



REPÚBLICA DEL ECUADOR

**Escuela Politécnica Nacional**

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

***Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.***

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE *TV WHITE*  
SPACES EN ZONAS RURALES DEL DISTRITO METROPOLITANO  
DE QUITO MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE DE  
PLANIFICACIÓN DE RED ICS DESIGNER**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**WILMER SANTIAGO PEREZ REINA**

**perez\_santiago7@outlook.com**

**DIRECTOR: ING. ANDRES FERNANDO REYES CASTRO, MSc**

**andres.reyes@epn.edu.ec**

**CODIRECTOR: ING. CHRISTIAN TIPANTUÑA TENELEMA, MSc**

**christian.tipantuna@epn.edu.ec**

**Quito, junio 2017**

## DECLARACIÓN

Yo, Wilmer Santiago Pérez Reina, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Wilmer Santiago Pérez Reina

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Wilmer Santiago Pérez Reina, bajo nuestra supervisión.

---

**Ing. Andrés Reyes, MSc.**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Christian Tipantuña, MSc.**

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a Dios, por la fortaleza que me brindo todo este tiempo para no abandonar mis objetivos pese a las adversidades y por siempre iluminar mi camino.

A mis padres, por todo el esfuerzo, apoyo y comprensión para que no desmaye durante este largo trayecto universitario.

A mi hermana, por su energía positiva y el ánimo que siempre me brindó.

A mis compañeros, amigos y docentes de la Facultad de Eléctrica y Electrónica que de una u otra forma hicieron el camino más llevadero y de los cuales aprendí sabios consejos y enseñanzas que me formaron como una mejor persona y como un mejor profesional.

A mi tutor, Ing. Andrés Reyes por su constante apertura, guía y paciencia para la realización de este proyecto.

## DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a Dios por darme la vida, a mis padres, Wilmer y Miriam, por enseñarme a ser perseverante, a pensar en alto, a luchar día a día por ser una mejor persona, por transmitirme sus valores y principios y por todo el esfuerzo y sacrificio de todos estos años a fin de que pueda terminar este reto que muchas veces parecía inalcanzable.

A mi hermana, Evelyn, quien más que mi hermana es mi amiga incondicional, gracias por cada palabra de aliento y de apoyo en los momentos difíciles.

Para ellos, mi familia lo más importante que tengo.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA .....	IV
RESUMEN .....	XIII
PRESENTACIÓN.....	XV
CAPÍTULO 1 .....	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1 OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	1
1.1.1 DIVISIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	3
1.1.2 PARÁMETROS TÉCNICOS ASOCIADOS A LA UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	4
1.1.3 TIPOS DE SERVICIOS .....	6
1.1.3.1 Servicios Primarios .....	6
1.1.3.2 Servicios Secundarios.....	6
1.1.4 REGULACIÓN DEL USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN ECUADOR .....	7
1.1.4.1 Plan Nacional de Frecuencias .....	7
1.1.4.2 Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales .....	8
1.1.4.2.1 Bandas de Frecuencia .....	9
1.1.4.2.2 Canalización de las bandas y grupos de los canales .....	9
1.1.4.2.3 Características Técnicas .....	11
1.1.5 DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DE CANALES DE TV ABIERTA EN EL ECUADOR.....	13
1.1.6 CONCESIÓN DE CANALES PARA EL DMQ EN LA BANDA DE VHF/UHF .....	14
1.2 RADIO COGNITIVA.....	14
1.2.1 PRINCIPIOS DE LA RADIO COGNITIVA Y FUNCIONAMIENTO ....	16
1.2.2 ARQUITECTURA DE RED DE RADIO COGNITIVA .....	21
1.2.2.1 .Arquitectura de Infraestructura.....	21

1.2.2.2	.Arquitectura Ad-hoc.....	22
1.2.2.3	Arquitectura tipo Malla.....	22
1.2.2.4	.Sistema Primario y Sistema de Radio Cognitiva.....	23
1.2.3	TÉCNICAS DE DETECCIÓN DEL ESPECTRO .....	24
1.2.3.1	.Detección de energía.....	25
1.2.3.2	.Detección de Filtro Adaptivo.....	25
1.2.3.3	Detección de Ciclo Estacionario.....	26
1.3	TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT) .....	27
1.3.1	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES .....	27
1.3.2	ESTÁNDARES DE TDT .....	28
1.3.2.1	.Estándar ISDB-T.....	29
1.3.2.1.1	Estándar ISDB-Tb .....	30
1.3.3	TRANSICIÓN DE LA TV ANALÓGICA A DIGITAL.....	33
1.4	TV WHITE SPACES .....	34
1.4.1	MÉTODOS DE ACCESO .....	35
1.4.1.1	Base de Datos con Geo- localización.....	35
1.4.1.2	.Señales Beacons.....	36
1.4.1.3	.Detección del espectro.....	36
1.4.2	ESTÁNDARES PARA EL USO DE TVWS .....	36
1.4.3	APLICACIONES DE LOS TVWS.....	37
1.5	PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.....	38
1.5.1	ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS EN EL DMQ .....	38
1.5.2	DEFINICIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO .....	39
1.5.3	ANTENAS .....	41
1.5.4	EMPLAZAMIENTOS .....	42
1.5.4.1	Transmisores.....	42
1.5.4.2	.Modelo de Propagación.....	44
CAPÍTULO 2.....		46
2.	METODOLOGÍA PROPUESTA .....	46
2.1	FASE DE DOCUMENTACIÓN.....	46
2.2	SOFTWARE DE PLANIFICACIÓN DE RED .....	47
2.3	VALIDACIÓN EN CAMPO DE LOS TVWS .....	48
2.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49

CAPÍTULO 3.....	50
3 SIMULACIÓN Y PRUEBAS DE CAMPO .....	50
3.1 SIMULACIÓN EN ICS DESIGNER .....	50
3.1.1 FUNDAMENTOS DEL SOFTWARE.....	50
3.1.2 CREACIÓN DE PROYECTOS .....	51
3.1.3 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO .....	52
3.1.3.1 .Barra de información.....	53
3.1.3.2 Barra Gráfica.....	54
3.1.3.3 .Barra de estado del sistema.....	55
3.1.4 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO .....	55
3.1.5 INICIALIZACIÓN DE PARÁMETROS.....	56
3.1.5.1 Configuración de los transmisores.....	56
3.1.6 PARÁMETROS ADICIONALES PREVIOS.....	61
3.1.6.1 Configuración del Modelo de Propagación.....	64
3.1.7 PROCESO DE SIMULACIÓN .....	65
3.1.8 REPRESENTACIÓN DE LAS COBERTURAS .....	68
3.1.9 CONFIGURACIÓN DE RECEPTORES.....	68
3.1.10 OBTENCIÓN DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO.....	71
3.2 PRUEBAS DE CAMPO.....	75
3.2.1 ESQUEMA DE MEDICIÓN.....	75
3.2.2 EQUIPO DE MEDICIÓN.....	76
3.2.2.1 Antena.....	76
3.2.2.2 .Analizador de Espectros.....	77
3.2.2.3 Otros Componentes.....	79
3.2.3 ESCENARIOS DE MEDIDA .....	80
3.2.4 PROCESO DE MEDICIÓN.....	82
CAPÍTULO 4 .....	85
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
4.1 UMBRAL DE DECISIÓN.....	85
4.2 ANÁLISIS DE LAS COBERTURAS .....	86
4.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS.....	93
CAPÍTULO 5.....	102

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	102
5.1 CONCLUSIONES .....	102
5.2 RECOMENDACIONES .....	104
6. ANEXOS.....	109
Anexo A. PLAN DE ASIGNACIÓN DE CANALES Y CONCESIÓN ESPECTRAL PARA TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA Y DIGITAL EN EL DMQ. ....	113
Anexo B. PATRONES DE RADIACIÓN DE LOS ARREGLOS DE ANTENAS E INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS TRANSMISORES DE TV ABIERTA QUE OPERAN EN EL DMQ. ....	117
Anexo C. REPRESENTACIÓN DE LAS COBERTURAS OBTENIDAS EN ICS DESIGNER. ....	132
Anexo D. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	133
Anexo E. FÓRMULAS DE CONVERSIÓN ENTRE VALORES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (dBuV/m) Y POTENCIA RECIBIDA (dBm). ....	135
Anexo F. REPORTES DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO RECIBIDO OBTENIDOS CON EL SOFTWARE ICS DESIGNER EN CADA UNA DE LAS PARROQUIAS Y GRÁFICAS OBTENIDAS DEL ANALIZADOR DE ESPECTRO.....	136
Anexo G. CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO EN FIEE-EPN, NONO, PERUCHO Y MEDICIÓN DE PÉRDIDAS EN EL CABLE UTILIZANDO UN ANALIZADOR VECTORIAL.....	137

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Mapa de las Regiones UIT.....	3
Figura 1.2	Ciclo Cognitivo .....	19
Figura 1.3	Representación de espacios espectrales y DSA.....	20
Figura 1.4	Arquitectura de Infraestructura .....	22
Figura 1.5	Arquitectura Ad-hoc .....	22
Figura 1.6	Arquitectura tipo Malla .....	23
Figura 1.7	Técnicas de detección del espectro .....	24
Figura 1.8	Esquema de variables que puede utilizar cada estándar de TDT.....	29
Figura 1.9	Parroquias rurales del DMQ.....	40
Figura 1.10	Límites geográficos del DMQ.....	40
Figura 1.11	Diagrama de radiación horizontal de un arreglo de dos paneles. ....	41
Figura 1.12	Antena tipo panel y su diagrama de radiación horizontal y vertical..	42
Figura 2.1	Metodología para la simulación y verificación de <i>White Spaces</i> en zonas rurales .....	46
<i>Figura 3.1</i>	<i>Ventana de Proyectos ICS Designer.....</i>	<i>51</i>
Figura 3.2	Mapas cargados en <i>ICS Designer.....</i>	52
Figura 3.3	Interfaz de usuario de <i>ICS Designer.....</i>	53
Figura 3.4	Barra de información de <i>ICS Designer.....</i>	53
Figura 3.5	Barra Gráfica de <i>ICS Designer.....</i>	54
Figura 3.6	Barra de estado del sistema de <i>ICS Designer.....</i>	55
Figura 3.7	Definición del área de trabajo en <i>ICS Designer.....</i>	55
Figura 3.8	Ingreso de parámetros técnicos de las estaciones de Tx/Rx.....	57
Figura 3.9	Configuración de parámetros pestaña Radiación.....	58
Figura 3.10	Ventana Patrón horizontal del arreglo de antenas CH 02.....	58
Figura 3.11	Configuración pestaña Emplazamiento de la venta Parámetros Tx/Rx.....	59
Figura 3.12	Configuración pestaña Avanzado en la ventana Parámetros Tx/Rx.....	60

Figura 3.13 Transmisores de TV abierta analógica que operan en el Cerro Pichincha. ....	61
Figura 3.14 Configuración del Factor de paso de malla o grid step. ....	62
Figura 3.15 Opciones de configuración del parámetro distancia límite. ....	63
Figura 3.16 Configuración del Modelo de Propagación en ICS Designer. ....	64
Figura 3.17 Ventana de configuración de parámetros de cobertura. ....	66
Figura 3.18 Cobertura del canal 2 de TV analógica correspondiente al DMQ en tres dimensiones (Google Earth). ....	67
Figura 3.19 Cobertura del canal 2 de TV analógica correspondiente al DMQ en dos dimensiones. ....	67
Figura 3.20 Configuración de Receptor en la ventana Parámetros DF. ....	69
Figura 3.21 Configuración pestaña Radiación de la ventana Parámetros DF. ....	70
Figura 3.22 Receptor configurado en ICS Designer. ....	70
Figura 3.23 Proceso Método 'Perfil a' ....	72
Figura 3.24 Ventana 'Perfil' desde el transmisor del CH 2 al receptor EPN. ....	72
Figura 3.25 Imagen ampliada de la información de la ventana 'Perfil'. ....	73
Figura 3.26 Método de 'Path Analysis - P2P' ....	73
Figura 3.27 Ventana de Parámetros para el método 'Path analysis – P2P' ....	74
Figura 3.28 Informe de niveles de intensidad de campo eléctrico recibido. ....	75
Figura 3.29 Esquema de medida ....	76
Figura 3.30 Antena Discono DX-D130. ....	77
Figura 3.31 <i>Anritsu Handheld Spectrum Analyzer MS2713E</i> ....	77
Figura 3.32 Pantalla General del modo Analizador de Espectros. ....	78
Figura 3.33 Vista superior del analizador de espectros Anritsu MS2713E. ....	79
Figura 3.34 GPS Garmin Nuvi 44. ....	79
Figura 4.1 Paleta de usuario para un umbral de recepción de 47 dBuV/m ....	86
Figura 4.2 Área de cobertura del canal 7, umbral de recepción de 56 dBuV/m (visto desde el sur oriente del DMQ). ....	87
Figura 4.3 Área de cobertura del canal 7, umbral de recepción de 10 dBuV/m (visto desde el sur oriente del DMQ). ....	87
Figura 4.4 Representación de los canales disponibles en el DMQ. ....	88
Figura 4.5 Perfil topográfico Cerro Atacazo – FIEE-EPN ....	94

Figura 4.6	Perfil topográfico Cerro Pichincha – FIEE-EPN.....	94
Figura 4.7	Valores de intensidad de campo eléctrico en el edificio de la FIEE-EPN. ....	95
Figura 4.8	Perfil topográfico Cerro Pichincha – Parroquia de Perucho.....	96
Figura 4.9	Mapa geográfico entre la Parroquia de Perucho y el Cerro Pichincha. ....	96
Figura 4.10	Valores medidos de intensidad de campo eléctrico en la parroquia de Perucho. ....	97
Figura 4.11	Perfil topográfico Cerro Pichincha – Parroquia de Nono.....	98
Figura 4.12	Mapa geográfico entre el Cerro Pichincha y la Parroquia de Nono.	98
Figura 4.13	Valores medidos de intensidad de campo eléctrico en la parroquia de Nono. ....	99
Figura 4.14	Comparación valores de intensidad de campo eléctrico en la FIEE-EPN. ....	100
Figura 4.15	Comparación valores de intensidad de campo eléctrico en la parroquia de Nono. ....	101
Figura 4.16	Comparación valores de intensidad de campo eléctrico en la parroquia de Perucho.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Bandas del espectro radioeléctrico .....	2
Tabla 1.2	Rangos de frecuencias por regiones . .....	4
Tabla 1.3	Bandas de frecuencia para TV abierta en VHF y UHF.....	9
Tabla 1.4	Canalización de las bandas de frecuencia y grupos de los canales en VHF. ....	9
Tabla 1.5.	Canalización de las bandas de frecuencia y grupos de los canales en UHF .....	10
Tabla 1.6	Intensidad de campo mínima a proteger.....	12
Tabla 1.7	Relación de Protección para la señal de imagen y de sonido. ....	13
Tabla 1.8	Detalle zona geográfica DMQ .....	14
Tabla 1.9	Ventajas y desventajas de los métodos de detección del espectro....	27
Tabla 1.10	Comparación principales estándares de TV digital - Parte 1 .....	31
Tabla 1.11	Comparación principales estándares de TV digital - Parte 2 .....	32
Tabla 1.12	Distribución de estándares de TDT en el mundo .....	32
Tabla 1.13	Fases del Apagón Analógico en el Ecuador .....	33
Tabla 1.14	Estaciones de Televisión en el DMQ. ....	39
Tabla 1.15	Ubicación geográfica de emplazamientos en el DMQ.....	42
Tabla 3.1	Ocupación de los canales de TV analógica en parroquias rurales del DMQ. ....	81
Tabla 3.2	Número de habitantes en el DMQ por parroquia. ....	82
Tabla 3.3	Mediciones de intensidad de campo eléctrico para TV abierta analógica. ....	84
Tabla 4.1	Resultados de la ocupación espectral banda 54 MHz a 686 MHz. ....	91

## RESUMEN

En la actualidad, debido a la asignación fija de frecuencias del espectro y al crecimiento de las tecnologías inalámbricas, cada vez se hace más difícil ubicar bandas de frecuencia libres para el despliegue de nuevos servicios o para mejorar los servicios existentes. Es por eso que las técnicas de acceso dinámico al espectro y el uso de tecnología de Radio Cognitiva se plantean como solución a esta escasez de espectro.

Estas técnicas pueden operar en los llamados espacios en blanco de televisión (TVWS, TV *White Spaces*); que son definidos como porciones del espectro en las bandas de VHF (muy alta frecuencia) y UHF (ultra alta frecuencia), que actualmente no se utilizan a pesar de que se ha hecho una asignación de bandas de frecuencia ó aquellas porciones que estarán disponibles en regiones geográficas específicas tras la migración de la televisión analógica a digital.

Esta porción del espectro ofrece características superiores de propagación, penetración en edificios, y una alta cobertura comparada con otras porciones del espectro en bandas de frecuencia alta.

En este sentido, el presente Proyecto de Titulación tiene como finalidad implementar una metodología para representar la ubicación de los *White Spaces* en la banda de televisión en áreas rurales del DMQ (Distrito Metropolitano de Quito) usando una herramienta de planificación de radiofrecuencia.

La metodología inicia con una fase de documentación de los parámetros necesarios para simular el entorno radioeléctrico actual en el DMQ. A continuación, se ingresan estos parámetros en el software ICS *Designer* para obtener las coberturas de los transmisores de televisión abierta analógica y posteriormente identificar los *White*

*Spaces* en las zonas rurales de estudio en base al umbral de decisión establecido para cada porción del espectro.

Finalmente, se utiliza un analizador de espectros para realizar la validación en campo de los *White Spaces* más extensos encontrados con el fin de comparar los valores simulados con los valores medidos, y en base a esto catalogar como zonas TVWS a aquellas en las que se evidencien valores de intensidad de campo eléctrico debajo del umbral.

Palabras clave: *White Spaces*, televisión analógica, UHF, VHF, espacios en blanco, zonas rurales, Distrito Metropolitano de Quito, espectro radioeléctrico.

## PRESENTACIÓN

En este proyecto se plantea una metodología para la localización de Tv *White Spaces* en zonas rurales del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), mediante el uso del software de planificación de red ICS DESIGNER.

Para cumplir con los objetivos que se plantearon en el presente proyecto, se establecieron cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo uno contempla los fundamentos teóricos, se analiza aspectos acerca de la ocupación del espectro radioeléctrico en el DMQ, aspectos básicos de la radio cognitiva, detalles fundamentales sobre la televisión digital terrestre, sus estándares, la transición de la televisión analógica a digital; además se analiza las características fundamentales acerca de los *White Spaces* que resultan luego de ese proceso y las potenciales aplicaciones que se pueden dar en el futuro. Además en este capítulo se incluye la recopilación de los datos que sirvieron para la simulación usando el software de planificación de radio.

Posteriormente en el capítulo dos se explica de forma general la metodología de este proyecto para simular la situación actual del espectro radioeléctrico y localizar los Tv *White Spaces* de cualquier tamaño usando una herramienta de planificación de radio, además se indica el proceso de validación en campo de los TVWS y el análisis de los resultados.

En el capítulo tres se hace un resumen de las características del software de planificación de radio que se utilizan en este proyecto y a continuación se ingresan todos los datos recopilados en el software ICS *Designer* para simular las condiciones actuales del espectro radioeléctrico en las zonas rurales de estudio y

posteriormente identificar los *White Spaces* en base al umbral de decisión establecido en cada porción del espectro.

Se presenta de igual manera las características básicas del analizador de espectros con el que se realiza las mediciones de campo en cada zona rural seleccionada en base a los *White Spaces* más extensos encontrados, y se detalla el proceso respectivo de medición.

Más adelante en el capítulo cuatro se hace un análisis de los resultados obtenidos tanto en el software de planificación de red como en las mediciones hechas con el analizador de espectros. Se analizó las coberturas de cada canal de televisión abierta analógica que se obtuvo de la simulación y con los valores de umbral establecidos se pudo determinar el número de canales disponibles en cada parroquia del DMQ. Posteriormente tomando en cuenta los canales concesionados y los ocupados se determinó de manera aproximada los porcentajes de espectro concesionado, utilizado y disponible en la zona de estudio.

Finalmente, las conclusiones que se obtienen tras analizar los resultados obtenidos se exponen en el capítulo cinco, junto con las recomendaciones que se den una vez concluidos los estudios de este proyecto.

# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el siguiente capítulo se analiza la ocupación del espectro radioeléctrico en el DMQ (Distrito Metropolitano de Quito) y se presentan características generales sobre la radio cognitiva, tecnología que permite hacer más eficiente el uso del espectro. Además se detallan aspectos sobre la televisión digital terrestre, sus estándares, la transición de la televisión analógica a digital, para posteriormente introducir el concepto de los TV *White Spaces* y sus potenciales aplicaciones a futuro. Como parte de este capítulo también se incluye la recopilación de los parámetros necesarios para la simulación en el software de planificación de radio *ICS Designer*.

### 1.1 OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El Espectro Radioeléctrico es un recurso natural, limitado, que puede ser medido y está constituido por un conjunto de ondas electromagnéticas<sup>1</sup> que se propagan por el espacio sin una guía artificial y están ordenadas de acuerdo a su frecuencia y longitud de onda. Por naturaleza todas las ondas electromagnéticas son iguales, pero los efectos que ocasionan no siempre son iguales, por lo tanto a cada grupo de ondas que presentan efectos similares se les asigna un nombre (ondas de radio AM, de TV, microondas, etc..) [1].

Así entonces, el espectro radioeléctrico constituye un medio por donde se propagan las ondas de radio y múltiples servicios de telecomunicaciones como: televisión, Internet, telefonía móvil, radio, en aplicaciones industriales, científicas o médicas; son administradas y reguladas por los gobiernos de cada país del mundo, los

---

<sup>1</sup> Una onda electromagnética se define como la variación simultánea de los campos eléctrico y magnético existentes en una misma región.

mismos que deciden que parte del espectro es usado para cada servicio pero siempre apegados a normativas internacionales [2].

En el Ecuador, la distribución del espectro radioeléctrico se basa en el Plan Nacional de Frecuencias y en la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales .

Según lo establece la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), el espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencia, designados en orden creciente y en números enteros de acuerdo con la Tabla 1.1, empezando desde la banda VLF (Very Low Frequency) debido a que a frecuencias menores la cantidad de información que se puede transmitir es demasiado limitada para muchas aplicaciones de radiocomunicación actuales [3].

**Tabla 1.1** Bandas del espectro radioeléctrico [3]

<b>N° banda</b>	<b>Símbolos ( inglés)</b>	<b>Gama de frecuencias (excluido límite inferior, incluido el superior)</b>	<b>Subdivisión métrica (Ondas)</b>
<b>4</b>	VLF	3 a 30 kHz	miriamétricas
<b>5</b>	LF	30 a 300 kHz	kilométricas
<b>6</b>	MF	300 a 3 000 kHz	hectométricas
<b>7</b>	HF	3 a 30 MHz	decamétricas
<b>8</b>	VHF	30 a 300 MHz	métricas
<b>9</b>	UHF	300 a 3 000 MHz	decimétricas
<b>10</b>	SHF	3 a 30 GHz	centimétricas
<b>11</b>	EHF	30 a 300 GHz	milimétricas
<b>12</b>		300 a 3 000 GHz	decimilimétricas

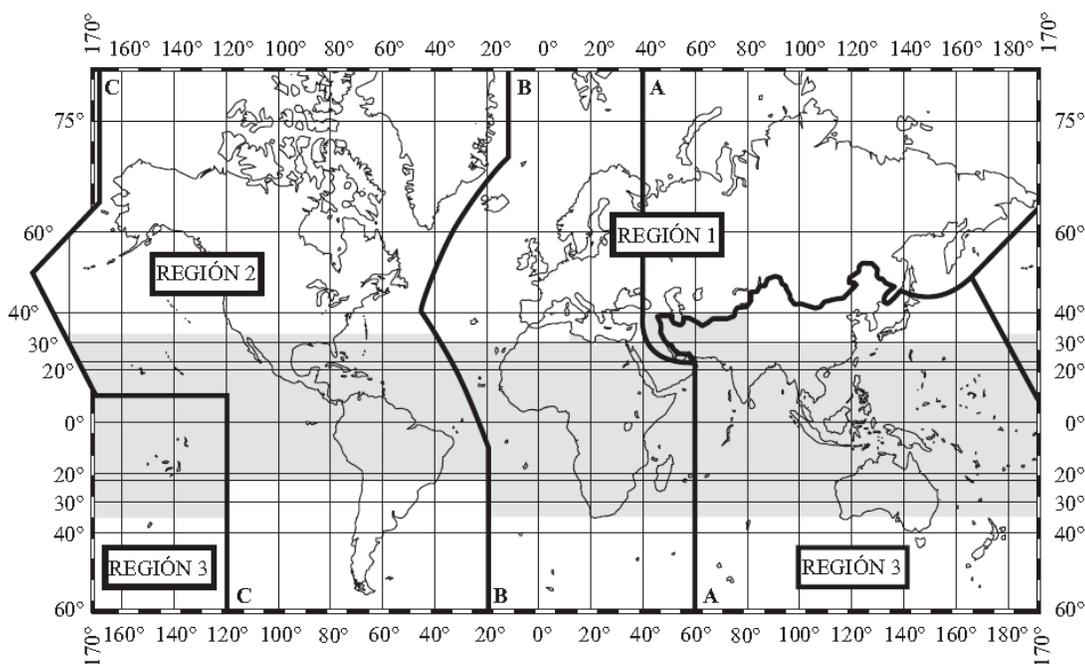
El espectro radioeléctrico presenta diferentes propiedades físicas y de propagación de acuerdo a la frecuencia. En este contexto se tiene que, a frecuencias altas (VHF, UHF y SHF) las señales no pueden viajar más allá del horizonte o atravesar grandes obstáculos debido a que estas no se reflejan en la atmósfera en la mayoría

de los casos, la propagación sigue una trayectoria rectilínea y requiere línea de vista directa entre emisor y receptor.

Por otro lado las señales a frecuencias bajas presentan menor atenuación, siguen la curvatura de la tierra sobrepasando obstáculos fácilmente, resultando así en una mayor cobertura del servicio que se preste [4].

### 1.1.1 DIVISIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Según lo establece la UIT, el mundo se lo ha dividido en tres regiones con el objetivo de planificar, atribuir y asignar las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico para que todos los países puedan compartir este recurso de forma adecuada y eficiente. Así, la distribución de frecuencias es similar para los diferentes servicios y usos en los países que integran una misma región.



**Figura 1.1** Mapa de las Regiones UIT [2]

Como se observa el mapa de la Figura 1.1, el Ecuador se encuentra ubicado en la Región 2 junto con el resto de América. Las líneas de límite de las tres regiones no se trazan directamente desde el Polo Norte hasta el Polo Sur en forma vertical, sino que son líneas irregulares que hacen recorridos en determinadas intersecciones o

cruces entre meridianos y paralelos y que limitan zonas donde se han definido similares asignaciones de frecuencia para diversos servicios de telecomunicaciones para así evitar interferencias en zonas de frontera.

La Tabla 1.2 permite corroborar lo mencionado en párrafos anteriores acerca de los diferentes rangos de frecuencias en cada banda (I,II,III,IV,V) y en cada región del mundo con respecto a las bandas VHF/UHF.

**Tabla 1.2** Rangos de frecuencias por regiones [5]

Designación	Gama de Frecuencias en Radiodifusión Sonora y Televisión (MHz)		
	Región 1	Región 2	Región 3
I	47-68	54 – 68	47-68
II	87,5 – 108	88 – 108	87,5 – 108
III	174 – 230	174 -216	174 – 230
IV	470 – 582	470 – 582	470 – 582
V	582 - 960	582 – 890	582 – 960
VI	12 GHz (Radiodifusión por satélite)		

### 1.1.2 PARÁMETROS TÉCNICOS ASOCIADOS A LA UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

➤ **Frecuencia:**

Se define como el número de oscilaciones completas de una función periódica por unidad de tiempo. La unidad correspondiente a un ciclo por segundo, Hertz (Hz), en el Sistema Internacional de Unidades.

