles de limpieza y productos sanitarios	Q 600.00	
298	Accesorios y repuestos en general	Q 1,621.45	
<i>GRUPO 9: Asignaciones globales</i>		Q. 3,642.96	Comprende los pagos de bienes y servicios contratados y devengados en años anteriores
981	Gastos devengados no pagados	Q. 3,642.96	
TOTAL PLAN DE FUNCIONAMIENTO		Q. 871,896.00	

Figura 32. Gráfica del plan de funcionamiento 2007



El gráfico anterior refleja que un 80% del presupuesto asignado a Radio Universidad está destinado a cubrir los egresos por concepto de salarios a los empleados de la emisora. El 18% del presupuesto lo componen los gastos por energía eléctrica de la planta transmisora; donde también absorbe el consumo del equipo de transmisión de TV USAC, debido a que comparten la misma instalación eléctrica y el mismo espacio físico para sus equipos de alta frecuencia. Radio Universidad tiene a su cargo el pago total del arrendamiento del terreno donde se ubica la planta transmisora en el Cerro Alux, cuyo contrato perdió vigencia, y el nuevo contrato, ahora tiene un incremento considerable a ser tomado en cuenta. El pago de las cuentas telefónicas también es considerado dentro de éste 18%.

La disponibilidad que se maneja dentro del presupuesto anual de Radio Universidad para cubrir la compra de repuestos para equipos de baja y alta frecuencia; materiales y suministros necesarios para la operatividad de la estación, únicamente ocupan el 1.1% del techo presupuestal asignado año con año a la entidad. Y el 0.42% comprende los pagos de bienes y servicios contratados en el año anterior.

El presupuesto obedece a una programación de actividades, es posible modificarlo mediante transferencias, ampliaciones o reducciones, así como por otros conceptos, para lo cual, la Unidad, en este caso Radio Universidad podrá presentar su solicitud a la Dirección General Financiera a través del Departamento de Presupuesto.

La compra de materiales eléctricos, equipos de protección, software, música, tinta para impresoras, toner para fotocopidora, entran en renglones presupuestarios diferentes a los mostrados en la tabla IX, por lo tanto, deben crearse y justificarse al momento de realizar las transferencias o las solicitudes de ampliación presupuestal y esperar a que las misma sea aprobada para poder ejecutar los gastos. Y así existen muchas otras necesidades que no se pueden cubrir debido a la mala disposición presupuestaria de Radio Universidad.

La creación del Departamento Informativo en el 2008 supuso un incremento en el presupuesto, el mismo es prácticamente para la operatividad de ese departamento. No llega a cubrir todas las necesidades por las que atraviesa Radio Universidad.

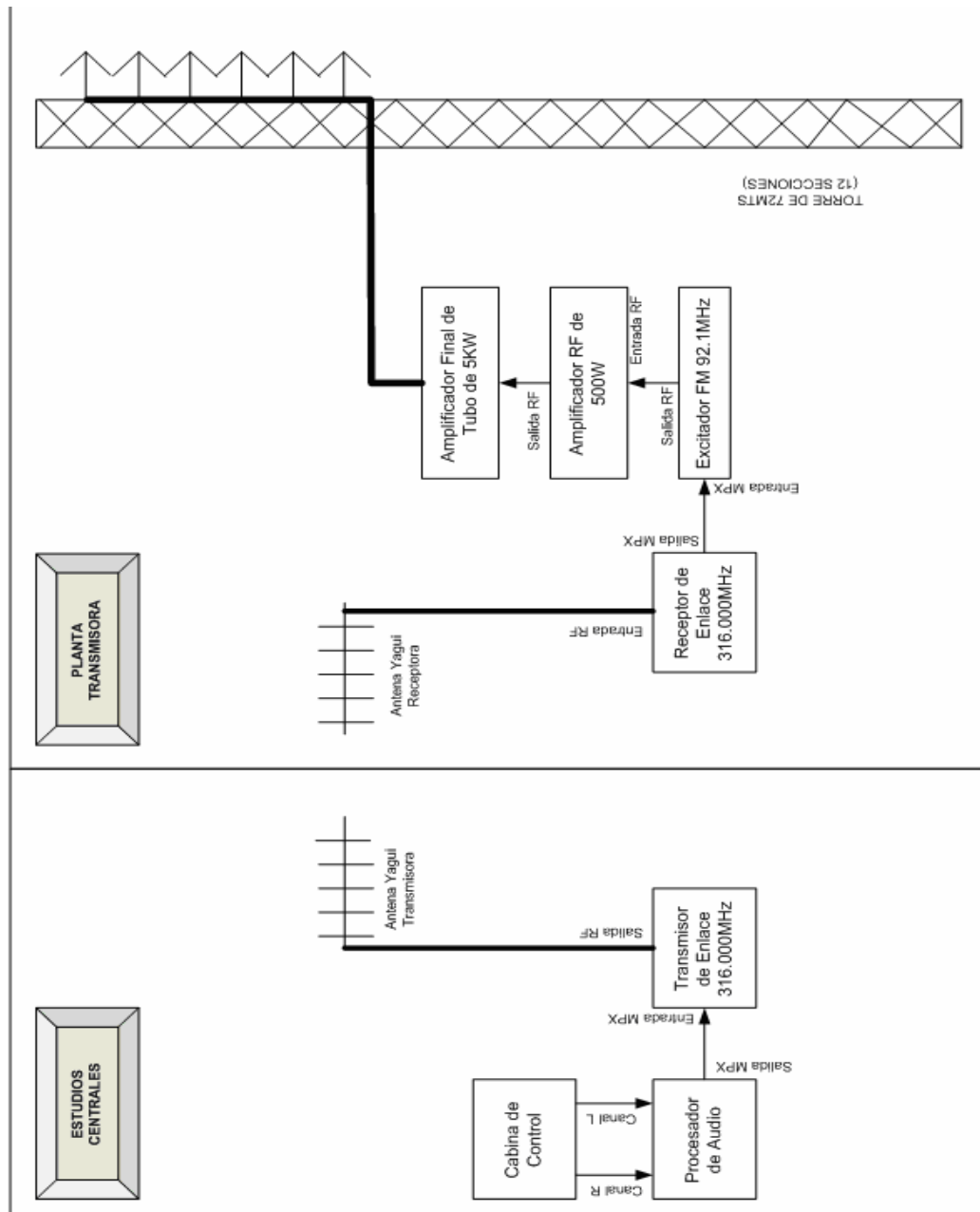
5. EMISIÓN DE LA SEÑAL DE RADIO UNIVERSIDAD EN FM

Una señal de audio, compuesta por dos canales R y L (derecho e izquierdo), proveniente de la Cabina Central o Control Central pasa por un procesador de audio. La señal ya mezclada ingresa a un transmisor de enlace sintonizado a 316.100 MHz, que es la frecuencia central de operación dentro del rango de la banda de frecuencia de 315.900 a 316.300 MHz que le fue autorizada a la Universidad de San Carlos. Un receptor de enlace instalado en la planta transmisora del Cerro Alux capta la señal emitida desde los Estudios para que un excitador de FM posteriormente module la señal de audio que va de 0 a 20 KHz a la frecuencia de FM de Radio Universidad, 92.1 MHz.

Del excitador de FM, la señal pasa por un amplificador de estado sólido de 500 W, incluso desde este punto es posible conectar los elementos radiantes, que la señal puede ser sintonizada en cualquier radio receptor. Pero Radio Universidad cuenta con un equipo de amplificación final de tubo de 5000 W, que le permite ampliar su cobertura a base de potencia. Se debe recordar que no sólo con incrementar la potencia se logra una mayor cobertura, la geografía del territorio nacional dificulta la propagación de las señales.

Para una mejor comprensión del proceso anterior, se presenta el siguiente diagrama de bloques, el cual será explicado mas detenidamente bloque a bloque.

Figura 33. Diagrama de bloques: Transmisión Radio Universidad



5.1. Procesador de audio

Un procesador de audio es un equipo que permite controlar el sonido que transmiten las emisoras, pero no todos los procesadores de audio brindan la posibilidad de mantener cierta uniformidad en el audio. Algunos equipos integran circuitos para la compresión del sonido. Otra opción es instalar por aparte un equipo de compresión de audio para reducir la señal de las señales mas fuertes (saturaciones) y aumentar las señales débiles (volumen bajo), mejorando la calidad del audio¹⁶.

El procesador de audio del diagrama de bloques (figura 31), instalado en Radio Universidad, permite no solamente controlar el nivel de modulación, sino también controlar y programar la respuesta de frecuencia de la señal de audio en ambos canales de acuerdo a las necesidades y horas de transmisión. El procesador divide la señal de audio de cada canal en diez bandas de sonido cuya amplitud es regulable en forma programada e independiente, logrando realzar la parte del espectro de frecuencias de cada canal, es decir, que puede re-ecualizar automáticamente el sonido, controlando cualquier variación en tiempo real, de acuerdo al contenido que esta al aire.

En la transmisión por frecuencia modulada, la señal de audio con que se modula al equipo transmisor no debe producir bajo ningún concepto una desviación en la frecuencia de la portadora de éste, que sea mayor de ± 75 KHz. Los picos de gran amplitud, de duración breve, no portan en si energía de sonido, causando la sobremodulación del transmisor.

¹⁶ Algunas emisoras solamente instalan el compresor de audio y su salida va directa a un excitador o bien al radioenlace.

Para contener los picos de sobremodulación, los limitadores simples, que se hayan en la mayoría de los equipos procesadores, actúan sobre toda la banda de paso del equipo de la misma forma, lo que provoca que al producirse un pico de sobremodulación generado en un estrecho rango de frecuencias, todo el nivel de la señal de audio descienda abruptamente, de esta manera el nivel de recepción de la señal recibida es sumamente alterado.

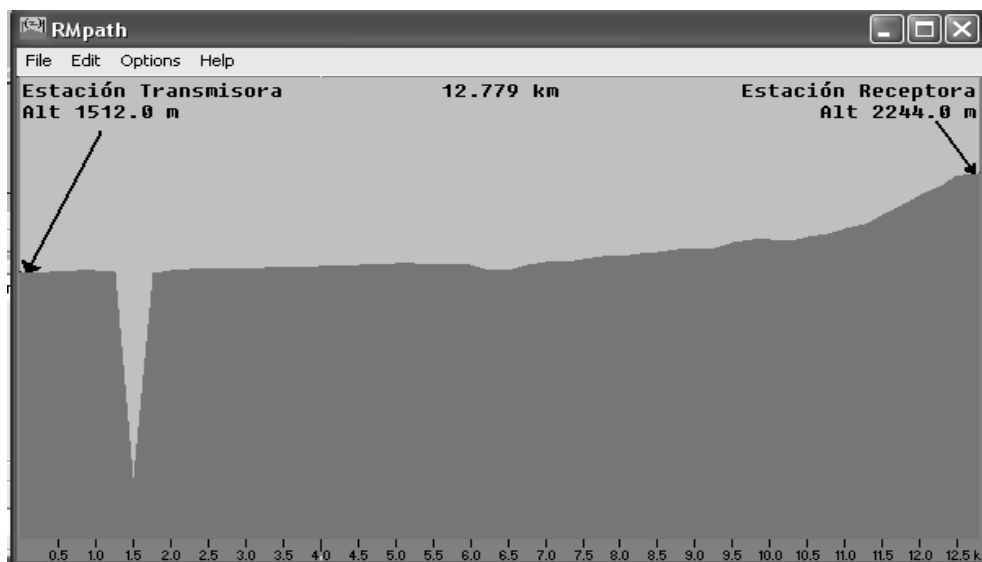
El procesador de Radio Universidad, al dividir el espectro de la señal de audio incidente en 10 sub-bandas, controla el nivel de cada una de ellas por separado, interviniendo en aquella parte del espectro de frecuencia que contiene el pico de sobremodulación, lo que evita que la densidad promedio de energía de sonido baje, permitiendo la modulación plena y constante. Los circuitos procesadores de audio producen una señal que es pre-enfatizada con curvas de constante de tiempo de 50 o 75 μ seg, la cual es controlada en forma precisa para evitar riesgos de sobremodulación y filtrada convenientemente a 15 KHz para proteger a la señal piloto de 19 KHz. Debe cuidarse también, que las señales de entrada tengan un nivel de ruido bajo, con una respuesta de frecuencia tan plana como sea posible entre 30 Hz y 15 KHz, con una distorsión no lineal lo mas baja posible.

La colocación óptima de cualquier equipo procesador es lo más cercano posible al transmisor de radiodifusión por FM, de forma tal que la salida quede conectada al transmisor a través de un trayecto corto, que no pueda modificar apreciablemente la forma de onda de la señal compuesta de multiplex (MPX), que es la mezcla final de los canales R y L de la entrada.

5.2. Enlace FM de Radio Universidad

Tanto los estudios centrales como la planta transmisora serán referidos como: estación transmisora (Radio) y estación receptora (Alux) de enlace respectivamente. Con la ayuda del programa Radio Mobile¹⁷ y las coordenadas UTM correspondientes, se calcula la distancia en km entre ambas estaciones y el perfil del terreno, de esta forma obtenemos la siguiente grafica:

Figura 34. Distancia entre estaciones



Entre ambas estaciones existe una distancia aproximada de 12.8 km. En la gráfica del perfil, no se observan obstáculos que puedan interrumpir la propagación de la señal emitida. Así, ambas estaciones se encuentran en línea vista.

¹⁷ Programa que permite realizar cálculos para el diseño de enlaces terrestres.

La antena transmisora de enlace se encuentra instalada en lo más alto de una torre atirantada de 6 m sobre la terraza del edificio de los estudios centrales, que mide alrededor de otros 6mts, lo que suma una altura aproximada de 12 m sobre en nivel del suelo. Ahora bien, la altura de la estación transmisora es de 1,512 msnm, dando como resultado que la antena transmisora de enlace se encuentre a 1,524 msnm.

La antena de recepción de enlace instalada en el Cerro Alux, se haya a una altura de 22 m sobre en nivel del suelo, sobre una torre atirantada de 72 m. La estación receptora se encuentra a 2,244 m sobre el nivel del mar, por lo tanto la altura total de la antena es de 2266 msnm. Ver resumen Tabla XI.

Tabla XI. Resumen de las alturas en cada estación

RESUMEN DE ALTURAS		
Ha	1,512 msnm	Para la estación transmisora (Radio), altura total sobre el nivel del mar, es de 1,524 m
ha	12 m	
Hb	2,244 msnm	Para la estación receptora (Alux), altura total sobre el nivel del mar, es de 2,266 m
hb	22 m	

5.2.1. Cálculo de pérdidas

Las pérdidas en un sistema de enlace se deben principalmente a las atenuaciones que sufre la señal en el espacio libre, en el cable y los conectores tanto en el lado de transmisión como en el de recepción.

- **Pérdidas en el espacio libre:** para este cálculo se emplea la ecuación (2.8) del capítulo dos del presente informe, por lo tanto, es necesario conocer la frecuencia y la distancia entre las estaciones. Debido a que Radio Universidad opera en el rango de frecuencia de enlace autorizado de 315.9 a 316.3 MHz, la frecuencia central empleada es de 316.100 MHz, y la distancia entre estaciones es de 12.8 km. De esta forma sustituyendo los valores en la ecuación respectiva se tiene:

$$Le = 32.5 + 20\log(f_{(MHz)}d_{(Km)})$$

$$Le = 32.5 + 20\log(316.1 * 12.8)$$

$$Le = 104.64dB$$

- **Pérdidas por cableado:** el cableado utilizado es tipo Heliax de 7/8" para ambos puntos del enlace. A una frecuencia de 300 MHz se tiene una atenuación de 1.968 dB/100 m, y a 400 MHz la atenuación es de 2.292 dB/100 m¹⁸. Si interpolamos estos valores podemos obtener una atenuación aproximada para la frecuencia de enlace 316.1 MHz, lo que nos da un valor de 2.02 dB/100 m. La cantidad en metros empleada de Heliax para la transmisión y la recepción, son aproximadamente 14 y 25 metros respectivamente¹⁹. Las pérdidas por cable o alimentador en la transmisión y recepción esta dada por:

$$L_{aTx} = \frac{2.02dB * 14}{100} = 0.283dB$$

$$L_{aRx} = \frac{2.02dB * 25}{100} = 0.505dB$$

¹⁸ Estos valores se obtuvieron con base en las hojas de especificaciones del fabricante del Anexo A.

¹⁹ La longitud del cable no es la misma que la altura lineal de la antena, debido a que los cables no recorren trayectos lineales hasta donde se encuentra el equipo. Así la longitud depende de cómo se encuentren dispuestos físicamente la torre y la habitación dónde se resguarda el transmisor y receptor.

- **Pérdida por conectores:** las pérdidas por conectores son aproximadamente de 0.25 dB por conector. La atenuación por conectores del lado de la transmisión es $L_{cTX} = 0.5$ dB y en la recepción $L_{cRX} = 0.5$ dB, por lo tanto, el total de pérdidas por conectores es $L_{ct} = 1$ dB. Así, el total de pérdidas esta dado por:

$$Lat = L_{aTX} + L_{aRX} + L_{cTX} + L_{cRX}$$

$$Lat = 1.788dB$$

5.2.2. Margen de desvanecimiento

Para el cálculo del margen de desvanecimiento se emplea la ecuación (3.27) del capítulo tres. De la tabla VI, factores de rugosidad y climáticos, se obtiene un valor de $A=1$ y de $B=1$, ambos asumiendo condiciones normales. Con una confiabilidad para el enlace del 99.99%, tenemos $R=0.9999$. Por lo tanto, el margen de desvanecimiento L_D esta dado por:

$$L_D = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$L_D = 30 \log(12.8) + 10 \log(6 * 1 * 1 * 0.3161) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$L_D = 6dB$$

5.2.3. Ganancia del sistema de enlace

Las antenas de transmisión y recepción instaladas para el radioenlace, son del tipo yagui de cinco polos con una ganancia de 10 dBi²⁰ cada una. La ganancia del sistema que opera en Radio Universidad, se establece a través de la ecuación (3.28) con la suma algebraica de las pérdidas y ganancias de ambas antenas.

²⁰ La ganancia de una antena expresada en función de una antena isotrópica esta dada en dBi

$$GS = Lat + Le + L_p - Garx - Gatx$$

$$GS = 1.788 + 104.64 + 6 - 10 - 10$$

$$GS = 92.43dB$$

Como se vio en el capítulo tres, la ganancia del sistema se calcula como la máxima pérdida que tendrá el enlace. Por lo tanto, el sistema de Radio Universidad posee una ganancia de 92.43 dB. Este valor será de mucha utilidad más adelante, para poder establecer la condición de sensibilidad del sistema.

5.2.4. Potencia de transmisión de enlace

El transmisor de enlace instalado emite a una potencia de 2 W. Para facilitar cálculos posteriores trasladaremos los wats a dBm²¹ con la siguiente fórmula:

$$dBm = 30 + 10\log(\text{wats_de_potencia}) \quad (5.1)$$

Al sustituir los 2 W en la ecuación anterior, obtenemos una potencia de transmisión de enlace de $P_t = 33.01 \text{ dBm}$

5.2.5. Cálculo del nivel de recepción de la señal (RSL)

Antes de calcular el RSL, hay establecer la potencia isotrópica radiada efectivamente, lo que por sus siglas en inglés se conoce como EIRP. Para ello se considera la potencia de transmisión P_t , las pérdidas totales por alimentadores y conectores Lat y la ganancia de la antena transmisora $Gatx$, lo que deja la siguiente ecuación:

²¹ El nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de referencia de 1mW se define como dBm

$$EIRP = Pt - Lat + Gatx \quad (5.2)$$

$$EIRP = 33.01 - 1.788 + 10$$

$$EIRP = 41.22dBm$$

El nivel de recepción de la señal toma en cuenta el margen de desvanecimiento L_D , con la finalidad de asegurar una adecuada recepción bajo ciertas condiciones climatológicas, además de la ganancia de la antena y las pérdidas por espacio libre. De esta forma RSL esta dada por:

$$RSL = Garx - Le + EIRP - L_D \quad (5.3)$$

$$RSL = 10 - 104.64 + 41.22 - 6$$

$$RSL = -59.42dBm$$

Al comparar este resultado con el que surge de la ecuación (3.29), nótese que es exactamente el mismo empleando la ganancia del sistema.

$$P_r = Pt - GS$$

$$P_r = 33.01 - 92.43$$

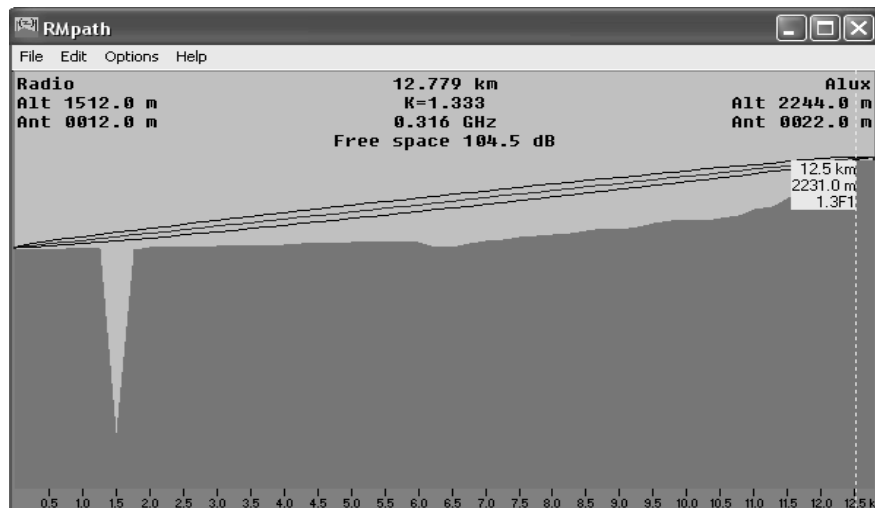
$$P_r = -59.42dBm$$

Al emitir una señal, esta será atenuada en su trayecto hacia el receptor, así, -59.42 dBm es la potencia mínima de recepción de señal que debe estar por encima del nivel de sensibilidad del receptor. Según las especificaciones del equipo de recepción instalado, éste tiene una sensibilidad de -67 dBm. De esta forma se concluye que el sistema de enlace que funciona en Radio Universidad es eficiente, debido a que la RSL obtenida es capaz de sensibilizar el equipo de recepción.

5.2.6. Zona de Fresnel

Es el elipsoide de revolución con puntos focales en las antenas. Con la ayuda del programa Radio Mobile se pudo corroborar la eficiencia del enlace de Radio Universidad. En la gráfica que se muestra a continuación se puede observar que no existe ningún obstáculo que interrumpa la trayectoria de la señal, así mismo, la altura a la que están instaladas las antenas de la emisora es la apropiada.

Figura 35. Primer radio de Fresnel

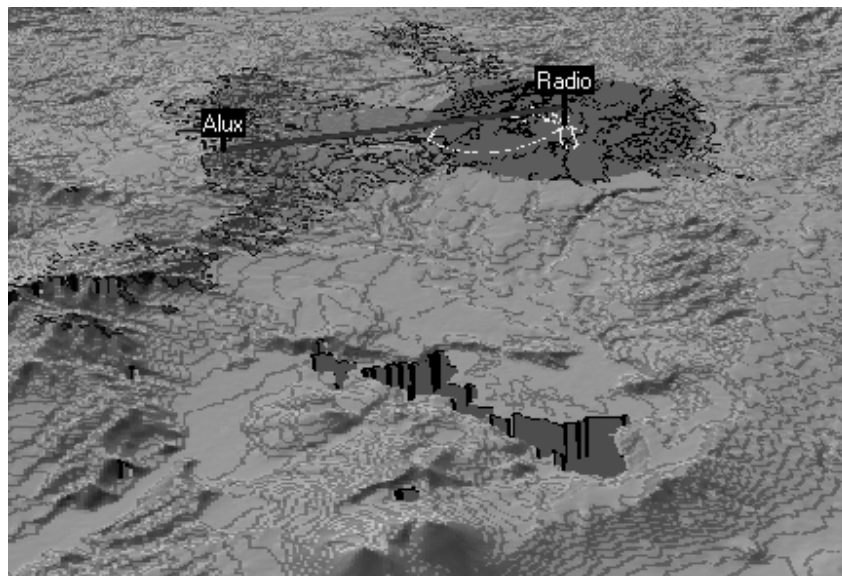


5.2.7. Enlace Alux con “Radio Mobile”

Radio Mobile es un programa de simulación de radiopropagación gratuito que predice el comportamiento de los sistemas de radio, permite simular enlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones entre otras funciones.

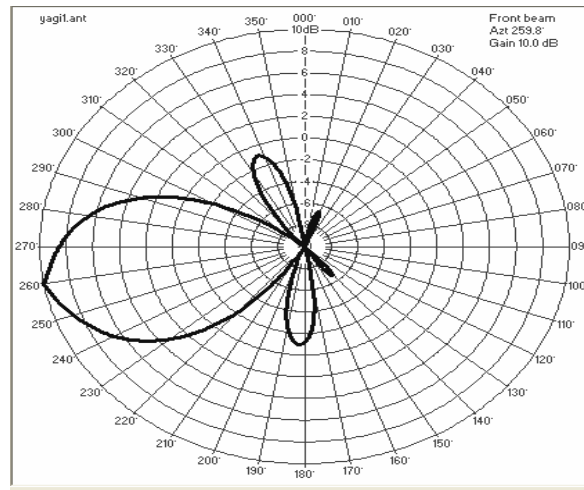
Con datos de elevación del terreno, que pueden ser descargados de Internet gratuitamente, se ha podido generar sobre la parte del territorio guatemalteco que interesa, la propagación de la señal transmitida desde los estudio centrales (Radio) hacia la planta transmisora (Alux), así como la ubicación de ambas estaciones sobre el mapa tal y como se presenta a continuación.

Figura 36. Propagación y patrón de la señal emitida



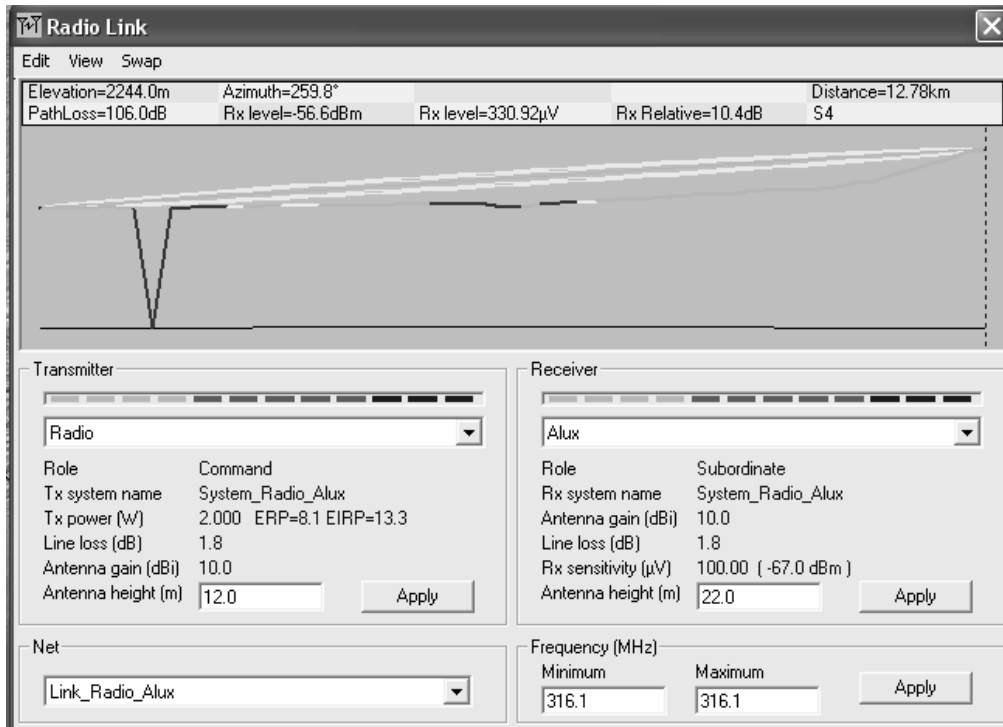
En la Figura 36 se aprecian ambas estaciones sobre el mapa. El área sombreada que abarca las dos estaciones indica la cobertura que tiene la señal de enlace transmitida desde los estudios centrales (Radio), además se dibuja el patrón de la antena Yagui instalada, con sus dos lóbulos laterales, el cual se aprecia en la Figura 37.

Figura 37. Patrón de radiación antena yagui



El enlace generado por el programa sobre el perfil del terreno se muestra en la siguiente figura.

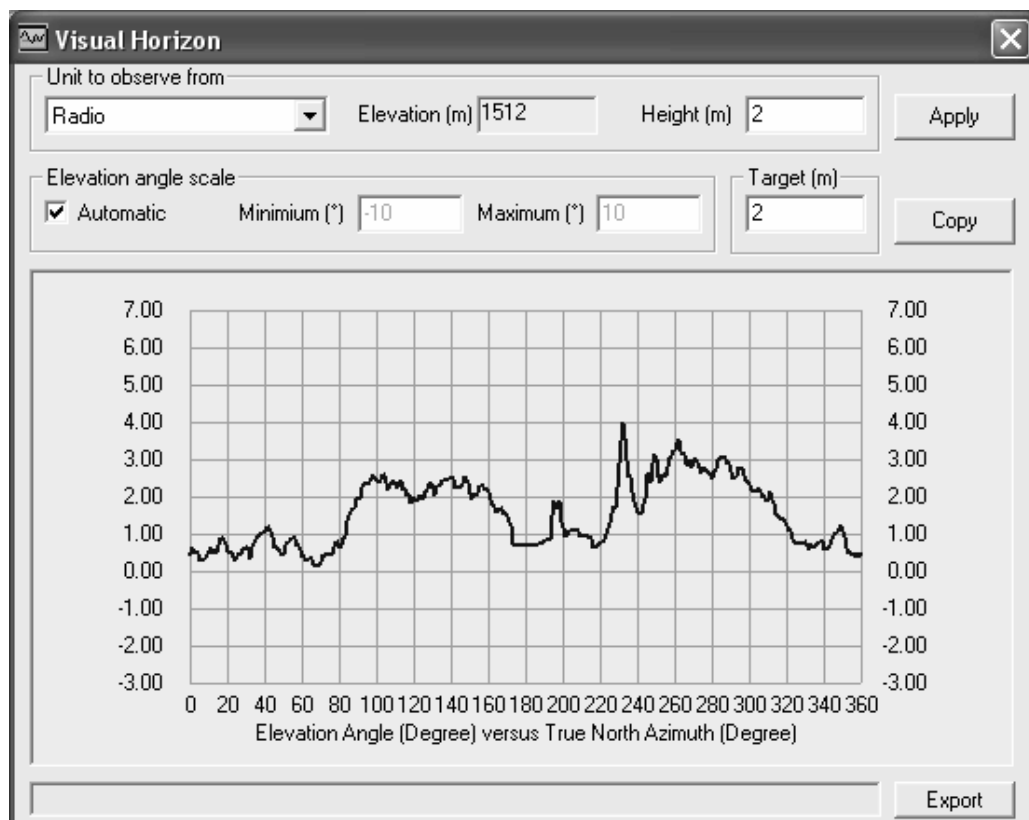
Figura 38. Link_Radio_Alux



Valores como posiciones geográficas de cada punto, la potencia de transmisión, sensibilidad del receptor, pérdidas en cables y conectores, altura de las antenas, se ingresaron al programa para obtener una gráfica dónde se nos permite visualizar de mejor forma el comportamiento del enlace que opera en Radio Universidad. El programa también permite generar los límites del mapa por debajo del horizonte teórico tanto para la estación transmisora, Radio, como para la receptora, Alux,

Figura 39. Visión del horizonte

a) Observado desde la estación Radio



Fuente: Programa Radio Mobile Delux

b) Observado desde la estación Alux



Fuente: Programa Radio Mobile Deluxe

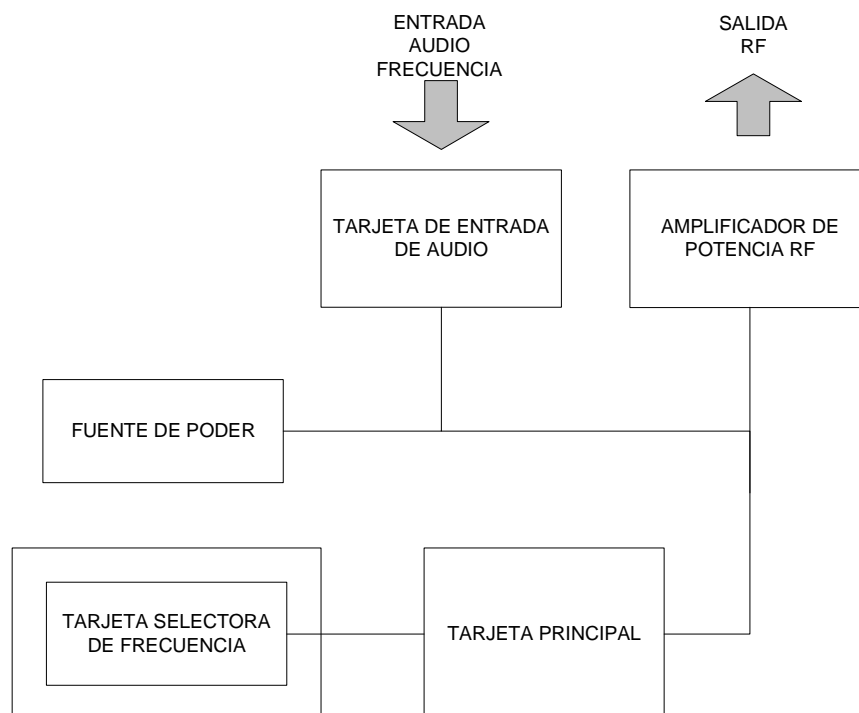
5.3. Excitador de FM

Cuando la señal sensibiliza al receptor de enlace, este demodula la señal y la transforma en una señal audible nuevamente permitiendo chequear la calidad del sonido que proviene desde los estudios centrales. Si la señal sintonizada en un radioreceptor se escucha distorsionada, el receptor de enlace es una referencia confiable que ayuda a detectar si esa distorsión se genera desde algún punto en el proceso de enlace o bien en el proceso posterior.

Regresando al diagrama de la Figura 33 luego de la etapa del radioenlace, la señal pasa a un excitador FM. Ocurre que dentro de la demodulación del receptor de enlace, este reconstruye una señal con la misma característica de la que generó el procesador de audio, de aquí que si la emisora transmite desde el mismo punto sin necesidad de un radioenlace, la salida del procesador de audio se conecta al excitador FM.

El excitador de FM opera en la banda de 87.5 a 108 MHz, en pasos de 10 KHz, con una potencia de salida de RF en un nivel de carga de 50 ohmios. La mayoría de los equipos excitadores de FM contienen un filtro paso bajo que reduce las emisiones de armónicos por debajo de los límites permitidos por la normativa internacional, por lo que pueden ser utilizados como un transmisor conectado directamente a una antena.

Figura 40. Diagrama excitador FM



El diagrama de bloques de la Figura 40 corresponde al excitador FM instalado en Radio Universidad, cada bloque se describe a continuación:

- **Fuente de poder:** la fuente transforma un voltaje de 240 V a tensiones mas bajas que son rectificadas y estabilizadas a los valores siguientes: +12 V, +15 V y un voltaje variable de 2 a 24 V. Los 15 V alimentan la tarjeta de entrada de audio. El amplificador de potencia de RF es alimentado con 12 V, y el voltaje variable de 2 a 24 V sule la etapa final de potencia del mismo módulo. El voltaje variable de la etapa final esta controlada por el control de ajuste de potencia el cual determina la potencia de salida de RF del Excitador. El control automático de la salida de potencia, garantiza que el nivel de potencia ajustado a través del rango de frecuencia e independiente de otras variables tales como temperatura, variaciones de carga, etc. Un circuito limitador interviene para evitar un exceso de SWR en la salida, por lo tanto proteger la etapa final.

- **Entrada de audio:** se encarga de filtrar todas las señales de audio que entran al excitador, removiendo interferencias de RF antes de pasar por la tarjeta principal.

- **Tarjeta principal:** incluye un oscilador controlado por voltaje VCO, el cual genera la frecuencia de operación seleccionada. Esta señal es amplificada para controlar el circuito de control de enganche de fase PLL y también la etapa final. La señal de audio suministrada por la tarjeta de audio es amplificada y procesada para compensar la distorsión causada por los diodos varicap; esta es introducida al VCO para la modulación. La frecuencia de operación generada por el VCO es dividida antes de ser comparada con la frecuencia de referencia, generada por un oscilador de alta estabilidad. El voltaje de error es filtrado y usado para compensar la frecuencia VCO y garantizar su estabilidad.

Tres condensadores de ajuste están presentes en la tarjeta principal para ajuste de desviación, distorsión y pre.polarización de los varicap.

- **Amplificador de potencia:** la señal de RF que proviene de la tarjeta principal con un nivel de potencia alrededor de 150-200 mW, luego es amplificada cerca de los 2 W antes de ser nuevamente amplificada por la etapa final a 20 W. La señal resultante es filtrada por un filtro paso bajo el cual remueve cualquier contenido de armónicos. Un acoplador direccional permite que los niveles de potencia directa y reflejada sean medidos y desplegados en un multímetro analógico.

- **Selector de frecuencia:** la frecuencia de operación seleccionada por el control de frecuencia esta representada por una señal que es suministrada por los controladores de frecuencia que forman parte del circuito PLL en la tarjeta principal.

5.4. Amplificador de RF

La salida de RF proveniente del Excitador se conecta a la entrada de RF del amplificador de potencia de RF. Este amplificador de estado sólido trabaja en la banda de 87.5 a 108 MHz, posee una salida de 500 W con un control de nivel de 10 W. La sección de potencia de RF posee dos módulos capaces de entregar más 300 W cada uno. Un control automático de potencia fija la potencia de salida del amplificador de modo que los factores ambientales (temperatura) o los ajustes (cambios de frecuencia) no afecten la energía RF entregada. Un acoplador direccional de entrada es un circuito que mide la cantidad de potencia en la entrada.

Se emplea un divisor Wilkinson para dividir la potencia de RF del excitador y proveer la mitad a cada módulo de amplificación de potencia de RF. Un combinador Wilkinson se utiliza alternadamente para combinar la potencia de salida de los módulos amplificadores de potencia RF, y así obtener la energía total. Estos dos circuitos garantizan fases iguales de la potencia en cada módulo.

El filtro paso bajo tiene la función de suprimir las componentes armónicas generadas por el amplificador bajo los niveles requeridos para la regulación. Así como, el acoplador de entrada, un acoplador de salida direccional mide la potencia de salida y la potencia reflejada. En el Anexo D se pueden observar los diagramas para el amplificador de 500 W instalado en Radio Universidad.

5.5. Amplificador final

El amplificador de tubo tiene una configuración de puesta a tierra para la rejilla, trabaja en el rango de frecuencia de 87.5 a 108 MHz. Este amplificador puede proporcionar una salida de potencia de 5 KW con un control de potencia de alrededor de 350 W.

El amplificador empleado por Radio Universidad es de tubo-triodo. Los primeros diodos desarrollados eran tubos de vacío que contenían dos elementos principales: un cátodo que emite electrones y un ánodo que los recoge. En la actualidad la mayoría de los diodos que se utilizan son dispositivos semiconductores. Este tipo de diodo consistente en un tubo de vacío que contiene un cátodo, que emite electrones, y un ánodo o placa, que los recoge. Si la placa tiene un potencial más elevado que el cátodo, atrae a los electrones y el tubo conduce una corriente (corriente de placa).

Si la placa se encuentra a un potencial inferior al del cátodo, los electrones se ven repelidos y no pasa corriente por el tubo. La corriente de placa puede modificarse notablemente mediante pequeñas variaciones de la tensión de un tercer electrodo (rejilla o *grid*) insertado entre el cátodo y el ánodo, lo que se conoce como tríodo. El cátodo del tríodo se calienta y emite electrones que se recogen en la placa, que está a un potencial más alto que el cátodo. Como la rejilla está más próxima al cátodo que la placa, su potencial (V_{Grid}) respecto al del cátodo (V_{Cat}) tiene una gran influencia sobre la corriente de placa:

- $V_{Grid} = V_{Cat}$: La rejilla no influye en la corriente de la placa.
- $V_{Grid} < V_{Cat}$: La corriente de placa disminuye mucho.
- $V_{Grid} > V_{Cat}$: La corriente de placa aumenta.

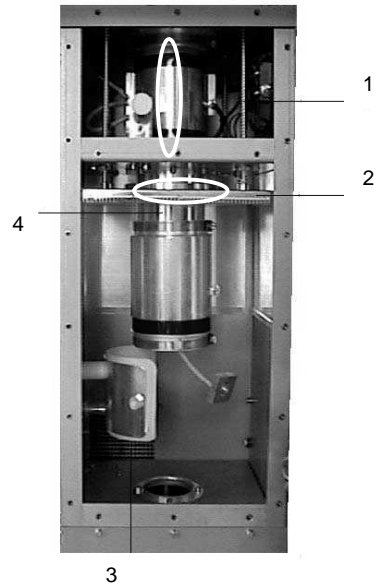
Cuando se emplea como amplificador, la señal de entrada es una pequeña tensión sinusoidal que se aplica entre la rejilla y el cátodo, La señal de salida es mayor que la de entrada porque pequeñas variaciones de tensión en la rejilla producen grandes cambios en la corriente de placa.

El tríodo de potencia en el amplificador final, provee relativamente la potencia de salida más alta. El tubo tiene una baja inductancia, el filamento de estructura cilíndrica se convierte en pieza fundamental de un circuito tanque con filamento lineal para la operación en VHF. La rejilla provee buen blindaje entre los circuitos de entrada y de salida permitiendo el aterrizaje de rejilla que termina convenientemente en un anillo entre la placa y los terminales del filamento. La operación de aterrizaje de la rejilla permite obtener una ganancia de potencia 20 veces mayor. Este tipo de tubos están específicamente diseñados para generar o amplificar la potencia de RF. En la proximidad del tubo se genera un fuerte campo de RF.

Figura 41. Cavidad del tubo tipo triodo

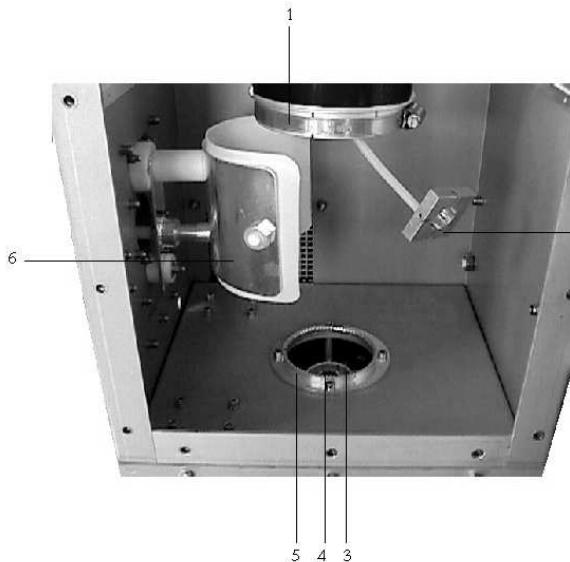
a) Cavidad frontal

- 1. Barra roscada para el ajuste motorizado
- 2. Plano deslizante
- 3. Entrada de aire del ventilador
- 4. Plato



Fuente: <http://www2.rvr.it/MANUALS/usermanuals/M1VJ5000TR10EN1.pdf>

b) Parte inferior de la cavidad

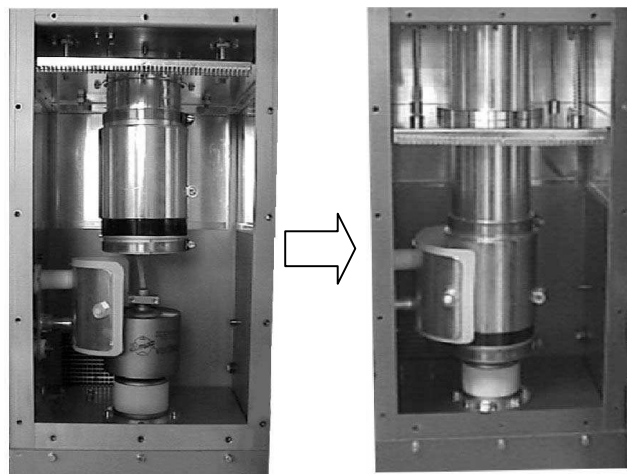


- 1. Plato de rejilla
- 2. Dispositivo para fijar el tope de la parte superior del tubo, para la prueba de alta tensión.
- 3. Socket para tubo (Ánodo)
- 4. Socket para tubo (Cátodo)
- 5. Anillo de rejilla
- 6. Capacitor de carga.

Fuente: <http://www2.rvr.it/MANUALS/usermanuals/M1VJ5000TR10EN1.pdf>

En la Figura 41 (a) se muestra la cavidad entera donde va instalado el tubo de potencia, mientras que en la Figura 41 (b) se observa un espacio en la parte inferior donde deben encajar los tres electrodos del tubo (ánodo, cátodo y rejilla). El tubo ya instalado se muestra en la Figuras 42.

Figura 42. Tubo tipo triodo instalado

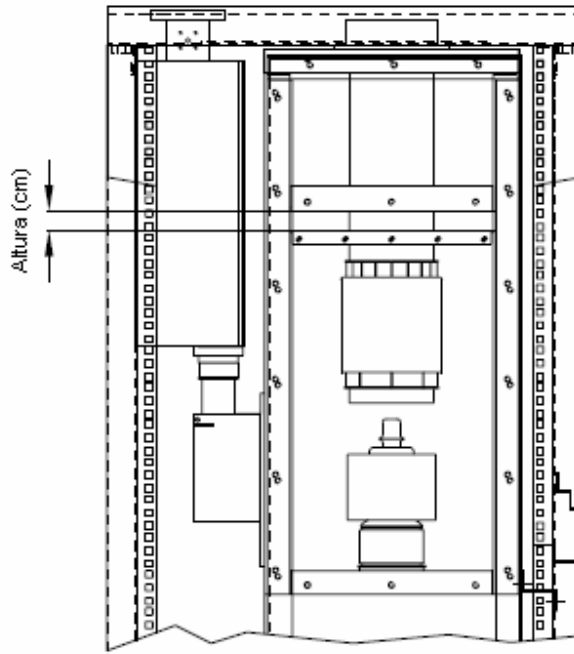


En la etapa de amplificación final, la sintonización para la entrada es motorizada, plato y carga, capaz de cubrir el rango de 87.5 a 108 MHz. Cuando se pone en marcha por primera vez el equipo, o bien luego de un cambio de tubo o mantenimiento, es necesario sintonizar nuevamente a la banda correspondiente de trabajo. Esto se realiza ajustando el plato deslizante de la Figura 41 (a) a una determinada altura (Ver Figura 43) que permita obtener la frecuencia en MHz que interesa. La siguiente tabla muestra la altura correspondiente en centímetros que corresponde a una frecuencia en MHz.

Tabla XII. Referencia de frecuencias

Altura (cm)	Frecuencia (MHz)
3	88
3.9	89
4.8	90
5.7	91
6.6	92
7.12	93
7.64	94
8.16	95
8.7	96
9.2	97
9.76	98
10.3	99
10.9	100
11.5	101
12.1	102
12.6	103
13.3	104
13.8	105
14.5	106
15.4	107
16.1	108

Figura 43. Regulación RF – MHz



Fuente: <http://www2.rvr.it/MANUALS/usermanuals/M1VJ5000TR10EN1.pdf>

Radio Universidad se sintoniza en la frecuencia 92.1 MHz, con un ajuste de altura del plato de 6.6 cm se aproxima a la frecuencia de trabajo deseada. De 92 a 93 MHz sólo existe una separación de 0.52 cm (5.2 mm), un rango muy pequeño que puede causar interferencia con otra emisora si el ajuste no se realiza con precisión. Si realizamos una interpolación para obtener una altura más exacta encontramos un valor de 6.652 cm. La proximidad hacia los 92 MHz nos permite dejar el ajuste en 6.6cm.

Una vez ajustada la sintonía se puede generar la señal que será emitida por medio del sistema radiante. Finalmente el amplificador de tubo transmite su señal a 3.2 KW.