➤ **Propagación:**

La capacidad para propagarse por el espacio sin necesidad de una guía artificial, constituye una de las características principales del espectro radioeléctrico. La distancia de propagación depende de parámetros técnicos de potencia y frecuencia, cada una con su propio valor de atenuación considerando si se trabaja con altos o bajos valores.

➤ **Capacidad de transmisión:**

La capacidad de transmisión es la cantidad de información que se puede transmitir en cada banda de frecuencia de manera independiente, es así que las bandas de frecuencia inferiores están limitadas a unos pocos kHz y en consecuencia su capacidad es menor. Por otra parte a frecuencias altas, el rango de transmisión es mucho mayor debido a que existe un rango del espectro altamente utilizable de varios MHz de ancho de banda [6].

➤ **Ancho de banda:**

El ancho de banda especifica la cantidad de información que se puede transmitir, a una velocidad y calidad requerida.

➤ **Potencia:**

La potencia es uno de los parámetros técnicos más importantes en equipos y dispositivos de telecomunicaciones que emiten señales radioeléctricas. En equipos transmisores que trabajan a frecuencias bajas son mayores los niveles de potencia, mientras que en equipos de frecuencias altas son menores las potencias requeridas.

➤ **Interferencias:**

Con respecto a este parámetro, lo importante es determinar el grado de interferencia, cuánto se degrada la calidad o que cantidad de información se pierde. Se identifican dos tipos de interferencias en el receptor:

- a) **Interferencia dentro de banda.-** existe cuando señales de un sistema de transmisión diferente caen dentro de la banda de frecuencias en las que trabaja el receptor. Este tipo de interferencias pasarán a través del filtro del receptor y si la amplitud de interferencia es grande respecto a la señal deseada esta se verá afectada.
- b) **Interferencia fuera de banda.-** es ocasionada generalmente por señales de bandas adyacentes que no son eliminadas por los filtros del receptor. Se contrarresta utilizando filtros a la entrada del receptor o a la salida del transmisor.

Una solución preventiva contra las interferencias es el uso de bandas de guarda entre transmisores, para evitar interferencia en sistemas que operan en bandas de frecuencia cercanas [7].

### **1.1.3 TIPOS DE SERVICIOS**

Según lo señala la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) en el Plan Nacional de Frecuencias [2], basándose en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT [3], los servicios son clasificados en dos categorías (Servicios Primarios y Servicios Secundarios). Cada categoría tiene asignada una determinada banda de frecuencia de acuerdo al tipo de servicio, ya sea a todo el mundo o en una Región específica.

#### **1.1.3.1 Servicios Primarios**

Los Servicios Primarios son denominados también servicios “FIJOS”, en el cuadro de atribución de bandas de frecuencia. Son servicios que tienen asignada una banda de frecuencia y una prioridad sobre los demás servicios. Además son protegidos de las interferencias que pueden causar los servicios secundarios sobre estos.

#### **1.1.3.2 Servicios Secundarios**

Los Servicios Secundarios son denominados también servicios “MÓVILES” o servicios a “título secundario”, en el cuadro de atribución de bandas de frecuencia. Son servicios de segundo orden que de igual forma tienen asignado un rango de frecuencias.

Estaciones de un servicio secundario no deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario, no pueden reclamar protección contra este tipo de interferencias causadas por estaciones de servicios primarios, ni tienen derecho a la protección contra interferencias.

#### **1.1.4 REGULACIÓN DEL USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN ECUADOR**

Regular el uso del espectro radioeléctrico con normativas minimiza los conflictos que podrían darse entre los usos y los servicios dentro de una misma banda de frecuencia, debido a que no todas las frecuencias tienen las mismas capacidades de cobertura y se comportan diferente frente al ruido y la interferencia, lo que hace que algunas frecuencias o bandas de frecuencia sean más solicitadas para determinados negocios que otras.

Los diferentes estados de gobierno de los países son los encargados de elaborar y establecer las políticas de utilización, reglamentación y control del uso del espectro a nivel nacional [8]. En Ecuador, el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), a través de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), es la encargada del ordenamiento del espectro. Para ello se cuenta con el Plan Nacional de Frecuencias y la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales. A continuación se detallan algunos aspectos fundamentales de estos reglamentos.

##### **1.1.4.1 Plan Nacional de Frecuencias**

El Plan Nacional de Frecuencias (PNF) [2], es un documento referencial para el desarrollo del país, que expresa la soberanía del Estado con respecto a la administración del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicaciones, y permite al organismo regulador de las telecomunicaciones una gestión adecuada y eficiente del espectro radioeléctrico. Además asegura la prevención de interferencias perjudiciales entre los distintos servicios y establece la distribución del espectro radioeléctrico del país, así como los mecanismos para implementar nuevos servicios y tecnologías.

Representa un documento puramente técnico y dinámico, que está sujeto a cambios y revisiones frecuentes tanto de tecnología como evolución de servicios de acuerdo a las necesidades nacionales, introducción de nuevas tecnologías y cambios en la regulación internacional.

El espectro radioeléctrico es considerado como un recurso estratégico, en ese marco el PNF facilita el acceso en condiciones iguales y un óptimo uso, para con ello garantizar la disponibilidad de servicios de radiocomunicaciones fijos y móviles, terrestres, espaciales, marítimos y aeronáuticos, además de los servicios integrados que serán resultado de la convergencia tecnológica.

Para la adjudicación de bandas y asignaciones de frecuencias, a partir del PNF se establecen los siguientes estatutos:

- a) Determinar las prioridades de las bandas del espectro radioeléctrico en función de los diferentes servicios radioeléctricos.
- b) Reservar bandas, sub-bandas y frecuencias del espectro radioeléctrico para uso privativo, compartido y experimental.
- c) Compartición de frecuencias.

#### **1.1.4.2 Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales**

La Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales [9], es un documento como su nombre lo indica que es netamente técnico en donde se establecen las bandas de frecuencias y las condiciones técnicas para la distribución y asignación de canales y para la operación de las estaciones en el servicio de televisión analógica en el territorio ecuatoriano.

Establece el marco técnico que permita la asignación de canales en el espacio del territorio del Ecuador minimizando en lo posible las interferencias, para con ello facilitar la operación de las estaciones de TV abierta analógica, y de tal manera que se optimice el uso del espectro radioeléctrico de conformidad con la Constitución Nacional, la normativa vigente, las recomendaciones de la UIT y la realidad nacional.

Adicionalmente establece la formulación de planes para la asignación de canales y reordenamiento del espectro radioeléctrico, que sean coherentes y consecuentes con la norma técnica y sus anexos.

#### 1.1.4.2.1 Bandas de Frecuencia

Se establecen las siguientes bandas de frecuencia para el servicio de radiodifusión de televisión abierta para VHF y UHF, según la Tabla 1.3:

**Tabla 1.3** Bandas de frecuencia para TV abierta en VHF y UHF [9].

VHF	
<b>BANDA I</b>	de 54 a 72 MHz y de 76 a 88 MHz
<b>BANDA III</b>	de 174 a 216 MHz
UHF	
<b>BANDA IV</b>	de 470 a 482 MHz , 512 a 608 MHz y de 614 a 644 MHz
<b>BANDA V</b>	de 644 a 698 MHz

#### 1.1.4.2.2 Canalización de las bandas y grupos de los canales

Para el territorio nacional según lo establece la norma, las bandas de frecuencia I, III, IV y V, se dividen en 42 canales de 6 MHz de ancho de banda cada uno y se definen ocho grupos para distribución y asignación de canales como muestra la Tabla.1.4 y la Tabla 1.5:

**Tabla 1.4** Canalización de las bandas de frecuencia y grupos de los canales en VHF [9]

	Bandas de Frecuencia	Grupo	Canal	Rango de Frecuencias (MHz)	Portadora de video (MHz)	Portadora de audio (MHz)
VHF	I (54-72 MHz)	A1	2	54-60	55,25	59,75
		A2	3	60-66	62,25	65,75
		A1	4	66-72	67,25	71,75
	I (76-88 MHz)	A1	5	76-82	77,25	81,75
		A2	6	82-88	83,25	87,75
	III (174-216 MHz)	B2	7	174-180	175,25	179,75
		B1	8	180-186	181,25	185,75
		B2	9	186-192	187,25	191,75
		B1	10	192-198	193,25	197,75
		B2	11	198-204	199,25	203,75
		B1	12	204-210	205,25	209,75
		B2	13	210-216	211,25	215,75

**Tabla 1.5.** Canalización de las bandas de frecuencia y grupos de los canales en UHF [9]

	<b>Bandas de Frecuencia</b>	<b>Grupo</b>	<b>Canal</b>	<b>Rango de Frecuencias (MHz)</b>	<b>Portadora de video (MHz)</b>	<b>Portadora de audio (MHz)</b>
<b>UHF</b>	<b>IV (470 -482 MHz)</b>	G1	14	470-476	471,25	475,75
		G2	15	476-482	477,25	481,75
	<b>IV (512 -608 MHz)</b>	G1	21	512-518	513,25	517,75
		G2	22	518-524	519,25	523,75
		G1	23	534-530	525,25	529,75
		G2	24	530-536	531,25	535,75
		G1	25	536-542	537,25	541,75
		G2	26	542-548	543,25	547,75
		G1	27	548-554	549,25	553,75
		G2	28	554-560	555,25	559,75
		G1	29	560-566	561,25	565,75
		G2	30	566-572	567,25	571,75
		G1	31	572-678	573,25	577,75
		G2	32	578-584	579,25	583,75
		G1	33	584-590	585,25	589,75
		G2	34	590-596	591,25	595,75
		G1	35	596-602	597,25	601,75
		G2	36	602-608	603,25	607,75
	<b>IV (614 -644 MHz)</b>	G4	38	614-620	615,25	619,75
		G3	39	620-626	621,25	625,75
		G4	40	626-632	627,25	631,75
		G3	41	632-638	633,25	637,75
		G4	42	638-644	639,25	643,75
	<b>V (644 -698 MHz)</b>	G3	43	644-650	645,25	649,75
		G4	44	650-656	651,25	655,75
		G3	45	656-662	657,25	661,75
		G4	46	662-668	663,25	667,75
		G3	47	668-674	669,25	673,75
		G4	48	674-680	675,25	679,75
		G3	49	680-686	681,25	685,75
G4		50	686-692	687,25	691,75	
G3		51	692-698	693,25	697,75	

### 1.1.4.2.3 Características Técnicas

➤ **Área de cobertura:**

a) **Principal** .- corresponde al área de las ciudades o poblaciones a las que se les da el servicio y deben tener una intensidad de campo igual o mayor a la intensidad de campo mínima a proteger que se detalla en la Tabla 1.6.

b) **Secundaria**.- corresponde al área de los alrededores de las ciudades a las que se les da el servicio de cobertura principal y deberá tener una intensidad de campo entre los valores correspondientes a los bordes del área de cobertura principal y secundaria definida en la Tabla 1.5.

➤ **Parámetros técnicos:** Con respecto a una estación de radiodifusión de TV abierta, sus parámetros técnicos de instalación y sus emisiones deben estar de acuerdo con la norma actual y observar lo siguientes aspectos:

a) Estándar de transmisión: Para dar el servicio de TV analógica se establece el sistema M/NTSC<sup>2</sup> de 525 líneas, con características técnicas establecidas por la UIT y la FCC<sup>3</sup>.

b) Ancho de banda: debe ser de 6MHz

c) Potencia de operación: representa la potencia de salida del equipo transmisor en vatios (watts) que se suministra al sistema radiante.

d) Potencia efectiva radiada (P.E.R): será la necesaria para garantizar los niveles de intensidad de campo establecidos en la Tabla 1.5 y está determinada sobre la siguiente relación matemática:

---

<sup>2</sup> M/NTSC - *National Television System Committee*, sistema de difusión M, sistema de televisión analógico usado en la mayor parte de América, ciertos países de Sudamérica, Japón entre otros.

<sup>3</sup> FCC- *Federal Communications Commission* es la organización encargada de regular los servicios de telecomunicaciones sean estos interestatales e internacionales por radio, teléfono, satélite, redes inalámbricas y cable. Además otorga licencias, asigna frecuencias.

$$P.E.R(kW) = P_T(kW)10^{\left[\frac{G(dBd)-P\u00e9rdidas(dB)}{10}\right]} \quad (1.1)$$

Donde:

$P_T(kW)$ = potencia de salida del transmisor

$G(dBd)$ = ganancia del arreglo (sistema radiante)

$P\u00e9rdidas(dB)$ = l\u00edneas de transmisi\u00f3n, conectores, etc

- **Intensidad de campo m\u00ednima a proteger.**- Representa el valor m\u00ednimo de la intensidad de campo que permite obtener una determinada calidad de recepci\u00f3n, en condiciones de ruidos naturales y artificiales especificadas en la recomendaci\u00f3n UIT-R P.372 [10], sin tomar en cuenta interferencias debidas a otros transmisores.

En la siguiente tabla se presentan los valores de intensidad de campo el\u00e9ctrico, medidos a un nivel de 10 metros sobre el nivel del suelo, que ser\u00e1n protegidos en los bordes de las \u00e1reas de cobertura:

**Tabla 1.6** Intensidad de campo m\u00ednima a proteger [9]

Banda	Borde de \u00e1rea de cobertura secundaria	Borde de \u00e1rea de cobertura principal
I	47 dBuV/m <sup>4</sup>	68 dBuV/m
III	56 dBuV/m	71 dBuV/m
IV y V	64 dBuV/m	74 dBuV/m

- **Relaci\u00f3n de Protecci\u00f3n Se\u00f1al Deseada / Se\u00f1al No Deseada .-** Dentro de las \u00e1rea de cobertura correspondiente a una estaci\u00f3n, se debe proteger los valores de se\u00f1al deseada contra se\u00f1ales no deseadas en la entrada del receptor.

Entre los valores a ser considerados est\u00e1n, la amplitud de la se\u00f1al modulada que contiene la imagen (modulaci\u00f3n en amplitud), la misma que representa el valor eficaz de la portadora de la se\u00f1al de televisi\u00f3n en la cresta de la

---

<sup>4</sup> dBuV/m es la unidad de campo, definida en decibelios por encima de un microvoltio por metro.

envolvente de modulación, y la amplitud de la señal modulada que contiene el sonido (modulación en frecuencia), que representa el valor eficaz de la portadora no modulada [11].

**Tabla 1.7** Relación de Protección para la señal de imagen y de sonido [9]

<b>RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA LA SEÑAL DE IMAGEN</b>	
<b>Interferencia Co-canal</b>	
<b>Separación entre Portadoras</b>	<b>Relación señal deseada / señal interferente</b>
Inferior a 1000Hz	45dB
1/3, 2/3, 4/3, ó 5/3 de la frecuencia de línea	28dB
<b>Interferencia de Canales Adyacentes</b>	
<b>Interferencia</b>	<b>Relación señal deseada / señal interferente</b>
Del canal inferior	- 6 dB
Del canal superior	- 12 dB
<b>RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA LA SEÑAL DE SONIDO</b>	
Relación señal deseada / señal interferente	
28 dB	

La frecuencia de línea que se menciona en la Tabla 1.7, se refiere a la cantidad de líneas por segundo que son transmitidas. En el caso de Ecuador se tienen 525 líneas por imagen con una frecuencia de línea de 15750 Hz para el sistema NTFS de televisión analógica.

### **1.1.5 DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DE CANALES DE TV ABIERTA EN EL ECUADOR**

La distribución de canales se realiza de acuerdo a las áreas de operación independiente a las áreas a las que les corresponde un grupo de canales para la operación de estaciones, de tal forma que se minimice la interferencia co-canal y canal adyacente. La asignación de canales por su parte, establece en el territorio ecuatoriano zonas geográficas con determinados grupos de canales y se desarrollará de acuerdo al grupo establecido en cada área de operación independiente, como se detalla en la tabla adjunta en el Anexo A.

El área de cobertura que representa la operación autorizada, constará en el contrato de concesión. El concesionario podrá ampliar esta área de cobertura dentro de la zona geográfica utilizando las frecuencias disponibles que correspondan a esa zona previo a una autorización del organismo regulador.

El DMQ, zona en donde se va a llevar a cabo el proyecto, se encuentra en la zona geográfica P, con los grupos A1 y B1 en la banda VHF y G1 y G4 en la banda UHF tal como se muestra con más detalle en la Tabla 1.8.

**Tabla 1.8** Detalle zona geográfica DMQ [12]

ZONA GEOGRÁFICA	BANDA	GRUPOS	CANALES
Zona P (Provincia de Pichincha)	VHF	A1	2,4,5
		B1	8,10,12
	UHF	G1	14,21,23,25,27,29,31,33,35
		G4	38,40,42,44,46,48,50

### 1.1.6 CONCESIÓN DE CANALES PARA EL DMQ EN LA BANDA DE VHF/UHF

Según los datos estadísticos publicados hasta el mes de marzo del 2017 por la ARCOTEL son 33 las estaciones concesionadas de TV abierta (incluyendo estaciones de tipo Comercial Privada, Servicio Público y Servicio Público Comunitario), y 10 las estaciones concesionadas para Televisión Digital Terrestre (TDT) (incluyendo estaciones de tipo Comercial Privada y Servicio Público), en lo que respecta al territorio del DMQ de la Provincia de Pichincha [13], como se indica con más detalle en el Anexo A.

## 1.2 RADIO COGNITIVA

Las redes de datos son un componente vital hoy en día en las sociedades modernas y son usadas en numerosas aplicaciones, incluyendo transacciones financieras, interacciones sociales, educación, seguridad nacional y comercio. Debido a los nuevos servicios que ofrecen las tecnologías de la información, la demanda de ancho de banda es cada vez mayor y con ello la utilización del espectro radioeléctrico se ha incrementado de forma abrupta.

Al considerarse este un recurso limitado ha sido necesario optar por mecanismos que permitan utilizarlo de una manera más eficiente, es por eso que surge el uso de tecnologías basadas Radio Cognitiva, la cual posee la habilidad de compartir un canal inalámbrico permitiendo a usuarios no licenciados acceder a bandas licenciadas de manera oportunista o mediante un Acceso Dinámico al Espectro (DSA<sup>5</sup>) [14].

Los dispositivos alámbricos e inalámbricos han sido capaces de desarrollar y soportar avanzadas funciones y con la rápida evolución de la microelectrónica, los *transceivers* han llegado a ser más versátiles, potentes y portables. Esto ha permitido el desarrollo de la tecnología de software definida por radio (SDR), en donde los radio *transceivers* ejecutan el procesamiento en banda base completamente en software: modulación/ demodulación, codificación para la corrección de errores, y compresión.

Una plataforma SDR que puede rápidamente reconfigurar sus parámetros de operación basados en los cambios de los requerimientos y condiciones, a través de un proceso cognitivo es llamada Radio Cognitiva (CR). El término fue definido por primera vez por Joseph Mitola II en los años 90, el cual menciona que la tecnología de CR es “la intersección de tecnología inalámbrica personal y una inteligencia computacional”, donde CR es definida como “ una radio realmente inteligente que puede tener conocimientos de sí misma, de los parámetros de radio frecuencia, y sobre el usuario, además puede incluir tecnología de lenguaje y una perspectiva de máquina junto con una gran cantidad de conocimientos de alta fidelidad del entorno de radio” [15].

Expresando de una manera más sencilla, la Radio Cognitiva es una tecnología que permite que el transmisor/receptor se adapte al entorno, mediante el conocimiento y aprendizaje de experiencias previas de su medio ambiente (espectro radioeléctrico) para así ser mucho más eficiente [16]. La FCC define formalmente

---

<sup>5</sup> DSA - *Dynamic spectrum access* es un término que define técnicas empleadas para el acceso al espectro bajo condiciones específicas dependientes de la arquitectura de la red, entre otros requerimientos.

la CR como una radio que puede cambiar sus parámetros del transmisor basándose en la interacción con su entorno en el cual ésta opera [17].

### 1.2.1 PRINCIPIOS DE LA RADIO COGNITIVA Y FUNCIONAMIENTO

La CR debe ser capaz de detectar el espectro no utilizado , y crear un canal de comunicación para poder utilizar ese espectro de tal manera que no interfiera con dispositivos de usuarios primarios licenciados autorizados para utilizar el recurso.

Las siguientes son las principales características de las funciones de gestión del espectro [18]:

- **Detección del espectro.**- La detección del espectro es una de las funcionalidades básicas de las redes CR. Un usuario de CR, debe ocupar solo una porción del espectro es así que, este debe detectar las bandas del espectro en busca de espacios disponibles.
- **Decisión del espectro.**- Una vez que los espacios espectrales disponibles son detectados, es esencial que los usuarios CR seleccionen la banda más apropiada de acuerdo a sus requerimientos de calidad de servicio (QoS).
- **Compartición del espectro.**- Ya que es posible que múltiples usuarios de CR intenten acceder al espectro, sus transmisiones deben ser coordinadas para prevenir colisiones en porciones solapadas del espectro. Esta característica provee la habilidad de compartir el espectro de manera oportunista con múltiples usuarios CR incluyendo la adecuada distribución para evitar la interferencia causada por la red primaria.
- **Movilidad del espectro.**- Si un Usuario Primario es detectado en una porción del espectro en uso, los usuarios CR deben salir de esa porción inmediatamente y continuar su comunicación en otra porción que este vacante del espectro.

Es por esto que, la movilidad espectral necesita un esquema de *handoff* que permita detectar el enlace ocupado e intercambie la transmisión actual hacia una

nueva ruta o una nueva banda de frecuencia con una degradación mínima, todo esto se maneja conjunto con operaciones de cooperación entre dispositivos vecinos.

La radio cognitiva es la tecnología clave que permite a una red de radio cognitiva (CRN) utilizar el espectro de una manera dinámica. Para conseguir las características flexibles de operación requeridas para DSA, la radio definida por software debe ser empleada en la CR, en lugar de los dispositivos de circuitos integrados de aplicaciones basadas en hardware (ASIC<sup>6</sup>) como se tiene en las radios convencionales.

Como se había mencionado párrafos anteriores una CR es una SDR que adicionalmente analiza el ambiente en el que se encuentra, registra los cambios, y reacciona tras sus descubrimientos. Una CR es una unidad independiente en determinado ambiente de comunicaciones que con frecuencia intercambia información con las redes que esta tiene acceso así como también con otras CRs.

La SDR puede ser clasificada de acuerdo a su área de operación, puede ser:

- **Sistema multi-banda.**- Soporta más de una banda de frecuencia.
- **Sistema multi-estandar.**- Soporta más de un estándar y puede trabajar bajo una familia de estándar o entre diferentes redes.
- **Sistema multi-servicio.**- Provee diferentes servicios como voz, video streaming, etc.
- **Sistema multicanal.**- Soporta dos o más canales independientes de transmisión y recepción al mismo tiempo.
- **Sistema multi-modo.**- Es una combinación dos sistemas, multibanda y multiestandar [19].

---

<sup>6</sup> Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas, representa un circuito integrado que no se lo puede usar de manera general, sino que fue fabricado y diseñado para un uso en particular.

Uno de los objetivos principales de la radio cognitiva es obtener el mejor espacio del espectro disponible a través de dos ejes: la capacidad cognitiva y la reconfiguración que se presentan con más detalle a continuación:

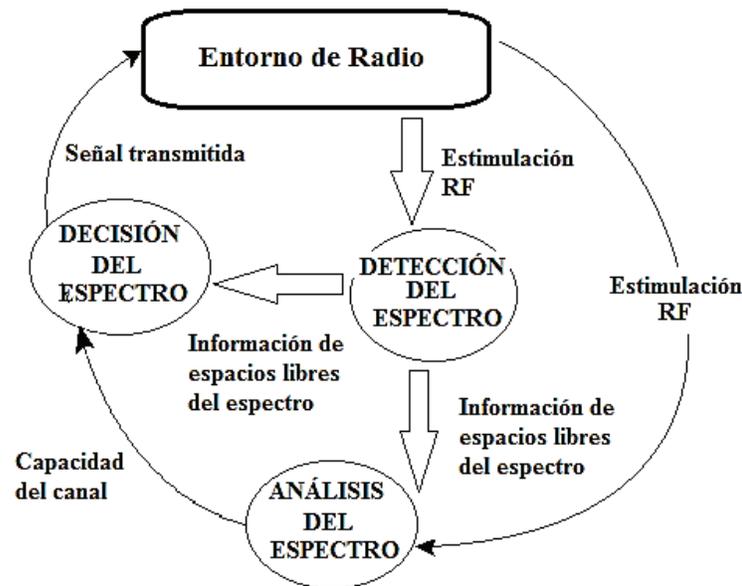
- **Capacidad cognitiva:** Se refiere a la habilidad de la tecnología de radio de capturar la información desde su entorno de radio, y que no solo puede ser realizada monitoreando la potencia en algunas bandas de frecuencia sino que se requiere de técnicas más sofisticadas para capturar las variaciones temporales y espaciales en el entorno de radio y con ello evitar interferencia a otros usuarios. A través de esta capacidad, pueden ser identificadas las porciones del espectro con mejores características que están libres en determinado tiempo o lugar y además pueden ser seleccionados los parámetros más apropiados de operación [18].

Dichas porciones del espectro a las que se refiere son llamadas también espacios espectrales, los mismos que se clasifican de la siguiente manera:

- a) **Espacios negros.-** Son aquellos que poseen interferencias de alta potencia en cierto tiempo y deben ser evitados siempre, cuando los emisores RF que trabajen en dicha banda estén encendidos.
- b) **Espacios grises.-** Son aquellos ocupados parcialmente por interferencias de baja potencia.
- c) **Espacios blancos.-** Son aquellos que están libres de interferencias RF excepto en ambientes de ruido, formados de forma natural o artificial [19].

La radio cognitiva permite el uso del espectro temporal no utilizado, el cual se refiere a un espacio espectral o un espacio en blanco (*white space*). Si una banda va ser usada por un usuario licenciado, la CR se mueve hacia otro espacio espectral o se mantiene en la misma banda, modificando su nivel de potencia de transmisión o su esquema de modulación para evitar la interferencia. Todo este proceso se lo llama ciclo cognitivo y sigue tres tareas fundamentales que son: el detección del espectro, el análisis del espectro y la decisión del espectro [20], las cuales se ilustran en la Figura 1.2 y son detalladas a continuación:

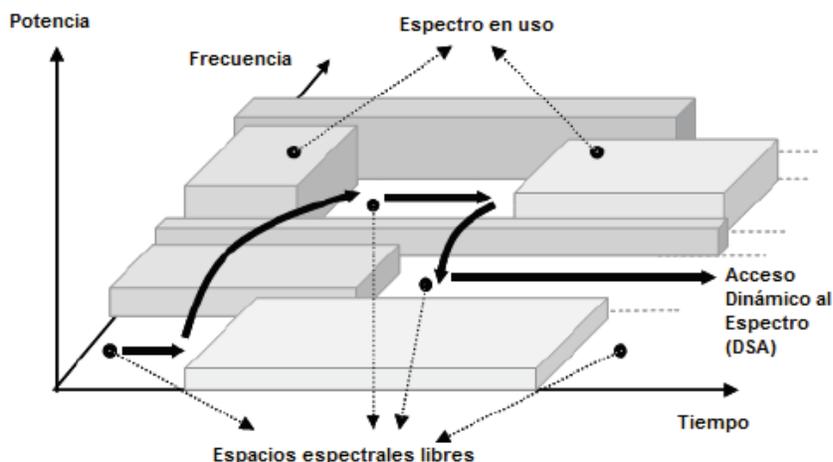
- **Detección del espectro.**- Detecta las porciones libres y ocupadas del espectro además de los usuarios primarios que están operando en dichas bandas.
- **Análisis del espectro.**- Incluye la estimación de la información del estado del canal y la predicción de la capacidad del mismo que va ser usado por el transmisor.
- **Decisión del espectro.**- una radio cognitiva determina varios parámetros entre los cuales están la tasa de datos, el modo de transmisión, y el ancho de banda. En esta parte la banda adecuada del espectro que es elegida se basa en las características del espectro y en los requerimientos del usuario



**Figura 1.2** Ciclo Cognitivo [20]

- **Estimulación RF:** Se denomina a todas las señales que se están transmitiendo por el espectro, las cuales la CR va a detectar y analizar para tomar una decisión.
- **Reconfiguración:** La capacidad cognitiva provee conocimiento espectral mientras que la reconfiguración es la capacidad de ajustar los parámetros de operación para la transmisión eficientemente sin modificaciones en los componentes de hardware. Esta capacidad permite que la radio se adapte dinámicamente de acuerdo al entorno de radio, para transmitir y recibir en una variedad de frecuencias y usar diferentes tecnologías de acceso de transmisión

soportadas por su diseño de hardware. Debido a que el espectro ya se encuentra asignado, el principal reto es compartir el espectro licenciado sin interferir con la transmisión de otros usuarios licenciados como se muestra en la Figura 1.3.



**Figura 1.3** Representación de espacios espectrales y DSA [20]

Existen algunos parámetros reconfigurables que pueden ser incorporados en la radio cognitiva como se explica a continuación:

- **Frecuencia de operación.**- una CR es capaz de cambiar su frecuencia de operación, basada en la información del entorno de radio se elige la frecuencia más adecuada para que la comunicación se pueda dar de la forma más óptima.
- **Modulación.**- una CR debe reconfigurar su esquema de modulación adaptado a los requerimientos del usuario y de las condiciones del canal.
- **Potencia de transmisión.**- el control de potencia permite una configuración dinámica de la potencia de transmisión dentro de los límites permisibles de potencia. Si una potencia alta de operación no es necesaria, la CR reduce la potencia de transmisión a un nivel más bajo para permitir a otros usuarios compartir el espectro y reducir la interferencia.
- **Tecnología de comunicación.**- la CR puede también ser usada para proveer interoperabilidad entre diferentes sistemas de comunicaciones.

Los parámetros de transmisión de una CR puede ser reconfigurados al inicio de la transmisión, durante la transmisión y cuando la CR se cambie a una banda diferente de frecuencia considerando siempre las características del espectro.

## **1.2.2 ARQUITECTURA DE RED DE RADIO COGNITIVA**

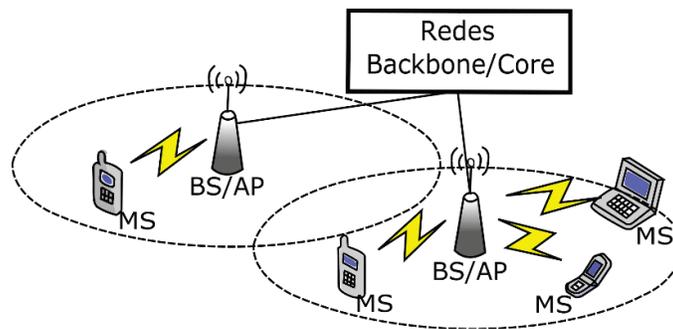
Una radio cognitiva en una red de radio cognitiva(CRN) puede detectar redes disponibles y sistemas de comunicaciones a su alrededor. Una CRN no es solo una red que interconecta radio cognitivas sino que además está compuesta de varios tipos de sistemas de comunicaciones y redes, y el objetivo de su diseño no solo tiene que ver con la eficiencia espectral sino con mejorar en si la utilización de la red entera. Desde el punto de vista del usuario significa que él puede satisfacer sus demandas en donde sea y cuando sea a través del acceso a las CRNs; por otra parte desde el punto de vista del operador, significa que es posible proveer mejores servicios a los usuarios móviles y almacenar recursos de radio y de red para entregar los datos de una forma más eficiente.

Las redes de radio cognitiva (CRN), pueden ser implementadas en arquitecturas de redes centrales, distribuidas, ad hoc, tipo malla, y dar servicio a las necesidades de aplicaciones licenciadas y no licenciadas.

Los componentes básicos de las CRNs son: estación móvil (MS), estación base/punto de acceso (BSs/APs) y redes *backbone/core*. Estos componentes pueden formar tres tipos de arquitecturas de red en las CRNs: Infraestructura, Ad-hoc y malla [21].

### **1.2.2.1 Arquitectura de Infraestructura**

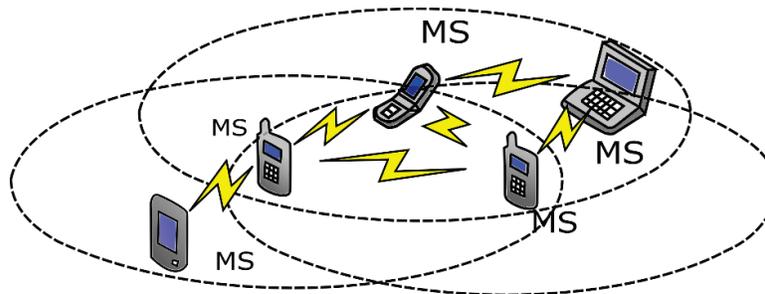
En este tipo de arquitectura, una MS puede solo acceder a la BS/AP de un solo salto o con un solo enlace, para comunicarse con otras celdas debe ser ruteada a través de una red de *backbone/core*, y para comunicarse con los demás en su celda lo hace usando la BS/AP, la cual es capaz de ejecutar uno o más estándares/protocolos para satisfacer las demandas de las MS como se puede ver en la Figura 1.4.



**Figura 1.4** Arquitectura de Infraestructura [21]

### 1.2.2.2 Arquitectura Ad-hoc

En este tipo de arquitectura ilustrada en la Figura 1.5 no está definido un soporte de infraestructura. Cuando una MS reconoce que a su alrededor existen algunas otras MSs, estas se conectan a través de un estándar/protocolo de comunicación, establecen enlaces y de esta manera forman una red ad-hoc. Dos terminales de radio cognitiva pueden comunicarse con los demás usando protocolos de comunicación existentes ( Wifi, Bluetooth) o dinámicamente usando espacios libres del espectro.

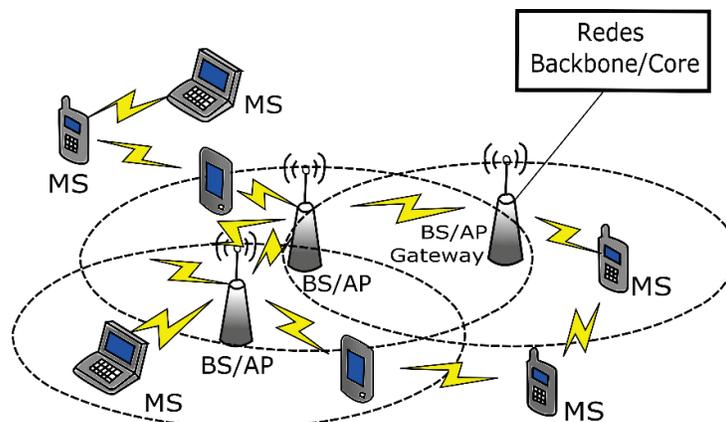


**Figura 1.5** Arquitectura Ad-hoc [21]

### 1.2.2.3 Arquitectura tipo Malla

Esta arquitectura representa una combinación de las arquitecturas de Infraestructura y Ad-hoc como se puede apreciar en la Figura 1.6, permitiendo conexiones entre BSs/APs, las cuales trabajan como *routers* y *backbones* inalámbricos y también hacen las funciones de *gateways*. Una MS puede acceder a la BSs/APs directamente o a su vez mediante saltos múltiples entre los MS que

se encuentren cerca. Para que las BSs/APs tengan capacidades de radio cognitiva, estas deben usar los espacios libres del espectro para comunicarse entre ellas.



**Figura 1.6** Arquitectura tipo Malla [21]

#### 1.2.2.4 Sistema Primario y Sistema de Radio Cognitiva

Existen dos tipos de sistemas de comunicaciones inalámbricos en CRNs: el Sistema Primario y el Sistema de Radio Cognitiva, los cuales son clasificados por sus prioridades en las bandas de frecuencia.

- **Sistema Primario en bandas Licenciadas.**- Se refiere a un sistema el cual opera en una o algunas bandas de frecuencias fijas y en las cuales tiene la máxima prioridad. Otros usuarios o sistemas no licenciados no podrán interferir ni ocupar esas bandas.
- **Sistema Primario en Bandas no licenciadas.**- Se refiere a sistemas primarios operando en bandas sin licencia como la banda ISM<sup>7</sup>, los cuales pueden coexistir con otros sistemas considerando interferencia entre ellos.

Un sistema de Radio Cognitiva no tiene una banda de frecuencia fija de operación y tampoco tiene acceso privilegiado a esa banda. Estos sistemas se pueden

<sup>7</sup> Son bandas reservadas a nivel internacional para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas Industrial, Científica y Médica.

comunicar con los demás mediante el uso dinámico de espacios libres del espectro, y están comprendidos por dos componentes:

- **Estación Base de Radio Cognitiva (CR-BS).**- Es un componente fijo en el Sistema de Radio Cognitiva, representa la parte de infraestructura del sistema de CR y provee funciones de soporte y de administración (espacios libres en el espectro, movilidad y seguridad) y adicionalmente es el Gateway para la CR-MS para acceder a las redes de *backbone* (Internet).
- **Estación Móvil de Radio Cognitiva (CR-MS).**- Es un dispositivo portable con capacidades de Radio Cognitiva, puede ser auto configurable para poder conectarse a diferentes sistemas de comunicaciones. Este puede detectar espacios libres del espectro y dinámicamente usar estos para comunicarse con CR-MS o CR-BS.

### 1.2.3 TÉCNICAS DE DETECCIÓN DEL ESPECTRO

Para que se cumpla con éxito el acceso oportunista al espectro de un terminal de Radio Cognitiva, es necesario primero que se realice una detección o “sensado” del espectro, es por ello que ésta representa una parte fundamental del proceso de comunicación cognitiva. Existen algunas técnicas para detección del espectro como se muestra en la Figura 1.7, que dependen de la tecnología, de los recursos y la regulación que se use. Sin embargo a continuación se hará una revisión de las tres técnicas de Detección del Transmisor más usadas para este propósito.

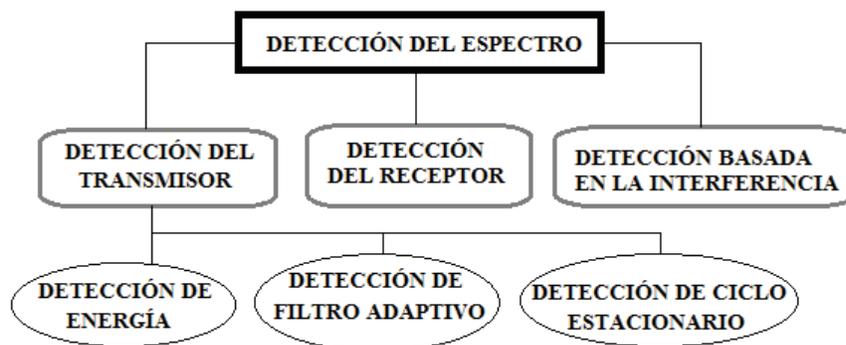


Figura 1.7 Técnicas de detección del espectro [22]

### 1.2.3.1 Detección de energía

El método de detección de energía también conocido como detección no coherente es el mecanismo de detección de señal, que mide la energía de una frecuencia del canal de comunicaciones o el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI<sup>8</sup>), para especificar la presencia o ausencia de señal en la banda. A pesar de que no es el método más óptimo, representa el método más conocido para detección del espectro debido a que necesita de un nivel de complejidad computacional y de implementación muy bajo respecto a otros métodos.

Es el método más genérico ya que los receptores no necesitan conocimiento de la señal de los usuarios primarios, la señal es detectada comparando la salida del detector de energía con el umbral<sup>9</sup> que depende del piso de ruido. Uno de los inconvenientes de este método es la inhabilidad de diferenciar interferencias desde los usuarios primarios y ruido y un pobre rendimiento en ambientes con baja relación señal a ruido [23].

### 1.2.3.2 Detección de Filtro Adaptivo

El método de detección de Filtro Adaptivo o método de detector Coherente representa un sistema lineal invariante, que correlaciona la señal en tiempo desplazada, la compara entre la salida del filtro adaptivo y predetermina el umbral que va a determinar la presencia de un PU, maximizando además la relación señal a ruido (SNR) recibida. Por lo tanto si la información entregada no es precisa, entonces el filtro no será eficiente [22].

Este método puede ser considerado como la mejor técnica de sensado, sin embargo la CR necesita tener el conocimiento previo de la forma de la señal de un usuario primario para poder demodularla.

---

<sup>8</sup> RSSI- *Received Signal Indication*, representa una escala de referencia para medir la cantidad de energía que tiene una señal de radio frecuencia recibida en redes inalámbricas.

<sup>9</sup> Nivel mínimo de señal correspondiente a la sensibilidad que tiene el receptor.

### 1.2.3.3 Detección de Ciclo Estacionario

El detector de Ciclo Estacionario es un método para detección del espectro el cual puede diferenciar la señal modulada del ruido aditivo. Una señal se dice que es ciclo estacionaria si su media y auto-correlación son una función periódica. En este método se hace la extracción de características desde una señal recibida y se desarrolla la detección basándose en las características extraídas. La detección de características ciclo-estacionarias puede distinguir entre las señales de un usuario primario (PU), y las del ruido y usarlas en una detección de muy baja relación señal a ruido (SNR) empleando la información embebida en la señal de PU que no está presente en el ruido [22].

Cuando una señal transmitida es modulada con una portadora sinusoidal, prefijo cíclico (como en OFDM<sup>10</sup>) o secuencias de salto (como en CDMA<sup>11</sup>), la auto-correlación muestra un comportamiento periódico. Esta característica es aprovechada por el detector de Ciclo Estacionario que mide una propiedad de la señal llamada Función Espectral de Correlación.

Este método en comparación al método de Detección de Energía tiene mejor rendimiento debido a su habilidad de rechazar el ruido, el cual tiene un comportamiento totalmente aleatorio y no periódico. La principal desventaja de este método es la complejidad de los cálculos, debido a que se debe manejar todas las frecuencias para que se genere una función de correlación espectral, lo que conlleva a una gran cantidad de procesamiento y un alto costo. Cuando se carece de conocimientos previos acerca de la forma de onda del usuario primario, como

---

<sup>10</sup> Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, es una técnica de modulación en la que se divide un canal de frecuencia en un número de bandas de frecuencia espaciadas en igual proporción en donde cada banda transmite una subportadora y esta a su vez transmite información del usuario.

<sup>11</sup> Acceso Múltiple por División de Código, es una técnica en la cual a cada usuario se le asigna un código diferente a fin de que múltiples usuarios puedan transmitir de manera simultánea sobre el mismo canal.

se podría tener en un despliegue práctico, la mejor técnica es la de Detección de Ciclo Estacionario [23].

A continuación, la Tabla 1.9 muestra las ventajas y desventajas de cada uno de los tres métodos de detección del espectro revisados anteriormente:

**Tabla 1.9** Ventajas y desventajas de los métodos de detección del espectro [24]

<b>MÉTODO DE DETECCIÓN ESPECTRAL</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Detección de Energía	Nivel de complejidad bajo Fácil de implementar No requiere información previa del PU.	Rendimiento bajo con valores bajos de SNR. No distingue interferencias de los PU o del ruido.
Detección de Filtro Adaptivo	El método más óptimo. Costo computacional bajo. Maximiza la SNR a la salida.	Necesita un conocimiento previo de la señal de un PU.
Detección de Ciclo Estacionario	Maneja bien señales con valores bajos de SNR. Robusto frente a interferencias.	Necesita un conocimiento previo de la señal de un PU. Nivel computacional alto

### **1.3 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT)**

La televisión, en menos de un siglo se ha convertido en el medio de comunicación masivo más utilizado alrededor del mundo. Con el pasar del tiempo y el avance de la tecnología, la televisión ha ido evolucionando, e introduciendo cambios sustanciales en su lógica inicial de transmisión, resultando actualmente en un conjunto de tecnologías de transmisión y recepción tanto de imagen como de sonido, a través de señales digitales lo que se conoce como televisión digital.

#### **1.3.1 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES**

La Televisión Digital Terrestre (TDT) es la aplicación de la tecnología digital para la transmisión de contenidos por medio de la antena área de televisión tradicional. Sin embargo, en vista que actualmente la mayoría de televisores en el mundo son

analógicos, hasta que se fabriquen televisores digitales a un precio accesible para todos los consumidores, será necesario el uso de un STB (*Set Top Box*); un receptor multimedia digital que se conecta al televisor, el cual es el encargado de la recepción o decodificación de la señal de televisión ya sea analógica o digital para luego visualizarla en el televisor tradicional.

A diferencia de la televisión tradicional que transmite datos de manera analógica, la televisión digital posibilita la transmisión de un número determinado de canales de audio, video y datos en una sola señal; en el mismo ancho de banda de 6MHz se pueden transmitir varias programaciones diferentes en calidad estándar o una en alta definición más datos. Además ya no se requiere utilizar un canal de guarda de 6MHz y se pueden concesionar canales adyacentes optimizando de esta manera el uso del espectro, adicionalmente ofrece un sonido claro y una calidad superior de la imagen, aumento de la nitidez y resolución debido a que la transmisión digital es menos propensa a ruidos e interferencias [25].

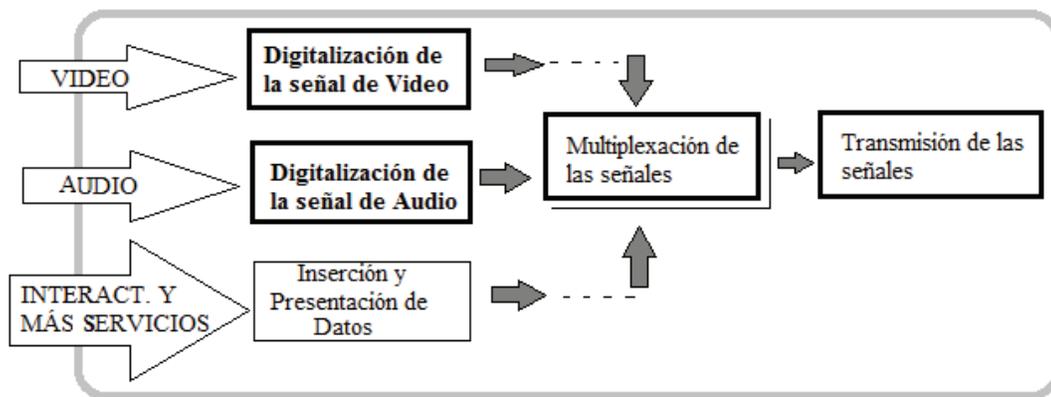
Permite una mejora sustancial en la recepción y amplía la oferta de canales y la versatilidad del sistema de comunicación con emisiones de sonido multicanal, múltiples señales de audio, teletexto, la implementación de EPG (*Electronic Program Guide* o Guía de Programación Electrónica), canales de radio, servicios interactivos; que integran los contenidos de televisión de servicios públicos y comerciales, imágenes panorámicas, permite la recepción de TDT en dispositivos móviles y portátiles, el uso de redes de frecuencia única (SFN) permiten ampliar la cobertura en zonas rurales asegurando el derecho de la población a una TV abierta y sin costo entre otras.

### **1.3.2 ESTÁNDARES DE TDT**

La implementación de un estándar de TDT se compone de detalles tecnológicos como la codificación, la transmisión de la señal, la plataforma tecnológica, la arquitectura del sistema sobre la cual interactúan los diferentes servicios como se puede observar en la Figura 1.8.

De manera muy similar con los estándares de la televisión tradicional analógica, a nivel mundial en Norteamérica, Europa y Asia se han establecido los principales estándares para el servicio de Televisión Digital Terrestre como son:

- ATSC      Advanced Television System Committee.
- DVB-T     Digital Video Broadcasting – Terrestrial.
- ISDB-T    Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial.
- ISDB-Tb   Versión brasileña del estándar japonés ISDB-T.



**Figura 1.8** Esquema de variables que puede utilizar cada estándar de TDT [26]

A continuación se hará una revisión breve del estándar ISDB-T y su versión brasileña debido a que en el Ecuador se escogió este estándar para la implementación del servicio de Televisión Digital Terrestre.

### 1.3.2.1 Estándar ISDB-T

ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial o Transmisión Digital de Servicios Integrados Terrestres) es un conjunto de normas creadas en Japón para las transmisiones de radio y televisión digital, nació de modificaciones al estándar europeo DVB-T para que se ajusten a la realidad japonesa.

El sistema ISDB-T es robusto frente a factores de degradación de la señal, tales como el ruido térmico y urbano, la interferencia multi trayectoria, el desvanecimiento en la recepción móvil y portátil entre otros, para ello adopta OFDM con la tecnología de ‘Time Interleaving’; que consiste en dispersar los píxeles de una imagen antes

de la transmisión para luego en recepción ordenarlos y reconstruirlos, evitando así la pérdida de píxeles continuos que degraden la señal. Este método es fundamental para la transmisión digital móvil y para enfrentar la degradación por ruido e interferencia [27].

Proporciona menor potencia de transmisión, servicios de recepción móvil/ portátil y la capacidad de utilizar antenas de recepción internas, además utiliza efectivamente el recurso de frecuencias mediante redes SFN. Es el único estándar que implementa el servicio de 'One-seg', un servicio portátil que utiliza un segmento de los 6 MHz, ahorra frecuencias, energía y costos de infraestructura. El receptor de este servicio, se instala fácilmente en los dispositivos móviles (teléfonos celulares, PDA portátiles, sintonizadores USB, etc.), permitiendo el servicio de transmisión 'a cualquier tiempo, en cualquier lugar' [28].

#### 1.3.2.1.1 Estándar ISDB-Tb

Es un estándar de televisión digital basado en el estándar japonés ISDB-T, también es llamado Sistema Brasileño de Televisión Digital (SBTVD).

Una de sus mayores diferencias con el estándar japonés son las técnicas de compresión de video y audio más avanzadas (H.264/ HE-AAC<sup>12</sup>) frente a (MPEG-2/ MPEG L2<sup>13</sup>). Con este estándar se pueden transmitir simultáneamente 6 canales en definición estándar, 4 canales en súper alta definición y 2 canales en alta definición ó hasta 8 canales en definición estándar y 2 canales de súper alta definición dentro de los 6 MHz de ancho de banda. Tomando en cuenta esto, se puede ver que en ISDB-Tb se puede transmitir el doble de canales que en ISDB-T como resultado del uso del códec H.264, que es aproximadamente dos veces más eficiente que el MPEG-2 del estándar japonés [29].

Además SBTVD implementa protección del contenido y el uso de un programa abierto totalmente innovador o software de *middleware* llamado Ginga, el cual está

---

<sup>12</sup> *High-Efficiency Advanced Audio Coding*, compresión de audio digital con pérdidas, optimizado para uso en aplicaciones de transmisión de audio que requieren una baja tasa de bits.

<sup>13</sup> *Moving Picture Experts Group Layer 2*, formato de compresión de audio con pérdida.

estandarizado en la UIT y reemplaza el lenguaje de markup (Broadcast Markup Language – BML) que utiliza ISDB-T.

El estándar ISDB-T está compuesto de dos subsistemas:

- Ginga- J, basado en la librería de Java sobre aplicaciones y funciones para TV digital desarrollado por Sun Microsystems.
- Ginga – NCL, basado en el estándar XML (eXtended Markup Language) y el cual está diseñado para la creación de aplicaciones interactivas.

Además permite la interoperabilidad entre los tres estándares de TDT (norteamericano, europeo y el híbrido japonés-brasileño), el uso tanto en alta definición como en definición estándar y la transmisión de aplicaciones interactivas de distintos niveles; es decir que los contenidos de TV digital pueden ser vistos independiente del tipo de receptor o fabricante, ya que acepta televisores, celulares, computadoras de mano(PDAs), TV por cable, TV por satélite, entre otros..

La Tabla 1.10 presenta una recopilación de las principales características y diferencias técnicas de cada uno de los estándares de TDT.

**Tabla 1.10** Comparación principales estándares de TV digital - Parte 1 [29]

	<b>ATSC</b>	<b>DVB-T</b>	<b>ISDB-T</b>	<b>ISDB-Tb</b>
<b>Compatibilidad con Satélite y Cable</b>	No	Si	Si	Si
<b>Compresión Video</b>	MPEG-2	MPEG-2 / MPEG-4	MPEG-2	MPEG-4
<b>Interactividad</b>	No	Si	No	Si
<b>Recepción en dispositivos móviles</b>	No	Posible	Excelente	Excelente
<b>Transmisión a dispositivos móviles</b>	No incorpora da	No incorporada	Incorporada (OneSeg)	Incorporada (OneSeg)
<b>Canales de TV en celulares</b>	0	Hasta 30	1	1
<b>Canales en HD</b>	1	1 ó 2	1 ó 2	1 ó 2
<b>Redes SFN</b>	No	Si	Si	Sí

**Tabla 1.11** Comparación principales estándares de TV digital - Parte 2 [29]

	<b>ATSC</b>	<b>DVB-T</b>	<b>ISDB-T</b>	<b>ISDB-Tb</b>
<b>Máxima tasa de transferencia</b>	19 Mbps	32 Mbps	23 Mbps	23 Mbps
<b>Resistencia a interferencia multi trayectoria</b>	Baja	Alta	Alta	Alta
<b>Modulación</b>	Portadora única con modulación 8VSB	OFDM con canales solo para recepción en dispositivos fijos de alta resolución	OFDM con subcanal dedicado a la transmisión hacia teléfonos móviles (OneSeg)	OFDM con subcanal dedicado a la transmisión hacia teléfonos móviles (OneSeg)

Alrededor del mundo, los países han adoptado diferentes estándares de televisión digital terrestre, los cuales se pueden observar más detalladamente en la Tabla 1.12. En el Ecuador, el proceso para la implementación de la TDT inicio el 25 de marzo de 2010 y luego de diversas pruebas y mediante la resolución 084-05-CONATEL-2010 [30] se adoptó el estándar ISDB-Tb (variación brasileña del ISDB-T japonés) como la mayoría de países de Sudamérica, ya que es el estándar que puede ofrecer todos los modelos de servicio de televisión digital tales como; mejor calidad de sonido y de imagen (estándar y alta definición), mayor oferta de canales, convergencia multimedia, optimización del espectro radioeléctrico, , mayor robustez de las señales y la incorporación de la interactividad y movilidad.

**Tabla 1.12** Distribución de estándares de TDT en el mundo [31]

<b>Estándar TDT</b>	<b>Países</b>
<b>ATSC</b>	Canadá, EE.UU., México, Honduras, El Salvador, Republica Dominicana, Corea del Sur.
<b>DVBT</b>	Europa, Australia, Sudáfrica, Namibia, Turquía, Panamá y Colombia.
<b>ISDB-T e ISDB-Tb</b>	Japón, Brasil, Argentina, Venezuela, Bolivia, Perú, Paraguay, Chile, Ecuador, Costa Rica, Nicaragua, Guatemala, Uruguay y Filipinas
<b>DTMB</b>	China

### 1.3.3 TRANSICIÓN DE LA TV ANALÓGICA A DIGITAL

La transición de la televisión analógica a digital representa uno de los avances tecnológicos más importantes y de mayor impacto a nivel social, económico y político, significa un proceso complejo implementado en etapas y de duración variable, en unos países toma más tiempo que en otros pero todos llegarán finalmente al llamado 'apagón analógico'; el cese de las emisiones analógicas de los operadores de televisión y el inicio de transmisiones totalmente digitales.

En el Ecuador, este proceso se va a dar en etapas tal como se indica en la Tabla 1.13, las cuales están determinadas por el área de cobertura de las localidades y en base a la fecha que se va a finalizar con el apagón analógico.

**Tabla 1.13** Fases del Apagón Analógico en el Ecuador [32]

<b>FASES</b>	<b>LOCALIDADES</b>	<b>FECHA</b>
Fase 1	Áreas de cobertura de las estaciones que al menos cubran una capital de provincia, cabecera cantonal o parroquia con población mayor a 500.000 habitantes.	31 de diciembre de 2016
Fase 2	Áreas de cobertura que al menos cubran una capital de provincia, cabecera cantonal o parroquia con población entre 500.000 y 200.000 habitantes.	31 de diciembre de 2017
Fase 3	Áreas de cobertura de las estaciones que al menos cubran una capital de provincia, cabecera cantonal o parroquia con población menor a 200.000 habitantes	31 de diciembre de 2018

Al finalizar la fase 3, el 31 de diciembre del 2018, la población del país debe estar informada adecuadamente y preparada con todas las adecuaciones necesarias para el total aprovechamiento de la televisión digital, ya sea usando STB en sus televisores analógicos, o a su vez adquiriendo televisores que incorporen un sintonizador estándar de ISDB-Tb.