5.6. Sistema radiante

Un arreglo de antenas o un sistema radiante es un conjunto de antenas simples, generalmente iguales y orientadas en la misma dirección, dispuestas a distancias relativamente cercanas unas de otras donde cada antena es manejada por un mismo sistema de separación o combinador de señal. Un sistema de antenas FM de polarización circular compuesto de dipolos dobles cruzados se encuentra instalado en la torre de Radio Universidad y lo integran seis antenas diseñadas convenientemente para obtener un patrón omnidireccional. Operan en un ancho de banda de 88 a 108 MHz. En la Figura 44 se observa el sistema radiante instalado en la torre ubicada en el Cerro Alux para Radio Universidad.

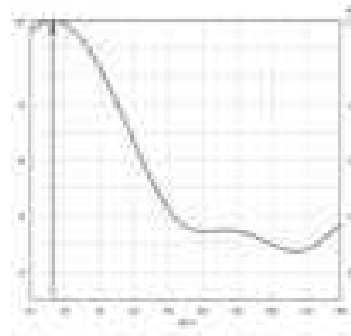
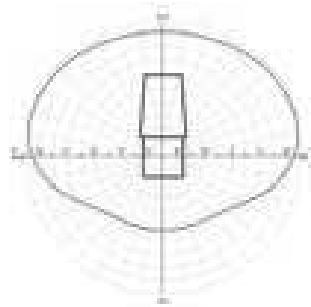
Figura 44. Sistema radiante de 6 antenas instalado



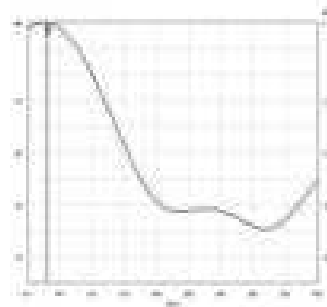
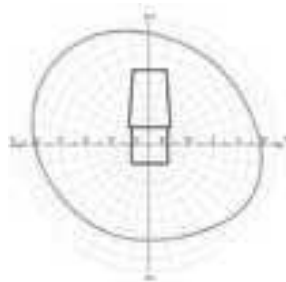
Los seis elementos instalados proporcionan al sistema radiante una ganancia de 8.1 dBd que es lo mismo a 10.25 dBi. Los patrones horizontal y vertical para la componente horizontal y vertical se muestran a continuación.

Figura 45. Patrón H y V

a) Componente vertical



b) Componente horizontal



Fuente: <http://www.aldena.it/products/antennas/acfsystem.pdf>

El principio de multiplicación del patrón indica que el patrón de radiación de un arreglo, es el producto de la función del patrón de la antena individual con la función del patrón del arreglo. Esto último es una función de la localización de las antenas en el arreglo y la relativa complejidad de su amplitud y excitación. La derivación del principio de multiplicación del patrón se basa sobre la suposición de que todas las antenas tienen el mismo patrón de radiación. Dicha suposición de hecho es incorrecta, porque la distribución de corriente sobre la antena es afectada por efectos de acoplamiento mutuo con otros objetos cercanos, esto es, otra antena en el arreglo.

Por lo tanto, los elementos cercanos a los lados del arreglo serán influenciados de manera diferente a los que están en el centro. Sin embargo, la modificación en el patrón de radiación de la antena individual a menudo es lo suficientemente pequeño para ser ignorado. De esta forma es posible predecir el comportamiento del patrón de radiación en general de un arreglo por medio del principio de multiplicación.

5.6.1. Potencia efectiva radiada

Regularmente en una situación real interesa más la potencia emitida en una dirección particular que la potencia radiada total. Resulta un tanto difícil indicar la diferencia entre un transmisor de alta potencia con una antena isotrópica y un transmisor de menor potencia con una antena con ganancia. La potencia radiada isotrópica efectiva EIRP es simplemente la potencia real dirigida hacia la antena multiplicada por su ganancia respecto a un radiador isotrópico. La potencia radiada efectiva ERP es la potencia radiada en una dirección dada debido a la ganancia de la antena medida con respecto a un dipolo de media onda. Un dipolo ideal de media onda tiene una ganancia de 2.14 dBi, el EIRP es 2.14 dB mayor que el ERP para la misma combinación de transmisor y antena. El ERP está dado por la siguiente ecuación.

$$ERP_{(dBk)} = P_{tx(dBk)} - G_{atx(dBd)} - L_{(dB)} \quad (5.4)$$

Donde P_{tx} es la potencia del transmisor expresado en dBk, G_{atx} es la ganancia de la antena (sistema radiante) en dBd y L representa las pérdidas por línea y conectores en dB.

Se tienen instalados del divisor de potencia²² al transmisor aproximadamente 75 metros de cable tipo Heliac de 1 5/8", interpolando los valores de la tabla del Anexo A para una frecuencia de 92.1 MHz se obtiene una pérdida de 0.617dB/100 m. De las seis salidas del divisor, se conectan cables tipo Heliac de 7/8" con una pérdida de 2.02 dB/100 m a cada antena haciendo un total aproximado de 13 metros. Las pérdidas por línea son entonces de 0.7256 dB. Las pérdidas ocasionadas por 2 conectores de 1 5/8", 12 de 7/8", y tomando como referencia 0.25 dB de pérdida por conector tenemos 3.5 dB de pérdida por conectores. Finalmente, se obtiene una pérdida total $L=4.23$ dB.

La potencia del transmisor es de 3,200 W. Para obtener el equivalente de dBk empleamos la ecuación (5.5) y sustituyendo se tiene:

$$P_{tx(dBk)} = 10 \log \left(\frac{W}{1K} \right) \quad (5.5)$$

$$P_{tx(dBk)} = 10 \log \left(\frac{3200}{1K} \right)$$

$$P_{tx(dBk)} = 5.05 dBk$$

La ganancia del sistema radiante es de 8.1d Bd. Por lo tanto, sustituyendo los valores encontrados en la ecuación (5.3) se tiene:

$$ERP = 9.04 dBk$$

$$ERP = 8,017 Watts$$

²² Dispositivo que reparte la potencia que recibe en la entrada, entre n salidas comúnmente de forma equitativa. Se emplean en radiofrecuencia, microondas, comunicaciones satelitales, etc., para enviar a varios dispositivos la potencia recibida por una sola puerta, manteniendo un buen acople de impedancias para tener un bajo nivel de potencia reflejada.

5.6.2. Densidad de potencia e intensidad de campo

La rapidez con la que la energía pasa a través de una superficie dada en el espacio libre se conoce como densidad de potencia (P). La densidad de potencia es la energía por unidad de tiempo y por unidad de área, expresada en watts por metro cuadrado. La intensidad de campo es la intensidad de los campos eléctrico (E) y magnético (H) de una onda electromagnética que se propaga por el espacio libre. La intensidad del campo eléctrico se expresa en volts por metro, y la del campo magnético en amperes por metro. Así la densidad de potencia es:

$$P = E H \text{ W/m}^2 \quad (5.6)$$

La intensidad de campo eléctrico y magnético de una onda electromagnética en el espacio libre se relaciona a través de la impedancia característica del espacio vacío. En un medio sin pérdidas, la impedancia característica Z_s es igual a la raíz cuadrada de la relación de su permeabilidad²³ magnética entre su permitividad²⁴ eléctrica.

$$Z_s = \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} \quad (5.7)$$

$$Z_s = 377\Omega$$

Aplicando la ley de Ohm

$$P = \frac{E^2}{377} = 377 H^2 \text{ W/m}^2 \quad (5.8)$$

$$H = \frac{E}{377} \text{ A/m} \quad (5.9)$$

²³ Permeabilidad magnética del espacio libre $\mu_o = 1.26 \times 10^{-6} \text{ H/m}$

²⁴ Permitividad eléctrica del espacio libre $\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

Un radiador isotrópico, que en realidad no existe pero se puede aproximar a una antena omnidireccional; es básicamente una fuente puntual que irradia potencia a una tasa constante y uniformemente en todas direcciones. Produce un frente de onda esférico cuyo radio es R , donde todos los puntos situados a una R distancia tendrán la misma densidad de potencia. Por lo tanto se tiene:

$$P = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2} \quad (5.10)$$

Donde P_{rad} es la potencia radiada en watts y R la distancia de cualquier punto de la superficie de la esfera a la fuente. Igualando la ecuación (5.10) con la ecuación (5.8) se obtiene la siguiente expresión:

$$E = \frac{\sqrt{30P_{rad}}}{R} \quad (5.11)$$

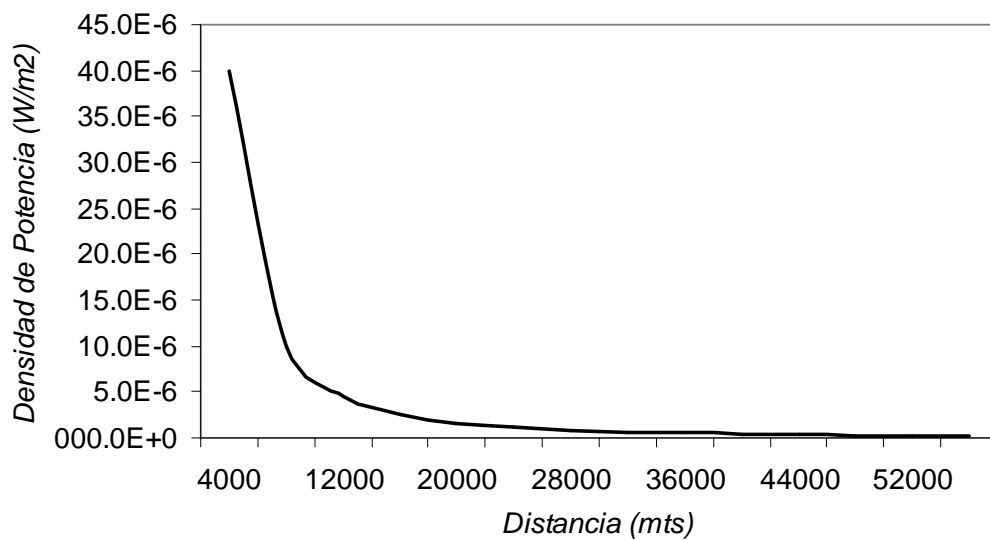
Tabla XIII. Densidad de potencia e intensidad de campo

Distancia R en mts	Densidad de potencia en W/m ²	Intensidad de campo eléctrico en V/m	Intensidad de campo magnético en A/m
4000	39.9E-6	0.12260455	0.00032521
8000	10.0E-6	0.06130227	0.00016261
12000	4.4E-6	0.04086818	0.0001084
16000	2.5E-6	0.03065114	8.1303E-05
20000	1.6E-6	0.02452091	6.5042E-05
24000	1.1E-6	0.02043409	5.4202E-05
28000	813.7E-9	0.01751494	4.6459E-05
32000	623.0E-9	0.01532557	4.0651E-05
36000	492.3E-9	0.01362273	3.6135E-05
40000	398.7E-9	0.01226045	3.2521E-05
44000	329.5E-9	0.01114587	2.9565E-05
48000	276.9E-9	0.01021705	2.7101E-05
52000	235.9E-9	0.00943112	2.5016E-05

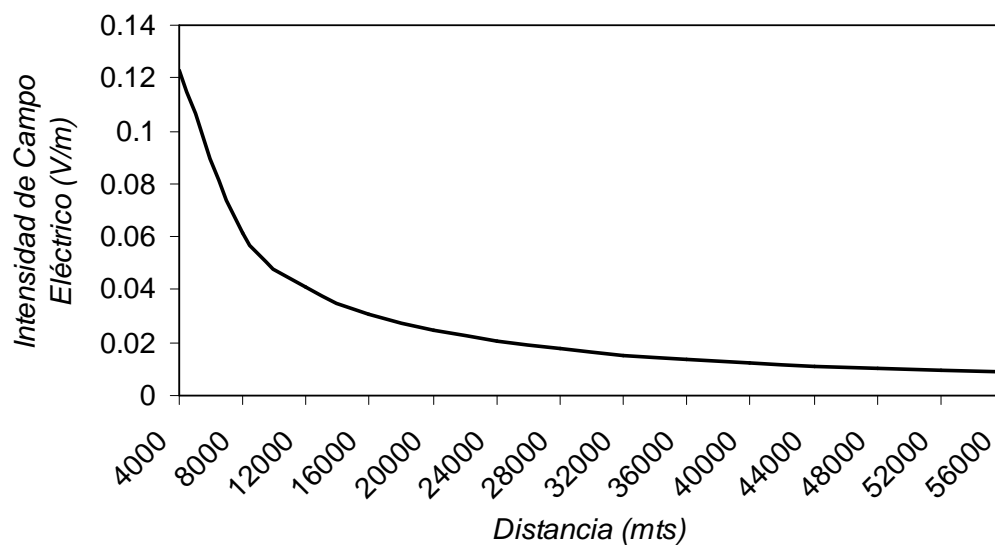
La tabla anterior muestra los valores de densidad e intensidad de campo a una distancia R de la fuente de potencia radiada por Radio Universidad.

Figura 46. Densidad de potencia e intensidad de campo

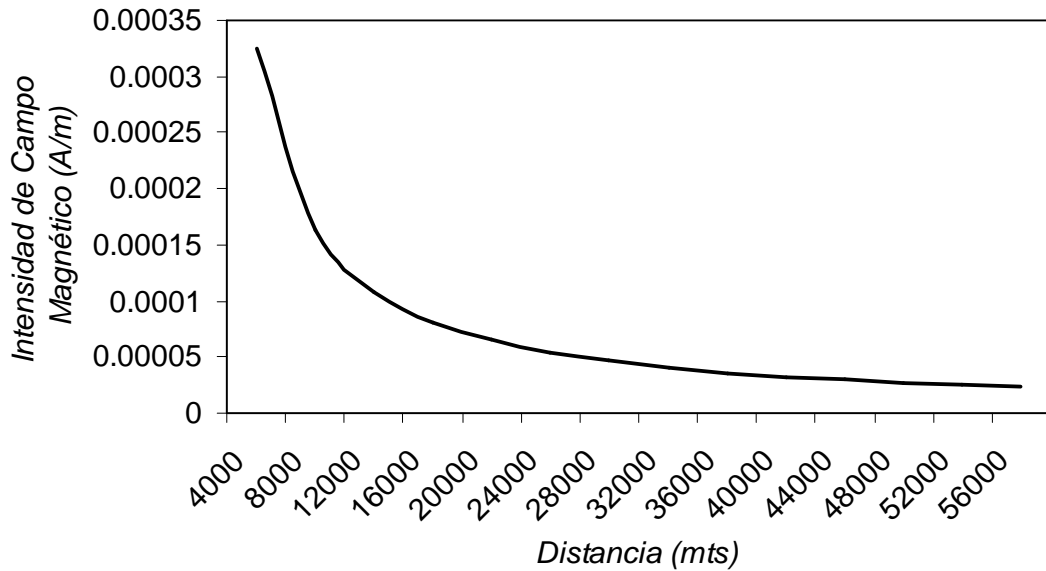
a) Densidad de potencia vs. distancia



b) Intensidad de campo eléctrico vs. distancia



c) Intensidad de campo magnético vs. distancia



El comportamiento que sufren la densidad de potencia y los campos eléctrico y magnético con forme se alejan de la fuente de emisión, se muestra en las gráficas anteriores, según los valores calculados en la tabla XIII. En el momento que se quiere sintonizar la señal en un radio receptor se debe considerar que la señal que llega de la antena, compuesta por una oscilación de la portadora de radiofrecuencia modulada por una señal de frecuencia de audio, suele ser muy débil.

La sensibilidad de algunos radios receptores modernos es tan grande que sólo con que la señal de la antena sea capaz de producir una corriente alterna de unos pocos cientos de electrones, la señal se puede detectar y amplificar hasta producir un sonido entendible. La mayoría de los radios receptores puede funcionar con una entrada de algunas millonésimas de voltios.

En un monitoreo realizado para determinar el alcance de la señal de Radio Universidad, se pudo observar que la recepción depende de la posición geográfica, otras fuentes emisoras cercanas a la banda, la distancia a la que se este de la fuente de emisión, y la sensibilidad de los receptores con los que se realiza el monitoreo. Por ejemplo, para un radio receptor analógico con baja sensibilidad, a una distancia de 32 km de la fuente, con una densidad de potencia alrededor de 623 nW/m^2 la recepción de la señal es aceptable pero no nítida si la región es montañosa. Sin embargo con un radio receptor digital moderno con alta sensibilidad en el mismo punto, la recepción mejora. De igual forma sucede si se monitorea a unos 52 km de la fuente en una región que no presenta obstáculos importantes desde la fuente de emisión, tanto el receptor de baja sensibilidad como el de alta son capaces de recibir la señal emitida, siempre uno con mejor calidad que el otro.

El límite de sensibilidad es la mínima tensión de RF capaz de configurar una señal de audio, se toma normalmente en $100 \mu\text{V}$, que puede adaptarse a otros valores dependiendo de lo que cada fabricante o usuario determine como exigencia de calidad. Por lo tanto, el límite de sensibilidad es la mínima señal capaz de ser recibida en zonas marginales, no estando comprometida la fidelidad ni la calidad de recepción.

5.7. Monitoreo de cobertura

Emitiendo con una potencia efectiva de radiación de $8,017 \text{ W}$, se procedió a realizar un monitoreo de la señal del 92.1 FM encontrando que desde la planta transmisora del Cerro Alux, ubicada a 26 km de la Ciudad Capital, la señal emitida cubre un área aproximada de un poco más de 140 km hacia el suroeste, 90 km hacia el sur y 100 km hacia el sureste del país.

Los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez, una pequeña parte de Escuintla, Santa Rosa, Sololá, Chimaltenango y El Progreso, es posible sintonizar la señal de Radio Universidad. Para determinar el alcance de la señal, fueron realizados dos recorridos, el primero comprendido desde la ruta que conduce carretera a El Salvador, pasando por Barberena, Cuilapa Santa Rosa, Boquerón, carretera a Chiquimulilla regresando por la ruta que conecta Escuintla con Antigua Guatemala, para luego llegar a la Ciudad Capital por la carretera San Lucas Sacatepequez. La ruta aproximada se señala sobre el mapa de la Figura 47, y la Tabla XIV indica en que puntos la señal es nítida, con interferencia o nula.

Figura 47. Mapa ruta 1



Tabla XIV. Monitoreo de señal en la ruta 1

DESCRIPCIÓN	Señal Nítida	INTERFERENCIA			Señal Nula	OBSERVACIONES
		Baja	Media	Alta		
De Guatemala a San José Pinula	X					Ambos radios portátiles, el analógico de baja sensibilidad y el digital de alta sensibilidad captan a esta distancia la señal con gran fidelidad y calidad.
Carretera a El Salvador km. 25	X					
Carretera a El Salvador km. 30	X					
km. 34 Vuelta el Chilero	X					
Pueblo Nuevo Viñas		X				Se presenta un poco de interferencia pero puede sintonizarse con gran nitidez en ciertos puntos de la carretera
Barberena	X					
Cuilapa		X				Por la posición geográfica se pierde en algunos puntos de Cuilapa. La baja sensibilidad del receptor analógico, hace que la sintonía se dificulte en ciertos tramos, sin embargo, con el receptor de alta sensibilidad la sintonía mejora aunque aún se escuche un poco de interferencia.
Ruta a Chiquimulilla		X				
km. 72		X				
Ixpaco km. 84		X				
km. 90		X				
km. 91	X					Se sintoniza con gran nitidez
km. 99		X				Se escucha junto a la señal de la Radio otra emisora.
km. 102		X				
Carretera a Escuintla por Chiquimulilla			X			Existe interferencia con otra emisora de forma intermitente. En algunos puntos puede sintonizarse Radio Universidad
Aguacapa km. 90		X				La interferencia es menor
Alotenango km. 84		X				
Ruta de Escuintla a Antigua Guatemala	X					La señal se hace mas nítida
Ciudad Vieja	X					
Carretera Antigua a San Lucas Sacatepéquez	X					
San Lucas Sacatepéquez a Ciudad Capital	X					

Este primer recorrido se realiza en la unidad móvil de Radio Universidad, empleando dos radiorreceptores portátiles, un análogo y otro digital. En gran parte del recorrido se nota perfectamente los efectos de reflexión, refracción y absorción de la onda, debido a que en ciertos tramos de la carretera la señal de la emisora se pierde, pero al avanzar unos cuantos kilómetros más es posible sintonizarla nuevamente. Los lugares donde la recepción se hace difícil para uno o ambos radios portátiles se debe tanto a la posición geográfica como a la presencia de otra u otras radiodifusoras que operan cerca o en el mismo rango de frecuencia que la Universitaria.

El segundo recorrido realizado, se partió desde la Ciudad Capital hacia la ruta San Lucas Sacatepéquez, siguiendo carretera a Chimaltenango, Santiago Atitlán, Patulul Suchitepéquez, regresando por carretera Cocales, Santa Lucía Cotzumalguapa, Palín, y finalmente llegando a la Ciudad Capital por Villa Nueva. La ruta aproximada se señala en el mapa de la Figura 48.

Figura 48. Mapa ruta 2



Tabla XV. Monitoreo de señal ruta 2

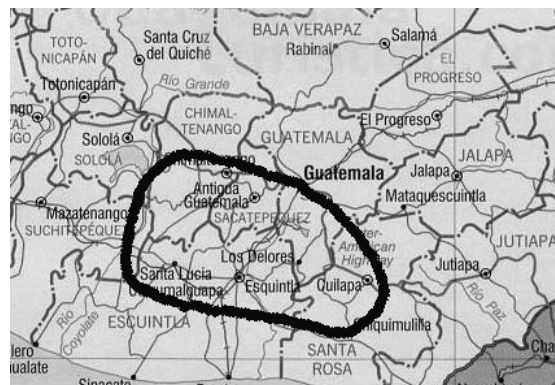
DESCRIPCIÓN	Señal Nítida	INTERFERENCIA			Señal Nula	OBSERVACIONES
		Baja	Media	Alta		
Santa María Cauqué km. 34	X					El radio receptor del auto, tiene una mejor sensibilidad que el radio digital portátil.
Santo Domingo Xenacoj km. 40	X					
Sumpango km. 42	X					
km. 46		X				Por la posición geográfica, la interferencia se nota en los tres radios receptores.
San Miguel Morazán / El Tejar		X				
km. 55	X					El radio de menor sensibilidad posee una recepción de señal de calidad en este tramo del trayecto.
km. 58	X					
Aldea El Llano km. 61	X					
Zaragoza km. 65	X					
Patzún km. 71	X					
km. 75	X					Ruta a Tecpán
Aldea Pasajinak km. 81	X					
km. 87 Katok	X					
Del km. 100 al 102			X			Comienza a perderse la señal por las montañas
km. 108			X			La señal sigue con interferencia
km. 109		X				
km. 111	X					La señal es nítida
km. 114		X				Un poco de interferencia
Entronque Los Encuentros - Godinez km. 116		X				
Carretera Godinez a Santiago Atitlán km. 118		X				Muy baja interferencia, al detenernos se sintoniza con nitidez
km. 119				X		Se escuchan dos emisoras en la misma banda
Del km. 122 Aldea Godinez al cruce Panajachel - Godinez y San Miguel km.133	X					En este tramo la señal es nítida
Entronque Patzicía – Panajachel	X					
Ruta Cocales km. 141	X					
km. 143 Cantón El Naranjo		X				Pequeña interferencia
km. 146			X			Comienza a interferir otra emisora, pero se escucha la señal de Radio Universidad

DESCRIPCIÓN	Señal Nítida	INTERFERENCIA			Señal Nula	OBSERVACIONES
		Baja	Media	Alta		
Entronque Cocales-San Lucas Tolimán		X				
Después del entronque					X	Aproximadamente medio km.
km. 153 y km. 154				X		Comienza a escucharse nuevamente pero con mucha interferencia
Santiago Atitlán Cocales			X			La interferencia en menor
km. 158			X			Sigue la interferencia.
km. 161		X				La señal es mucho mas clara
Aldea el Proceso km. 162		X				
Del km. 163 al km. 175					X	Se escucha la señal de Emisoras Unidas
Patulul Suchitepéquez				X		Interfiere otra emisora y de forma intermitente se escucha Radio U
Fuera de Patulul			X			Disminuye la interferencia
Carretera Cocales a Guatemala km. 113					X	Por posición geográfica no es posible sintonizarla.
Carretera Cocales a Guatemala km. 105		X				La señal es mucho mas clara captada con es radio del auto.
Carretera Cocales a Guatemala km. 104					X	La señal se perdió por completo, pero tampoco se escucha otra emisora
Carretera Cocales a Guatemala km. 103				X		Interfieren las emisoras 92.3 una Radio Comunitaria de Escuintla y la 91.9 repetidora de Emisoras Unidas
San Diego			X			La señal mejora
km. 96 Madre Tierra		X				Disminuye la interferencia
Entronque Santa Lucía Cotzumalguapa a Guatemala		X				La interferencia es mucho menor
Del km. 92 a Siquinalá hasta el km. 76		X				
km. 66					X	Se pierde la señal por las montañas
km. 55		X				Poca interferencia
km. 50 a Palín		X				Mejora la recepción
km. 43	X					Recepción nítida
km. 37	X					La señal de Radio Universidad es nítida
Del km. 37 a Guatemala ruta Villa Nueva	X					La señal sigue siendo nítida

Para el segundo recorrido detallado en la tabla XV, se emplea un auto particular con radio digital y antena, además de los dos radios portátiles del primer recorrido. La recepción de la señal es nítida hasta el km. 87 llegando a Katok. Kilómetros más adelante no se distingue una radiodifusora cercana a la banda de frecuencia pero la calidad de la señal se ve afectada por la geografía del tramo de monitoreo. Después del entronque de los Encuentros la señal se pierde totalmente, pero ruta Lo de Godinez llegando al mirador del Lago de Atitlán la recepción es nítida, perdiéndose en la ruta de Cocales hacia Palín. En Escuintla se logro identificar una repetidora de Emisoras Unidas. A partir del km. 43 se sintoniza con nitidez la señal de Radio Universidad hasta llegar nuevamente a Ciudad Capital. Otros reportes por parte de los oyentes indican recepción en algunos sectores de El Progreso y Jalapa.