La incorporación de tecnologías digitales es un proceso en el cual las empresas de servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión se involucran voluntariamente. A pesar de que los costos de inversión pueden ser altos, se considera que las nuevas tecnologías les permiten reducir costos de manera general al utilizar de una

forma más eficiente sus medios de transmisión, así como también aumentar sus ingresos por la prestación de nuevos servicios sobre la misma infraestructura [32].

Para impulsar la convergencia tecnológica es necesario que los concesionarios de las frecuencias de televisión cuenten con una asignación temporal de un canal adicional para poder transmitir además de las señales analógicas, las señales digitales simultáneamente y garantizar la continuidad del servicio público.

Una vez concluida la transición hacia la televisión digital surgen espacios en el espectro debido a la liberación de porciones de frecuencia en la banda de TV (470 – 875 MHz), estos espacios son más conocidos como *TV White Spaces* (TVWS), los cuales nos ofrecen un potencial muy grande respecto al uso eficiente del espectro radioeléctrico y la aplicación de comunicaciones móviles de nueva generación.

#### **1.4 TV WHITE SPACES**

Tomando en cuenta la transición de la televisión analógica a la digital, y la eficiencia tecnológica de este proceso, se liberan porciones del espectro radioeléctrico, las mismas que representan canales que ya no están ocupados por ninguna emisora, y por ende no se encuentran licenciados para realizar transmisiones sobre estos. Estas porciones son llamadas Espacios en Blanco o TVWS en inglés, y son de vital importancia para el despliegue de nuevos servicios, para mejorar los servicios existentes y sobre todo para solventar el problema de la escasez de espectro. Considerando todo esto, es crucial que estos espacios en blanco sean aprovechados y explotados adecuadamente para beneficio de toda la sociedad [33].

Cabe destacar que el concepto de TVWS se lo puede definir de tres maneras. Un espacio en blanco puede ser:

- Una porción del espectro que actualmente no se utiliza a pesar de que se ha hecho una asignación de bandas de frecuencia para la transmisión de señales de televisión. Se puede dar en países en donde no se ha dado incentivo para que se utilicen todos los canales disponibles del espectro.

- Un espacio que se deja entre dos canales de televisión adyacentes para evitar interferencias.
- El espectro que se recupera luego del proceso de transición hacia la TV digital terrestre. Estos representan los TVWS que más se van a aprovechar debido a la tendencia mundial al avance tecnológico y al tamaño considerable que estos representan en el espectro.

Las excelentes características que presentan las bandas, VHF/UHF: buena propagación, amplios tamaños de macro-celda, bajos niveles de ruido, junto con la densidad de población baja en diversas zonas rurales, hace posible el estudio de TVWS en estas bandas de frecuencia para que se exploten los recursos disponibles del espectro de una manera más eficiente [34].

#### **1.4.1 MÉTODOS DE ACCESO**

Para que un usuario secundario pueda acceder a un TVWS es necesario que este sea detectado por algún dispositivo de menor potencia, denominado WSD (White Space Device), que utiliza métodos de acceso al espectro para garantizar una comunicación eficiente, sin colisiones con usuarios licenciados y con un grado suficiente de calidad de servicio (QoS).

##### **1.4.1.1 Base de Datos con Geo- localización**

Este método utiliza una base de datos con la información necesaria acerca de los espacios en blanco en una determinada zona. Así entonces, el usuario secundario mide su ubicación y consulta con la base de datos para decidir que frecuencias están disponibles para ser usadas en esa zona.

Los usuarios secundarios pueden emplear un sistema Maestro-Esclavo , donde el Maestro será un punto de acceso que va actuar como proxy ,el mismo que les va a permitir a los esclavos (usuarios secundarios), poder consultar la base de datos geo-localizada para establecer la comunicación [33].

#### **1.4.1.2 Señales *Beacons***

En este método se representan señales de control que son usadas en cada canal para indicar si un canal del espectro está ocupado o libre (señales *Enable/Disable*), y un canal piloto único que transmite la lista de los canales libres como una base de datos local.

Tomando en cuenta que la señal de control también ocupa ancho de banda, este método no significa una alternativa muy viable, además requiere una infraestructura compleja lo que encarece su mantenimiento e implementación.

#### **1.4.1.3 Detección del espectro**

Este método analiza el espectro en busca de espacios en blanco, los mismos que serán potencialmente aprovechados posteriormente. Cada dispositivo puede realizar la detección del espectro individualmente y tomar sus propias decisiones (un método simple pero con problemas), o a su vez se puede realizar una detección cooperativa entre varios dispositivos, cada uno mide individualmente el espectro, se comparte la información obtenida y en base a esta se toman decisiones conjuntas. Este método de detección no requiere de una infraestructura y necesita dispositivos y equipos más complejos sin embargo, es mucho más preciso [33].

Sea cual sea el método de detección es necesario que los usuarios secundarios realicen de manera periódica un monitoreo de los canales libres, para poder detectar cambios, además considerar parámetros claves como el umbral de detección y la duración del muestreo.

### **1.4.2 ESTÁNDARES PARA EL USO DE TVWS**

Muchas organizaciones internacionales de desarrollo de estándares se encuentran trabajando para crear una variedad de estándares y especificaciones para el uso de los espacios blancos de televisión, como los siguientes:

- **802.22**, estándar IEEE para Redes Inalámbricas de Área Regional (WRAN) para el uso de TVWS empleando técnicas de Radio Cognitiva para permitir el uso compartido del espectro no utilizado.
- **802.11af**, pertenece a la familia IEEE 802.11, hace posible la operación de una Red Inalámbrica de Área Local (WLAN) sobre un TVWS en la banda VHF/UHF entre 54 y 790 MHz.
- **802.16h**, define capacidades de radio cognitiva en redes Wimax.
- **802.19.1**, este estándar IEEE especifica la coexistencia para TVWS entre dispositivos no licenciados.
- **DYSPAN P1900**, representan una familia de estándares que se relacionan con el acceso dinámico al espectro.
- **CEPT-ECC SE 43**, define aspectos técnicos y operacionales para sistemas de radio cognitiva que operan sobre los TVWS [34].

### 1.4.3 APLICACIONES DE LOS TVWS

Los TVWS son una de las bandas que prometen un gran futuro para las comunicaciones inalámbricas. Algunas aplicaciones se han avisado en las bandas de TVWS como:

- **Super Wi-Fi**.- los espacios en blanco debido a su enorme potencial pueden usarse en redes Wi-Fi aumentando el alcance y la penetración hasta en tres veces en comparación con la operación en las bandas ISM, ya que presentan menor atenuación en paredes y pueden operar en enlaces sin línea de vista directa en general. Esta tecnología tiene como objetivo descongestionar la banda de 2.4 GHz (Wi-Fi).
- **Backhaul inalámbrico**.- tomando el caso en el que se disponga de una infraestructura fija como ADSL, esta puede no ser suficiente para soportar anchos de banda grandes en aplicaciones de banda ancha. Se presentan los TVWS como solución a esta problemática, con los que se puede hacer enlaces inalámbricos punto a punto para reemplazar la infraestructura cableada.
- **M2M- Máquina a máquina**.- Se ha venido utilizando para realizar control y monitoreo, dispositivos de baja potencia para transmitir a una baja tasa de

datos en áreas comerciales e industriales. Se puede aplicar esto utilizando la banda de televisión y los espacios en blanco debido a que no se necesitan grandes anchos de banda y se estaría optimizando el espectro.

Este tipo de comunicaciones ofrece la conexión de múltiples dispositivos en las bandas UHF con una cobertura de varios kilómetros y buena penetración en interiores, además requieren de baja potencia, poco ancho de banda y en costo representan un método más efectivo comparado con el acceso celular.

- **Banda ancha rural.**- Debido a su ubicación geográfica, su difícil acceso y su reducida densidad de población, la implementación de una red cableada en una zona rural resulta muy costosa y compleja para los proveedores de servicios de telecomunicaciones por lo que estas poblaciones tienen un acceso a Internet casi nulo. Considerando que en las zonas rurales existe mayor disponibilidad de TVWS, la explotación de estos recursos representa una solución para reducir la brecha digital y además conlleva a incrementar la eficiencia de utilización del espectro lo que provoca beneficios grandes no solo económicos sino también sociales para cualquier país.
- **Extensión de cobertura, capacidad y desvío de tráfico en redes celulares.**- El crecimiento de usuarios en las redes móviles da lugar a un aumento excesivo en el tráfico de datos de las redes celulares. Los TVWS en este campo pueden representar una solución, cuando se den picos de tráfico pueden extender la cobertura, o desviar el tráfico desde las infraestructuras celulares convencionales hacia puntos de acceso Wi-Fi que operen en bandas de TVWS, aliviando las situaciones de congestión [35].

## 1.5 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

### 1.5.1 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS EN EL DMQ

Como se había revisado en la sección 1.1.5, el DMQ al estar ubicado en la provincia de Pichincha pertenece a la zona geográfica P y se le asignan los grupos de canales A1, B1 en la banda VHF y los grupos G1, G4 en la banda UHF (ver Tabla 1.8).

Tomando en cuenta el plan de asignación de canales y concesión espectral para televisión abierta analógica y digital en el DMQ del Anexo A., se tienen en general 16 estaciones Matriz y 17 estaciones Repetidoras ubicadas mayormente en el Cerro Pichincha debido a la geografía de la ciudad. Por otra parte las estaciones que dan cobertura al sur de la ciudad se ubican en el Cerro Atacazo y en otras zonas pobladas al norte del DMQ: en los cerros Cartagena y Santa Rosa.

Actualmente en el país se está dando el proceso de transición hacia la televisión digital, según el Anexo A se tienen 9 estaciones Matriz y 1 estación Repetidora ubicadas de igual manera en el Cerro Pichincha. Las estaciones de televisión en el país pueden ser de tres clases: Comercial Privada, de Servicio Público y Comunitarias; en el DMQ se distribuyen respecto a la Tabla 1.14.

**Tabla 1.14** Estaciones de Televisión en el DMQ.

	TIPO DE ESTACIÓN	COMERCIAL PRIVADA (N°)	SERVICIO PÚBLICO	COMUNITARIA
<b>TV Abierta Analógica</b>	Matriz	11	4	1
	Repetidora	14	3	0
<b>TDT</b>	Matriz	8	1	0
	Repetidora	1	0	0
	Total:	34	8	1

Según estos datos, se tienen 43 centros transmisores de sistemas de televisión que actualmente operan en el DMQ, se va a realizar este estudio considerando solamente los 33 transmisores que brindan el servicio de TV Abierta Analógica.

### 1.5.2 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

El DMQ se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha al norte del país, y se divide en 8 administraciones zonales, las cuales conforman 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales y suburbanas como se ve en la Figura 1.9.

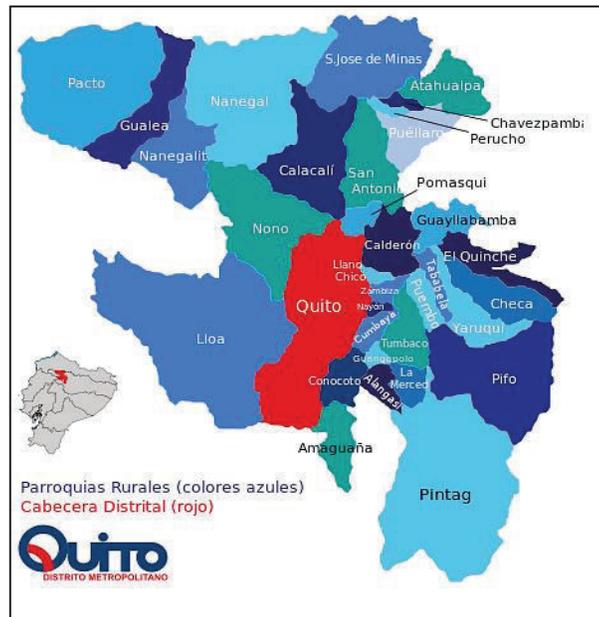


Figura 1.9 Parroquias rurales del DMQ [36]

La zona de trabajo corresponde a los límites del DMQ (ver Figura 1.10), los cuales comprenden:

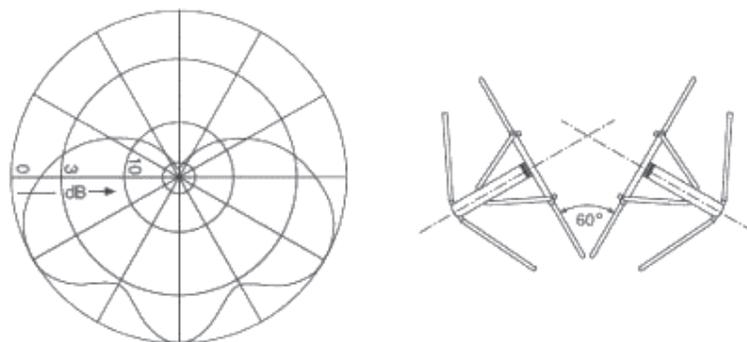
- Norte: Provincia de Imbabura.
- Sur: cantones Rumiñahui y Mejía.
- Este: cantones Pedro Moncayo, Cayambe y la Provincia de Napo.
- Oeste: cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.



Figura 1.10 Límites geográficos del DMQ [37]

### 1.5.3 ANTENAS

Uno de los parámetros fundamentales es la configuración de las antenas que son usadas en los emplazamientos<sup>14</sup>. Los sistemas radiantes de televisión abierta que brindan cobertura en el DMQ, tienen un diagrama de radiación muy parecido al estar ubicados en torres triangulares y al tener en su mayoría antenas orientadas en dos azimut como se puede ver en la Figura 1.11.



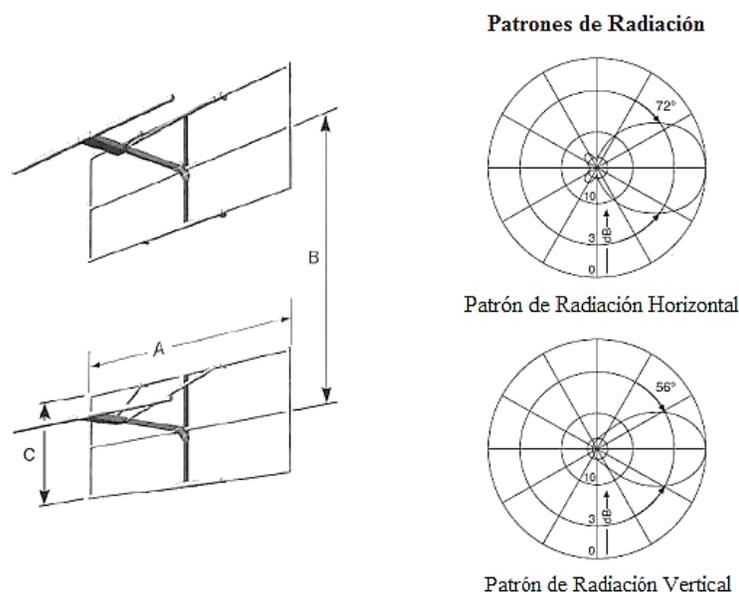
**Figura 1.11** Diagrama de radiación horizontal de un arreglo de dos paneles [38]

Ciertos transmisores que brindan cobertura a regiones específicas que no tienen línea de vista ni recepción de la señal, suelen tener antenas del mismo tipo pero orientadas a un solo azimut y su diagrama de radiación se modifica como se muestra en el Figura 1.12. Los arreglos de antenas de estos transmisores están compuestos por 'n' antenas en una misma cara de la torre, afectan al diagrama de radiación vertical, reduciendo el ancho del haz proporcionalmente en cuanto el número de antenas vaya aumentando [38].

El Anexo B contiene los patrones de radiación de los arreglos de antenas y la información técnica de los transmisores de TV abierta que operan en el DMQ, conforme a la información suministrada por la ARCOTEL.

---

<sup>14</sup> Se define al conjunto de equipos pasivos que conforman una estructura de telecomunicaciones.



**Figura 1.12** Antena tipo panel y su diagrama de radiación horizontal y vertical [38]

#### 1.5.4 EMPLAZAMIENTOS

En el área del DMQ se encuentran en total 43 emplazamientos que dan servicio de televisión analógica y TDT. Debido a la geografía del territorio de estudio estos se encuentran ubicados en cuatro puntos: Cerro Pichincha, Cerro Atacazo, Cartagena y Santa Rosa cuyas coordenadas se encuentran detalladas en la Tabla 1.15.

**Tabla 1.15** Ubicación geográfica de emplazamientos en el DMQ.

UBICACIÓN	ÁREA DE COBERTURA	COORDENADAS		ALTITUD
Cerro Pichincha	Quito	00°10'03,30" S	78°31'30,00" W	3855 msm
Cerro Atacazo	Sur de Quito	00°19'06,00" S	78°36'07,00" W	3867 msm
Cartagena	Nanegal	00°08'25,80" N	78°41'38,90" W	1430 msm
Santa Rosa	San José de Minas	00°09'46,50" N	78°25'02,80" W	2485 msm

##### 1.5.4.1 Transmisores

Para poder realizar el estudio de cobertura, se debe crear en el software de planificación de radio los transmisores, y configurar ciertos parámetros tales como el tipo de antena, el azimut, la altura a la que está ubicada, la potencia isotrópica

radiada equivalente (PIRE) o potencia radiada aparente(PRA), entre otros que se detallan más adelante en tablas.

ICS Designer calcula la intensidad de campo en diferentes puntos del terreno para simular la cobertura, para lo cual utiliza la siguientes fórmulas:

$$E (dB\mu V/ m) = = PRA(dBw) + 77 - 20\log(d) \quad (1.3)$$

Dónde: E=Intensidad de campo  
d= distancia al transmisor en km

$$PRA(dBw) = P(dBw) + G(dBi) - L(dB) \quad (1.4)$$

Dónde: P= Potencia del transmisor  
G= Ganancia del sistema radiante  
L= Pérdidas de cables

Tomando en cuenta la Tabla 1.6 que refiere a la intensidad de campo mínima a proteger, se establece un punto cubierto en una zona rural cuando se tenga una intensidad de campo superior a 47, 56, 64 [dB $\mu$ V/m] para la banda I, III y IV- V respectivamente. Así podremos también discriminar los canales libres que buscamos en base a valores de intensidad de campo en las áreas de cobertura secundarias<sup>15</sup>.

En el Anexo B se detallan los parámetros técnicos de los sistemas de transmisión de TV analógica que van a ser ingresados en *ICS Designer*. Para todas las estaciones se tiene un ancho de banda de 6 MHz, tipo de señal "TV M" referente al sistema M/NTSC del estándar y una polarización del sistema radiante tipo horizontal. Además los valores estimados de pérdidas en líneas de transmisión y conectores según el ente regulador para el sistema de radiodifusión de Televisión VHF y UHF se consideran de 1.5 y 2 dB respectivamente.

---

<sup>15</sup> Se define al área de cobertura a los alrededores de las ciudades que son definidas como área de cobertura principal en la normativa vigente.

#### 1.5.4.2 Modelo de Propagación

Existen actualmente diversos modelos de propagación que pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- **Modelos Geométricos (Determinísticos).**- proporcionan una estimación basándose directamente en el perfil del trayecto. Entre los cuales tenemos Fresnel, Método de Wojnar, ITU-R P 525/526.
- **Modelos Estadísticos.**- proporcionan estimaciones sin el uso de un modelo de elevación digital (DEM) pero requieren parámetros geométricos. Estos modelos son: ITU-R P.370-7 y ITU-R P.452.
- **Modelos Mixtos.**- fusionan características geométricas y estadísticas. Modelos como estos pueden ser: Okumura, Vienna Agreement 1993, Harry Wong's FCC'98 model y UIT-R P.1546.

Para poder elegir un modelo de propagación adecuado en la determinación de áreas cobertura de sistemas de televisión, también se toma en cuenta los métodos que fueron considerados y aplicados para su desarrollo a los que se les denomina referencias.

Estos pueden ser:

- **Modelos con Referencias Completas.**- representan modelos cuyos métodos se han publicado en libros, recomendaciones técnicas ITU, revisiones científicas, entre otras. En esta categoría se encuentran: Método de Okumura, Modelo ITU-R P.370-7, Modelo IUT-R P.525/526, Modelo Harry Wong's FCC'98, Modelo IUT-R P.452.
- **Modelos con Referencias Parciales.**- los métodos de estos modelos pueden estar ya publicados pero todavía son objeto de estudio y pueden ser modificados. Los programas de simulación los implementan para proporcionar mejores estimaciones como: Vienna Agreement 1993, Método de Wojnar, Modelo de Fresnel, IUT-R P.1546.

Los estudios de simulación pueden hacerse a partir de diferentes modelos de propagación que dispone ICS Designer, sin embargo se considera que debe ser un modelo con referencias completas debido a que estos modelos están completamente sustentados y además que dicho modelo aplique métodos publicados en recomendaciones de la ITU-R.

Tomando en cuenta esto, en este Trabajo de Titulación se elige el modelo de propagación de Okumura-Hata/Davidson. Este es un modelo empírico recomendado por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA) en su publicación TSB-88A como una modificación al modelo Okumura-Hata. Es empleado en entornos urbanos, suburbanos y rurales, toma en cuenta el tipo de ambiente y las irregularidades del terreno para predecir el área de cobertura en un territorio determinado [39].

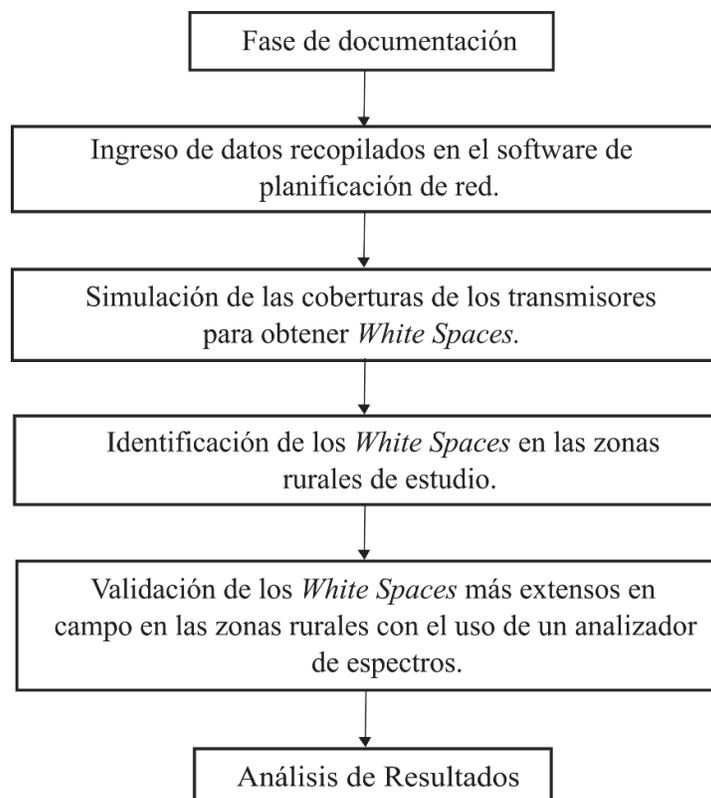
Este modelo de propagación se complementa con el uso del modelo de difracción Deygout94 que se encuentra disponible en *ICS Designer*, el mismo que toma en cuenta las tres peores intrusiones en la zona de Fresnel para el cálculo de las pérdidas que generan estos obstáculos [40].

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA PROPUESTA

Este capítulo pretende explicar de forma detallada los pasos fundamentales para conseguir la representación de los *White Spaces* de cualquier tamaño en un software de planificación de radio.

En la Figura 2.1 se puede apreciar la metodología que se propone en este proyecto.



**Figura 2.1** Metodología para la simulación y verificación de *White Spaces* en zonas rurales

#### 2.1 FASE DE DOCUMENTACIÓN

En esta etapa inicial de la metodología se debe recopilar la información y los datos necesarios para poder simular el entorno radioeléctrico de la zona de estudio, así entonces se debe:

- Definir la banda de frecuencia
- Consultar las ubicaciones de los transmisores que trabajan en esa banda de frecuencia.
- Consultar las potencias de los transmisores.
- Consultar los tipos de antenas, con sus alturas y azimut para cada transmisor.
- Consultar el mapa de la zona de estudio
- Establecer el modelo de propagación para las simulaciones.

## **2.2 SOFTWARE DE PLANIFICACIÓN DE RED**

En esta etapa se usarán todos los datos recopilados anteriormente para poder simular las condiciones actuales de la utilización del espectro radioeléctrico en las zonas rurales de estudio identificadas.

Para ingresar los datos en el software de planificación de red *ICS Designer* se sigue el siguiente procedimiento:

- Crear un nuevo proyecto.
- Cargar los mapas y archivos cartográficos que se tengan disponibles según el estudio que se quiera realizar.
- Definir el área de trabajo en el mapa.
- Crear los emplazamientos en donde estarán ubicados los transmisores en el mapa.
- Configurar los transmisores con la información obtenida de: potencia, ganancia, altura, coordenadas geográficas, frecuencia, umbral de acuerdo a la banda de frecuencia y diagramas de radiación de los arreglos de antenas.
- Configurar el modelo de propagación que se utilizará.
- Configurar parámetros adicionales del simulador como: la distancia limite, el factor de paso de malla, el umbral y la altura de la antena del receptor.
- Simular y guardar las coberturas de cada canal independientemente.
- Analizar cada una de las coberturas simuladas, considerando principalmente las zonas rurales del DMQ,

- Identificar las zonas rurales en donde de manera general no se tenga cobertura de los canales que conforman la TV abierta analógica, los mismos que van a representar los *White Spaces* más extensos.
- Configuración de los receptores en el software de planificación de red, y ubicarlos en las zonas rurales en donde se realizarán las mediciones de intensidad de campo eléctrico mediante el uso de un analizador de espectros.
- En cada receptor ubicado, obtener mediante simulación los valores de intensidad de campo eléctrico en cada uno de los canales de TV abierta.

### 2.3 VALIDACIÓN EN CAMPO DE LOS TVWS

En esta etapa de validación, una vez identificadas las zonas rurales con los *White Spaces* más extensos mediante la simulación, se realizan mediciones de campo en estas zonas con el uso de un analizador de espectros y una antena que trabaje en la banda de estudio.

Para cada canal de frecuencia se seguirá el siguiente proceso:

- Conectar adecuadamente la antena al analizador de espectros.
- Seleccionar el modo 'ANALIZADOR DE ESPECTROS', una vez encendido el analizador de espectros,
- Definir la frecuencia de inicio y de parada de acuerdo al canal que se esté analizando.
- Definir el Span con un valor de 6 MHz, debido a que se analizará un canal analógico a la vez.
- Configurar el Nivel de referencia de -50 dB a -100 dB.
- Configurar el Piso de ruido.
- Definir el Nivel de atenuación en 10dBm para evitar que armónicos se introduzcan en la medición.
- Establecer de forma automática los parámetros: *resolution Bandwith* y *resolution Video Bandwith*.
- Activar el marcador que indicará el nivel más alto de la señal.

## 2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta etapa se tomarán en cuenta los valores de intensidad de campo eléctrico obtenidos tanto en la simulación como en la validación en campo (mediante el uso del analizador de espectros) para realizar el análisis de la siguiente manera:

- Para determinar si un canal está libre u ocupado, considerar el umbral de decisión establecido en cada porción del espectro para compararlo con los valores obtenidos en simulación y en campo.
- Establecer la cantidad de canales disponibles en cada zona rural.
- Tomar en cuenta el número de canales concesionados y ocupados para poder establecer un porcentaje aproximado de espectro concesionado, utilizado y disponible.
- Comparar los valores simulados con los valores medidos. Si estos valores están debajo del umbral establecido, el área estudiada puede ser catalogada como una zona TVWS.
- Con la información obtenida determinar los motivos por los cuales no se tiene cobertura en ciertas zonas rurales o la degradación de la señal en otras zonas.

## CAPÍTULO 3

### SIMULACIÓN Y PRUEBAS DE CAMPO

#### 3.1 SIMULACIÓN EN ICS DESIGNER

##### 3.1.1 FUNDAMENTOS DEL SOFTWARE

*ICS Designer*, es un software desarrollado por la empresa francesa ATDI, líder global en el desarrollo e implementación de sistemas automatizados de gestión del espectro. Sus herramientas de software son agnósticas de la tecnología, incorporan los últimos modelos de propagación y son compatibles con estándares de radiofrecuencia de la UIT.

*ICS Designer* representa el software más completo para planeación de radiofrecuencia que actualmente existe en el mercado. Es totalmente compatible con WMS/WMTS<sup>16</sup>, mapas de Google, de Bing, de *Open Street* y varios geoportales son integrados en esta herramienta.

Las principales funcionalidades que tiene y que soporta por mencionar algunas de ellas:

- Mapas multi-resolución (2D, 3D y vectores)
- Multi-tecnologías (móvil, enlaces microondas, punto-multipunto, radiodifusión, entre otras)
- Varios modelos de propagación
- Características avanzadas para redes LTE
- Análisis de interferencias y tráfico
- Planeación de handover / vecinos [42].

---

<sup>16</sup> Web Map Service (WMS), ofrece una interfaz HTTP que permite solicitar imágenes de mapas georreferenciados de una o más bases de datos geográficos distribuidos en más de un servidor. Web Map Tile Service (WMTS), es un servicio que permite almacenar datos recientemente leídos, por tanto agiliza la carga de los mismos en caso de que vuelvan a ser solicitados (caché).

### 3.1.2 CREACIÓN DE PROYECTOS

El paso inicial para la utilización del software de planificación de radio ICS Designer, empieza con la creación del proyecto, en el cual se cargan los archivos cartográficos que van a ayudar a manejar cada una de las capas en el desarrollo de cualquier simulación.

Archivos cartográficos :

- Imagen de mapa (.IMG)
- Modelo digital de terreno (.GEO)
- Paleta de colores (.PAL)
- Capa de clutter (.SOL)
- Capa de edificios (.BLG)
- Capa vector (.VEC)
- Fichero Serv. De mapas (.MAP)
- Parámetros (.PRM)
- Fichero de red (.EWF/ .EWX)
- Paleta de color de usuario (.P11)
- Resultado (.FLD )

Cabe destacar, el archivo .GEO es obligatorio cargarlo en el proyecto, los demás archivos son opcionales y dependerán de las necesidades que el usuario tenga.

Una vez iniciado el software *ICS Designer*, automáticamente se abre la ventana de 'Proyectos' que se observa en la Figura 3.1, si no aparece ir al menú Archivo / Proyectos.

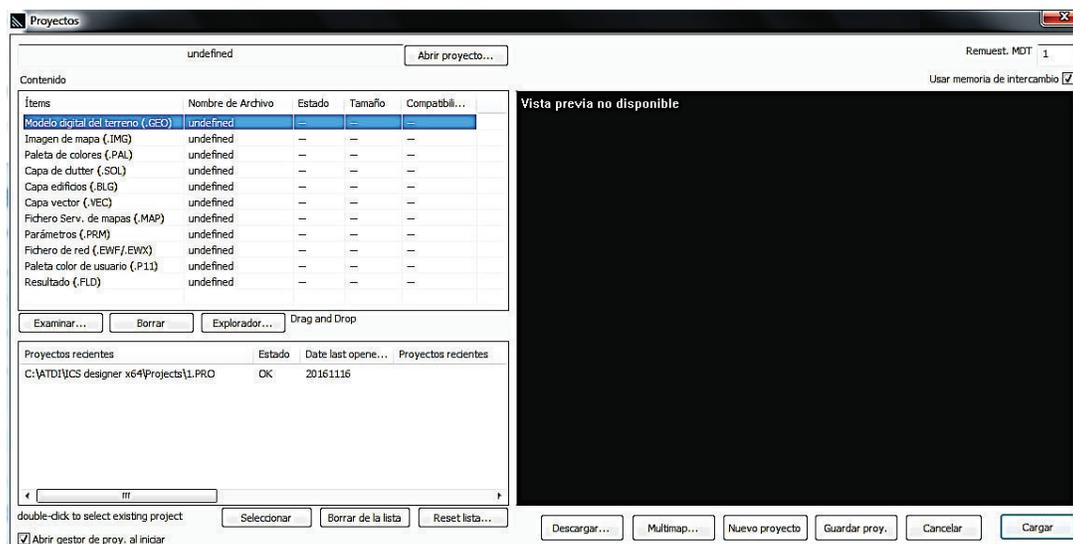
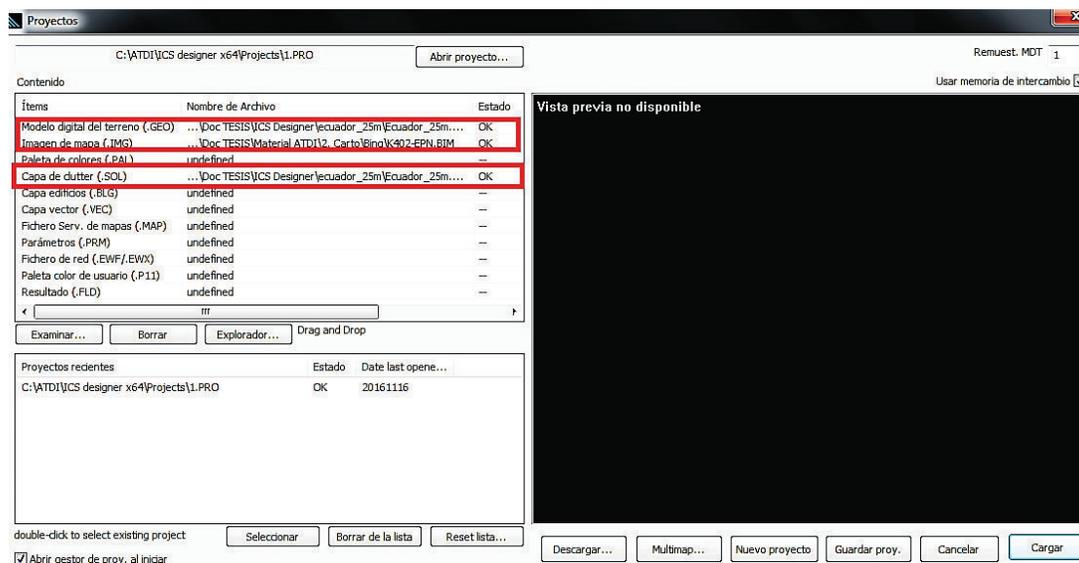


Figura 3.1 Ventana de Proyectos ICS Designer.

En la ventana de ‘Proyectos’ cargar los mapas y archivos cartográficos que se tengan disponibles según el estudio que se quiera realizar. Muchos de los mapas de cualquier parte del mundo se descargan libremente de la página oficial del fabricante ATDI. Como se ve en la Figura 3.2, en este caso se han cargado los archivos .IMG (imagen cartográfica), .GEO (modelo digital de terreno), .SOL (capa de ocupación del suelo) de Ecuador (de resolución-25m) que serán suficientes para obtener los resultados deseados en el área del DMQ.

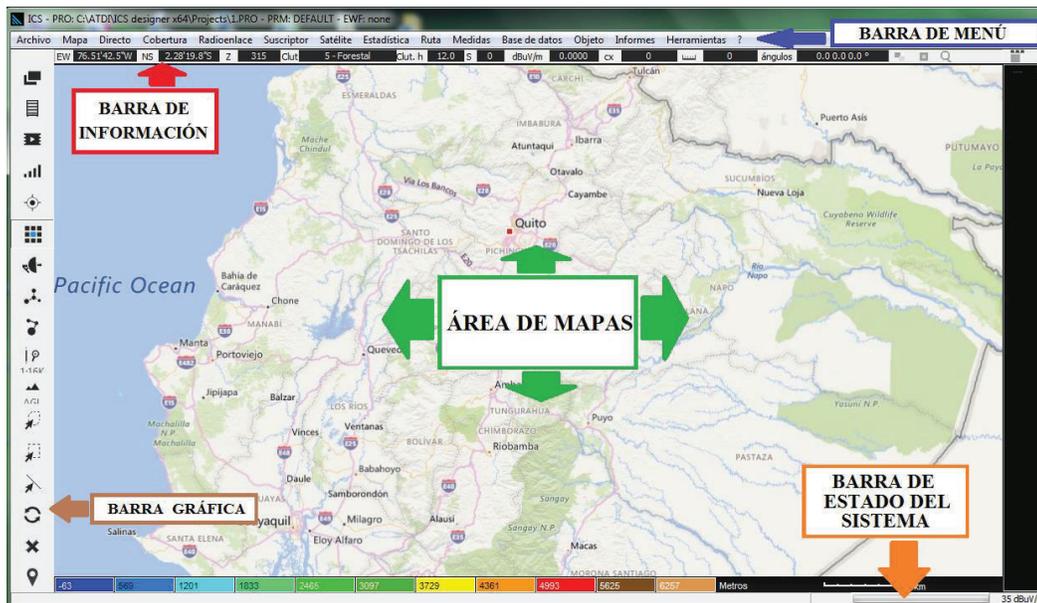
La ventana ‘Proyectos’ automáticamente reconoce los archivos que se carguen en el área de ‘Contenido’, y una vez cargados se confirma la compatibilidad con ‘OK’ en el estado.



**Figura 3.2** Mapas cargados en *ICS Designer*.

### 3.1.3 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

Justo inmediatamente después de cargar el proyecto, el GUI mostrará la capa de imagen (.IMG) o a su vez si esta no se ha cargado previamente se mostrará solo la capa de elevación o modelo digital de terreno (.GEO).



**Figura 3.3** Interfaz de usuario de *ICS Designer*.

Tal como se muestra en la Figura 3.3, la interfaz de usuario está conformada por una barra de menú, barra de información, barra gráfica, barra de estado del sistema y un área de mapas que es donde se va a visualizar toda la simulación y donde se cargan las capas.

### 3.1.3.1 Barra de información

Se encuentra en la parte superior del área de visualización en la ventana de *ICS Designer* (ver Figura 3.4).



**Figura 3.4** Barra de información de *ICS Designer*.

Contiene los siguientes elementos:

- EW,NS: De acuerdo a como se hagan los ajustes cartográficos, pueden representarse las coordenadas geográficas en metros, grados, minutos, segundos.
- Z: Define la altitud en metros sobre el nivel del mar.
- Clut: indica código del tipo de terreno (urbano, suburbano, bosque, etc).

- Clut h: Indica la altura en metros del clutter.
- S: Representa el número de estaciones en un área definida.
- dBuV/m : Dependiendo del tipo de análisis, muestra las unidades (W, %, MHz, etc)
- Cx: Número de canales.
- Dist: Indica la distancia en km, metros, pies, millas.
- Ángulos : indica el azimut en grados.

### 3.1.3.2 Barra Gráfica

Como se puede ver en la Figura 3.5, se muestran las opciones de la barra gráfica más comúnmente utilizadas, las cuales nos permiten realizar diversas tareas de configuración, visualización, manejo de herramientas de selección, entre otras, que nos permiten de manera sencilla poder desarrollar nuestro proyecto de forma óptima.

	Acceso a capas de mapas
	Acceso a base de datos interna
	Lista de últimas coberturas
	Umbral, límite de distancia, de sector y paso de grid
	Acceso rápido para análisis de red
	Modo Tx/Rx
	Modo microondas
	Modo de enlace
	Modo de ruta
	Opciones de zoom
	Modo de altura: AGL, T/S, R/s
	Dibujar polígono y seleccionar
	Dibujar rectángulo y seleccionar
	Dibujar polilínea
	Actualizar la pantalla
	Reset la pantalla
	Ubicación

**Figura 3.5** Barra Gráfica de ICS *Designer*

### 3.1.3.3 Barra de estado del sistema

En esta barra de la Figura 3.6, se indica el proceso de cargado de mapas y de simulación respecto al tiempo transcurrido, y la corriente umbral de corte para la cobertura. En la esquina derecha muestra información acerca del número de núcleos, hilos, y vértices del polígono dibujado en el área de mapas.



Figura 3.6 Barra de estado del sistema de ICS Designer.

### 3.1.4 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Tal como se estableció en la sección 1.5.2, se definen esos límites como el área de trabajo en el software *ICS Designer* como se observa en el Figura 3.7:

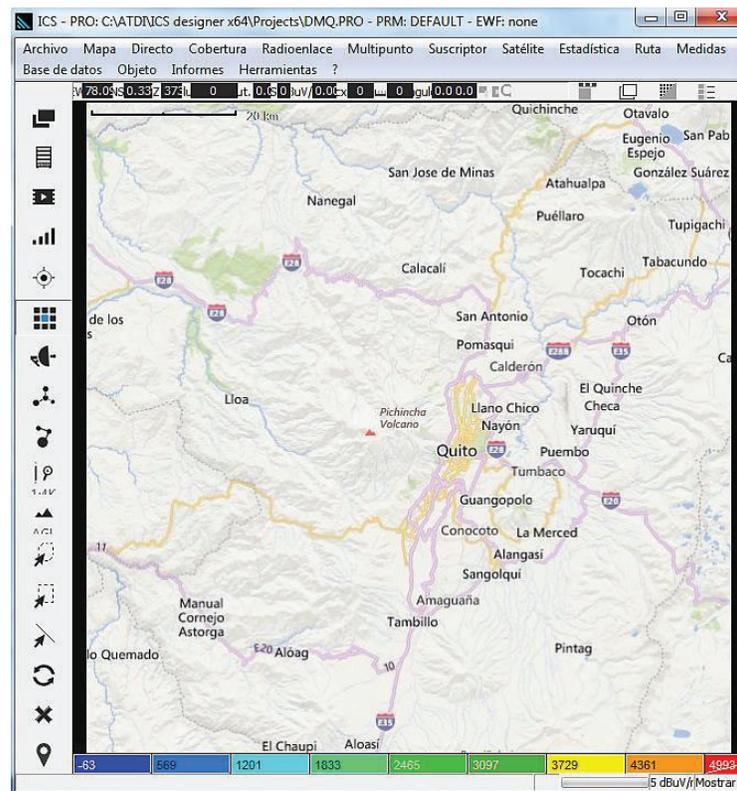


Figura 3.7 Definición del área de trabajo en ICS Designer

### 3.1.5 INICIALIZACIÓN DE PARÁMETROS

En esta parte se consideran los parámetros presentados en el Capítulo 1, resumidos de la siguiente forma:

- Emplazamientos, con detalle de latitud, longitud y altitud. (33 estaciones de televisión abierta)
- Antenas emisoras.
- Distribución del espectro en la banda de televisión del DMQ.
- Características de los transmisores (tipo de antena, azimut, altura antena, potencia isotrópica radiada equivalente- PIRE).
- Modelo de propagación Okumura-Hata/Davidson, modelo de difracción Deygout 94.
- Canales ocupados se consideran libres, si en puntos del mapa su intensidad de campo recibida por los transmisores es inferior a 47,56 o 64 dBuV/m [9].

#### 3.1.5.1 Configuración de los transmisores

Una vez establecida el área de trabajo se procede a la configuración de los transmisores de TV analógica y digital de las bandas UHF y VHF que operan en el DMQ (tomando como ejemplo el canal 2) mediante el siguiente procedimiento:

- 1) Hacer clic derecho en el área de trabajo y en el menú que aparece se elige *Añadir estación* ► Tx/Rx. Se procede a continuación a ingresar los valores correspondientes en la pestaña General de la ventana *Parámetros Tx/Rx* (ver Figura 3.8):

- **Tipo:** Para configurar transmisores se elige Tx/Rx A.
- **Señal:** En los casos de estaciones de TV analógica elegimos TV M, si es digital entonces elegimos la opción ISDB-T (6 Mhz) referente al estándar adoptado en el país.
- **Pot. Nominal (W):** Potencia nominal del transmisor (15000 W).
- **G. ant. Tx :** Ganancia de la antena de transmisión (11.18 dBi).
- **Pérd. (dB) Tx:** Pérdidas en el sistema de transmisión, 1.5dB para la banda I y III (VHF) y 2 dB para la banda IV y V (UHF).

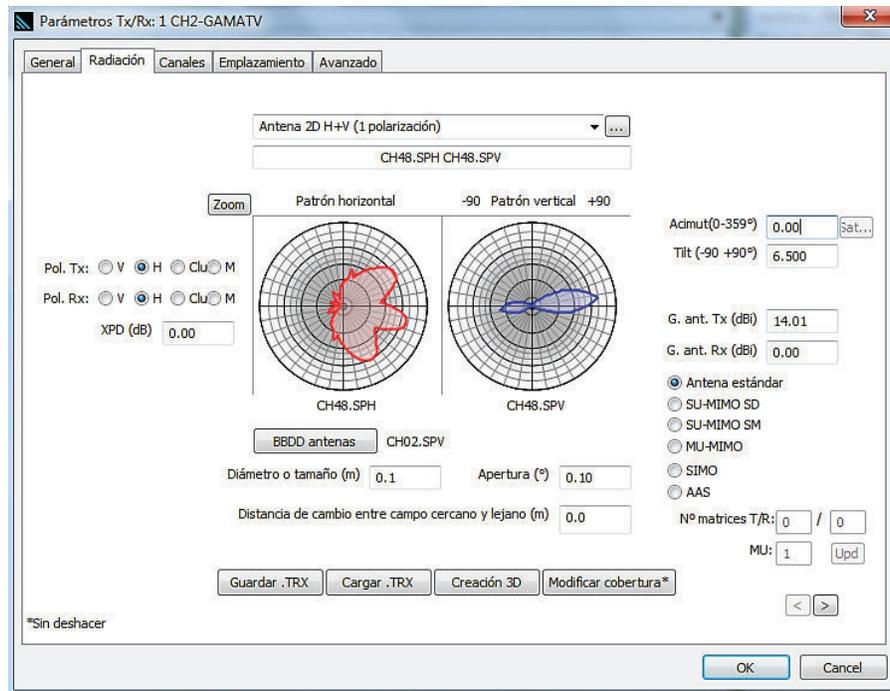
- **Frecuencia (MHz):** Frecuencia de la portadora de video (55.25 MHz).
- **Altura de ant. (m):** Altura media del arreglo de antenas. (46 m)
- **AB. Tx (kHz):** Ancho de banda del tipo de señal, para todos los casos 6000 kHz.
- **Callsign:** Establecemos el nombre con el que identificaremos a la estación en el mapa (CH2-GAMATV).

**Figura 3.8** Ingreso de parámetros técnicos de las estaciones de Tx/Rx.

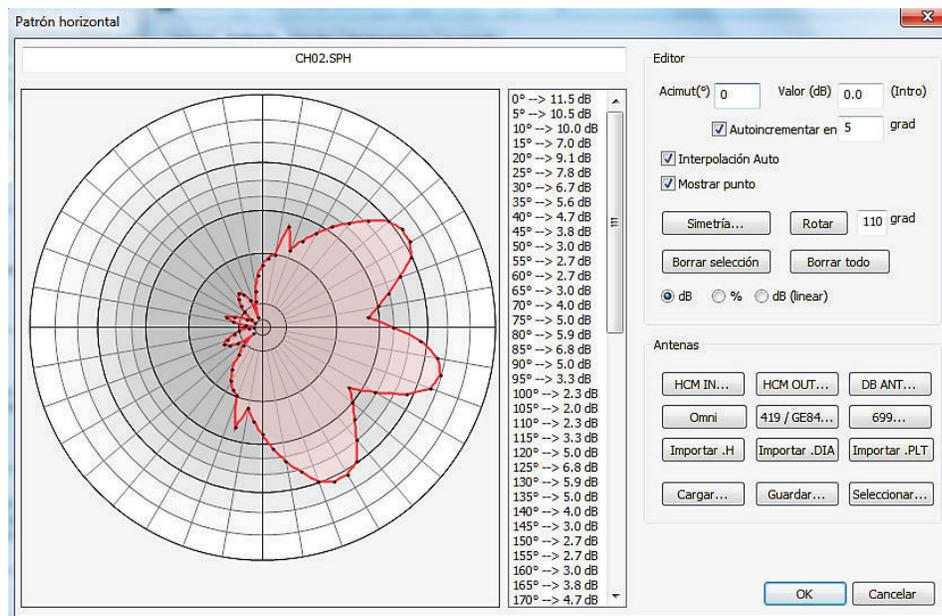
2) En la pestaña de *Radiación* mostrada en la Figura 3.9 se configuran los siguientes parámetros:

- En el menú de la parte superior se elige 'Antena 2D H+V (1 polarización)'
- **Tx pol, Rx pol:** Tipo de polarización H (Horizontal).
- **Azimut:** si el arreglo de antenas radia hacia una sola dirección se establece el valor del azimut en la pestaña Radiación de la ventana Parámetros Tx/Rx, caso contrario se lo mantiene en cero y el azimut se establece editando el ángulo de rotación en cada patrón de radiación horizontal (ver Figura 3.10)

haciendo clic en el botón de puntos, del menú superior de la misma ventana principal.



**Figura 3.9** Configuración de parámetros pestaña Radiación.

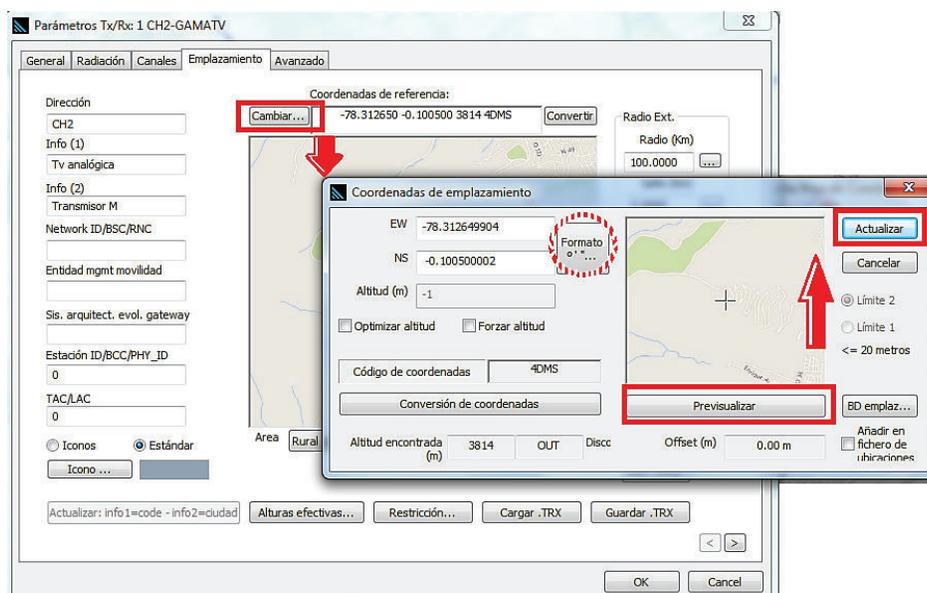


**Figura 3.10** Ventana Patrón horizontal del arreglo de antenas CH 02

- **Tilt:** Se establece el valor proporcionado por el ente de control (ver Anexo B), para el caso del canal 2 se tiene  $6.5^\circ$ .

3) A continuación en la pestaña *Emplazamiento* que se muestra en la Figura 3.11, hacer clic en *Cambiar...*, y en la ventana de *Coordenadas de emplazamiento* verificar el código de coordenadas que este fijado en 4DMS (*Degrees, Minutes, Seconds*). Ingresar la Longitud de la estación en el campo EW, y la Latitud en el campo NS, en ese formato: dígitos antes del punto corresponden a los grados, dígitos inmediatamente después del punto son los minutos y los dígitos a continuación es decir los últimos dígitos son los segundos. El signo '-' quiere decir que la coordenada se encuentra al Oeste y al Sur de la línea ecuatorial.

Para usar otro formato se da clic en el botón *Formato ° ' " ...*, y en la ventana que aparece se ingresa los valores de grados, minutos y segundos de una manera más sencilla. A continuación presionar el botón *Previsualizar* y seguido el botón *Actualizar* para que las coordenadas ingresadas sean aplicadas correctamente.

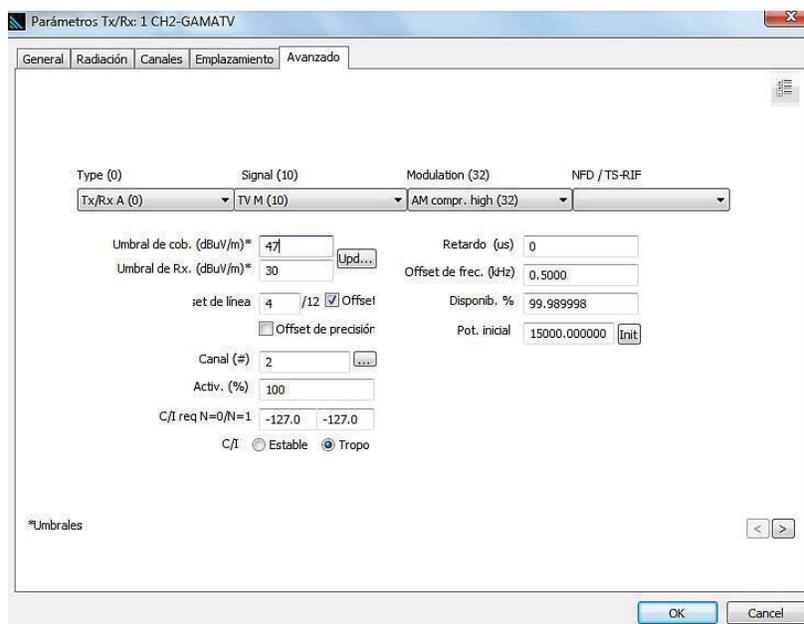


**Figura 3.11** Configuración pestaña Emplazamiento de la venta Parámetros Tx/Rx.

4) Finalmente en la pestaña *Avanzado* (ver Figura 3.12), se configuran los parámetros siguientes:

- **Modulation:** elegimos la opción AM compr. high que se refiere a la modulación AM en banda lateral residual<sup>17</sup>.
- **Umbral de cob (dBμV/m):** umbral de cobertura lo fijamos respecto a la Tabla 1.6 considerando la intensidad de campo mínima a proteger en el borde del área de cobertura secundaria ya que para nuestro análisis nos enfocaremos en áreas rurales.
- **Disponib. %:** Se refiere a la disponibilidad de la estación (99.99%).

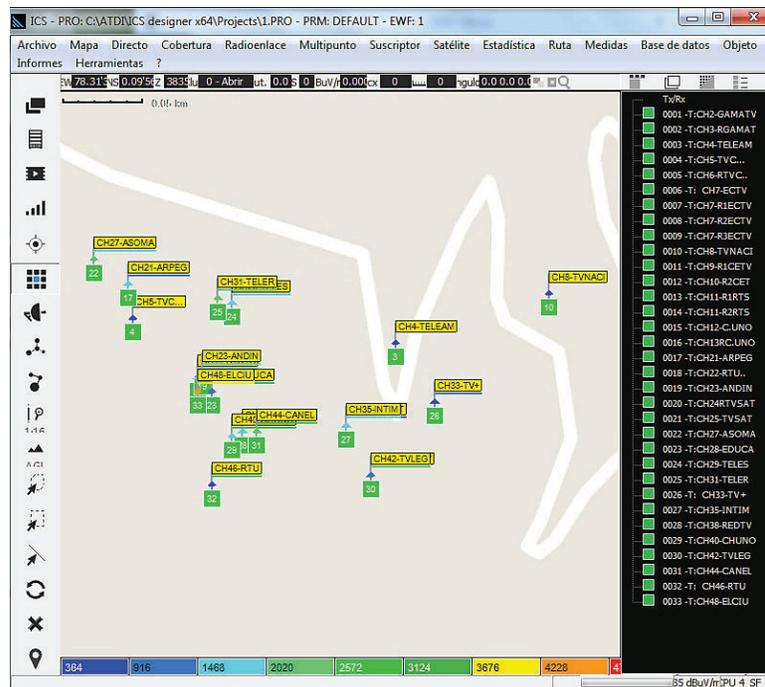
Cabe destacar que estos parámetros no influyen en el cálculo de la cobertura de la señal en el software de planificación de red.