De esta forma se tiene una panorámica del área de cobertura que tiene radiando a una potencia de 8,017 W. Además de verificar el espacio radioeléctrico dónde por el factor tiempo no fueron totalmente identificadas las emisoras. Predominan las radiodifusoras comunitarias y las repetidoras de las cadenas de radio privadas en el país, saturando el espectro radioeléctrico sin contar con las denominadas radios piratas.

Figura 49. Mapa cobertura



6. AMPLIACIÓN DE COBERTURA DE LA SEÑAL DE RADIO UNIVERSIDAD 92.1 FM

6.1. Delimitación geográfica

La búsqueda de una frecuencia pasa por determinar si existe alguna disponible en el área geográfica deseada. El problema más grande es la separación de canales. A cada frecuencia de radiodifusión FM se le asigna un canal de frecuencias de 200 KHz de amplitud. Para seguir las buenas prácticas de radio se requiere que exista al menos un canal de separación a cada lado de la frecuencia que se plantea utilizar. Si seleccionamos para radiar en el Departamento de Escuintla la misma frecuencia 92.1 MHz, entonces 91.9 y 92.3 MHz deben estar libres de cualquier señal de recepción. Sin embargo, ambas frecuencias están ocupadas con una repetidora de Emisoras Unidas y una radio Comunitaria.

Radio Universidad esta radiando sobre un área geográfica mayor a la asignada, y esto lo logra a base de potencia en su transmisor. Dentro de las posibles áreas a cubrir que se plantea la emisora, se encuentra la región central, suroriental y suroccidental. Sin embargo la disposición geográfica para la dimensión de lo que se pretende abarcar es demasiada, y sería necesario adquirir muchas más repetidoras para cumplir el objetivo. Por lo tanto debe delimitarse a un área mucho menor, para el caso se propone revisar los puntos geográficos más altos que se encuentren en una posición favorable para realizar un radioenlace.

Tabla XVI. Puntos geográficos sur y centro de la República

DEPTO	LUGAR	Latitud N	Longitud W	altura msnm
Escuintla	Cerrito del Jaboncillo	14.4208333	-90.7236111	1520
	Cerrito La Reunión	14.4402778	-90.8361111	1360
	Cerro Chino	14.3902778	-90.6069444	2260
	Volcán de Pacaya	14.3805556	-90.6	2552
Sacatepéquez	Volcán de Agua	14.4644444	-90.7425	3766
Santa Rosa	Cerro El Junquillo Sur	14.3277778	-90.3458333	1454
	Cerro El Naranjo	14.4069444	-90.0583333	1920
	Cerro El Volcancito	14.3611111	-90.1791667	1740
	Cerro La Vega	14.3166667	-90.35	1412
	Cerro Soledad de Tecuamburro	14.1527778	-90.4	1680
	Conito San Francisco Tecuamburro	14.1555556	-90.4166667	1600
	Jumaytepeque	14.3388889	-90.2708333	1815
	La Gabia	14.1986111	-90.5	1860
	Tecuamburro	14.1625	-90.4208333	1840
	Laguna de Ayarza	14.4166667	-90.1166667	1409
Chimaltenango	Acatenango	14.5005556	-90.8755556	3976

FUENTE: INSHIVUME Instituto Nacional de Hidrología Vulcanología y Meteorología

En la tabla anterior se muestran los puntos más altos en cuatro departamentos, siendo los más altos, aquellos ubicados en el volcán de Agua y el cerro Chino. En el mapa de la Figura 50 se muestra la localización geográfica de los puntos más altos, además se puede apreciar la topografía del terreno que existe entre la localización de la planta transmisora ubicada en el Cerro Alux y los otros lugares.

Una mejor perspectiva de la topografía que existe en la trayectoria de los posibles enlaces, se obtiene con el perfil del terreno que existe entre el Cerro Alux y los puntos de interés. Esto con la ayuda del programa Radio Mobile que se muestra en la Figura 51.

Figura 50. Localización geográfica de los puntos más altos

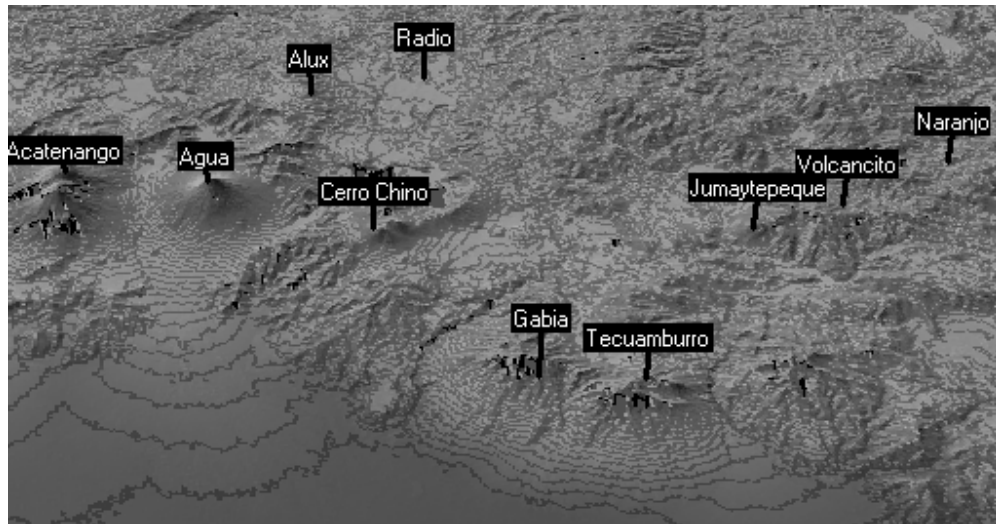
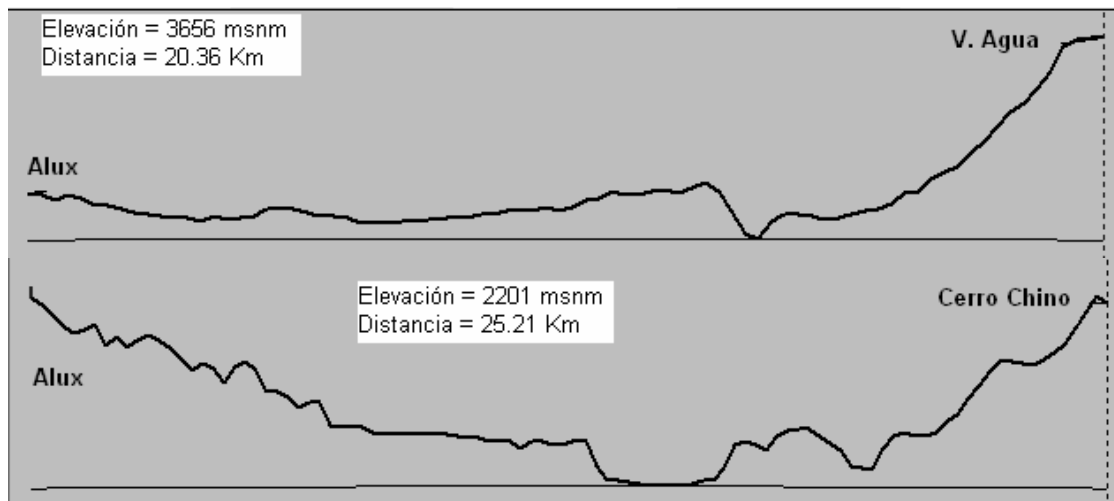


Figura 51. Perfiles



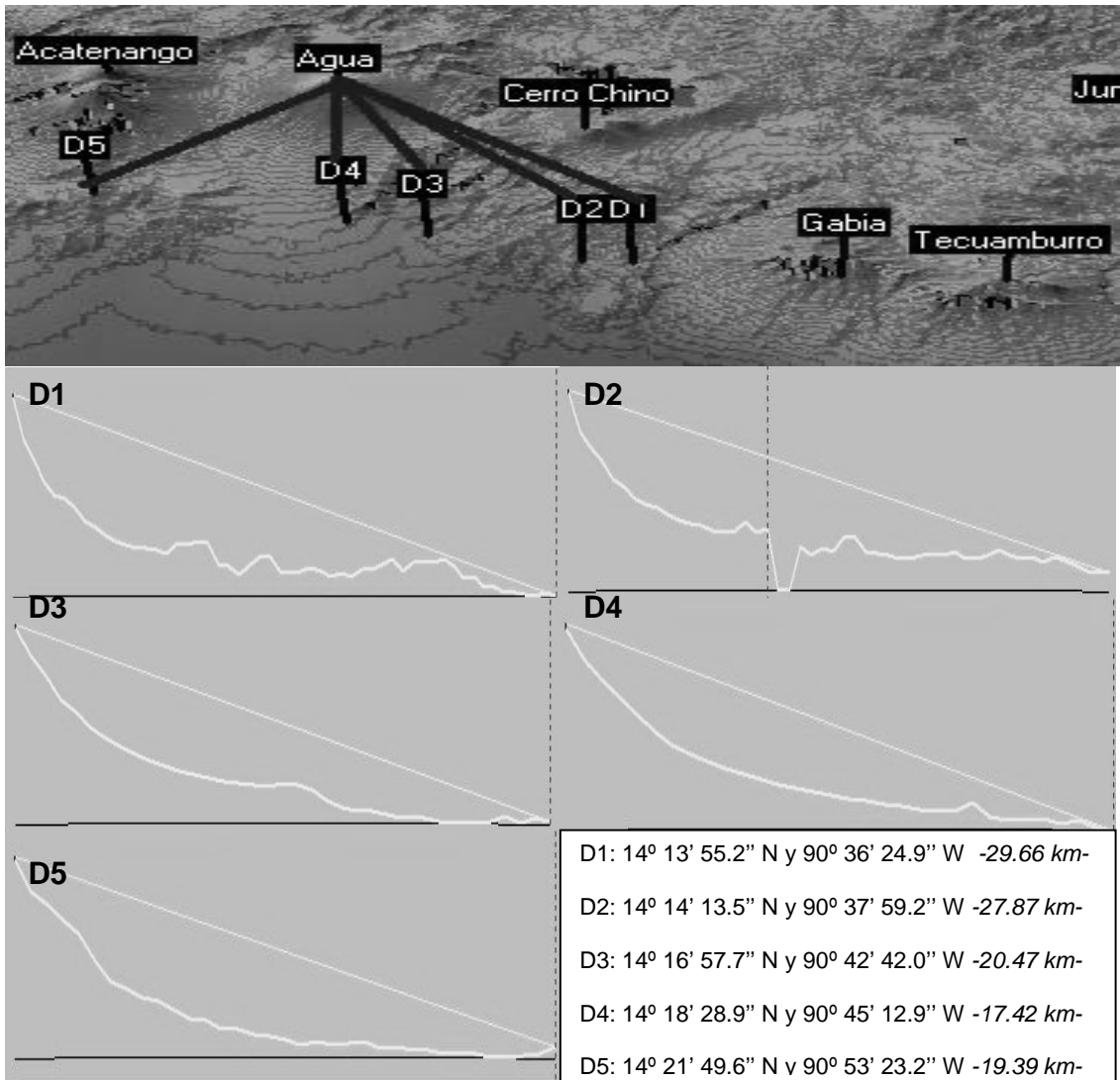
Ventaja radioenlace Alux-volcán de Agua: la topografía del terreno permite que ambos puntos se conecten en línea vista, además de no presentar obstáculos que afecten el desempeño del enlace, solamente una pequeña depresión que no presentará mayores pérdidas en la propagación. La distancia entre estaciones sería aproximadamente de 20.36 km. La altura de la estación receptora que a su vez es el punto de radiación de la señal final en FM es de 3656 msnm.

Desventaja radioenlace Alux-volcán de Agua: acceso complicado al lugar tanto para el montaje del equipo y los mantenimientos posteriores. Posicionar una antena en dicho lugar requiere de mucha gestión por parte de las autoridades Universitarias. Si se elige radiar desde la cima del volcán se tiene que tomar en consideración la planicie que resultará dependiendo del lugar conseguido, lo que repercutiría en la instalación de una antena de mayor altura y por ende una elevación de los costos.

Opciones de cobertura: radiar desde una altura de 3656 msnm permite abarcar una mayor área de cobertura orientando las antenas hacia distintos puntos de la República. Cabe recordar que el 92.1 FM tiene presencia en los departamentos de Guatemala y Sacatepéquez, por lo tanto las antenas no deberán ser posicionadas en dicha dirección, además que influye de sobremanera la potencia a la cual se radiará para establecer un mejor alcance.

En la Figura 52 se muestran los perfiles del terreno en distintas direcciones en las que se podría dirigir el sistema radiante. Posicionando el sistema radiante en la dirección al suroriente (D1), en un barrido de 33.75 km hasta el punto D5 ubicado más al suroccidente del país.

Figura 52. Perfil de vista hacia zona de cobertura desde el volcán de Agua



En las cinco gráficas y el mapa se puede establecer que la propagación de la señal con la potencia radiada adecuada puede cubrir incluso un área mayor, ya que se puede notar que la elevación del terreno en el sur del país es mucho menor. Se puede aproximar un área de cobertura de 30 km.

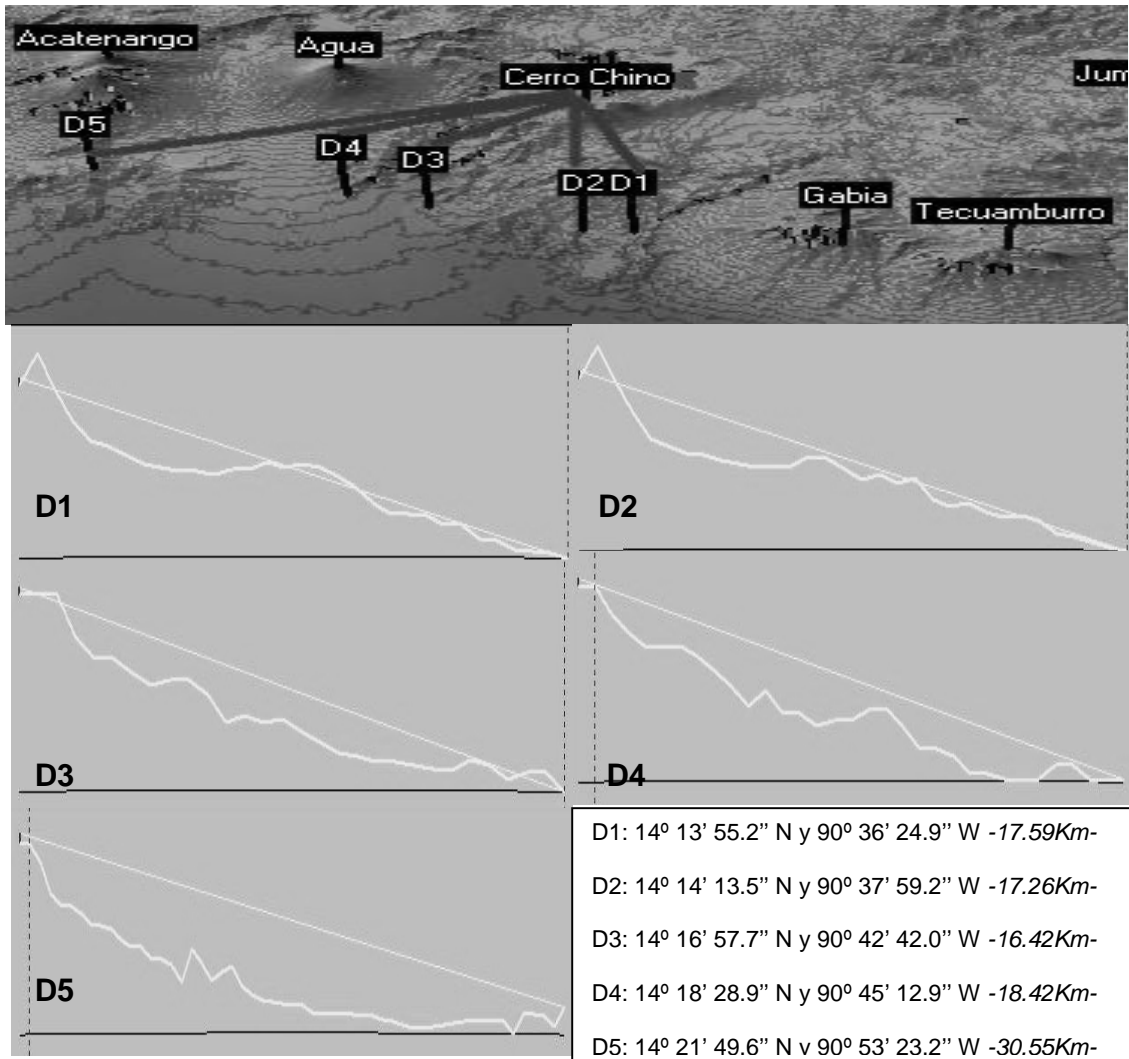
Ventaja radioenlace Alux-cerro Chino: la trayectoria de línea vista entre ambos puntos tiene una distancia de 25.21 km. La topografía del terreno no presenta obstáculos que interrumpan la trayectoria del enlace, si una depresión; pero no representará técnicamente problemas para la propagación de la señal. La estación receptora posee una altura de 2201 msnm, una altura considerable pensando en que la mejor opción para radiar en FM es desde lugares altos.

Desventaja radioenlace Alux-cerro Chino: en el ascenso hacia el cerro Chino se presentan menos dificultades que en el volcán de Agua. Se debe buscar un lugar y una orientación tales que la señal no se vea interrumpida por el volcán de Pacaya. Además de la constante actividad del volcán arroja ceniza y roca algunas veces en dirección al cerro Chino.

Opciones de cobertura: desde una altura mucho menor que la del volcán de Agua, a 2201 msnm, se evalúa por medio del perfil geográfico, en el mismo recorrido de 33.75 km, distancia lineal que existe entre D1 y D5, la mejor dirección en la que se pueden orientar la o las antenas. De esta forma obtendremos un panorama de cobertura desde este punto con la ayuda de la Figura 53, que incluye un mapa con la ubicación del cerro Chino y la posible orientación de las antenas hacia los puntos D1-D5 y el perfil del terreno.

Orientando hacia D1 o D2 se encuentra un gran obstáculo, que no es más que el volcán de Pacaya el cual posee una altura de 2550 msnm. Más al suroccidente, en D3, se observa una planicie que mide aproximadamente 1.10 km medidos desde la posible ubicación de la torre en el cerro Chino. Radiando en dirección a D4, la planicie se reduce a 530 m aproximadamente; hacia D5 se reduce a 490 m aproximadamente. Con una orientación hacia el suroccidente se obtiene un área de cobertura considerable, alrededor de 30 km.

Figura 53. Perfil de vista hacia la zona de cobertura desde el cerro Chino



Hasta el momento sólo se ha evaluado la posición geográfica de los puntos más altos que permiten realizar el radioenlace además de estimar las regiones donde la señal pueda incidir. Con esta delimitación del área geográfica se puede realizar una búsqueda de posibles frecuencias tanto para el enlace como para la transmisión en la banda de 88 a 108 MHz.

6.2. Búsqueda de frecuencia

Tabla XVII. Lista de frecuencias ocupadas y posibles frecuencias libres

Limite Inferior MHz	Limite Superior MHz	Departamento	Municipio	Posibles espacios	
88.2	88.4	ESCUINTLA	Escuintla, Guanagazapa, Iztapa, Masagua, Palín, Puerto de San José, San Vicente Pacaya, Siquinalá, La Democracia	88	88.2
88.6	88.8	ESCUINTLA		88.4	88.6
89.4	89.6	ESCUINTLA		88.8	89.4
90.2	90.4	ESCUINTLA		89.6	90.2
90.6	90.8	ESCUINTLA		90.4	90.6
91.8	92	ESCUINTLA		90.8	91.8
93	93.2	ESCUINTLA		92	93
93.4	93.6	ESCUINTLA		93.2	93.4
94.2	94.4	ESCUINTLA		93.6	94.2
94.6	94.8	ESCUINTLA		94.4	94.6
96.2	96.4	ESCUINTLA		94.8	96.2
97	97.2	ESCUINTLA		96.4	97
98.2	98.4	ESCUINTLA	Palín, La Democracia	97.2	98.2
98.6	98.8	ESCUINTLA		98.4	98.6
99	99.2	ESCUINTLA		98.8	99
99.8	100	ESCUINTLA		99.2	99.8
100.2	100.4	ESCUINTLA	La Gomera	100	100.2
101	101.2	ESCUINTLA		100.4	101
101.8	102	ESCUINTLA		101.2	101.8
102.2	102.4	ESCUINTLA		102	102.2
103	103.2	ESCUINTLA		102.4	103
104.2	104.4	ESCUINTLA		103.2	104.2
104.6	104.8	ESCUINTLA		104.4	104.6
105	105.2	ESCUINTLA		104.8	105
105.8	106	ESCUINTLA		105.2	105.8
106.2	106.4	ESCUINTLA		106	106.2
107	107.2	ESCUINTLA	San Vicente Pacaya, nueva concepción, Siquinalá, Iztapa, Perto de San José	106.4	107
107.4	107.6	ESCUINTLA		107.2	107.4
107.8	108	ESCUINTLA		107.6	107.8

En la tabla XVII se observan las frecuencias autorizadas para el departamento de Escuintla²⁵ donde se resalta el rango de frecuencia de 91.8 – 92 MHz porque se mencionó que de emplear la misma frecuencia 92.1 MHz se tiene que tener libre la frecuencia 91.9 MHz y la 92.3 MHz, por lo tanto no es posible radiar con la misma frecuencia en el departamento de Escuintla, algo que también fue corroborado en el recorrido realizado para monitorear el alcance de la emisora.

Las últimas dos columnas de la tabla representan una compilación de posibilidades para radiar en dicha zona, nótese también que existen rangos amplios marcados en negrita, es decir, que el espacio de 105.2 a 105.8 MHz, se encuentran los rangos 105.2 – 105.4 MHz, 105.4 – 105.6 MHz y 105.6 – 105.8 MHz, lo que significa 3 posibles frecuencias para una estación de radio. Sin embargo se debe localizar y revisar esas frecuencias a través de un receptor FM digital y una antena externa, en varias ocasiones y desde varios puntos geográficos dentro del área que se plantea cubrir, porque se depende mucho de la topografía, la distancia y la potencia de salida de las otras estaciones. Las señales débiles, intermitentes o llenas de estática pueden considerarse utilizables o aptas para la separación de canales.

Dentro del inventario de frecuencias, el rango de 279.9 a 330 MHz está designado a los enlaces Estudio-Planta de las radiodifusoras, pero el listado no proporciona el área geográfica en la que opera cada rango. La tabla XVIII es una compilación de las mismas, donde aparecen en negrita aquellas asignadas a dos o más usufructuarios distintos, o bien a uno solo pero que emplea la misma frecuencia para realizar enlaces en distintos puntos.