**Figura 3.12** Configuración pestaña Avanzado en la ventana Parámetros Tx/Rx.

<sup>17</sup> Modulación lineal usada en sistemas de TV analógica PAL, SECAM y NTSC para la transmisión de la componente de luminancia (componente blanco y negro).

- 5) Una vez ubicados los demás transmisores siguiendo este proceso, se obtiene una configuración en el mapa como se ve en la Figura 3.13, en el punto del Cerro Pichincha en donde se encuentran la mayor parte de los transmisores de TV abierta.



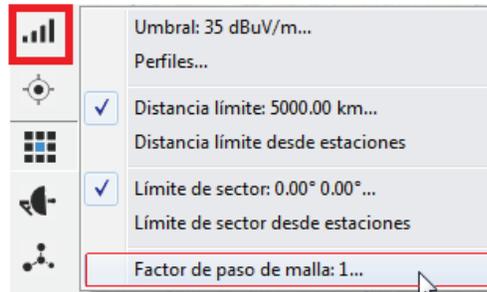
**Figura 3.13** Transmisores de TV abierta analógica que operan en el Cerro Pichincha.

### 3.1.6 PARÁMETROS ADICIONALES PREVIOS

- **Factor de paso de malla o *grid step*:** Los archivos cartográficos en *ICS Designer* están compuestos de un determinado número de píxeles. Es importante que el valor de *grid* que fijemos sea el adecuado ya que de eso dependen los cálculos de resolución y la precisión de los resultados.

Un  $grid=1$  es el valor más preciso que ofrece el software, y representa que todos los píxeles serán tomados en cuenta, por otro lado si el  $grid=2$  quiere decir que 1 de cada 2 píxeles serán tomados en cuenta, reduciendo además los tiempos de cálculo. Para establecer el valor de *grid*, basta con dar clic en

el botón *Umbral, límite de distancia, de sector y paso de grid* como vemos en la Figura 3.14 y seleccionamos *Factor de paso de malla: 1...*



**Figura 3.14** Configuración del Factor de paso de malla o grid step.

- **Umbral:** en esta opción se establece la intensidad de campo eléctrico mínima a la que se va a realizar la simulación, la misma que está basada en la Tabla 1.6, que considera la intensidad de campo mínima a proteger en el borde del área de cobertura secundaria de acuerdo a la banda en la que trabajemos. Aquí también se define la antena de recepción de referencia (isotrópica), la impedancia ( $50\Omega$ ) y la unidad de referencia (dBu).

Esta opción se configura en el mismo menú en el que se encuentra el *grid step*, en la parte superior.

- **Distancia límite:** en esta opción se define la distancia límite en el mapa hasta la cual se van a realizar los cálculos de intensidad de campo eléctrico. Es posible definirla usando de la siguiente formula:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times PIRE}}{D} \quad (3.1)$$

- donde:
- E= Intensidad de campo eléctrico [V/m].
  - PIRE= Potencia Isotrópica Radiada Efectiva [W].
  - D= Distancia desde el transmisor [m].

Asumiendo un valor de  $E = 0.001 \text{ V/m}$ , se reemplaza en la ecuación (3.1) para despejar el valor  $D$ , entonces se tiene que:

$$D = \sqrt{30 \times \text{PIRE}} \text{ [km]} \quad (3.2)$$

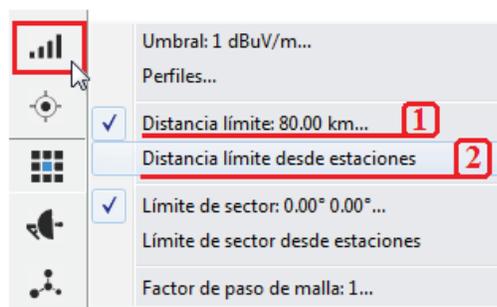
Ahora se analizan las tablas acerca de los parámetros técnicos de los transmisores (Referirse a la sección 1.5.4.1) y se toma el parámetro del PIRE de mayor valor para calcular la distancia límite para la simulación, el cual corresponde al CH 2, entonces se tiene que:

$$D = \sqrt{30 \times (189.290 \text{ kW})} = 75.35 \text{ km}$$

En base a este resultado, tomando en cuenta que será el máximo para todas las estaciones, se fija la distancia límite como 80 km.

Este parámetro se configura de igual manera en el menú emergente que aparece al dar clic en el botón *Umbral, límite de distancia, de sector y paso de grid* en el que se tiene dos opciones (Figura 3.15):

- 1) Establecer una distancia general para todas las estaciones ó
- 2) Seleccionar que se use la distancia establecida en cada estación al configurar los parámetros de Tx/Rx (Referirse a la Figura 3.9).

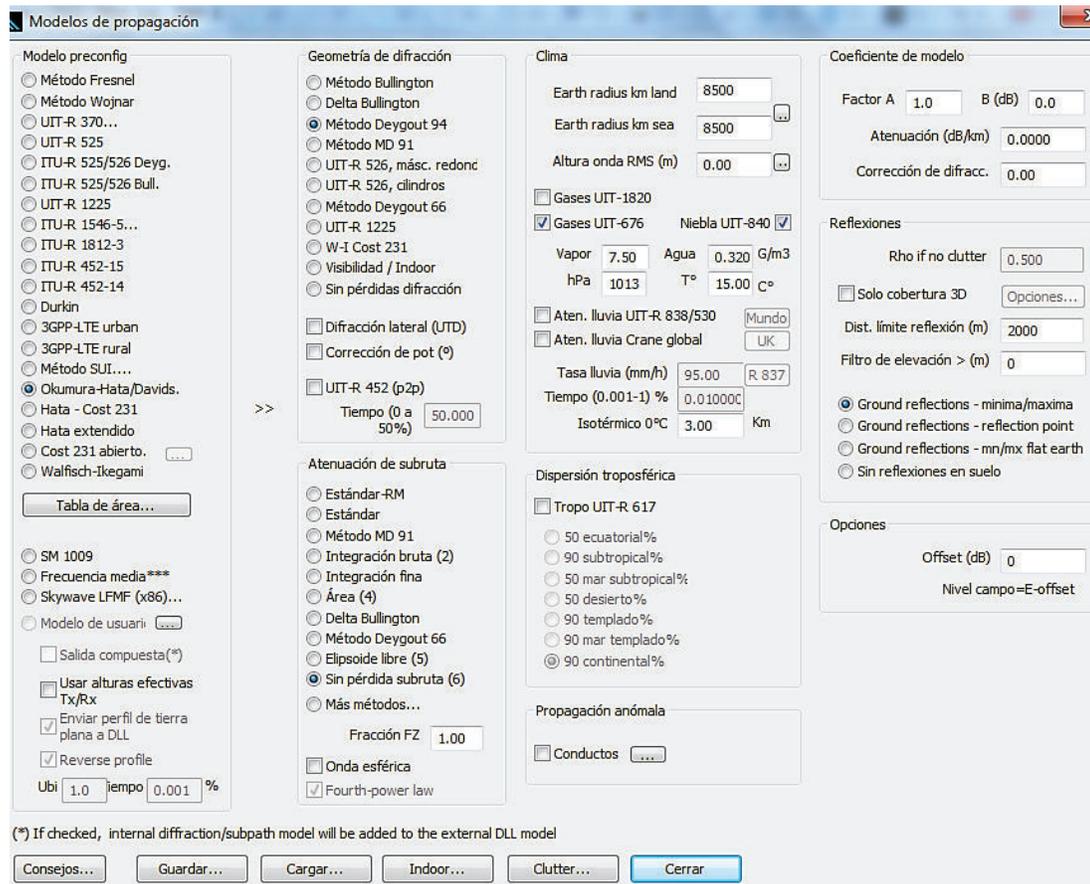


**Figura 3.15** Opciones de configuración del parámetro distancia límite.

### 3.1.6.1 Configuración del Modelo de Propagación.

Para seleccionar el modelo de propagación Okumura-Hata/Davidson que se estableció en el Capítulo 1 (referirse a la sección 1.5.4.2), en *ICS Designer* se va a seguir el siguiente proceso:

- 1) En la barra de menú dar clic en *Herramientas* y seleccionar *Modelo de Propagación*, aparece una pequeña ventana en la cual se presiona el botón *Modelo*.
- 2) En la ventana Modelos de propagación que se muestra en la Figura 3.16, configurar los siguientes parámetros:



**Figura 3.16** Configuración del Modelo de Propagación en *ICS Designer*.

- **Modelo preconfig:** El modelo escogido es el Okumura-Hata/Davidson, sin embargo en la ventana de configuración para este modelo se tienen varias opciones entre las cuales están: el método *Deygout* y el método *Bullington*.

*Bullington* es un método bastante simple, que se basa en el principio que los obstáculos forman una arista en filo de cuchillo en la intersección de los picos de las obstrucciones y considerando esto se calculan las pérdidas, pero se ignoran bordes intermedios que pueden ser importantes y además se pueden dar aproximaciones ideales.

Con el objetivo de que los resultados se apeguen a la realidad se escoge el método *Deygout* que considera todos los bordes de los obstáculos para calcular las pérdidas y utiliza para esto el mapa de perfil detallado de la cumbre que se carga en *ICS Designer*.

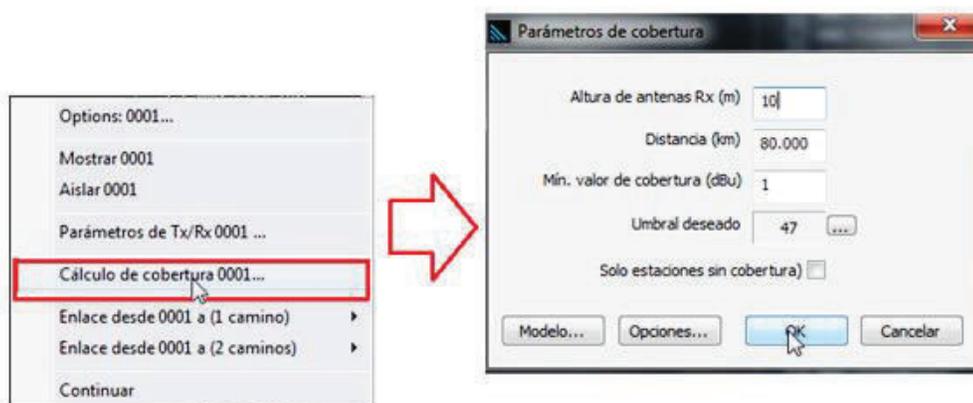
- **Geometría de difracción:** para asegurar la compatibilidad del modelo se elige Deygout 94 en este parámetro.
- **Atenuación de subruta:** Se elige, sin pérdida de subruta.
- **Clima:** Gases UIT-676, contempla la atenuación debida a los gases atmosféricos en el rango de 1 a 350 GHz, por debajo de esos valores el coeficiente de atenuación es igual a 0 (atenuación insignificante).  
Lluvia UIT-R 838/530, representa un modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción, el coeficiente de atenuación por lluvia de igual forma debajo del 1 GHz es despreciable.

La capa clutter o capa de ocupación del suelo se puede definir en *ICS Designer*, pero para nuestro estudio se define una atenuación debida al clutter igual a 0, debido a que no se dispone la información de un clutter que defina a detalle la ocupación del suelo.

### 3.1.7 PROCESO DE SIMULACIÓN

Una vez configurados los parámetros que se van a simular, se procede de la siguiente manera:

- 1) Dar clic derecho en la estación de interés, y a continuación seleccionar *cálculo de cobertura* (ver Figura 3.17).



**Figura 3.17** Ventana de configuración de parámetros de cobertura.

- 2) En la ventana *Parámetros de cobertura*, establecer el valor de 10m para la altura de las antenas de Rx debido a que todas las recomendaciones de la UIT utilizan este valor para la predicción de cobertura, la distancia de cobertura en 80km (Referirse al numeral 3.1.6 ), y el umbral deseado de 47 dBuV/m o el valor que corresponda de acuerdo a la banda a la que pertenezca el canal analizado (según la Tabla 1.6).
- 3) Seguido de esto hacer clic en OK, para que el software empiece la simulación de cobertura.

En la Figura 3.18 se puede apreciar la cobertura del canal 2 en tres dimensiones exportando los resultados de las simulaciones al programa *Google Earth* y en la Figura 3.19 la cobertura en dos dimensiones obtenida directamente con el software *ICS Designer*, para el área que corresponde al DMQ.

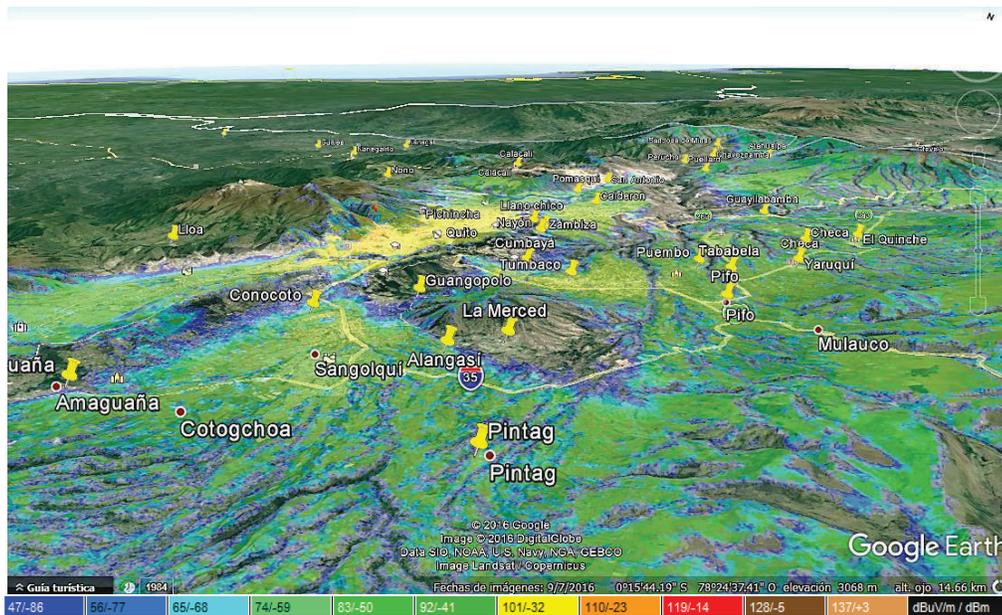


Figura 3.18 Cobertura del canal 2 de TV analógica correspondiente al DMQ en tres dimensiones (Google Earth).

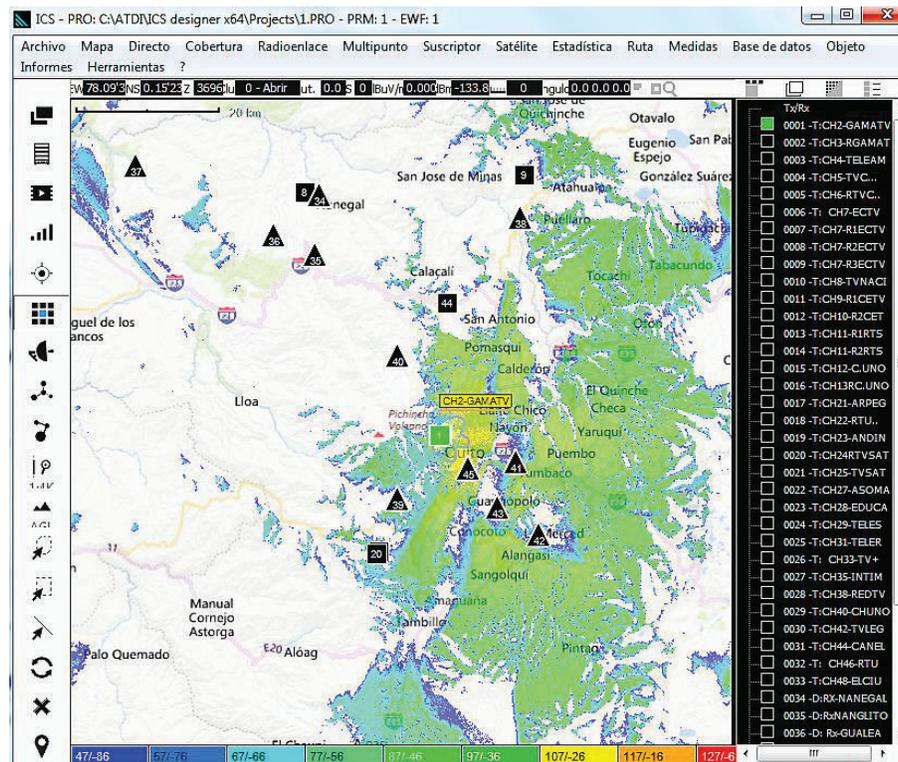


Figura 3.19 Cobertura del canal 2 de TV analógica correspondiente al DMQ en dos dimensiones.

### 3.1.8 REPRESENTACIÓN DE LAS COBERTURAS

Una vez que se configuraron los transmisores de los canales de televisión abierta analógica que operan en el DMQ, se realiza el mismo proceso de simulación para cada uno de los canales de estudio.

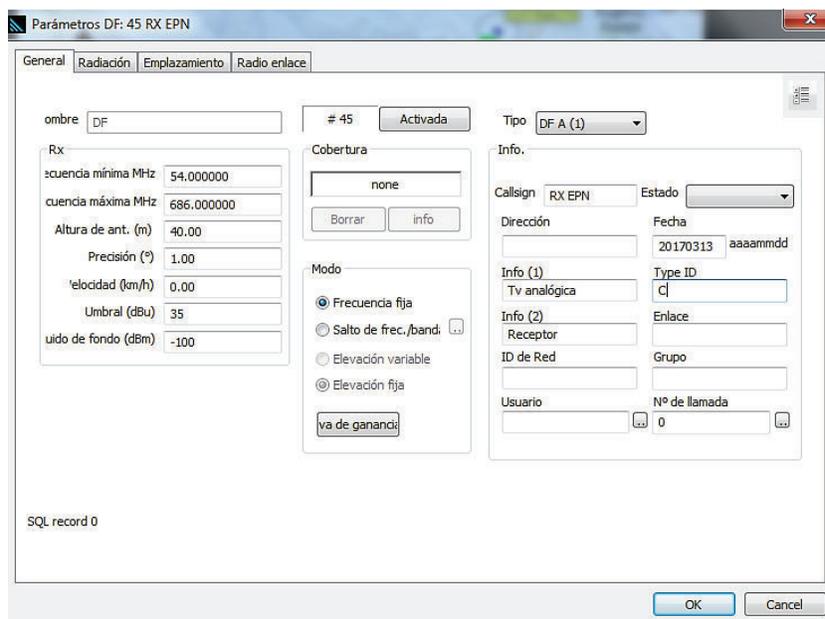
En el Anexo C se presentan las coberturas de cada uno de los canales de TV abierta obtenidas en el software *ICS Designer*, las mismas que fueron representadas tomando en cuenta los valores mínimos de intensidad de campo como umbral de acuerdo a la banda a la que pertenece cada canal (referirse a la Tabla 1.6).

La paleta de colores en la parte inferior de cada cobertura, especifica los niveles de intensidad de campo eléctrico en dBuV/m y en dBm de acuerdo a cada color que se representa en el mapa del DMQ.

### 3.1.9 CONFIGURACIÓN DE RECEPTORES.

Para comprobar de alguna forma la cobertura obtenida en las simulaciones utilizando el software *ICS Designer* es necesario la configuración de receptores, los mismos que tendrán la misma configuración a excepción de la ubicación y la altura de acuerdo al siguiente procedimiento:

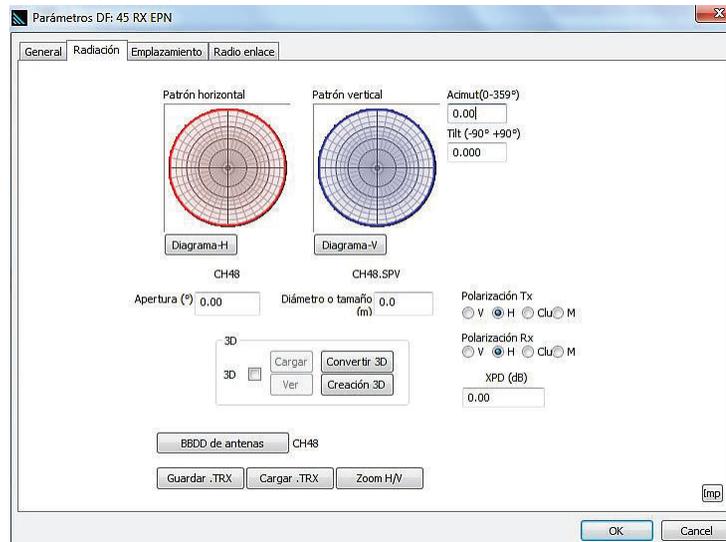
- 1) Siguiendo el mismo procedimiento para configurar un transmisor, en el mapa hacer clic derecho y seleccionar añadir estación / Tx/Rx. En la ventana Parámetros Tx/Rx en la opción 'Tipo' seleccionar *Direction Finder - DF (A)* [39], inmediatamente se abre la ventana Parámetros DF en donde se van a configurar los siguientes parámetros en los receptores (ver Figura 3.20):
  - **Frecuencia mínima MHz:** Se establece 54 MHz, es la frecuencia mínima que tomará en cuenta el receptor.
  - **Frecuencia máxima MHz :** Se establece 686 MHz, es la frecuencia máxima que tomará en cuenta el receptor.



**Figura 3.20** Configuración de Receptor en la ventana Parámetros DF.

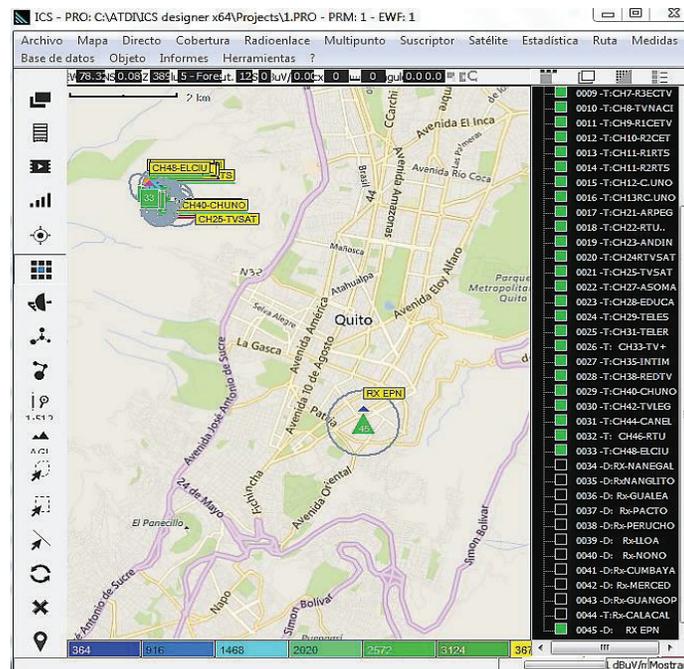
- **Altura de ant (m):** Este parámetro depende de la altura a la que se realice la medición real y de la altura que nos indique el mapa del software. Para este caso la altura a la que se hizo la medición en el edificio de la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en campus de la EPN fue de 2846m según la referencia del GPS usado, por otro lado la altura del receptor en el software es de 2806 m, por lo que el valor de la altura de la antena que se debe ubicar es la diferencia entre esos dos valores, en este caso 40m; para que concuerde con la medición real.
  - **Precisión (°):** se establece como 1°, este parámetro representa el paso angular con el cual se detectará la señal.
  - **Velocidad (km/h):** se establece 0 Km/h debido a que el DF es fijo.
  - **Umbral (dBu):** El umbral de recepción por defecto se define en 35 dBu pero se puede definir un valor menor sin mayor problema.
  - **Ruido de fondo (dBm):** Este parámetro de manera general se define en -100 dBm.
- 2) En la pestaña 'Radiación' de la Figura 3.21 configurar los patrones de radiación tanto horizontal como vertical. Establecer un patrón

omnidireccional sin importar el valor de azimut, ni ángulo de elevación y seleccionar tipo de polarización como horizontal.



**Figura 3.21** Configuración pestaña Radiación de la ventana Parámetros DF.

- 3) En la pestaña 'Emplazamiento', ingresamos los valores de Latitud y Longitud del sitio donde se va a ubicar los receptores.
- 4) Finalmente, dar clic en 'Ok' y se mostrará el receptor en el mapa con el nombre que se estableció (ver Figura 3.22).



**Figura 3.22** Receptor configurado en ICS Designer.

### 3.1.10 OBTENCIÓN DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO.

Existen dos métodos para obtener los niveles de intensidad de campo eléctrico en un punto determinado en el mapa utilizando el software *ICS Designer*:

➤ **Método ‘Perfil a’**

Este método permite obtener la información completa del transmisor, receptor, del trayecto entre los mismos además del valor de intensidad de campo eléctrico recibido, entre otros parámetros. Al ser el método más completo este conlleva bastante tiempo de procesamiento debido a que se realiza un perfil para cada transmisor y dependiendo del número de receptores que se tenga, este método puede resultar bastante largo.

Sin embargo, se lo aplica de la siguiente manera:

- 1) Seleccionar en el mapa un transmisor, haciendo clic izquierdo sobre el mismo en el mapa. (Para el ejemplo se selecciona el transmisor del CH2).
- 2) En el menú emergente hacer clic en la opción ‘Perfil a’ y seleccionar el receptor con el cual se creará el perfil (ver Figura 3.23).
- 3) Luego de este procedimiento aparece la ventana ‘Perfil’ mostrada en la Figura 3.24, en donde se muestra información detallada correspondiente al transmisor, al receptor, a la propagación y al trayecto o ruta (path) (ver Figura 3.25). En la información del trayecto se incluye el parámetro FSR (Field Strength Received) en dBuV/m que corresponde al valor del nivel de intensidad de campo eléctrico recibido, en este caso 102,8 dBuV/m.

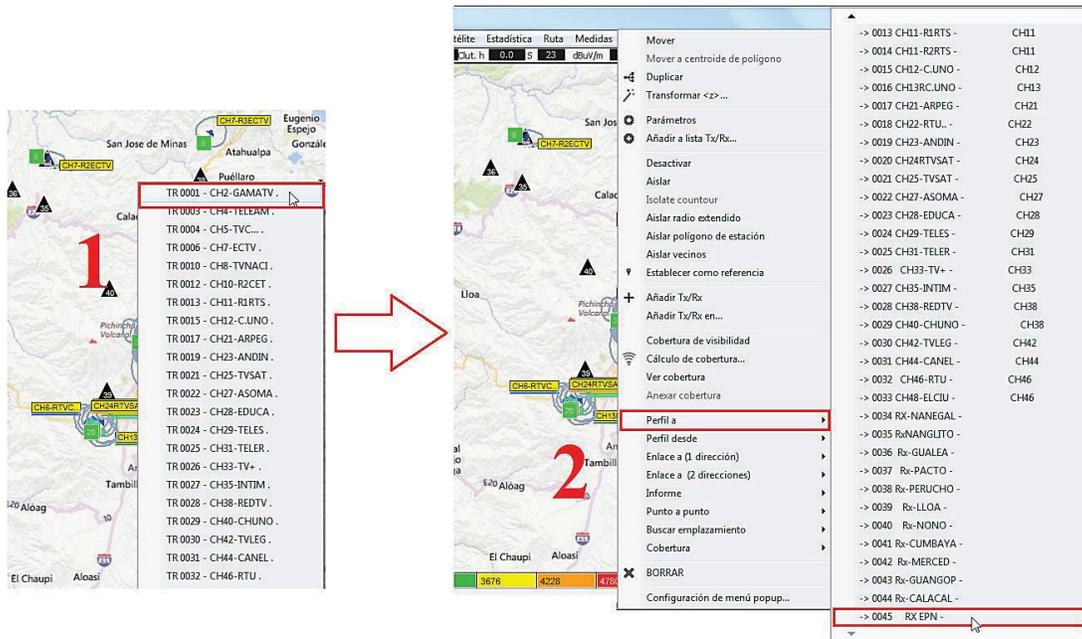


Figura 3.23 Proceso Método 'Perfil a'

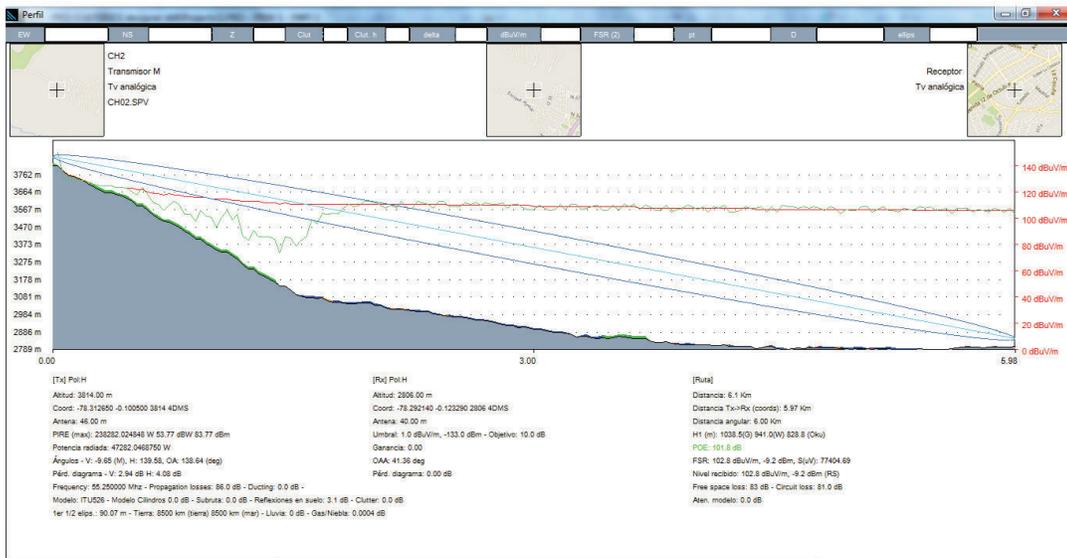
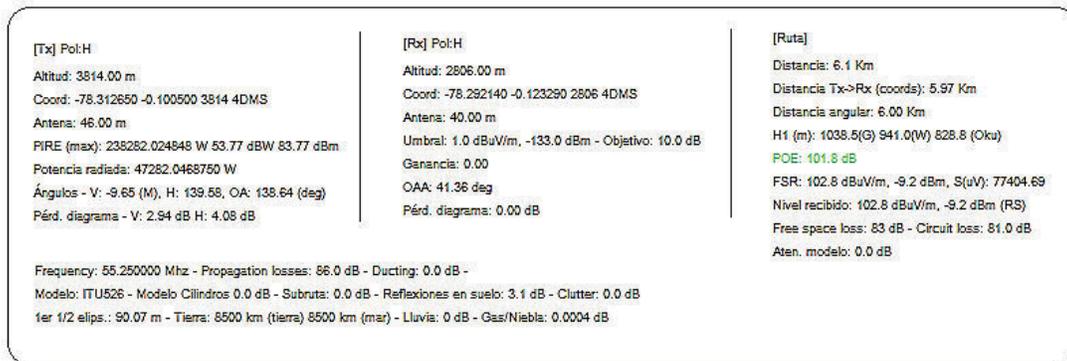


Figura 3.24 Ventana 'Perfil' desde el transmisor del CH 2 al receptor EPN.

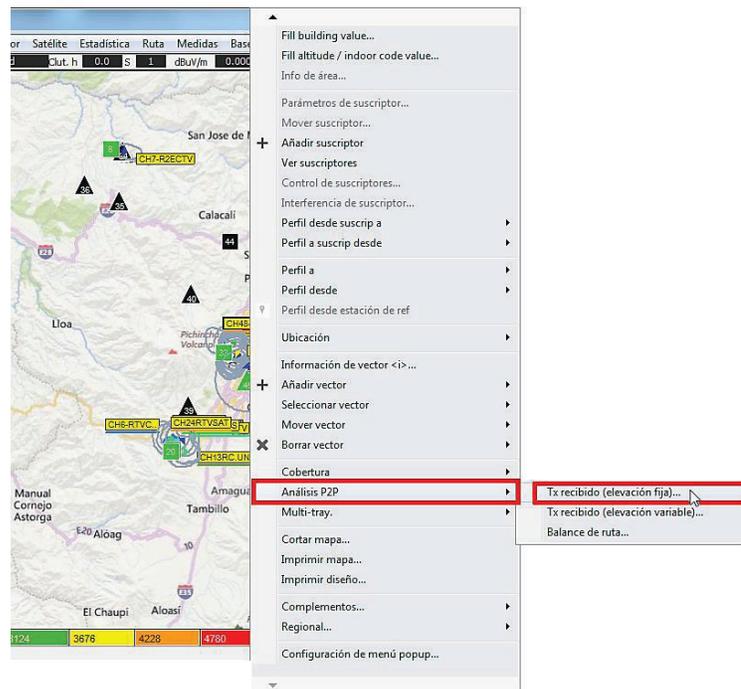


**Figura 3.25** Imagen ampliada de la información de la ventana 'Perfil'.

Para obtener los valores de intensidad de campo eléctrico en este receptor de todos los transmisores, se debe repetir este procedimiento con cada uno de ellos.

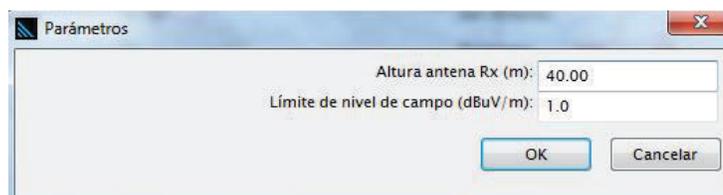
### ➤ Método 'Path Analysis':

Representa el método más rápido y sencillo respecto al método anterior, tiene la ventaja de entregar los valores de intensidad de campo eléctrico recibido de todos los transmisores configurados en un solo informe, para lo cual se sigue el siguiente proceso:



**Figura 3.26** Método de 'Path Analysis - P2P'

- 1) Ubicar el mouse sobre el receptor (para el ejemplo Rx-EPN), dar clic izquierdo y seleccionar 'continuar' en el menú emergente.
- 2) En el nuevo menú que aparece, dar clic en la opción Análisis P2P, y escoger la opción 'Tx recibido (elevación fija)...' como se aprecia en la Figura 3.26.
- 3) Aparece una pequeña ventana (ver Figura 3.27), en la que se establece la altura del receptor y el límite mínimo de intensidad de campo eléctrico. Se mostrará solamente los valores superiores a este límite por lo que es preferible dejar el valor de 1 dBuV/m y se hace clic en OK.



**Figura 3.27** Ventana de Parámetros para el método 'Path analysis – P2P'

- 4) Inmediatamente se muestra la ventana de 'Informe', que detallará todos los valores de intensidad de campo eléctrico recibido (FSR) de todos los transmisores de los cuales se recepte alguna señal, además de la potencia recibida (PR), la frecuencia de recepción (Frec.), la distancia entre el transmisor y receptor, entre otros parámetros como se observa en la Figura 3.28.

Contrastando los dos métodos se aprecia que existe una mínima diferencia entre el primer método (102.8 dBuV/m) y el segundo método (103 dBuV/m). Por lo que, si solo se necesita saber los valores de intensidad de campo eléctrico de todos los transmisores y sin mucho detalle, el segundo método es el más conveniente y rápido.

EMISIONES RECIBIDAS - Rx: 40.00 m										
BST	Callsign	Dirección	FSR dBuV/m	PR dBm	Frec. (MHz)	Dist. (km)	Az (°)	ToA (usec)	Desde	Ruta
1	CH2-GAMATV	CH2	103.0	-9.07	55.250000 H	6.60	143.48	22.26	Cobertura	nc
2	CH3-RGAMAT	CH3	81.0	-32.10	62.250000 H	17.02	48.39	56.88	Cobertura	nc
3	CH4-TELEAM	CH4	97.0	-16.77	67.250000 H	6.66	143.66	22.45	Cobertura	nc
4	CH5-TV.C.	CH5	109.0	-5.98	77.250000 H	6.77	142.96	22.84	Cobertura	nc
5	CH6-RTVC.	CH6	77.0	-38.63	83.250000 H	17.08	48.68	57.07	Cobertura	nc
6	CH7-ECTV	CH7	103.0	-19.09	175.250001 H	6.71	142.87	22.65	Cobertura	nc
7	CH7-R1ECTV	CH7	72.0	-50.09	175.250001 H	16.94	48.05	56.62	Cobertura	nc
10	CH8-TVNACI	CH8	100.0	-22.39	181.250001 H	6.64	144.81	22.37	Cobertura	nc
11	CH9-R1CETV	CH9	71.0	-51.67	187.250001 H	16.58	48.55	55.38	Cobertura	nc
12	CH10-R2CET	CH10	105.0	-17.94	193.250001 H	6.63	143.43	22.40	Cobertura	nc
13	CH11-R1RTS	CH11	94.0	-29.21	199.250001 H	6.73	143.00	22.71	Cobertura	nc
14	CH11-R2RTS	CH11	73.0	-50.21	199.250001 H	17.02	48.39	56.88	Cobertura	nc
15	CH12-C.UNO	CH12	99.0	-24.47	205.250001 H	6.68	142.92	22.54	Cobertura	nc
16	CH13RC.UNO	CH13	67.0	-56.72	211.250001 H	17.00	48.46	56.82	Cobertura	nc
17	CH21-ARPEG	CH21	100.0	-31.43	513.250001 H	6.79	143.09	22.50	Cobertura	nc
18	CH22-RTU.	CH22	64.0	-67.53	519.250001 H	16.58	48.55	55.38	Cobertura	nc
19	CH23-ANDIN	CH23	83.0	-48.63	525.250001 H	6.72	143.17	22.67	Cobertura	nc
20	CH24RTVSAT	CH24	63.0	-68.73	531.250001 H	17.02	48.39	56.88	Cobertura	nc
21	CH25-TVSAT	CH25	98.0	-33.82	537.250001 H	6.36	144.12	21.41	Cobertura	nc
22	CH27-ASOMA	CH27	100.0	-32.02	549.250001 H	6.80	142.92	22.97	Cobertura	nc
23	CH28-EDUCA	CH28	98.0	-34.11	555.250001 H	6.70	143.04	22.61	Cobertura	nc
24	CH29-TELES	CH29	101.0	-31.20	561.250001 H	6.74	143.30	22.73	Cobertura	nc
25	CH31-TELER	CH31	102.0	-30.39	573.250001 H	6.74	143.30	22.73	Cobertura	nc
26	CH33-TV+	CH33	94.0	-38.57	585.250001 H	6.62	143.91	22.34	Cobertura	nc
27	CH35-INTIM	CH35	100.0	-32.74	597.250001 H	6.63	143.43	22.38	Cobertura	nc
28	CH38-REDTV	CH38	81.0	-52.00	615.250001 H	6.66	143.09	22.48	Cobertura	nc
29	CH40-CHUNO	CH38	69.0	-64.17	627.250001 H	6.68	142.92	22.54	Cobertura	nc
30	CH42-TVLEG	CH42	103.0	-30.33	639.250001 H	6.60	143.48	22.25	Cobertura	nc
31	CH44-CANEL	CH44	104.0	-29.50	651.250001 H	6.66	143.09	22.48	Cobertura	nc
32	CH46-RTU	CH46	103.0	-30.65	663.250001 H	6.66	142.79	22.47	Cobertura	nc
33	CH48-ELCIU	CH46	98.0	-35.81	675.250001 H	6.71	142.87	22.66	Cobertura	nc

Figura 3.28 Informe de niveles de intensidad de campo eléctrico recibido.

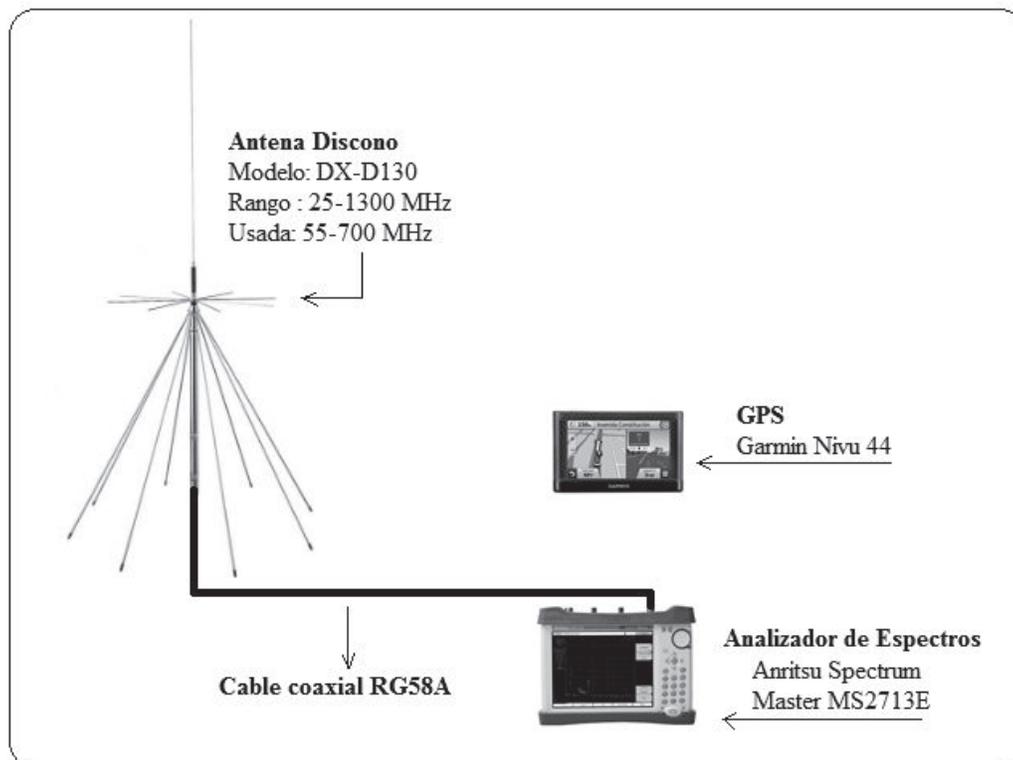
## 3.2 PRUEBAS DE CAMPO

En esta sección del proyecto se describe cada uno de los componentes utilizados así como también el proceso para realizar las mediciones de intensidad de campo eléctrico de los canales de TV analógica en las zonas rurales del DMQ.

### 3.2.1 ESQUEMA DE MEDICIÓN

El esquema de medida es muy sencillo, está compuesto básicamente por una antena omnidireccional, un cable coaxial, un analizador de espectros y un GPS (ver Figura 3.29).

Se explican más adelante las características de cada uno de ellos.

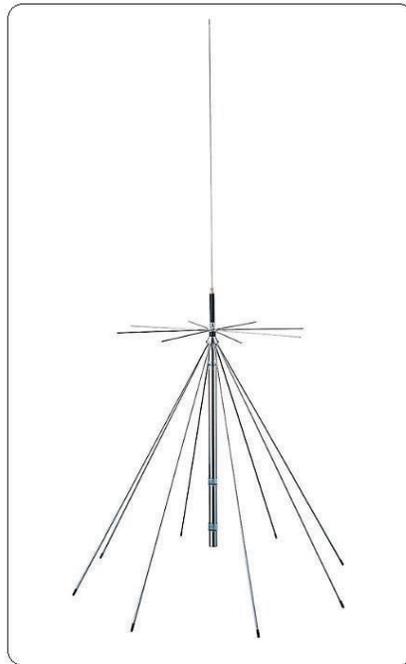


**Figura 3.29** Esquema de medida

## 3.2.2 EQUIPO DE MEDICIÓN

### 3.2.2.1 Antena

Para medir la intensidad de campo eléctrico de los canales de TV analógica que operan en el DMQ se utiliza una antena polarizada verticalmente con diagrama de recepción omnidireccional, modelo Discono DX-D130 que se puede ver en la Figura 3.30, la cual es capaz de recibir señales en la banda comprendida desde los 25 MHz hasta los 1300 MHz. Su arquitectura permite receptor señales de antenas tanto en polarización vertical como en horizontal.



**Figura 3.30** Antena Discono DX-D130 [43]

### 3.2.2.2 Analizador de Espectros

Para este proyecto se considera el uso del analizador de espectros Anritsu *Handheld Spectrum Analyzer* modelo MS2713E (Spectrum Master), el cual se muestra en la Figura 3.31. Es un equipo que permite obtener mediciones de forma rápida y precisa en el rango de 9kHz a 6GHz.



**Figura 3.31** Anritsu *Handheld Spectrum Analyzer* MS2713E [44]

El equipo dispone de una interfaz Ethernet por la cual se lo puede programar y configurar, un puerto externo USB para guardar los datos en caso de que no se desee almacenar en la memoria interna y un pantalla LCD *touch-screen* de alta resolución. Puede funcionar conectado a la fuente o con baterías aproximadamente tres horas.

El equipo es muy sencillo de usar, una vez encendido se selecciona el modo 'Analizador de Espectros' y se presentará la pantalla general en donde, de acuerdo al parámetro que se quiera configurar, se selecciona una de las opciones del Menú Principal. En la parte derecha de la pantalla están las opciones del Submenú a seleccionar, como se aprecia en la Figura 3.32.

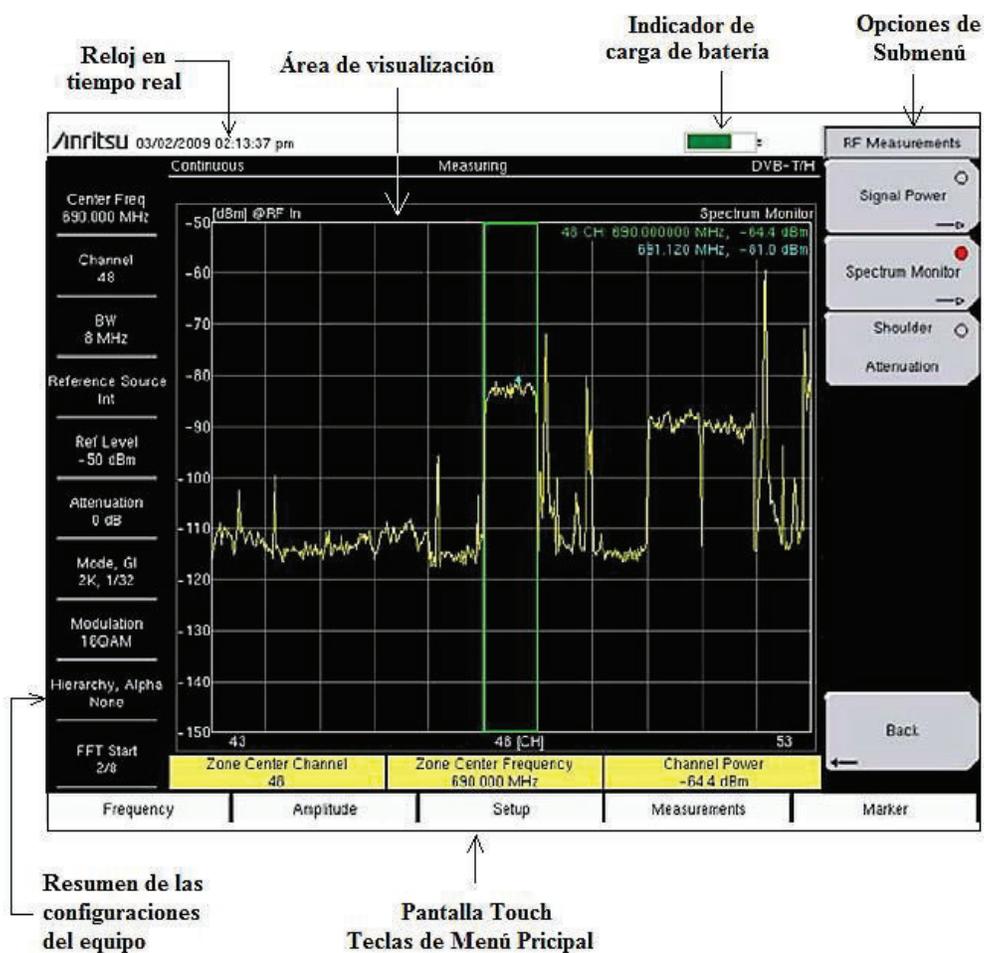
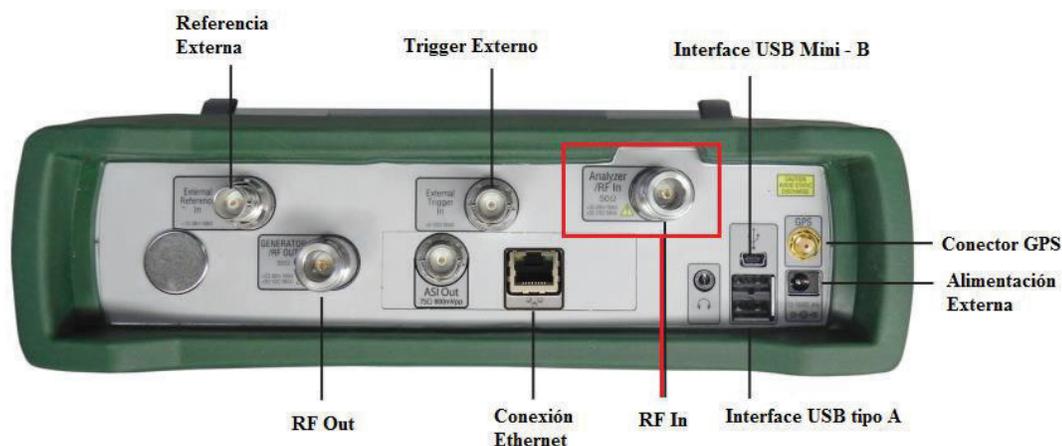


Figura 3.32 Pantalla General del modo Analizador de Espectros [44]

### 3.2.2.3 Otros Componentes

Para interconectar la antena con el analizador de espectros se usa un cable coaxial RG58 A/U<sup>18</sup> a 50 ohm de siete metros de longitud aproximadamente, para el fácil desplazamiento de la antena. El cable consta de un conector tipo N para lo cual se necesitan tres transiciones para poder conectar al analizador de espectros que dispone de un conector de entrada tipo BNC como se puede ver en la Figura 3.33.



**Figura 3.33** Vista superior del analizador de espectros Anritsu MS2713E [44]

Para la referenciación geográfica de las zonas en donde se realizarán las mediciones se hará uso de un GPS Garmin Nuvi 44, un modelo para automóvil (ver Figura 3.34).



**Figura 3.34** GPS Garmin Nuvi 44 [45]

<sup>18</sup> RG58 A/U: Cable coaxial con núcleo de hilos trenzados.

### 3.2.3 ESCENARIOS DE MEDIDA

Tomando en cuenta el territorio que conforma el Distrito Metropolitano de Quito, el presente proyecto se enfoca en determinar espacios libres (*White Spaces*) en la banda de frecuencia VHF y UHF en la cual radián los canales de televisión abierta analógica.

Una vez obtenidas las coberturas de los canales de TV abierta que operan en el DMQ se procedió a analizarlas en los mapas de la simulación, con el fin de determinar en cada canal las zonas en donde se tiene poca o nula cobertura de los transmisores.

Así, la Tabla 3.1 muestra claramente la ocupación de los canales de TV analógica en las parroquias rurales del distrito, en donde se ha representado con color blanco si el canal está Libre, con color amarillo si el canal está parcialmente ocupado, y con color rojo si el canal está ocupado en esa zona.

En este sentido como primer análisis, se ha contabilizado cada dos canales parcialmente ocupados como un solo canal ocupado con la intención de apreciar en un porcentaje aproximado la cantidad de canales libres en cada una de las parroquias y de determinar en qué zonas se realizarán las mediciones en campo.

Tomando aquello como premisa y considerando el último censo de población realizado en el país por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), como se puede apreciar en la Tabla 3.2, muchas de las parroquias denominadas rurales tienen un número elevado de habitantes, por lo que para el estudio de campo de este proyecto se han tomado dos zonas de las cinco con menor número de habitantes (Perucho y Nono), las cuales coinciden de igual manera entre ocho de las zonas rurales identificadas con baja cobertura de los transmisores de televisión analógica (mayor número de *White Spaces*).

Adicionalmente se estableció un punto de medición en la Escuela Politécnica Nacional para la validación de resultados en zonas de óptima cobertura.



**Tabla 3.2** Número de habitantes en el DMQ por parroquia [46]

<i>N° habitantes</i>			<i>N° habitantes</i>		
1	Perucho	789	18	Llano chico	10.673
2	Chavezpamba	801	19	Puembo	13.593
3	Lloa	1.494	20	Nayón	15.635
4	Nono	1.732	21	El quinche	16.056
5	Atahualpa	1.901	22	Guayllabamba	16.213
6	Gualea	2.025	23	Pifo	16.645
7	Nanegal	2.636	24	Yaruquí	17.854
8	Tababela	2.823	25	Pintag	17.930
9	Nanegalito	3.026	26	Alangasi	24.251
10	Guangopolo	3.059	27	Pomasqui	28.910
11	Calacali	3.895	28	Amaguaña	31.106
12	Zámbiza	4.017	29	Cumbayá	31.463
13	Pacto	4.798	30	San Antonio	32.357
14	Puellaro	5.488	31	Tumbaco	49.944
15	San José de Minas	7.243	32	Conocoto	82.072
16	La merced	8.394	33	Calderón (Carapungo)	152.242
17	Checa	8.980	34	Quito	1.619.146

### 3.2.4 PROCESO DE MEDICIÓN

Como primer paso de este proceso se realizarán medidas preliminares dentro del Campus de la Escuela Politécnica Nacional, específicamente en la terraza del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, con el propósito de familiarización con el analizador de espectros y para validar los datos recolectados de la simulación.

En este proceso de medición se trabajará en las bandas de frecuencia desde los 54 MHz hasta los 686 MHz en las cuales funciona el servicio de TV abierta analógica y se procederá de la siguiente manera:

- 1) Armar correctamente la antena Discono DX-D130 y conectar con el analizador de espectros, verificando que la conexión este totalmente ajustada para evitar problemas de pérdida de recepción de las señales de televisión analógica.

- 2) Con el uso del GPS determinar las coordenadas del sitio en donde se van a realizar las mediciones.
- 3) Una vez encendido el analizador de espectros configurar los siguientes parámetros en el modo 'Analizador de Espectros [39]:
  - Frecuencia de inicio y final (MHz): 55-686 MHz
  - Span: 6 MHz
  - Nivel de Referencia: -30 dBm
  - Piso de Ruido: -90 dBm
  - Nivel de atenuación: 10 dBm
  - Resolución *Bandwidth* (RBW): Automática
  - *Video Bandwidth* (VBW): Automática
  - Marcador 1: ON
  - *Trace A Operations*: Max Hold
- 4) Con el uso del marcador, ubicar el pico más alto de la señal y verificar que la frecuencia de inicio y de parada no se hayan modificado para poder analizar el espectro de la señal adecuadamente.
- 5) Guardar las gráficas obtenidas como respaldo de los datos de intensidad de campo eléctrico tomados.

Una vez realizadas las mediciones en los tres puntos se presenta la Tabla 3.3, en la cual se detalla: la altura del sitio, las coordenadas en latitud y longitud y los valores obtenidos en dBm y en dBuV/m.

La relación entre los valores expresados en dBm y dBuV/m está dada por la frecuencia del canal y por parámetros del receptor (impedancia, ganancias, pérdidas) de acuerdo a las fórmulas que se encuentran adjuntas al Anexo E [47].

Para simplificar los cálculos de conversión, es posible usar el 'convertor de nivel de campo' en la pestaña de 'Herramientas' en el software ICS *Designer*.