²⁵ Inventario de frecuencias Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala actualizado al 8 de enero de 2008.

Tabla XVIII. Lista de frecuencias de enlace

279.9 - 330 MHz Enlaces Estudio-Planta Radiodifusoras									
Limite Inf.	Limite Sup.	Limite Inf.	Limite Sup.	Limite Inf.	Limite Sup.	Limite Inf.	Limite Sup.	Limite Inf.	Limite Sup.
280	280.2	284.4	284.8	290.8	291.2	301.6	302	315.9	316.3
280	280.4	284.6	285	291.4	291.8	301.9	302.3	316.4	316.6
280.1	280.3	284.7	284.9	291.7	291.9	302.2	302.6	317.2	317.6
280.3	280.5	285	285.2	291.9	292.1	302.7	303.1	317.9	318.1
280.4	280.6	285.4	285.6	292.1	292.3	302.8	303.2	318.4	318.8
280.5	280.7	285.6	286	292.3	292.5	303	303.2	319	319.2
280.6	280.8	285.7	285.9	292.6	293	303.4	303.8	319.3	319.5
280.6	281	286	286.4	292.8	293.2	304	304.4	319.7	319.9
280.8	281.2	286.1	286.3	293	293.4	304.6	305	320.1	320.3
281.1	281.3	286.3	286.5	293.2	293.4	305.5	305.9	320.2	320.6
281.2	281.4	286.6	287	293.5	293.7	305.6	306	320.8	321.2
281.2	281.6	286.7	286.9	293.8	294.2	306.7	306.9	321.1	321.3
281.3	281.7	287	287.4	293.9	294.1	306.9	307.1	321.3	321.5
281.5	281.7	287.1	287.3	293.99	294.01	307.1	307.3	321.4	321.8
281.8	282	287.2	287.6	294.4	294.6	308.2	308.4	321.6	321.8
281.8	282.2	287.4	287.6	294.5	294.7	308.2	308.6	321.9	322.1
282.2	282.6	287.6	288	294.7	294.9	308.7	308.9	322.2	322.4
282.3	282.5	288	288.4	295.1	295.3	310	311	322.6	323
282.4	282.6	288.4	288.6	295.5	295.7	310.6	311	323.2	323.6
282.4	282.8	288.5	288.7	296.3	296.5	311.1	311.5	323.8	324.2
282.5	282.7	289	289.4	298	298.4	311.9	312.1	324.4	324.8
282.7	282.9	289.1	289.3	299.2	299.6	312.4	312.8	325	325.4
282.9	283.1	289.7	289.9	299.6	300	313	313.4	325.6	326
283	283.4	289.8	290.2	300.2	300.4	313.8	314.2	326.2	326.4
283.1	283.3	289.8	290.2	300.3	300.5	314.7	314.9	326.5	326.7
283.3	283.5	290.1	290.3	300.4	300.6	314.8	315.2	326.8	327.2
283.6	283.8	290.2	290.6	300.5	300.7	315	315.2	327.4	327.8
283.6	284	290.3	290.5	301	301.4	315.3	315.5	328	328.4
284.2	284.6	290.4	290.6	301.6	301.8	315.6	315.8		

La frecuencia 315.9 - 316.3 MHz se resalta no sólo por ser la que Radio Universidad tiene autorizada, sino porque es el único usufructuario de la misma. Por lo tanto, es posible emplear la misma frecuencia de enlace hacia otros puntos geográficos realizando el trámite legal correspondiente.

De igual forma debe realizarse una corroboración de campo para asegurarse de que la misma no se haya autorizado en el tiempo posterior a la actualización del inventario de frecuencias de la SIT.

Para la realización de los cálculos de los dos posibles radioenlaces se empleara la misma frecuencia autorizada a Radio Universidad y dos más. La primera en el rango 286.6 a 287 MHz y la segunda en el rango de 325 a 325.4 MHz.

6.3. Cálculo de radioenlace Alux - volcán de Agua

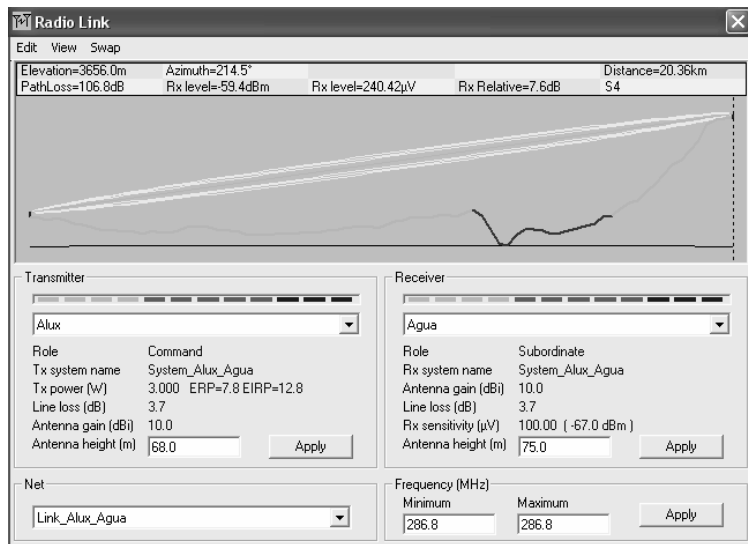
Tabla XIX. Datos para cálculo de radioenlace Alux_Agua

Datos enlace Alux_volcán de Agua	
Frecuencia f	286.8 MHz
Distancia D	20.36 km
Pérdidas en espacio libre	107.83 dB
Pérdida por cable	
<i>Heliax 7/8" (dB/100 m)</i>	1.918
<i>65 m en Tx</i>	1.2467
<i>75 m en Rx</i>	1.4385
Pérdidas por conector	0.25dB c/u
<i>4conectores</i>	1dB
TOTAL PERDIDAS cable-conectores	3.6852dB
Factor de confiabilidad R	0.9999
Factor de rugosidad A	1
Factor climático B	1
Margen de desvanecimiento	11.62dB
Sensibilidad de receptor	-67dBm
Potencia de transmisión	
<i>en Watts</i>	3
<i>en dBm</i>	34.8
Ganancia de antenas	10 dBi

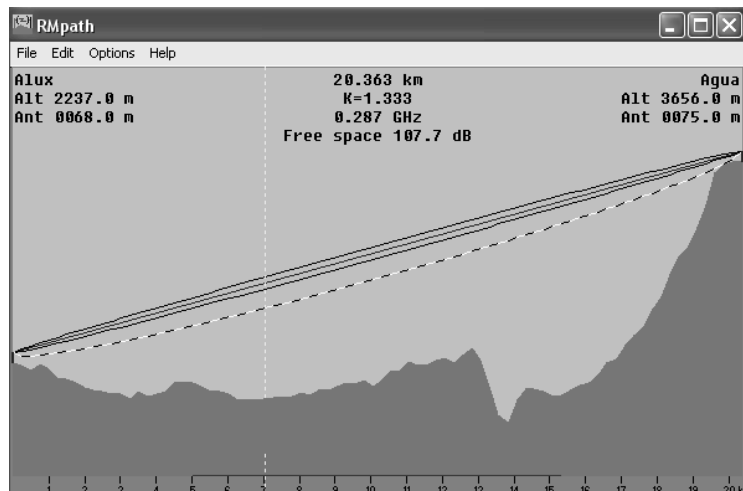
El total de pérdidas por cable y conectores es un estimado para realizar los cálculos con el programa Radio Mobile. Con una potencia de transmisión de 3 W se tienen los gráficos de la Figura 54.

Figura 54. Radioenlace Alux-Agua a 3 W

a) Enlace Alux_Agua



b) Primera zona de Fresnel



Con una potencia de 3 W, se tiene un nivel de recepción de -59.4 dBm, por lo tanto es capaz de sensibilizar el receptor. La antena instalada en el Cerro Alux tiene una altura de 72 m, y en las secciones superiores se encuentra el sistema radiante, por lo que se ha asumido colocar la antena a los 68mts de altura. La antena receptora se asume a una altura de 75 m y el resultado que se obtiene es que la primera zona de fresnel de la Figura 54 (b) esta totalmente despejada.

Si la frecuencia de enlace fuera la misma de 316.1 MHz o de 325.2 MHz, se obtendría una potencia de recepción de -59.9 dBm y -60.9 dBm, aún es posible sensibilizar el receptor. Aunque el programa proporciona una visión del radioenlace, se debe recordar que la altura de las antenas puede variar dependiendo el lugar exacto que se adquiriera por parte de las autoridades Universitarias. Con lo que respecta al equipo y los costos se tratará más adelante. La antena empleada para esta simulación de enlace es una tipo Yagui con ganancia de 10 dBi, que son las más comunes.

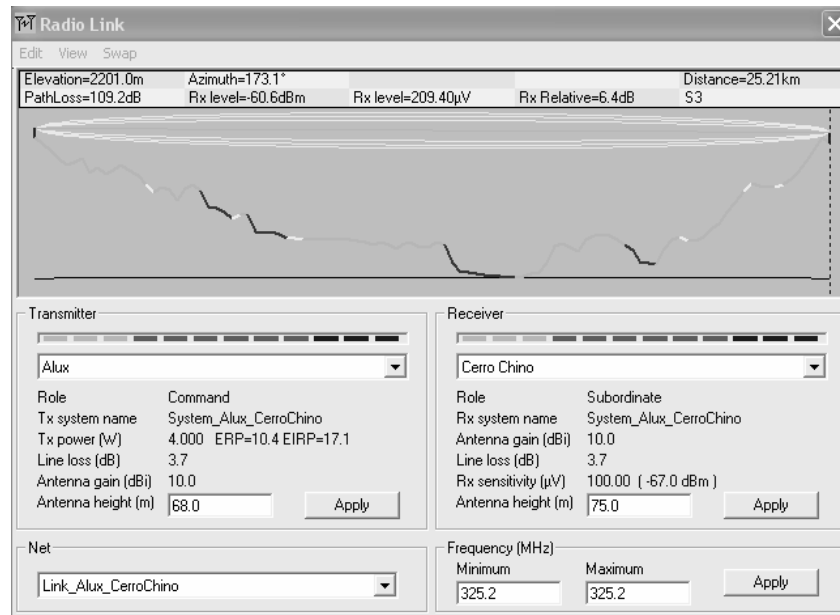
6.4. Cálculo de radioenlace Alux - cerro Chino

Con los mismos datos para el enlace de Alux_Agua, pero a una distancia de 25.21 km y una frecuencia de 325.2 MHz se calcula con la ayuda del programa el radioenlace desde el punto de transmisión en el Cerro Alux y el punto de recepción en el cerro Chino.

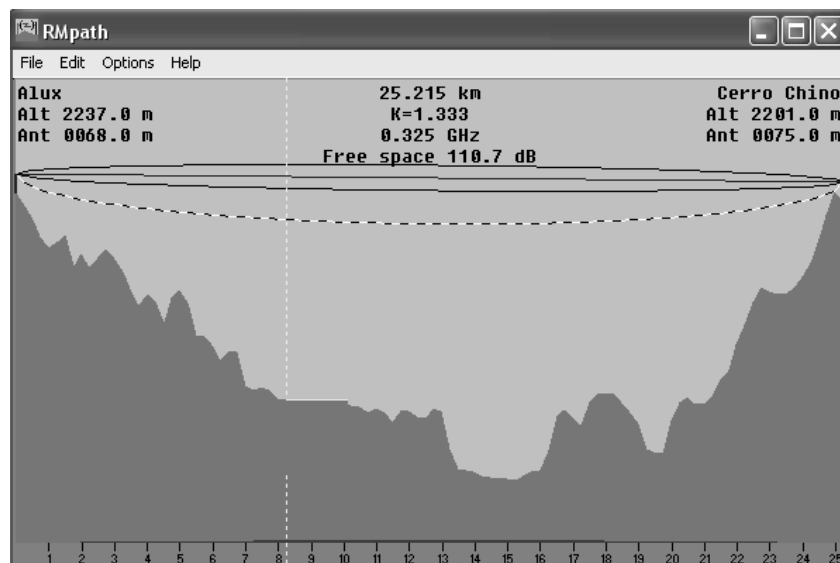
Los gráficos de la Figura 55 se muestra que el enlace es posible con una potencia de 4 W. La Figura 55 (b) permite visualizar el primer radio de fresnel totalmente despejado.

Figura 55. Radioenlace Alux_cerro Chino a 4 W

a) Enlace Alux-cerro Chino



b) Primera zona de Fresnel



Por la frecuencia asumida en este radioenlace, la potencia de recepción es de -60.6 dBm, si bien sensibiliza al equipo receptor, esto puede solucionarse aumentando la potencia. Con una potencia de transmisión de 5 W la potencia de recepción estaría en -59.6 dBm. La mayoría de los equipos de transmisión de enlace poseen un rango de potencia de hasta 10 W.

6.5. Características de equipo

Radio Universidad adquirió hace algunos años equipo de transmisión para la instalación de una repetidora, sin embargo, lo hizo sin tener una frecuencia autorizada para radiar. Cuenta con dos equipos de enlace, es decir, dos transmisores de enlace y dos receptores de enlace.

Tabla XX. Características del equipo de enlace

TRANSMISOR DE ENLACE	
Marca: RVR	
Modelo: PTRL-NV	
<i>Especificaciones eléctricas</i>	
Alimentación	110 V o 240 V / 50-60 Hz
Operación de frecuencia	285 – 300 MHz / 290-310 MHz
Potencia de salida	Hasta 10 W
Impedancia de salida	50 Ohms
Salida conector RF	Tipo N
Pre-énfasis	75 microseg (FCC)
	50 microseg (CCIR)
RECEPTOR DE ENLACE	
Marca: RVR	
Modelo: RXRL-NV	
<i>Especificaciones eléctricas</i>	
Alimentación	110 V o 240 V / 50-60 Hz
Operación de frecuencia	285 – 300 MHz / 290-310 MHz
Sensibilidad	100 microvolts
Potencia de entrada	Hasta 10 W
Impedancia de Entrada	50 Ohms
Entrada conector RF	Tipo N

En la tabla anterior se detallan las principales características de los dos equipos de enlace con los que cuenta Radio Universidad, la única variante es el rango de frecuencias en la que opera cada uno. Por su directividad en el enlace la siguiente tabla se muestra las características de las antenas Yagui.

Tabla XXI. Características de antenas para enlace

ANTENAS TIPO YAGUI	
Marca: RVR	
Modelo: AR10	
Frecuencia de operación	285 – 310 MHz
Ganancia	10 dBi
Polarización	Horizontal o Vertical
Impedancia	50 Ohms
Conector de entrada	Tipo N

La emisora cuenta con dos transmisores de 1000 W. Este tipo de transmisor está provisto de automatismos de encendido, apagado y de protecciones contra funcionamiento anormal del circuito interno o externo. Emplea un tríodo cerámico de larga duración, que opera con rejilla conectada a tierra, con ajuste de placa y carga motorizados, y cubre la banda de 87.5 a 108 MHz. Un filtro paso-bajo, incorporado a la salida del acoplador direccional proporciona la medida de potencia directa y reflejada. La duración media de la válvula, con aceptable degradación de la potencia de salida, supera las 12,000 horas de funcionamiento ininterrumpido.

El excitador de FM que se acopla directamente a la etapa de amplificación del transmisor y su funcionamiento fue descrito en el capítulo anterior. La emisora cuenta también con seis elementos radiantes que no emplea. Las características del transmisor, el excitador de FM y el sistema radiante se muestran en la Tabla XXII.

Tabla XXII. Características del equipo de transmisión y radiación

TRANSMISOR	
Marca: RVR	
Modelo: VJ1000	
Alimentación	220/250 VAC 50/60 Hz
Potencia de salida	850 / 1000 W
Impedancia de entrada	50 Ohms
Impedancia de salida	50 Ohms con conector LC 7/16"
Excitación	15/20 W
Tubo empleado	3CX800 A7
EXCITADOR FM	
Marca: RVR	
Modelo: TEX20-NV	
Alimentación	110/220 VAC 50/60 Hz
Frecuencia de operación	87.5-108 MHz
Potencia de salida	2 a 20 W
Impedancia de salida	50 Ohms
Salida conector	Tipo N
SISTEMA RADIANTE	
Marca: Aldena	
Modelo: ACF/6	
Polarización	Circular
Banda Ancha	87.5 – 108 MHz
No. elementos	Seis elementos cruzados de aluminio con salida 7/8" a 1/2"
Ganancia un elemento	0.3 dBd
Ganancia 6 elementos	8.1 dBd
Impedancia	50 Ohms

6.6. Costos de ampliación de cobertura

Para llevar a cabo cualquier propuesta de ampliación de cobertura de Radio Universidad, se debe considerar el costo de inversión y de mantenimiento, así como, determinar los recursos materiales y humanos necesarios.

Tabla XXIII. Costos fijos y de inversión

Renglón Presup.		Descripción	Inversión	Fijo	Observaciones
111	Energía eléctrica	Consumo de energía		Q4,000.00	Consumo aprox. del equipo, luminarias en las instalaciones de la repetidora.
152	Arrendamiento de tierras y terrenos	Arrendamiento terreno para la repetidora		Q3,000.00	Sujeto a acuerdo con municipalidad o propietario final
166	Mant y reparación de equipo de comunicaciones	Mantenimiento de antenas		Q6,000.00	Cambio de sellos, limpieza, revisión de herrajes, conectores, latiguillos, heliax y divisor.
174	Mant y reparación de instalaciones	Mantenimiento de sistema de enfriamiento		Q1,200.00	Las instalaciones de la repetidora deben mantener una temperatura entre 20/25°C para evitar sobrecalentamiento del equipo
		Mantenimiento de planta eléctrica		Q1,500.00	Cambio de aceite, filtros, etc.
		Mantenimiento de torre		Q5,000.00	Pintura anticorrosiva y revisión de uniones
199	Otros servicios no personales	Instalación eléctrica y sistema de control de tierra	Q30,000.00		Acometida e instalación eléctrica, tramite correspondiente en EEGSA, y protección de tierra, pararrayos, luz de tráfico aéreo.
		Instalación de planta eléctrica	Q35,000.00		Soporte de energía eléctrica en el lugar.
262	Combustibles y lubricantes	Combustible para transporte hacia las instalaciones de la repetidora		Q1,000.00	Traslado por mantenimiento cada tres meses, más imprevistos.
284	Estructuras metálicas acabadas	Torre auto soportada	Q500,000.00		Asumiendo una instalación de torre auto soportada entre 60 y 80 mts de altura. Incluye todo el trabajo de obra civil.

Renglón Presup.		Descripción	Inversión	Fijo	Observaciones
297	Útiles, accesorios y materiales eléctricos	Luminarias, fusibles, cintas de aislar, vulcanizada, etc.			Se requiere disponibilidad para la compra de componentes eléctricos que puedan averiarse y deban ser reemplazados.
298	Accesorios y repuestos en general	Cable Heliac de 7/8", conectores tipo N, cable RG8 con conectores BNC para conexiones MPX, cable para audio, etc.	Q24,000.00		Todos aquellos accesorios para la instalación y conexión de los equipos de enlace, transmisión y antenas. Así como el audio de referencia para monitoreo de la señal.
		Tubo 3CX800A7		Q15,000.00	Tubo del transmisor q se cambia en promedio cada año.
		Repuestos varios		Q25,000.00	Disponibilidad para repuestos del equipo de transmisión
325	Equipo de transporte	Vehículo 4x4	Q150,000.00		Para facilitar el acceso tanto a la repetidora como al Cerro Alux
329	Otras maquinarias y equipos	Aire acondicionado	Q25,000.00		Variara dependiendo el área a enfriar
		Pararrayos	Q12,000.00		Costo aproximado
		Monitores	Q500.00		Para monitorear la señal de enlace y la señal transmitida.
		Planta Eléctrica	Q40,000.00		
TOTAL APROX. en Quetzales			Q804,500.00	Q61,700.00	

La propuesta de ampliación de cobertura debe trasladarse a renglones presupuestarios, como se muestra en la tabla anterior, separando los costos de inversión de los de mantenimiento y funcionamiento. Es importante que la propuesta sea incluida en el Plan Operativo Anual (POA), y reflejarse en el Anteproyecto de Presupuesto de Radio Universidad. Se debe incluir una copia con el estudio técnico para apoyar el incremento presupuestario solicitado. Es importante que las autoridades correspondientes creen una plaza para el operador-guardián de la repetidora, costo que no esta incluido en la tabla.

No está reflejado el costo del equipo de transmisión, puesto que ya se cuenta con el. Únicamente se debe aclarar que de no obtener una frecuencia de enlace dentro del rango en el que opera el equipo, este puede ser reajustado por las empresas distribuidoras o bien por el departamento técnico de la emisora, para cualquiera de los dos casos, de ser aprobado el presupuesto se pueden emplear los renglones 166 o 298.

La emisora debe iniciar los trámites correspondientes para la adquisición de las frecuencias, y fijar el monto que destinará para tal efecto. Es posible, en caso de efectuar el enlace hacia el volcán de Agua, que se le autorice a Radio Universidad emplear la misma frecuencia, debido a que se encuentra dentro del departamento de Sacatepéquez y en el inventario de frecuencias la misma no aparece adjudicada a otro usufructuario. Así mismo, puede recurrir a la adquisición mediante endoso previo acuerdo y pago con otro usufructuario que no este empleando la frecuencia.

6.7. Consideraciones generales para la instalación

6.7.1. Equipo de alta frecuencia

El equipo debe instalarse en un ambiente seco, cerrado pero bien ventilado, protegido contra polvo, humedad, insectos y roedores. Es conveniente que el local este lo más cerca posible de la torre, con el objeto de reducir las pérdidas por cable. De no ser posible debe emplearse un cable de sección y calidad adecuada para reducir las pérdidas. Las dimensiones del local deben permitir una fácil instalación y mantenimiento posterior por parte del personal técnico.

La temperatura en el interior del local no debe superar los 35 °C. Esta condición no se cumplirá si el aire de refrigeración, procedente de los equipos, no se lleva al exterior del local, por ejemplo, mediante un tubo flexible del diámetro adecuado para que su caudal no sea frenado. Si se cuenta con un extractor, es conveniente confiar su encendido a un interruptor termostático situado en el interior del local, regulado entre 20 y 25 °C, debido a las variaciones de temperatura entre noche y día. Debe asegurarse que no penetre agua dentro de las aberturas de ventilación que puedan dañar el equipo.

A efecto de las normas contra accidentes, es indispensable la conexión a tierra a través de un conductor de color amarillo/verde. Se aconseja colocar al lado del transmisor un tablero eléctrico de distribución compuesto de un interruptor general con fusibles en las fases o bien un interruptor magnetotérmico, una toma bipolar, 3 o 4 tomas auxiliares del transmisor, una toma conectada a un termostato de ambiente con disparo a los 23 °C para la alimentación del ventilador de aire del local y un voltímetro de 220 VCA. Se recomienda que la línea que une el contador eléctrico al tablero tenga una sección de 4 mm² para líneas de 10/20 m o de 6 mm² para líneas más largas.

6.7.2. Antenas

Es importante revisar cada elemento radiante y que no exista humedad dentro de los mismos. El montaje de las antenas en los herrajes debe ser realizado cuidadosamente, ya que un montaje inadecuado puede ocasionar que la carga del viento en los elementos los desvíe de su posición original, ruptura de sellos y posterior ingreso de humedad que se convierte en ruido y aumento de reflejada en los equipos. Es importante un adecuado aislamiento vertical u horizontal según la disposición de las mismas.

6.7.3. Toma de tierra

Un sistema de tierra tiene como propósito controlar las corrientes indeseables originadas por cortocircuitos, rayos y descargas electrostáticas, para prevenir daños y/o interferencias a personas y propiedad. En sistemas no puestos a tierra, algunas tensiones pueden provocar fallas en el aislamiento de los equipos y sistemas. La puesta a tierra del neutro del sistema permite la operación de sistemas de protección basados en detección de corrientes que circulan por la misma, despejándose así el circuito bajo falla.

La puesta a tierra de los equipos se refiere a la conexión intencional de las carcasas, bastidores o estructuras metálicas no portadores de corriente de los mismos con la finalidad de mantener una diferencia de voltaje baja entre las diferentes estructuras metálicas con lo que se busca resguardar al personal. Además de contribuir a un mejor desempeño de los sistemas de protección y de los equipos, y evitar incendios.

Para las descargas atmosféricas, un pararrayos es de suma importancia, ya que ejerce la atracción con sus puntas de metal unidas al tubo mástil. Estas puntas son resistentes a la fusión, los tubos que lo soportan son de acero y conectados a ellos los cables conductores, que terminan en picas o placas subterráneas, enterrándose en pozos. Los pararrayos protegen una zona en forma de cono, cuya base es una circunferencia de diámetro dos veces la altura alcanzada por el pararrayos.

Los anillos de tierra poseen un costo más elevado, pero es más efectivo, empleados a menudo en telecomunicaciones. Dependiendo del lugar para la instalación de la repetidora, es importante realizar una nueva evaluación para la colocación de un sistema de control de tierra. En el siguiente capítulo se ampliará este tema.

7. PUESTA A TIERRA, RUIDO Y VIDA ÚTIL DEL EQUIPO

7.1. Sistemas de control de tierra SCT

El objetivo principal de un SCT en un ambiente con equipos electrónicos sensibles, es la seguridad de las personas y proteger los equipos contra daños. Un SCT debe proveer un camino de baja impedancia para la descarga de rayos y un medio de retorno de las corrientes de falla de baja frecuencia (60 Hz), esto bajo la norma IEEE-80-1986.

Si el cableado de los equipos sensibles y los conductores de potencia comparten la misma vía, las corrientes de falla pueden acoplarse inductivamente con el cableado de los circuitos sensibles induciendo voltajes y corrientes en ellos causando daño u operación anormal en sus componentes. Una corriente de falla que retorne por el terreno provoca diferencias de potencial entre distintos puntos del terreno, generando circulación de corrientes no deseadas entre equipos ubicados a diferente potencial y que operan interconectados mediante un cable coaxial o multipar.

Los rayos causan daños ya sea si se descargan sobre la instalación, una antena por ejemplo, o bien, indirectamente por dos vías: el rayo descarga en las cercanías de la instalación y genera un campo magnético intenso que varía rápidamente con el tiempo induciendo sobrevoltajes y sobrecorrientes tipo impulso en los circuitos de los equipos; segundo, provoca una falla de aislamiento en algún equipo del sistema de potencia generando una falla a tierra y ésta se convierte en una perturbación que puede interactuar a través del Sistema de Control de Tierra.

El SCT debe garantizar la equipotencialidad de todos los equipos interconectados bajo condiciones de operación normal, y cuando exista un evento perturbador fuera de la operación normal. La equipotencialidad en campos variables en el tiempo, se puede entender que la diferencia de potencial se mantiene por debajo de un límite soportable para la operación normal de los equipos, y sin daños a sus componentes.

7.1.1. Sistema de electrodos de conexión a tierra SECT

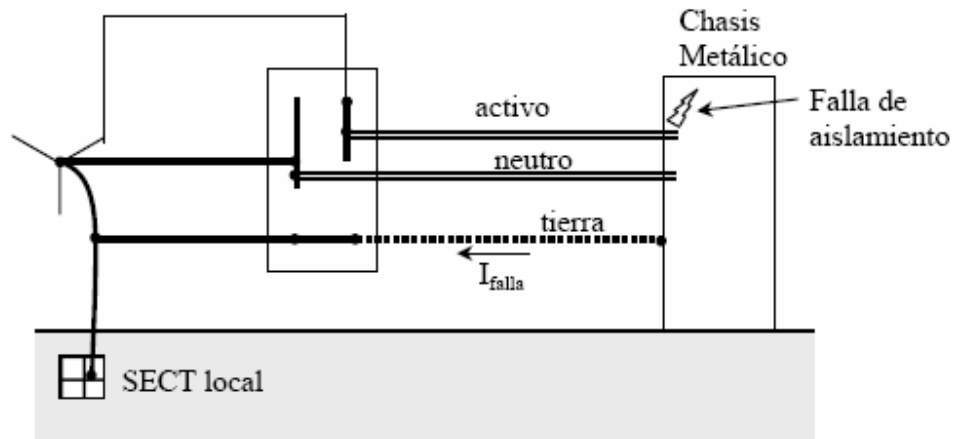
La conexión a tierra recomendado para seguridad y compatibilidad electromagnética, es la configuración de un solo sistema de electrodos de conexión a tierra, con conexiones múltiples en diferentes puntos de este arreglo de electrodos en la medida que se requiera para conectar los equipos de potencia o de comunicaciones. Se recomienda que todas las conexiones hechas al SECT sean interconectadas en la superficie, al menos entre los chasis metálicos de los equipos sensibles.

7.1.2. Red de conexión a tierra RCT

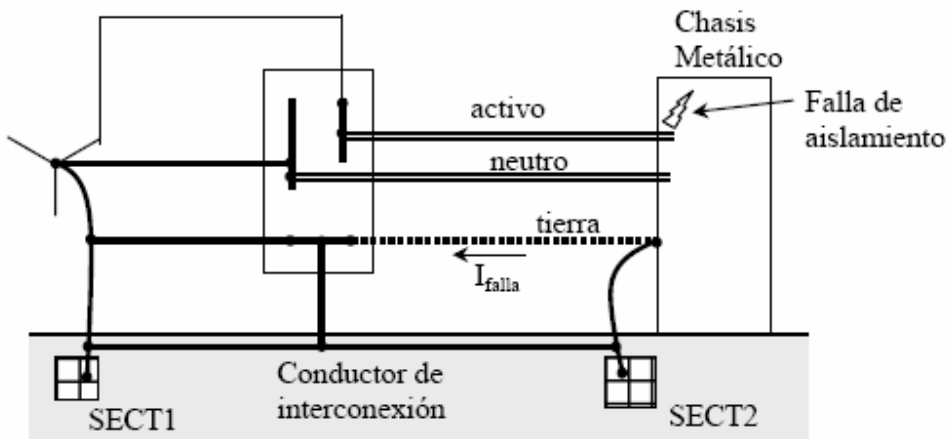
Es la parte de un SCT que requiere de una elaboración cuidadosa, para garantizar la seguridad de las personas, que las corrientes de falla retornen por los caminos previstos, que se cumplan las condiciones de equipotencialidad para la compatibilidad electromagnética y que las conexiones al SECT cumplan con los requerimientos para que los dispositivos de protección operen adecuadamente.

Figura 56. Conexión RCT

a) Falla del aislamiento en la alimentación del equipo



b) Sistema de conexión a tierra locales interconectados



En la Figura 56 (a) se ilustra una falla por aislamiento de un equipo sensible conectado a una red de 60 Hz. El chasis metálico queda energizado al potencial del conductor activo. Con un conductor de tierra conectado al chasis, la corriente de falla tiene un camino de baja impedancia por el cual disiparse permitiendo que opere el dispositivo de protección indicado.

Sin embargo, no garantiza del todo la seguridad de una persona, ya que el chasis está conectado al SECT local y si una falla aumenta el potencial de este SECT local respecto a una referencia muy lejana, entonces también el chasis elevará su potencial al mismo nivel, convirtiéndose en una situación de riesgo para una persona que toque el chasis metálico. Una alternativa a este problema es la de colocar un segundo SECT, como se ilustra en la Figura 56 (b). Ambos sistemas de conexión a tierra están interconectados mediante un conductor, además del conductor de tierra. Si el circuito formado por los conductores activo, neutro y tierra, están ubicados en el mismo ducto; la corriente de falla originada por una pérdida de aislamiento dentro del equipo retorna en su mayor parte por el conductor de tierra. Sólo una fracción de corriente de falla retorna por el conductor de interconexión de SECT1 y SECT2.

Cuando existen ambientes con varios equipos sensibles instalados, como las plantas de transmisión de radio, estudios, repetidoras, etc. Estos deben conectarse adecuadamente a la RCT y para ello se recomienda lo siguiente:

- Los conductores de la RCT deben ser lo más corto posible. En corriente continua, la longitud del conductor es una resistencia. A bajas frecuencias se transforma en un circuito resistivo-inductivo con predominio resistivo. A frecuencias intermedias en un circuito resistivo-inductivo el predominio es inductivo. A frecuencias altas, sin llegar al fenómeno de radiación, el conductor responde con una función de transferencia representada como un circuito RCL paralelo.

- La conexión de cada equipo sensible al SECT debe hacerse en forma individual para cada equipo en particular aislado eléctricamente. Para ello es útil emplear una Barra Principal de Tierra (BPT) aislada eléctricamente de la pared o soporte físico donde se coloque. A esta barra de conexión al SECT se le conoce como tierra lógica. La BPT es una barra de cobre, cuyas dimensiones son de acuerdo con el número de equipos, usualmente de 18 pulgadas de longitud, 3 pulgadas de ancho y 0.25 pulgadas de espesor.

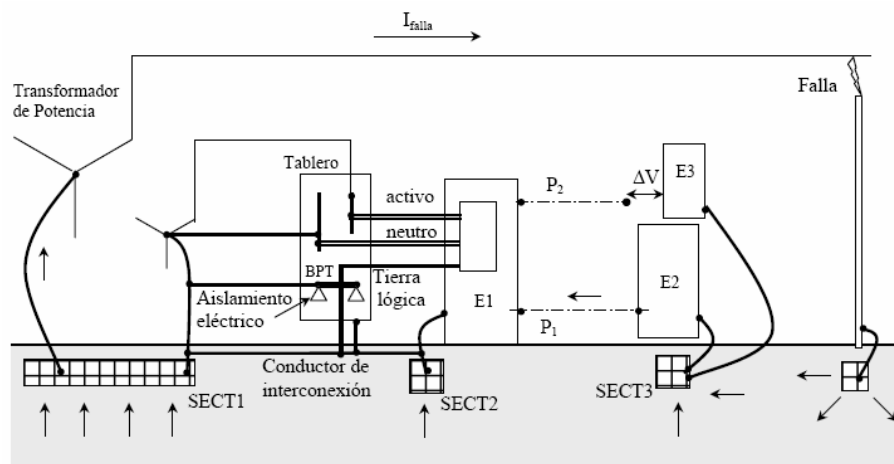
- La BPT se divide en 4 zonas, la primera conectar los productores de interferencias (P), la segunda para los absorbedores de interferencia (A), la tercera para la zona de tierra no aislada (N) y la última para la zona de tierra aislada (I). Los sobrevoltajes e interferencias de alta frecuencia que entran en la sección P, son disipadas a tierra por medio de la sección A.

- En donde sea posible, todas las conexiones de equipos al SECT deben hacerse por intermedio de conexiones exotérmicas. El proceso de soldadura exotérmica es el proceso mas efectivo y durable especialmente para conexiones bajo tierra. La varilla y el cable son puestos en un molde especial que se llena con un polvo, una mezcla de óxido de cobre y aluminio y un disco metálico. El proceso de alta temperatura suelda el cable y la varilla conjuntamente.

- Todos los conductores (alimentación, conexione a tierra, coaxiales, pares etc.) que entran o salen de un ambiente con equipo sensible se ubiquen en caminos apantallados alejados de los conductores de potencia de alta tensión, y lejos de los conductores que bajan de los pararrayos o puntas de Franklin. Esto con la finalidad de reducir el efecto de voltajes y corrientes inducidos por el acoplamiento magnético entre los conductores.

El problema de lazos que se forman cuando se conectan elementos a diferentes puntos de un SECT, se observan en la Figura 57. En ella el SECT3 no está conectado intencionalmente con el SECT2, sino por medio de la pantalla P_1 del conductor coaxial que interconecta el equipo E1 con el equipo E2. Si ocurre una falla en el lado de potencia que involucra por ejemplo un circuito de distribución, la corriente de falla retorna a través del terreno hacia la fuente, el transformador de potencia. Una parte de la corriente retorna al neutro del transformador de potencia por el terreno y el SECT1, pero de igual forma los SECT2 y SECT3 son caminos alternos de retorno de fracciones de la corriente de falla. Así la pantalla P_1 puede transportar una fracción de la corriente de falla que se genera en el alado de potencia. Para evitar que una pantalla se transforme en un camino alternativo de una corriente de falla se puede desconectar en un extremo, sea el caso del chasis metálico del equipo E3 que está conectado al SECT3. Entre SECT1 y SECT3 existirá bajo condición de falla a tierra una diferencia de potencial ΔV que se refleja entre la pantalla P_2 y el chasis metálico del equipo E3. Si esta diferencia de potencial es suficiente puede aparecer un arco entre la pantalla P_2 y el chasis metálico de E3 con lo cual se está en el mismo caso que P_1 .

Figura 57. Retorno de la corriente de falla del lado de potencia



7.1.3. Resistencia y resistividad

La eficiencia de un sistema de un electrodo enterrado (varilla, malla, plato, etc.) es evaluado en términos de resistencia (Ω). Es una medida de cuán bien el electrodo puede dispersar corriente en el suelo circundante. Las propiedades eléctricas del suelos son descritas en términos de resistividad ($\Omega\text{-cm}$).

La medición de resistividad es realizada primero, para identificar un buen sitio para la puesta a tierra y después se realiza una medición de resistencia para verificar que se ha logrado obtener el valor deseado según los requerimientos. La resistividad del suelo varia por muchas razones²⁶, entre ellas:

- La profundidad desde la superficie
- El tipo y la concentración de químicos en el suelo
- El contenido de humedad y la temperatura

Debido a que varía notablemente la resistividad del suelo, el SCT debe ser diseñado para el peor caso posible. Las características del suelo y el contenido de agua son más estables en estrados más profundos, de allí que se recomienda que los electrodos sean instalados lo más profundo posible en la tierra y donde la temperatura es más estable.

Un suelo con baja resistividad es normalmente más corrosivo debido a la presencia de sales y agua que pueden destruir los electrodos y sus conexiones. Es por ello que se recomienda realizar una inspección anual al SCT y medir su resistencia.

²⁶ IEEE Std 142-1991, p. 137 y 138. Capitulo 4 tablas 10, 11 y 12

Sin embargo, variará dependiendo de la época o estación del año, un aumento mayor al 20% de la resistencia de tierra debe ser investigado y tomar las medidas correctivas para bajar el valor de la misma. Los valores recomendados por IEEE Std. 142-1991 son:

- 1Ω para grandes subestaciones, líneas de transmisión y estaciones de generación.
- $1-5\Omega$ para sub-estaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales.
- 25Ω para un electrodo simple

Uno de los métodos para la medición de resistividad más utilizado es el método de los 4 electrodos o método de Wenner²⁷. Los electrodos son colocados en línea recta a una misma distancia entre ellos (a), y a una misma profundidad (b). Las mediciones dependerán de la distancia entre los electrodos y su contacto con la tierra. El método consiste en inyectar una corriente conocida por los electrodos de prueba y entre ellos se mide la diferencia de potencial resultante y con los datos se calcula el valor de la resistencia y la resistividad del terreno a una profundidad (b). La distancia (b) no debe ser mayor a un décimo de (a).

7.1.3.1. Métodos para medición de resistencia

7.1.3.1.1. Método caída de potencial

Consiste en inyectar corriente a través de un electrodo de prueba denominado de corriente y medir el alza de potencial en un auxiliar.

²⁷ Ing. Ignacio Agulleiro, Prof. Miguel Lozano. Técnicas Modernas Para la Medición de Sistemas de Puesta a Tierra en Zonas Urbanas. Página 9.

Conocido el valor de tensión y el valor de corriente se podrá obtener mediante la ley de Ohm el valor de resistencia. Los tres electrodos se mantienen en una línea recta y se va corriendo el electrodo de potencial hacia el electrodo de corriente para hacer sucesivas mediciones de resistencia.

7.1.3.1.2. Método de la pendiente

Es más utilizado para sistemas de puesta a tierra grandes o cuando la posición del centro de la puesta a tierra no es conocido y es inaccesible. También puede ser utilizado cuando el área para colocar los electrodos de prueba está restringida o inaccesible. También se utiliza cuando otros métodos dan resultados poco razonables y es más preciso.

Entre otros métodos²⁸ se tienen:

- Método de los dos puntos o dos polos
- Método de los tres puntos

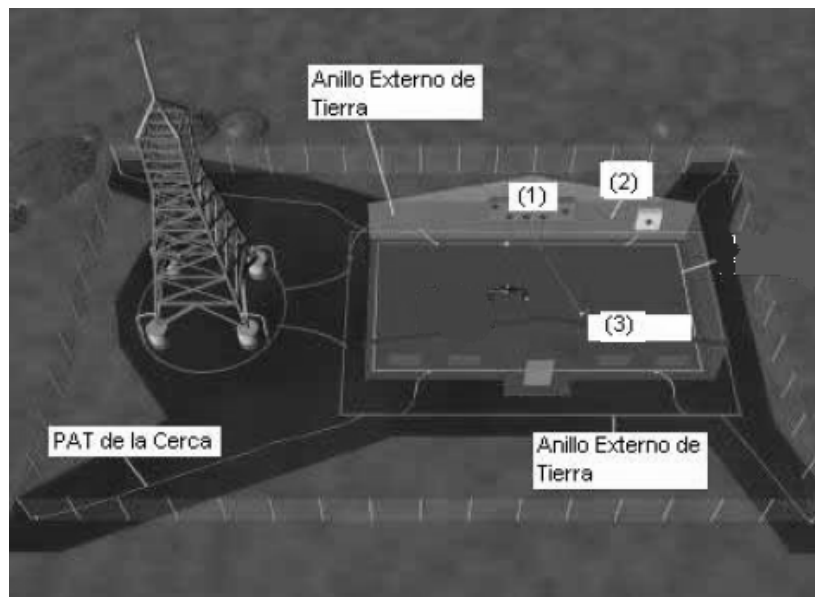
7.2. Recomendaciones SCT repetidora de Radio Universidad

Cada una de las patas de la torre que soportará el equipo radiante de la repetidora debe ser puesta a tierra. Estas tierras son conectadas entre sí con cable Calibre No. 2 de cobre desnudo. Cerca de la torre estará el edificio de la instalación con todos los equipos de transmisión, etc. El edificio se conectará a tierra en las cuatro esquinas y éstas son interconectadas mediante un cable Calibre No.2. Este anillo externo se conectará también a la BPT. Es importante realizar una conexión entre el anillo externo y el anillo de tierra de la torre.

²⁸ Ing. Ignacio Agulleiro, Prof. Miguel Lozano. Técnicas Modernas Para la Medición de Sistemas de Puesta a Tierra en Zonas Urbanas. Página 11 a 21.

Una aproximación a lo descrito anteriormente se puede ilustrar en la siguiente Figura.

Figura 58. Diagrama aproximado de puesta a tierra para la repetidora



(1) Barra Principal de Tierra, (2) Neutros a tierra, (3) Estructura Metálica del Edificio

Es necesario realizar una prueba de continuidad para verificar que existe la puesta a tierra, que se tiene una conexión eléctrica y puede pasar corriente en cada una de las patas de la torre. Seguidamente se medirá la resistencia del sistema completo por medio del método de caída de potencial²⁹. Posteriormente se mide la resistencia de cada pata de la torre y de las puestas a tierra, si alguna medición presenta un mayor grado de variación que las otras, debe ser investigada. En caso de que el lugar sea o esté cercado con malla metálica, está debe ser aterrizada también.

²⁹ Ing. Ignacio Agulleiro, Prof. Miguel Lozano. Técnicas Modernas Para la Medición de Sistemas de Puesta a Tierra en Zonas Urbanas. Página 14 a 16.

Lograr una baja resistencia en cualquiera de los dos lugares para la instalación de la repetidora dependerá del material del electrodo, la resistencia de contacto del electrodo con el terreno y la resistividad del propio terreno. El tipo de suelo en el volcán de Agua es de andesita piroxénica y el suelo del cerro Chino es de basalto olivínico. Resultan ser suelos con alta resistividad y con poca humedad.

Se sabe que un incremento en el contenido de sales disueltas reduce la resistividad. Cloruros, nitratos y sulfatos de sodio, potasio, magnesio o calcio, se utilizan como aditivos del suelo aunque pueden originar problemas medioambientales y de corrosión. La conducción del terreno es principalmente de tipo electrolítico; si el grado de humedad excede el 22% la resistividad cambia muy poco, además, la humedad varía según la estación del año o después de una falla a tierra de gran magnitud y de duración prolongada. Un terreno compacto presenta una menor resistividad, así como los suelos que contienen arcilla y/o yeso. Suelos con alto contenido de grava y roca son más resistivos. Basados en la tabla XXIV, se puede aproximar una resistividad entre 1000 y 10000 Ω -m para el tipo de suelo de ambos lugares tentativos para la repetidora de Radio Universidad.

Tabla XXIV. Resistividad de suelos

TIPO DE SUELO	RESISTIVIDAD (Ω m)
Suelos húmedos orgánicos	10
Suelos húmedos	100
Suelos secos	1000
Suelos rocosos	10000

7.3. Ruido

7.3.1. Definición de ruido

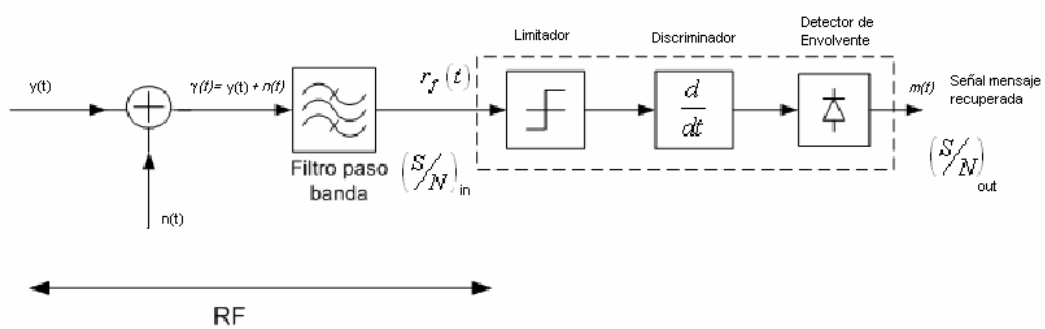
El ruido es una señal formada por una mezcla de longitudes de onda. En sistemas de comunicaciones el término designa una señal que no contiene información. Cualquier voltaje o corriente “no deseada” que eventualmente aparece en un receptor de comunicaciones es considerado como ruido. El ruido es aditivo, generalmente es una señal muy pequeña (μV), sin embargo es un problema debido a que el receptor es un equipo sensible que amplifica la señal recibida para así procesarla, por tanto también amplifica el ruido. Afecta directamente a la señal transmitida.

7.3.2. Ruido y FM

En la modulación FM, la señal es de tipo compleja, donde la información se encuentra en fase o específicamente en la frecuencia instantánea de la señal FM. Se considera el voltaje del ruido como un fasor que tiene amplitud y ángulo de fase aleatorios. El ruido se suma a la señal, causando variaciones tanto en la amplitud como en el ángulo de fase de la señal vista por el receptor.

Puesto que las señales de FM no dependen de una envolvente para detectarlas, el receptor puede valerse de la limitación para eliminar cualquier variación de amplitud de la señal. Siempre que la amplitud de la señal sea considerablemente más grande que el ruido, la componente de amplitud del ruido no será problema.

Figura 59. Detector de FM usando discriminador



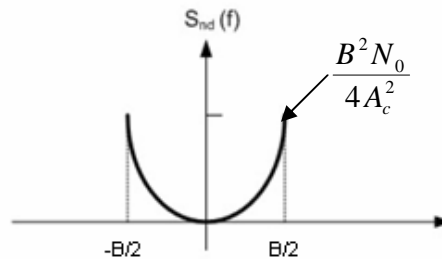
Para FM la señal de mensaje se encuentra en la componente de fase. El detector de FM de la Figura 59 ilustra la adición de una señal de ruido $n(t)$ a la señal modulada en frecuencia que luego ingresa a un filtro ideal pasa banda con un ancho de banda equivalente al de modulación (Ver Ec. 3.22).

La relación señal a ruido S/N se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido que la corrompe, medida en decibelios. La S/N en la entrada del limitador esta dada por la ecuación 7.1, donde A_c es la amplitud de la portadora, N_0 es la densidad espectral de potencia del ruido y B el ancho de banda de la señal.

$$(S/N)_{in} = \frac{A_c^2}{2N_0B} \quad (7.1)$$

A la salida del discriminador se supone que el ruido es independiente de la señal de mensaje y depende de las características de la portadora y del ruido de banda angosta, sólo si la SNR de la entrada es alta. La gráfica de la densidad espectral de potencia PSD del proceso de ruido a la salida del discriminador se muestra en la Figura 60.

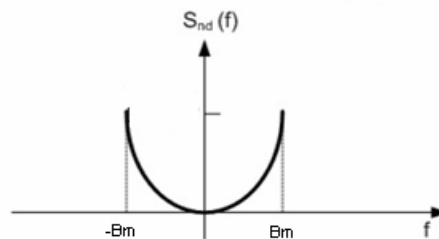
Figura 60. Gráfica de la PSD resultante a la salida del discriminador



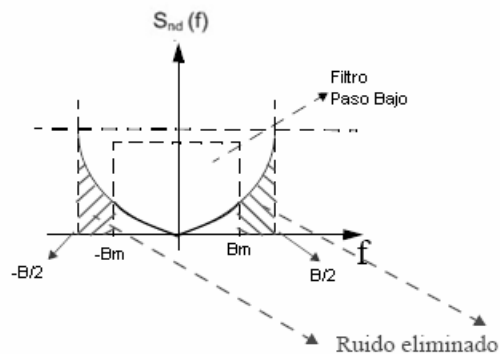
A la salida del discriminador viene el detector de envolvente, éste tiene un dispositivo no lineal que captura la amplitud o la envolvente de la señal y luego debe pasarla por un filtro paso bajo con un ancho de banda igual al de la señal de mensaje (B_m). Notemos que el proceso de ruido de las figuras 58 y 59 no ha pasado por este último filtro. Cuando el proceso de ruido atraviesa este sistema lineal (filtro paso bajo) la gráfica de PSD de ruido será como se ilustra en la Figura 61 (a) y en la Figura 61 (b) se observa el ruido eliminado.

Figura 61. Ruido a la salida del filtro paso bajo

a) PSD resultante



b) Gráfica del ruido eliminado



7.3.2.1. Efecto de umbral y captura

Cuando la intensidad de la señal está arriba del umbral, el desempeño de FM con respecto al ruido puede ser más de 20 dB mejor que AM. Los valores exactos del umbral y la mejora de la S/N dependen del índice de modulación. Debido a que WBFM permite que entre más ruido al receptor que la NBFM, el umbral es mayor para WBFM. Para señales cuya intensidad esté arriba del umbral, el desempeño de la WBFM es superior a NBFM; de hecho la S/N mejora con el cuadrado del índice de modulación. Siempre que la señal deseada sea considerablemente más intensa que la interferencia, el cociente entre la intensidad de la señal deseada y la de interferencia será mayor a la salida del detector de entrada. Podría decirse que la mayor intensidad de la señal “captura” al receptor, y esto se conoce en FM como efecto de captura.

7.3.2.2. Pre-énfasis y de-énfasis

Con el fin de mejorar el desempeño de todo el sistema debemos tener una respuesta plana para todo el rango de frecuencias de la señal de mensaje. La forma de implementar esto es mediante el uso de técnicas de filtro de pre-énfasis y de-énfasis. Cuyo objetivo consiste en diseñar un sistema que se comporte como un par modulador-demodulador de frecuencias FM para las bandas de baja frecuencia (graves) de la señal de mensaje y actuar como un par modulador-demodulador de fase PM para las bandas de alta frecuencia (agudos) de la señal de mensaje.

Para las bandas de alta frecuencia, un modulador de fase se construye a partir de un diferenciador y un modulador de frecuencia. En la demodulación sólo se necesita un demodulador de frecuencia (discriminador) en cascada con un integrador.

Para las bandas de baja frecuencia, el comportamiento debe ser de un modulador de frecuencia normal y en el receptor deberá ser un discriminador. Por lo tanto, se debe tener un filtro paso alto (diferenciador) en el transmisor o modulador y un filtro paso bajo (integrador) en el demodulador.

Las características de los filtros de pre-énfasis y de-énfasis dependen de la densidad espectral de la señal de mensaje (música o voz). En los sistemas FM comerciales los filtros tienen como parámetro constante de tiempo unos 75 μ seg para FCC o 50 μ seg para CCIR. La implementación se realiza con filtros RC, por tanto la frecuencia de corte se aproxima a 2100 Hz.

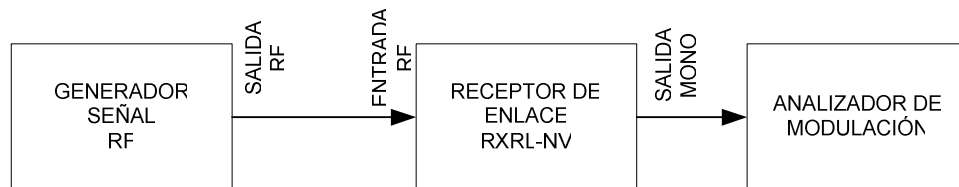
Para obtener la relación de potencia de S/N, la señal sufre cambios en sus componentes de alta frecuencia (pre-énfasis) para luego compensar este cambio al utilizar un filtro de de-énfasis. La respuesta total de estos dos filtros es constante dentro del ancho de banda del mensaje. Sin embargo, el proceso de ruido si es afectado por el filtro paso bajo de de-énfasis que está en el receptor. El ruido a la salida del discriminador presenta una respuesta de frecuencia parabólica (Figura 60).

7.4. Guía para la medición de S/N en el receptor de Radio Universidad

En primer lugar, es necesario contar con un codificador estéreo, un generador AF, un generador de señal RF en el rango de 100 KHz a 1 GHz, un decodificador estéreo y un analizador de audio.

Para la operación mono-estéreo, se deben conectar los instrumentos como se muestra en la siguiente figura.

Figura 62. Conexión de equipo para medición S/N en mono-estéreo



La relación S/N se mide a la salida del receptor, alimentándolo con una señal moduladora a 400 Hz con desviación de +/-75 KHz y comparando la salida con la misma salida, bajo las mismas condiciones, en ausencia de la señal de modulación, a través de la banda de 30 Hz a 20 KHz. Los siguientes pasos son:

1. Genere una portadora de RF en la frecuencia de operación y -67 dBm; module la portadora con un tono de 400 Hz y con una desviación de +/-75 KHz. Introduzca la señal a la entrada del receptor.

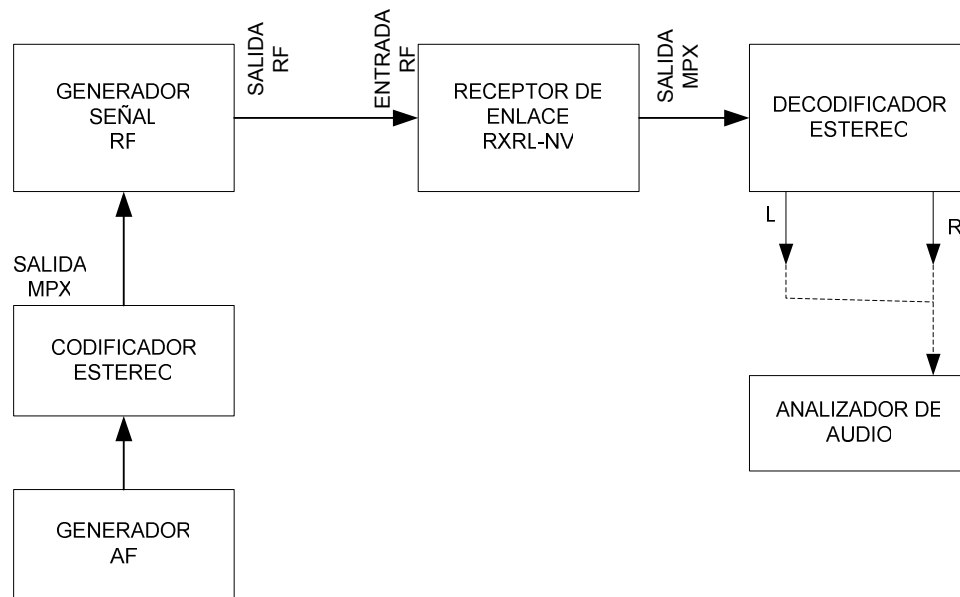
2. Utilizando el medidor de modulación FM, cheque que la relación señal a ruido S/N del receptor (RxRLNV) es mejor que 65 dB, referido a una desviación de +/-75 KHz.

Para la medición en modo estéreo, conecte el equipo como se muestra en la Figura 63. Y se debe realizar lo siguiente:

1. Ajuste la salida del generador de señal para un nivel de 1 mV (la portadora y la desviación seguirán siendo constantes)

2. Use el analizador de modulación para hacer la medición de la S/N y compruebe que la figura es mejor que 60 dB para el receptor de enlace.

Figura 63. Conexión de equipo para medición S/N en estéreo



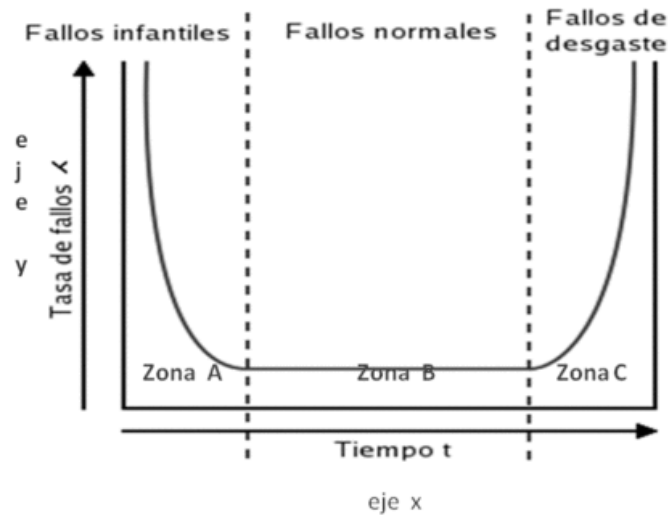
7.5. Vida útil del equipo

La vida útil es la duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado. Para esto, es necesario cumplir las recomendaciones del fabricante, además del mantenimiento que deben realizar los técnicos.

7.5.1. Falla vs. tiempo de funcionamiento

Las curvas de probabilidad de falla vs. tiempo de funcionamiento, no corresponden con la tan conocida curva de la bañera. En estas curvas se reconocen tres zonas que se muestran en la Figura 64: zona inicial (A), zona de fiabilidad estable (B) y zona final o envejecimiento (C).

Figura 64. Curva de la bañera

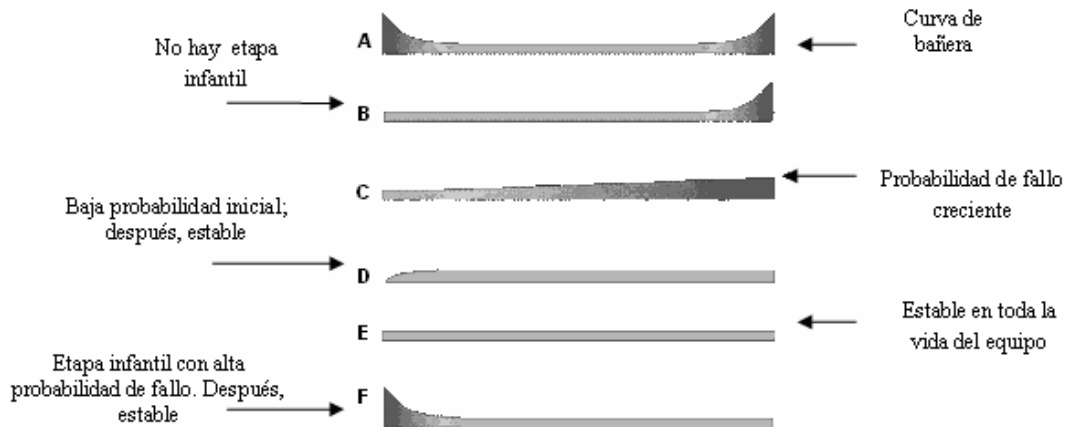


Se suponía que transcurrido un tiempo (la vida útil del equipo), éste alcanzaría su etapa de envejecimiento, en el que la fiabilidad disminuiría mucho, y la probabilidad de fallo aumentaría en igual proporción. De ésta manera, para alargar la vida útil y mantener controlada su probabilidad de fallo era conveniente realizar una serie de tareas en la zona de envejecimiento, para que la fiabilidad aumentara.

Estadísticamente, se ha comprobado que el ciclo de vida de la mayoría de los equipos no se corresponde únicamente con la curva de la bañera, sino que se diferencian 6 tipos de curvas, como se observa en la Figura 65.

La mayor parte de los equipos se comportan siguiendo el modelo E, donde la probabilidad de falla al inicio es baja, y luego la probabilidad de falla es constante a lo largo de su vida. Otro modelo que se presenta en el comportamiento de los equipos es el F, donde la probabilidad de falla al inicio es alta y de la misma forma que el modelo E, la probabilidad de falla se vuelve constante a lo largo de su vida útil.

Figura 65. Curvas de probabilidad falla vs. tiempo de funcionamiento



7.5.2. Mantenimiento de equipo de radio

El mantenimiento se define como el conjunto de actividades que se realizan a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas. Su objetivo primordial es preservar la función, las buenas condiciones de operabilidad, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos, procurando una inversión óptima de recursos.

El mantenimiento de los equipos e instalaciones de Radio Universidad, es una actividad inevitablemente necesaria, para asegurar la transmisión en cuanto a continuidad y calidad. Para ello se requiere contar con un espacio físico que permita llevar a cabo las reparaciones correspondientes. La infraestructura de la emisora no permite espacios mayores para tal tarea.

7.5.2.1. Laboratorio

Es necesario contar con un laboratorio equipado con herramienta variada y sobre todo con todos aquellos instrumentos requeridos para realizar las reparaciones de equipos de video, audio, computadoras y equipos de alta frecuencia. Esto supone una inversión, que debe ser aprobada por las autoridades respectivas, así como el espacio destinado a realizar las tareas de mantenimiento y reparación.

El laboratorio debe contar también con un depósito de repuestos que permita resolver, aún en feriados o fines de semana, la mayoría de los problemas que pudieran presentarse. Además de una biblioteca técnica que incluya todos los manuales y software correspondiente del equipo de baja y alta frecuencia, y no menos importante, los manuales de procedimientos para fallas.

7.5.3. Planes de mantenimiento

Los planes de mantenimiento son un conjunto de tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función de un activo, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas. Se establecen dos enfoques de plan de mantenimiento. El primero es el Plan Estratégico, que consolida las instalaciones y/o equipos que serán sometidos a un mantenimiento mayor en cierto período y que determina el nivel de inversión y de recursos que se requiere para ejecutar dicho plan. El segundo es el Plan Operativo, por medio del cual se definen y establecen todos los parámetros de cómo hacer el trabajo, es decir, se relacionan con el establecimiento de objetivos específicos, medibles y alcanzables que las divisiones, los departamentos, equipos de trabajo y las personas dentro de la emisora deben lograr comúnmente a corto plazo y en forma concreta.

Los planes operativos se emplean como instrumento de implementación a corto plazo para la consecución de los objetivos que conforman los planes estratégicos que por sí solos no pueden garantizar el éxito de su ejecución.

7.5.4. Costos y beneficios asociados a mantenimiento

El mantenimiento como elemento indispensable en la conformación de cualquier proceso genera un costo, es por ello que la racionalización objetiva de los mismos, permitirán ubicar a una empresa, en este caso a Radio Universidad, dentro de un marco competitivo. A continuación, se enumeran algunos costos asociados a mantenimiento:

- Mano de obra: incluye fuerza propia contratada.
- Materiales: consumibles y componentes de reposición
- Equipos: equipos empleados en forma directa en la ejecución de la actividad de mantenimiento.
- Costos indirectos: artículos del personal de soporte y equipo suplementario para garantizar la logística de ejecución.
- Tiempo de indisponibilidad operacional: cualquier ingreso perdido por ausencia de producción o penalizaciones por riesgo mientras se realiza el trabajo de mantenimiento.

Aún cuando el mantenimiento tiene un costo asociado y por lo general se maneja como un factor negativo en las empresas, presenta una serie de beneficios que permiten evaluar el grado de acertividad y de necesidad de esta inversión, por lo cual en cualquier momento un análisis costo-beneficio de la acción de mantenimiento puede orientar hacia el momento oportuno de la aplicación de la misma y la comprensión clara de las razones potenciales que obligan a su realización.

Los beneficios más relevantes que traería a Radio Universidad si aplicara planes de calidad en materia de mantenimiento, tomando en cuenta que para ello debe incrementar el monto de los renglones presupuestarios existentes y la creación de otros relacionados, serían:

- Disminución del riesgo: previniendo la probabilidad de ocurrencia de fallas indeseables o no visualizadas en los equipos de alta y baja frecuencia.
- Mejora o recupera los niveles de eficiencia de la instalación o equipo: esto se logra con la reducción de costos operativos e incremento de la producción de la emisora al disponer del equipo funcionando por períodos más prolongados.
 - Prolonga la vida útil: lo que permite que la emisora retrase la inversión respecto a reemplazos.
 - Imagen: mejora la impresión hacia los oyentes y el entorno, así como de la moral de los trabajadores que operan los equipos e instalaciones, porque contarán con herramientas de trabajo, operando en óptimas condiciones.

CONCLUSIONES

1. Emitir una señal de radio en frecuencia modulada implica que ciertos factores legales, geográficos, técnicos y financieros, deban involucrarse para que la misma salga al aire, se mantenga operando y a su vez tenga posibilidades de expandirse. Radio Universidad está legalmente constituida, ubicada en un punto geográfico alto que permite una mejor propagación de la señal. Sin embargo, no cuenta con los recursos técnicos apropiados debido a una mala planificación presupuestaria que no le permite hacerse de repuestos, equipo y herramienta necesaria para realizar el trabajo en este ámbito.
2. El radioenlace que opera actualmente a una frecuencia central autorizada de 316.100 MHz, trabaja de forma eficiente emitiendo a 2 W en una trayectoria de línea vista sin obstáculos. Posee una ganancia de sistema de 92.43 dB, una potencia efectiva isotrópica radiada EIRP de 41.22 dBm y el nivel de recepción de la señal es de -59.42 dBm suficiente para sensibilizar el equipo receptor de enlace.
3. El equipo amplificador final trabaja con tecnología de tubo tipo tríodo, con sintonización motorizada ajustada a la frecuencia 92.1 MHz y es capaz de proporcionar una salida máxima de potencia de 5000 W. Sin embargo, durante la elaboración del presente informe, éste operaba a una potencia de 3.2 KW, la cual es entregada al sistema radiante compuesto por seis antenas para FM con una ganancia de 10.25 dBi. Así, la señal irradiada por Radio Universidad, incide en un área geográfica mayor a la establecida en el título de usufructo adquirido.

4. La geografía del país ocasiona que la estación no pueda ser sintonizada en muchos lugares relativamente cercanos a la fuente de emisión, sin embargo, debido a su alcance se escucha con nitidez hasta el km 34, en Barberena sobre la carretera a El Salvador, mientras que siguiendo la ruta a Chimaltenango se sintoniza en Sumpango, Katok, en la aldea Godinez km 122 hasta el 133, entronque Patzicía-Panajachel y km 144 ruta Cocales, entre otras.
5. Para una posible ampliación de cobertura, se propusieron dos puntos geográficos cercanos a la planta transmisora por el perfil del terreno, el cual permite realizar un radioenlace punto-punto sin mayores obstáculos en su trayectoria. Tanto desde el volcán de Agua como del cerro Chino se puede cubrir el sur-orientado o sur-occidente del país según la orientación del sistema radiante que se emplee.
6. No es posible emplear la misma frecuencia autorizada para radiar en las regiones propuestas, debido a que se encuentra operando legalmente otra radiodifusora.
7. Se propusieron dos diseños de radioenlace para Radio Universidad, ajustándose al equipo que con anterioridad la emisora adquirió. Ambos diseños presentan ventajas y desventajas cuyo balance de una a otra estará determinada por la disponibilidad de la inversión a costa de menor cobertura y/o mayores gastos en concepto de mantenimiento. El proyecto representa alrededor de Q866,200.⁰⁰ sin contar con el pago por el derecho de frecuencia.

8. La instalación de la repetidora, en cualquiera de los puntos propuestos, implica la gestión y autorización de la Superintendencia de Telecomunicaciones; gestión y autorización para adquirir los fondos necesarios. Así mismo, se contemplan aspectos como: instalación eléctrica, sistema de conexión a tierra, equipo y herramienta para ajuste y movilización del equipo necesario, gastos de instalación y mantenimiento posteriores; sin olvidarse del recurso humano para la operación y vigilancia del equipo en dichas instalaciones.

RECOMENDACIONES

1. Las autoridades de Radio Universidad deben prestar especial atención en los procesos de planificación, organización, dirección y control de los recursos con los que cuentan. La emisora basa el manejo de sus recursos económicos en normas presupuestales que deben cumplirse dentro de una línea de objetivos previamente trazados, los mismos son planteados sobre la marcha y la mayoría de las veces se presentan más como imprevistos que como objetivos, dejando de lado el soporte técnico como prioridad necesaria, lo cual ha ocasionado que se tenga que recurrir a faltar a las normas para que de una u otra forma no se vea afectada la transmisión regular.
2. Poner en marcha planes de mantenimiento estratégicos y operativos, tanto para las instalaciones como para el equipo de baja y alta frecuencia, permitiría obtener un mejor panorama no sólo del tiempo, procedimientos y recursos de las tareas de mantenimiento por realizar, sino también ayudaría a traducirlos en costos justificables para la ampliación presupuestaria en materia de repuestos, accesorios, equipo, etc. necesario para efectuar un soporte técnico adecuado.
3. Antes de instalar una repetidora para Radio Universidad, primero se debe garantizar el funcionamiento del equipo que opera en la actualidad, eso incluye también equipo de reserva, condiciones ambientales adecuadas, sistemas de conexión a tierra, estructura de su torre de transmisión. Esto será consecuencia de las dos recomendaciones anteriores.

4. El proyecto de ampliación de cobertura debe ser programado en tres fases: la primera es plantear los objetivos, estrategias y justificación del proyecto a las autoridades correspondientes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para que sea emitido un acuerdo de rectoría que apruebe la expansión de la emisora y designe al personal encargado de los trámites legales que conlleva la autorización de la repetidora, tal y como se hiciera en los inicios de Radio Universidad.
5. La segunda fase del proyecto implica que sea incluido en el Plan Operativo Anual de Radio Universidad y el Anteproyecto de Presupuesto, adjunto con el acuerdo de rectoría, con el fin de justificar la ampliación presupuestaria para el siguiente año que permita poner en marcha el proyecto.
6. En la tercera fase, luego de aprobado y asignado el incremento presupuestario, se deben concretar las gestiones sobre el arrendamiento del terreno, así como, crear la logística para la instalación del equipo de la repetidora de Radio Universidad.
7. Si el lugar cuenta con acometida eléctrica, es necesario revisar la instalación, para asegurarse que los voltajes y corrientes son adecuados para que opere el equipo de alta frecuencia, de lo contrario se deberá realizar una instalación nueva. Además de constatar el estado y ubicación de electrodos para la conexión a tierra e incluirlos en el diseño del SCT que se vaya a instalar.

8. Deben elaborarse los planos de la instalación eléctrica y SCT de la repetidora, así como, los planos de conexión de los equipos.
9. Implementar planes de mantenimientos estratégicos y operativos para el equipo y las instalaciones de la repetidora.
10. Realizar un estudio de factibilidad que permita digitalizar Radio Universidad, de esta forma se mejoraría el espectro y se obtendría un mayor alcance sin necesidad del uso de repetidoras. Siempre y cuando se garantice la ampliación presupuestaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agulleiro, Ignacio y Miguel Lozano. **Técnicas Modernas para la Medición de Sistemas de Puesta a Tierra en Zonas Urbanas.** 9,14-16 pp.
2. Blake, Roy. **Sistemas Electrónicos de Comunicación.** 2ª. ed. Thomson, 2004. País: México. 26, 155-157, 160 pp.
3. García Domínguez, A. **Cálculo de antenas.** 2ª. ed. Alfaomega, 1995. País: México. 18-24 pp.
4. García, Virgilio, y otros. **Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.** 4ª. ed. Thomson, 2003. País: México. 285-287, 348-350 pp.
5. **Ley General de Telecomunicaciones Decreto Número 94-96.** Congreso de la República de Guatemala.

ANEXO A
TABLAS DE PÉRDIDAS EN CABLES Y CONECTORES

Heliax de 1/2"

Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100ft)	Atenuación (dB/100m)	Potencia Promedio (kW)
0.5	0.045	0.149	40
1	0.064	0.211	36.11
1.5	0.079	0.259	29.46
2	0.091	0.299	25.5
10	0.205	0.672	11.35
20	0.291	0.954	7.99
30	0.357	1.172	6.51
50	0.463	1.52	5.02
88	0.619	2.031	3.76
100	0.661	2.168	3.52
108	0.688	2.256	3.38
150	0.815	2.673	2.85
174	0.88	2.887	2.64
200	0.946	3.103	2.46
300	1.169	3.835	1.99
400	1.36	4.462	1.71
450	1.447	4.748	1.61
500	1.53	5.021	1.52
512	1.55	5.085	1.5
600	1.686	5.533	1.38
700	1.831	6.009	1.27

Fuente: Hoja de Especificaciones de www.andrew.com

Heliax de 7/8" y de 1 5/8"

Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100m)		Potencia Promedio (kW)	
	HELIAX 7/8"	HELIAX 1 5/8"	HELIAX 7/8"	HELIAX 1 5/8"
0.5	0.076	0.044	91	166.49
1	0.108	0.062	77.97	117.56
1.5	0.132	0.076	63.61	95.88
2	0.153	0.088	55.06	82.96
10	0.343	0.197	24.48	36.78
20	0.487	0.281	17.23	25.84
30	0.599	0.346	14.02	21
50	0.777	0.45	10.81	16.14
88	1.039	0.603	8.08	12.03
100	1.11	0.645	7.57	11.26
108	1.155	0.672	7.27	10.81
150	1.369	0.798	6.14	9.09
174	1.479	0.864	5.68	8.41
200	1.591	0.93	5.28	7.81
300	1.968	1.156	4.27	6.28
400	2.292	1.351	3.67	5.37
450	2.44	1.441	3.44	5.04
500	2.581	1.527	3.25	4.76
512	2.614	1.547	3.21	4.69
600	2.846	1.689	2.95	4.3

Fuente: Hoja de Especificaciones de www.andrew.com

ANEXO B

GUÍA PARA LLENAR FORMULARIOS

GUÍA PARA FACILITAR EL PROCESO DE LLENADO DE LAS FORMAS PARA SOLICITUD DE DERECHOS DE EXPLOTACIÓN DE FRECUENCIAS RADIOELÉCTRICAS POR SISTEMAS TERRESTRALES						
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS (Datos mandatorios)						
Casillas de "Banda de frecuencias" Ingrese aquí el rango de frecuencia que se está solicitando. El dato debe incluir el límite inferior y superior del mismo						
Ejemplo:						
Luego de determinar en el equipo a usar el valor de la frecuencia central y el ancho de la banda de trabajo, la forma de calcular el límite inferior es restar a esa frecuencia central, la mitad del ancho de banda. El límite superior se determina sumando a						
Si la frecuencia central de trabajo del equipo es:	151.2500 MHz					
Si el ancho de banda de trabajo de equipo es:	25.0 kHz					
La mitad del ancho de banda será:	$25.0 \text{ kHz} / 2 = 12.5 \text{ kHz}$ o 0.0125 MHz					
Por lo tanto, el límite inferior de la banda es:	$151.2500 - 0.0125 = 151.2475 \text{ MHz}$					
Por lo tanto, el límite superior es:	$151.2500 + 0.0125 = 151.2625 \text{ MHz}$					
Casilla de "Dimensional" Marque aquí la dimensional usada para expresar el múltiplo de frecuencias utilizado en su solicitud a partir de la unidad que es el Hertzio (Hz)						
Ejemplo: kHz = kilohertz, MHz = megahertz, GHz = gigahertz (para el ejemplo anterior, corresponde marcar MHz)						
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Banda de frecuencias</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Límite inferior</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Límite superior</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">151.2475</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">151.2625</td> </tr> </table>		Banda de frecuencias	Límite inferior	Límite superior	151.2475	151.2625
Banda de frecuencias						
Límite inferior						
Límite superior						
151.2475						
151.2625						
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Dimensionales</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">kHz</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">x MHz</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">GHz</td> </tr> </table>		Dimensionales	kHz	x MHz	GHz	
Dimensionales						
kHz						
x MHz						
GHz						
Casilla de "Horario de operación" Indique el periodo de tiempo durante un día (24 horas) en que sus equipos estarán transmitiendo						
Ejemplo: Si utilizara el equipo entre las 5:00 am y las 11:00 pm, deberá indicarlo en esta casilla de la siguiente forma:						
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Horario de operación</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">De 05:00 a 23:00 Hrs</td> </tr> </table>		Horario de operación	De 05:00 a 23:00 Hrs			
Horario de operación						
De 05:00 a 23:00 Hrs						
Casilla de "Área geográfica de influencia" Escriba los departamentos y/o municipios en los que desea tener cobertura con su equipo. En caso no caben en la casilla, puede anotarlos en hoja adjunta e indicarlo claramente						
Si desea que sus transmisiones cubran principalmente las áreas geográficas de los departamentos de Escuintla y Retalhuleu						
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Área geográfica de influencia (Área de cobertura deseada)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Departamentos de Escuintla y Retalhuleu</td> </tr> </table>		Área geográfica de influencia (Área de cobertura deseada)	Departamentos de Escuintla y Retalhuleu			
Área geográfica de influencia (Área de cobertura deseada)						
Departamentos de Escuintla y Retalhuleu						

<p>Casilla de "Potencia máxima efectiva de radiación"</p> <p>Escriba aquí la potencia expresada en decibeles referidos a un miliwatt (dBm), con la que su equipo operará para cubrir el área geográfica de influencia solicitada. Debe tomar en cuenta la potencia de salida de su equipo, la ganancia de su antena y la pérdida de influencia solicitada. Debe tomar en cuenta la potencia de salida de su equipo, la ganancia de su antena y la pérdida de influencia solicitada. Debe tomar en cuenta la potencia de salida de su equipo, la ganancia de su antena y la pérdida de influencia solicitada.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Potencia máxima efectiva de radiación (PER) (dBm)</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">66.77</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">$dBm = 10 * \log(3000 W / 0.001W) = 64.77 dBm$</p>	Potencia máxima efectiva de radiación (PER) (dBm)	66.77																		
Potencia máxima efectiva de radiación (PER) (dBm)	66.77																				
<p>Ejemplo: Si la potencia radiada por su equipo es de 3.0 kWatts (3000 Watts)</p> <p>La forma de conversión de Watts a dBm es:</p>																					
<p>Casilla de "Máxima intensidad de campo eléctrico" Indique el valor máximo que su equipo puede aceptar en la frontera del área de cobertura solicitada sin que sufra interferencia perjudicial.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Máxima intensidad de campo eléctrico (dBm)</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">-90</td> </tr> </table>	Máxima intensidad de campo eléctrico (dBm)	-90																		
Máxima intensidad de campo eléctrico (dBm)	-90																				
<p>Ejemplo: Si de acuerdo al manual de los equipos receptores éstos pueden tolerar potencias de hasta -90 dBm sin que ello afecte su normal funcionamiento, ese valor es el que debe colocar en esta casilla</p>																					
<p>Casilla de "Punto A & Punto B"</p> <p>En el caso su solicitud sea explotar frecuencias radioeléctricas asociadas a un enlace punto a punto, indique aquí las coordenadas geográficas de los puntos terminales del enlace. Debe expresarla en grados, minutos y segundos (GG°MM'SS.s")</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Punto A</th> <th colspan="2">Punto B</th> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>Latitud</td> <td>Longitud</td> <td>Latitud</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">90° 37' 69"</td> <td style="text-align: center;">14° 37' 60"</td> <td style="text-align: center;">91° 01' 37"</td> <td style="text-align: center;">14° 47' 06"</td> </tr> </table>	Punto A		Punto B		Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	90° 37' 69"	14° 37' 60"	91° 01' 37"	14° 47' 06"								
Punto A		Punto B																			
Longitud	Latitud	Longitud	Latitud																		
90° 37' 69"	14° 37' 60"	91° 01' 37"	14° 47' 06"																		
<p>Ejemplo: Si su solicitud es para establecer un enlace entre puntos específicos del cerro Alux al cerro Tecpán debe ubicar por medio de mapas o utilizando un GPS las coordenadas exactas de las ubicaciones de las torres terminales que soportan las antenas</p>																					
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES (Datos no mandatorios)																					
<p>Casilla de "Sistema de transmisión" Escriba en esta casilla la marca y el modelo del equipo de transmisión a utilizar</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Sistema de Tx (Marca, Modelo)</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td>Acme / X-35</td> <td></td> </tr> </table>	Sistema de Tx (Marca, Modelo)		Acme / X-35																	
Sistema de Tx (Marca, Modelo)																					
Acme / X-35																					
<p>Ejemplo: Si el transmisor que utilizara es una marca Acme y Modelo X-35</p>																					
<p>Casilla de "Potencia normal de salida (Watts)" Es el valor nominal de potencia del equipo utilizado, usualmente en Watts y se encuentra en los manuales técnicos del equipo.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Potencia nominal de salida (Watts)</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">500</td> </tr> </table>	Potencia nominal de salida (Watts)	500																		
Potencia nominal de salida (Watts)	500																				
<p>Ejemplo: Si las especificaciones técnicas de su equipo indica que la potencia nominal de salida es de 500 W.</p>																					
<p>Casilla de "Alimentadores y antenas" Información técnica complementaria sobre el tipo de cable o guía de onda que utiliza para llevar la señal hacia la antena y el tipo de antena.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Alimentadores</th> <th colspan="2">Antena</th> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td>Pérdida (dB)</td> <td>Tipo</td> <td>Ganancia (dBi)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RG-8</td> <td style="text-align: center;">1.52</td> <td style="text-align: center;">Direccional</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Altura (m)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2500</td> </tr> </table>	Alimentadores		Antena		Tipo	Pérdida (dB)	Tipo	Ganancia (dBi)	RG-8	1.52	Direccional	10				Altura (m)				2500
Alimentadores		Antena																			
Tipo	Pérdida (dB)	Tipo	Ganancia (dBi)																		
RG-8	1.52	Direccional	10																		
			Altura (m)																		
			2500																		
<p>Ejemplo: Si para llevar la señal del equipo transmisor a la antena usa cable RG-8, la pérdida que este presenta en el trayecto es de 1.62 dB y la antena usada para radiar es de tipo direccional con ganancia 10 dBi y se encuentra a 2500 msnm.</p>																					
<p>Casilla de "Sensibilidad de receptores (dBm)" Es el mínimo nivel de señal para conseguir un funcionamiento aceptable (de calidad) en el receptor, usualmente se encuentra en las especificaciones técnicas de los equipos.</p>																					
<p>Ejemplo: Si el manual indica que la sensibilidad es de 25 V, la forma de conversión a dBm es:</p>	<p style="text-align: center;">$dBm = 20 * \log(0.000025 V / 0.773 V) = -90 dBm$</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Sensibilidad de receptores</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">-90 dBm</td> </tr> </table>	Sensibilidad de receptores	-90 dBm																		
Sensibilidad de receptores	-90 dBm																				

ANEXO C
TÍTULOS DE USUFRUCTO DE RADIO UNIVERSIDAD

No. Orden: 02137	No. Registro 1566
LA SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA	
Con base en el Artículo 57 del Decreto 94-96	
Otorga el Presente	
Título de Usufructo de Frecuencia	
A:	
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
<i>Banda o rango de Frecuencias</i>	: 92.0 a 92.2 MHz
<i>Horario de Operación</i>	: VEINTICUATRO HORAS
<i>Potencia máxima efectiva de radiación</i>	: 14.0 dBKw.
<i>Máxima intensidad de campo eléctrico o Potencia máxima admisible en el contorno</i>	: -70.0 dBm
<i>Área geográfica de influencia</i>	: GUATEMALA Y SACATEPEQUEZ
<i>Fecha de Emisión</i>	: 18 de diciembre de 1996
<i>Fecha de Vencimiento</i>	: 17 de diciembre de 2011
 Mario Roberto Paz SUPERINTENDENTE DE TELECOMUNICACIONES	

No. Orden: 02446

No. Registro 1873

**LA SUPERINTENDENCIA DE
TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA**

Con base en el Artículo 57 del Decreto 94-96

Otorga el Presente

Título de Usufructo de Frecuencia

A:

**IGLESIA EL SHADDAI CENTRO DE ADIESTRAMIENTO
CRISTIANO**

Banda o Rango de Frecuencias : 315.9000 a 316.3000 MHz

Horario de Operacion : VEINTICUATRO HORAS

Potencia máxima efectiva de radiación : 40 dBm

Máxima intensidad de campo eléctrico o
potencia máxima admisible en el contorno: -50 dBm

Area geográfica de influencia: La aplicación es un enlace PUNTO a PUNTO,
siendo el área de influencia el corredor entre los puntos siguientes:

Estacion	Longitud	Latitud
A) GUATEMALA - SACATEPEQUEZ	90° 38' 7.14"	14° 36' 55.86" <i>Dlx</i>
B) GUATEMALA - SACATEPEQUEZ	90° 31' 6.06"	14° 38' 9.36" <i>radio</i>

Fecha de Emisión : 24/06/1998

Fecha de Vencimiento: 23/06/2013


Mario Roberto Paz
SUPERINTENDENTE DE TELECOMUNICACIONES

1er. ENDOSO

A favor de: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Firma: *Hawed Caballero* Fecha: 20 DE ENERO DE 1999

Registro Telecomunicaciones: Inscrito, 6 de abril de 1,999. *P. P. P.*



2do. ENDOSO

A favor de: _____

Firma: _____ Fecha: _____

Registro Telecomunicaciones: _____

3er. ENDOSO

A favor de: _____

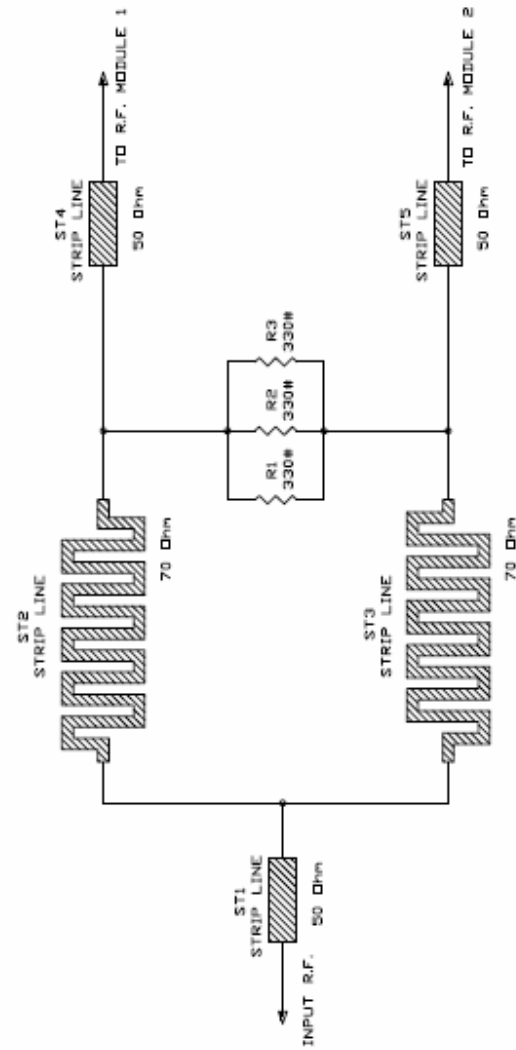
Firma: _____ Fecha: _____

Registro Telecomunicaciones: _____

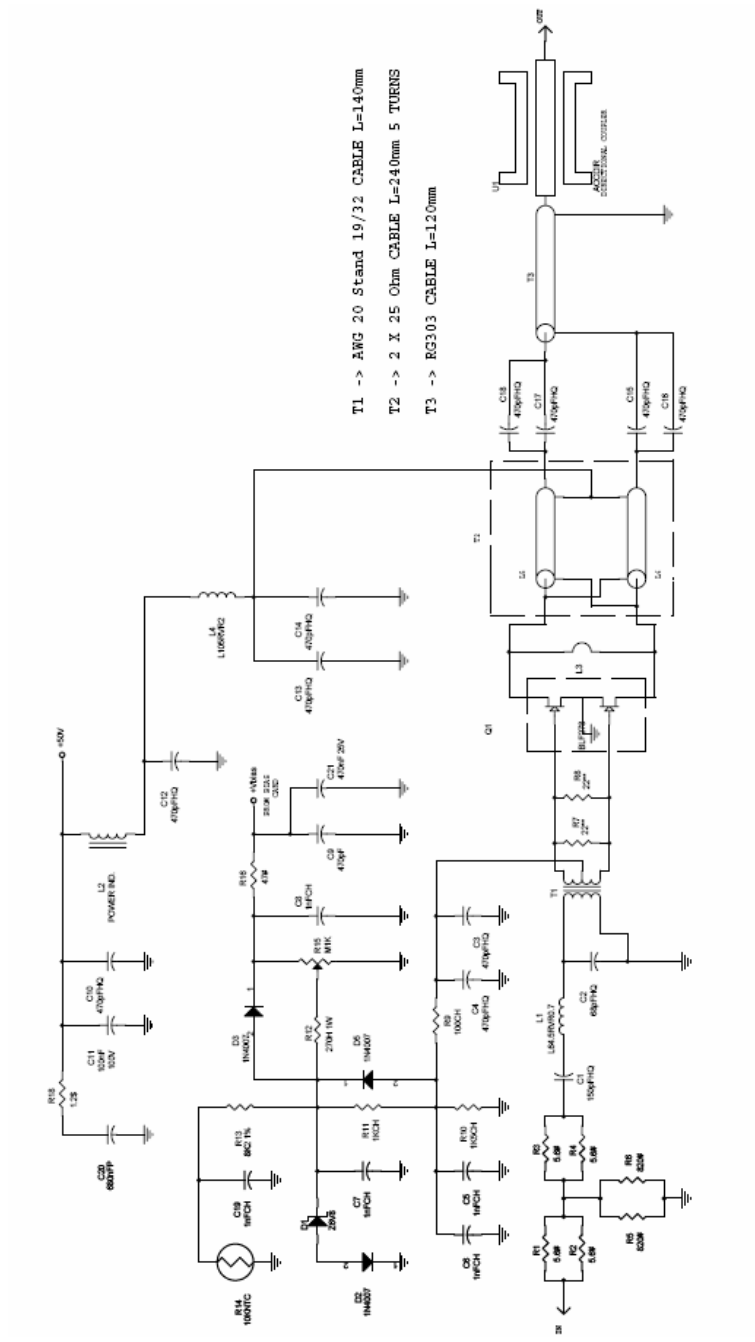
ANEXO D

DIAGRAMAS DE AMPLIFICADOR DE 500W

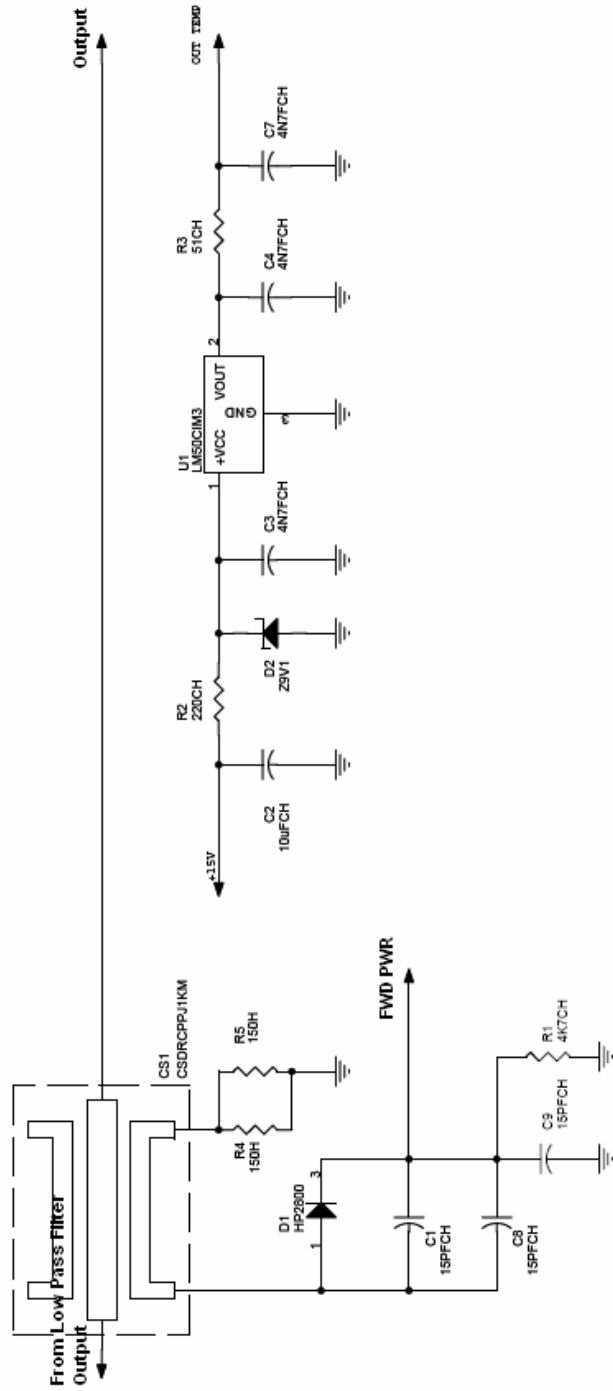
D.1. Divisor Wilkinson de dos vías



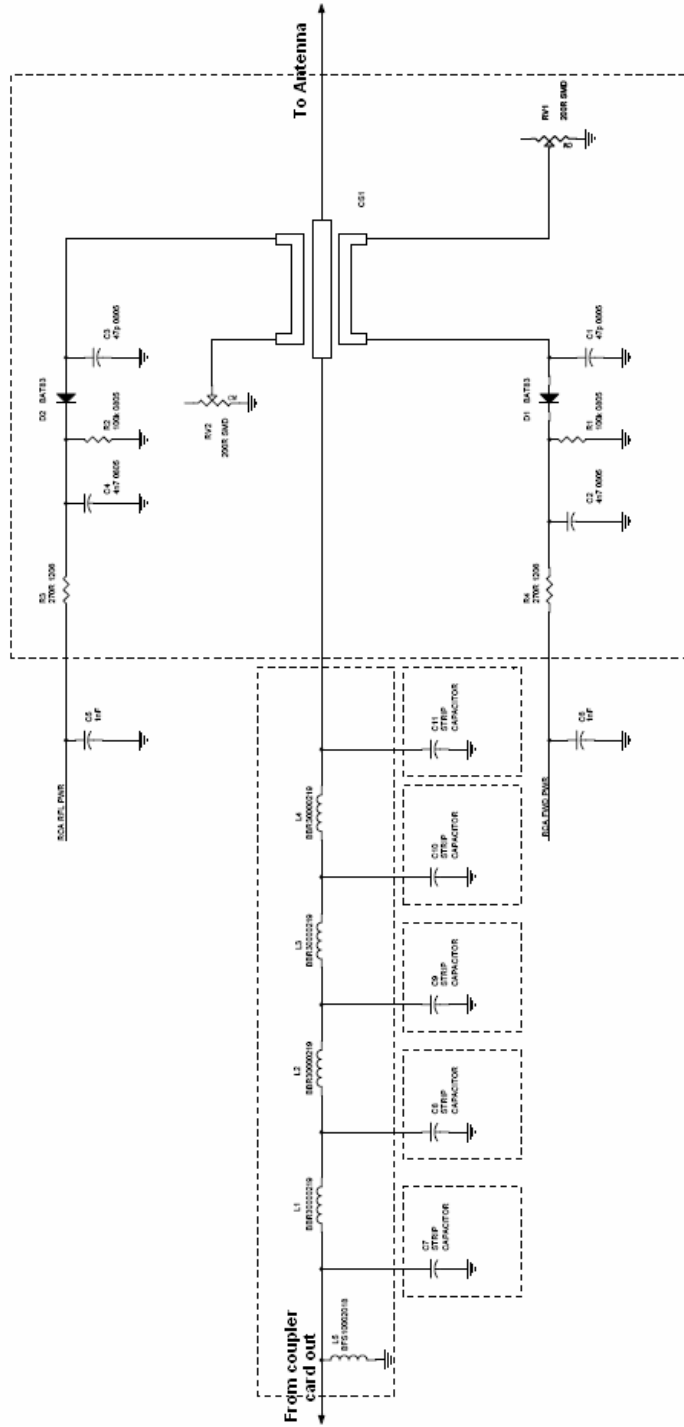
D.2. Módulo de amplificador de potencia RF



D.3. Acoplador direccional de entrada



D.4. Filtro paso bajo y medidor



D.5. Diagrama de circuito acoplador direccional