**Tabla 3.3** Mediciones de intensidad de campo eléctrico para TV abierta analógica.

				EPN 2846 metros		PERUCHO 1840 metros		NONO 2845 metros	
				COORDENADAS					
				S 00°12'32.9"		N 00°06'34.6"		S 00° 04'43.5"	
				O 078°29'21.4"		O 078°25'23.9"		O 078°34'23.3"	
				MEDIDAS					
Tx #	Nombre Tx	Canal	Freq MHz	dBm	dBuV/m	dBm	dBuV/m	dBm	dBuV/m
1	CH2-GAMATV	CH2	55,25	-23,96	86,78	-83,63	27,12	-98,60	12,15
2	CH3-RGAMAT	CH3	62,25	-59,02	52,8	-89,60	22,22	-97,51	14,31
3	CH4-TELEAM	CH4	67,25	-46,70	65,88	-88,40	24,18	-97,07	15,51
4	CH5-TVC---	CH5	77,25	-35,30	78,59	-88,46	25,42	-97,68	16,20
5	CH6-RTVC--	CH6	83,25	-44,83	54,7	-88,88	25,65	-98,55	15,98
6	CH7-ECTV	CH7	175,25	-28,22	93,35	-87,34	34,24	-99,06	22,52
7	CH8-TVNACI	CH8	181,25	-29,86	92	-88,56	33,30	-98,76	23,10
8	CH9-R1CETV	CH9	187,25	-76,02	46,22	-87,64	34,64	-98,96	23,27
9	CH10-R2CET	CH10	193,25	-30,29	92,16	-87,85	34,60	-98,64	23,81
10	CH11-R1RTS	CH11	199,25	-38,84	84,02	-88,34	34,52	-98,88	23,98
11	CH12-C-UNO	CH12	205,25	-35,25	93,83	-88,84	34,21	-98,82	24,23
12	CH13RC-UNO	CH13	211,25	-63,73	59,64	-89,36	34,01	-98,06	25,31
13	CH21-ARPEG	CH21	513,25	-48,82	83,39	-86,73	45,48	-98,82	33,39
14	CH22-RTU--	CH22	519,25	-81,22	51,12	-87,80	44,53	-97,89	34,44
15	CH23-ANDIN	CH23	525,25	-63,16	69,3	-87,96	44,49	-96,85	35,60
16	CH24RTVSAT	CH24	531,25	-86,72	45,85	-86,96	45,61	-96,67	35,90
17	CH25-TVSAT	CH25	537,25	-57,25	75,47	-86,72	45,99	-97,56	35,15
18	CH27-ASOMA	CH27	549,25	-56,65	79,23	-86,48	46,40	-97,70	35,19
19	CH28-EDUCA	CH28	555,25	-51,98	81,07	-86,79	46,26	-97,02	36,03
20	CH29-TELES	CH29	561,25	-49,43	83,61	-87,35	45,69	-97,76	35,28
21	CH31-TELER	CH31	573,25	-51,27	82,23	-87,10	46,40	-95,94	38,49
22	CH33-TV+	CH33	585,25	-51,43	82,17	-87,74	45,86	-96,40	37,20
23	CH35-INTIM	CH35	597,25	-56,20	77,63	-87,25	46,58	-96,90	36,93
24	CH38-REDTV	CH38	615,25	-56,07	78,07	-87,46	46,68	-96,84	37,29
25	CH40-CHUNO	CH40	627,25	-60,10	74,33	-88,01	46,42	-97,56	36,87
26	CH42-TVLEG	CH42	639,25	-51,78	82,81	-87,44	47,15	-97,56	37,03
27	CH44-CANEL	CH44	651,25	-47,18	87,6	-87,12	47,66	-96,94	37,84
28	CH46-RTU	CH46	663,25	-46,12	88,89	-87,25	47,76	-97,16	37,85
29	CH48-ELCIU	CH48	675,25	-57,05	78,26	-87,68	47,63	-97,12	38,19

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos acerca de la evaluación del espectro radioeléctrico tanto en el software de planificación de radio *ICS Designer* como en las mediciones realizadas en el territorio del DMQ, dentro de la banda de frecuencia en la que se presta el servicio de TV abierta analógica (54 MHz – 680 MHz), para validar y contrastar cada uno de los procedimientos realizados.

Sobre la base del método de detección de energía y el umbral definido por la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica, se hará un análisis con el fin de determinar la utilización actual del espectro y con ello demostrar el potencial que existe en las zonas rurales para la futura implementación de redes de radio cognitiva que permitan reducir la brecha digital en estas zonas.

#### **4.1 UMBRAL DE DECISIÓN**

Para poder determinar fácilmente si un canal está libre u ocupado se hará uso del método de detección de energía revisado en la sección 1.2.3.1, el cual compara la potencia recibida del canal con el umbral de decisión establecido.

El valor de umbral que se establezca en redes de radio cognitiva es decisivo, considerando que si este es de un valor bajo va a detectar señales primarias de bajo nivel y menor número de interferencias a los usuarios primarios (PU), sin embargo va a ser difícil que un usuario secundario pueda transmitir debido al elevado número de muestras de ruido que pueden superar dicho umbral. Por otro lado si este umbral tiene un valor alto habrá más posibilidades de transmisión de un usuario secundario pero con mayor interferencia a la red primaria [48].

Se toma para el análisis de las coberturas obtenidas del software de planificación de radio *ICS Designer*, los valores de intensidad de campo mínimos en el área de cobertura secundaria establecidos en la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales (referirse a la Tabla 1.6) en cada una de las tres bandas al tratarse de zonas rurales del DMQ.

## 4.2 ANÁLISIS DE LAS COBERTURAS

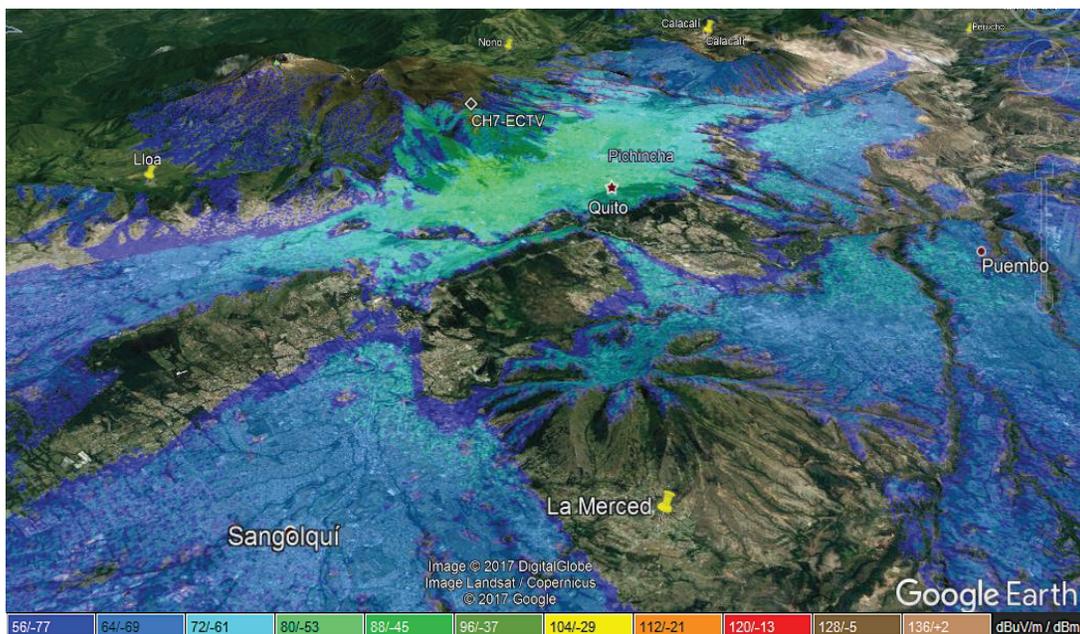
En cada una de las coberturas el nivel de intensidad de campo eléctrico se representará por colores de acuerdo al umbral que se defina en cada una de ellas como se aprecia en la Figura 4.1, el azul más oscuro será el nivel más bajo en este caso 47 dBuV/m, y valores superiores a este umbral se representarán ascendentemente hacia la derecha en diferentes colores.



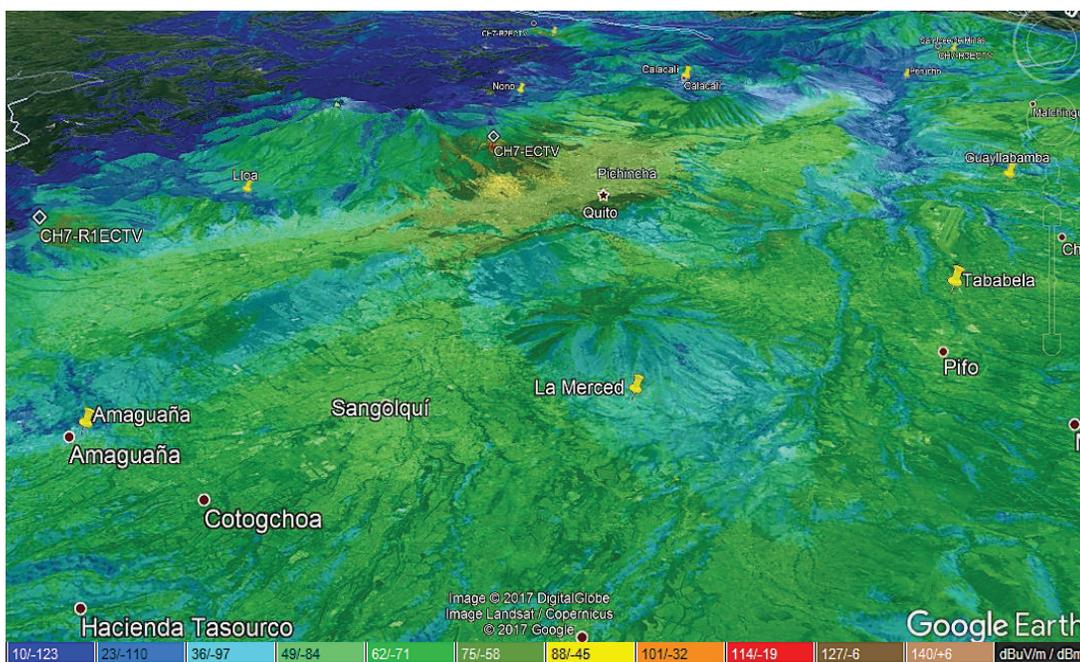
**Figura 4.1** Paleta de usuario para un umbral de recepción de 47 dBuV/m

Las zonas en el mapa que no presenten ningún color en la simulación de cobertura, son zonas en las que existen niveles de intensidad de campo eléctrico muy debajo del nivel de recepción establecido. Representan zonas de sombra que están fuera del área de cobertura principal de los transmisores de televisión abierta analógica, por lo que se tendría que aumentar la cantidad de repetidores si se requiere dar cobertura a estas zonas.

Esto como un análisis preliminar para poder entender la representación de las coberturas de todos los canales expuestas en el Anexo C.



**Figura 4.2** Área de cobertura del canal 7, umbral de recepción de 56 dBuV/m (visto desde el sur oriente del DMQ).

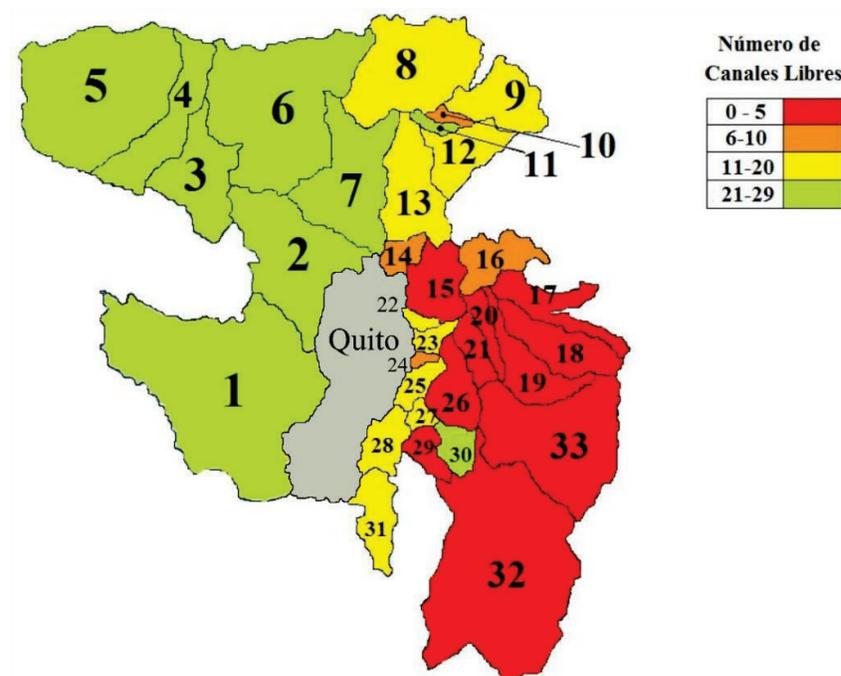


**Figura 4.3** Área de cobertura del canal 7, umbral de recepción de 10 dBuV/m (visto desde el sur oriente del DMQ).

Por otra parte, tomando como base la información de la Tabla 3.1, se puede ver claramente en la Figura 4.4 que aproximadamente el 25% de las parroquias que conforman el DMQ (zona noroccidente) tienen niveles de intensidad de campo eléctrico nulos o por debajo del umbral establecido por la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica, lo que se refleja en un número importante de canales disponibles.

Dentro del análisis se tiene además que, un 33% aproximadamente de las parroquias del DMQ presentan niveles de cobertura media; es decir se tienen pocos canales ocupados y predominan los canales que presentan una ocupación parcial en toda la parroquia, por lo que la cantidad de *White Spaces* en estas zonas puede ser considerables.

De igual forma, un 42% de las parroquias presentan niveles altos de cobertura en las que predominan una gran cantidad de canales ocupados en todo el territorio y pocos canales libres o parciales. Estas se encuentran ubicadas en la zona oriental del Distrito y en contexto poseen pocos o nulos *White Spaces*.



**Figura 4.4** Representación de los canales disponibles en el DMQ [36]

Uno de los objetivos fundamentales de este proyecto y de la evaluación del espectro en el DMQ, es determinar el porcentaje de ocupación actual del espectro radieléctrico dentro de la banda en la que funciona el servicio de televisión abierta analógica (54 MHz – 686 MHz). Además definir el porcentaje del espectro que se encuentra disponible especialmente en las zonas rurales para el estudio e implementación a futuro de redes de radio cognitiva que ayuden a reducir la brecha digital en estas zonas.

En este sentido, con el uso del software ICS *Designer* se configuran receptores en puntos poblados de cada una de las parroquias, con el propósito de obtener los valores de intensidad de campo eléctrico respectivos y analizar la ocupación de los canales en base a los valores de intensidad de campo mínima a proteger en los bordes de las áreas de cobertura que establece la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales [9].

De este modo, para obtener el porcentaje de ocupación espectral que existe en cada parroquia es necesario considerar como primer punto el ancho de banda total que involucra a todos los canales definidos por la normativa (42 canales). A cada uno se le ha asignado 6 MHz, que nos da un total de 252 MHz.

Es importante destacar que si bien es cierto se analiza la banda desde los 54 MHz a los 686 MHz existen ciertas porciones de esa banda que están reservadas o se encuentran concesionadas para otros servicios como se detalla a continuación:

- 72-76MHz.- se encuentra destinada para servicios de radiocomunicaciones entre estaciones fijas y móviles, radioastronomía, y radionavegación aeronáutica.
- 88-108 MHz.- destinada para el servicio de radiodifusión (FM).
- 108-174 MHz.- servicios móviles marítimos y por satélite, radiocomunicaciones fijas y móviles, servicio de aficionados<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Servicio de telecomunicación usado debidamente por personas autorizadas que se interesan en la radiotecnica con carácter personal y sin fines de lucro.

- 216-500 MHz.- servicios fijos (enlaces radioeléctricos radiodifusión sonora), servicio de aficionados, servicios fijos y móviles (radio de dos vías).
- 500-512 MHz (canal 19 y 20).- reservados para uso del estado.
- 608-614 MHz.- radioastronomía.

El segundo aspecto a tomar en cuenta son los canales concesionados para el DMQ los cuales son 29 para el servicio de televisión abierta analógica y 10 para el servicio de televisión digital, que dan un total de 39 canales resultando un porcentaje de 92,85% de espectro concesionado.

Se utiliza la siguiente fórmula para determinar los porcentajes de espectro utilizado y disponible:

$$\% \text{Espectro utilizado / disponible} = \frac{\text{Ancho de banda utilizado/disponible}}{\text{Ancho de banda total de la banda (SPAN)}} \times 100\% \quad (4.1)$$

En la Tabla 4.1, se muestran los porcentajes resultantes una vez que se analizaron los valores de intensidad de campo eléctrico obtenidos de los receptores, los mismos que se pueden revisar con más detalle en el Anexo F.

Es importante aclarar que para el cálculo de esos porcentajes no se tomó en cuenta el ancho de banda de los pocos canales que actualmente radian el servicio de Televisión Digital Terrestre, debido a que no se dispone de información acerca de la cobertura de los mismos en cada una de las parroquias y en vista de que no se ha completado todavía el proceso de digitalización (apagón analógico).

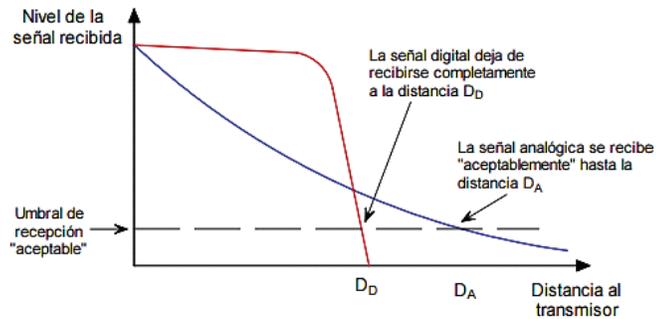
Sin embargo, como se puede apreciar en la Tabla 4.1, existen zonas marcadas en todo el distrito que poseen alta cobertura, media cobertura y cobertura nula. Por lo tanto si se desea dimensionar esos porcentajes considerando los canales de TDT, estos variarán aproximadamente en un 20% en función de la recepción en cada una de las parroquias y considerando que la degradación de las señales digitales es más abrupta que la de las señales analógicas, en cuanto se va aumentando la distancia al transmisor (ver Figura 4.5).

**Tabla 4.1** Resultados de la ocupación espectral banda 54 MHz a 686 MHz.

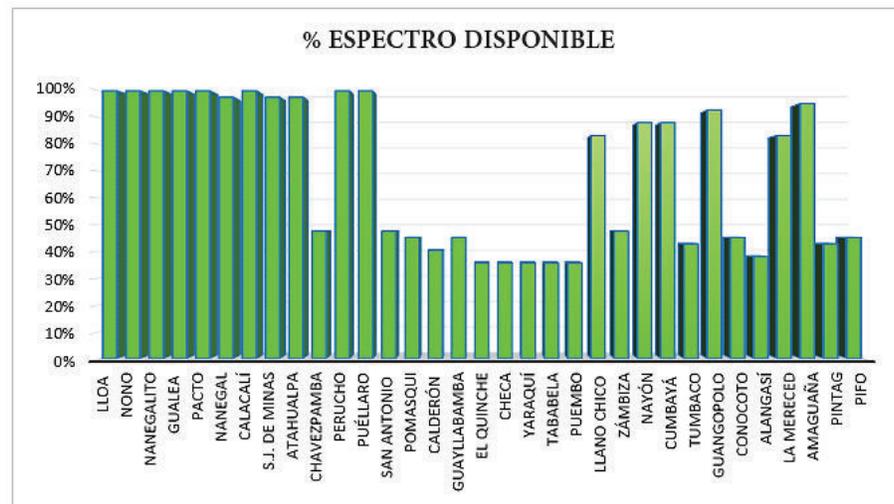
<b>Banda I (54-88 MHz) , Banda III (174-216 MHz) , Banda IV (508-608 MHz y 614-644 MHz) y Banda V (644-686 MHz)</b>						
		<b>N° Canales Ocupados</b>	<b>BW Utilizado (MHz)</b>	<b>BW Disponible (MHz)</b>	<b>%Espectro utilizado</b>	<b>%Espectro Disponible</b>
1	<b>Lloa</b>	0	0	252	0	100
2	<b>Nono</b>	0	0	252	0	100
3	<b>Nanegalito</b>	0	0	252	0	100
4	<b>Gualea</b>	0	0	252	0	100
5	<b>Pacto</b>	0	0	252	0	100
6	<b>Nanegal</b>	1	6	246	2,38	97,62
7	<b>Calacalí</b>	0	0	252	0	100
8	<b>S.J. de Minas</b>	1	6	246	2,38	97,61
9	<b>Atahualpa</b>	1	6	246	2,38	97,61
10	<b>Chavezpamba</b>	22	132	120	52,38	47,62
11	<b>Perucho</b>	0	0	252	0	100
12	<b>Puéllaro</b>	0	0	252	0	100
13	<b>San Antonio</b>	22	132	120	52,38	47,62
14	<b>Pomasqui</b>	23	138	114	54,76	45,23
15	<b>Calderón</b>	25	150	102	59,52	40,47
16	<b>Guayllabamba</b>	23	138	114	54,76	45,23
17	<b>El Quinche</b>	27	162	90	64,28	35,71
18	<b>Checa</b>	27	162	90	64,28	35,71
19	<b>Yaraqúí</b>	27	162	90	64,28	35,71
20	<b>Tababela</b>	27	162	90	64,28	35,71
21	<b>Puembo</b>	27	162	90	64,28	35,71
22	<b>Llano chico</b>	7	42	210	16,66	83,33
23	<b>Zámbiza</b>	22	132	120	52,38	47,62
24	<b>Nayón</b>	5	30	222	11,90	88,09
25	<b>Cumbayá</b>	5	30	222	11,90	88,09
26	<b>Tumbaco</b>	24	144	108	57,14	42,86
27	<b>Guangopolo</b>	3	18	234	7,14	92,85
28	<b>Conocoto</b>	23	138	114	54,76	45,23
29	<b>Alangasí</b>	26	156	96	61,90	38,09
30	<b>La Merced</b>	7	42	210	16,66	83,33
31	<b>Amaguaña</b>	2	12	240	4,76	95,24
32	<b>Pintag</b>	24	144	108	57,14	42,85
33	<b>Pifo</b>	23	138	114	54,76	45,23

Al analizar los porcentajes de espectro disponible (ver Figura 4.6), es claro darse cuenta que en gran parte de las parroquias rurales del distrito se presentan valores altos incluso en parroquias muy pobladas como Amaguaña y Cumbayá, puesto que en estos lugares así como en otras poblaciones del noroccidente del DMQ la línea de vista de los transmisores es obstruida por zonas montañosas de diferentes

altitudes de acuerdo a la ubicación geográfica en la que se encuentren, lo que afecta indudablemente a la recepción adecuada de las señales de radiodifusión televisiva.



**Figura 4.5** Degradación de la señal analógica vs digital en función de la distancia [50]



**Figura 4.6** Porcentaje de Espectro disponible en las parroquias del DMQ.

De la misma manera analizando los datos del proceso de simulación, se tiene que en promedio 168,18 MHz de ancho de banda se encuentran disponibles, correspondientes aproximadamente al 66,73% de la banda monitoreada. Un porcentaje significativo que debería ser considerado para una redistribución óptima de frecuencias una vez que se completamente la transición hacia la televisión digital terrestre.

En efecto esto significa que en gran parte del territorio del DMQ, un alto porcentaje del espectro radioeléctrico se encuentra subutilizado especialmente en las zonas netamente rurales, las cuales serían potencialmente útiles para la futura implementación de tecnologías basadas en radio cognitiva que permitan el aprovechamiento y optimización del espectro.

Paralelamente cabe resaltar que los valores de intensidad de campo eléctrico que se usaron para obtener dichos porcentajes libres o de ocupación del espectro, pueden ser variables y referenciales debido a que se los está tomando únicamente en un punto determinado de la parroquia, considerando el centro de las zonas pobladas en general ya sea un parque o una iglesia.

En definitiva, contrastando estos porcentajes con los valores obtenidos en el análisis de la Tabla 3.1, se puede ver que en la mayoría de los casos los porcentajes son bastante aproximados a excepción de ciertas parroquias, en las que se consideró en el primer análisis la ocupación general de los canales en todo el territorio que comprende la parroquia y no nada más en un punto como en el segundo análisis.

### **4.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS.**

➤ Sitio: FIEE - EPN<sup>20</sup>

Coordenadas: S 00°12'32.9" - O 078°29'21.4"

Altura: 2846 metros.

Como se había mencionado anteriormente en el proceso de medición, se escogió como primer punto el edificio de la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de Escuela Politécnica Nacional. Según datos de la Tabla 3.3 reflejados en la Figura 4.7 para el caso del sitio FIEE- EPN, se puede observar que 8 de los 29 canales presentan niveles bajo el umbral establecido; en este caso se toman como

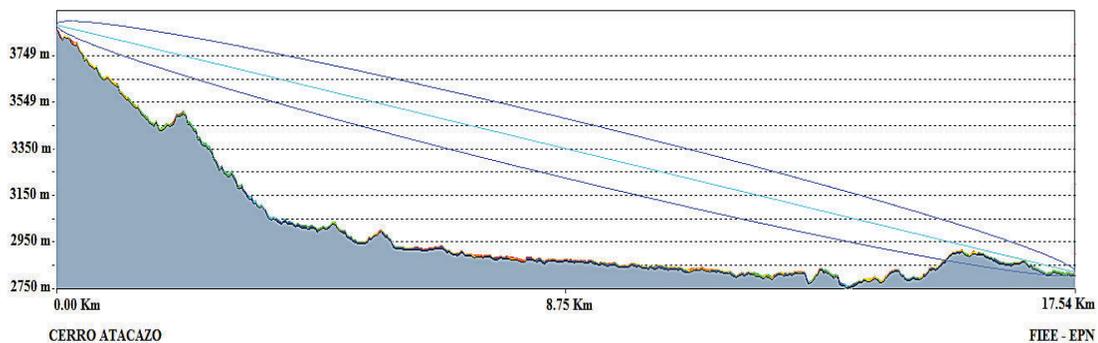
---

<sup>20</sup> Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – Escuela Politécnica Nacional.

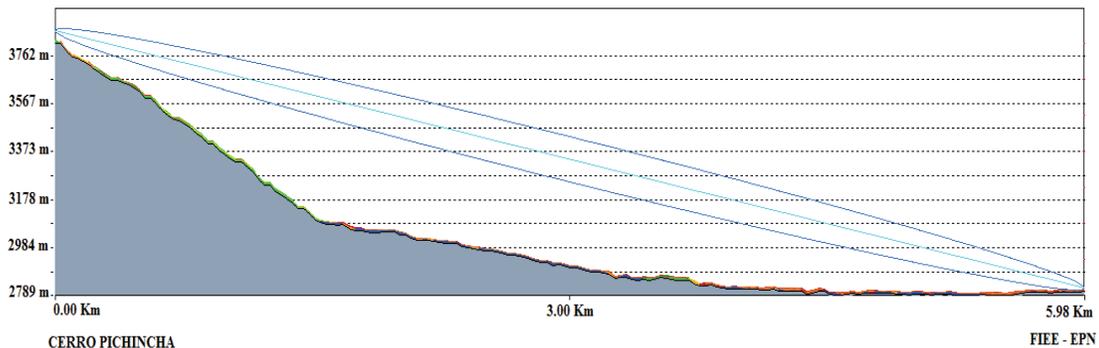
referencia los valores de intensidad de campo mínima a proteger en los bordes del área de cobertura principal que define la norma para la banda I, III y IV - V de 68, 71 y 74 dBuV/m respectivamente.

Pese a lo expuesto, 7 de esos 8 canales se radian desde estaciones repetidoras que cubren zonas de sombra en el sur de la ciudad de Quito, las mismas que se encuentran ubicadas en el Cerro Atacazo. Es por eso que los niveles de estos canales son bajos en el punto de medición como se esperaba, debido a que como se puede ver en el perfil topográfico que se muestra en la Figura 4.5 suponiendo un enlace punto a punto desde este cerro hacia la FIEE-EPN, existe una región montañosa que afecta en parte la línea de vista directa y la primera zona de Fresnel.

Por otro lado si apreciamos la Figura 4.6, de igual manera suponiendo un enlace punto a punto entre el Cerro Pichincha y la FIEE-EPN, se observa que existe línea de vista directa y que la zona de Fresnel se encuentra totalmente despejada para comunicaciones sin problemas.

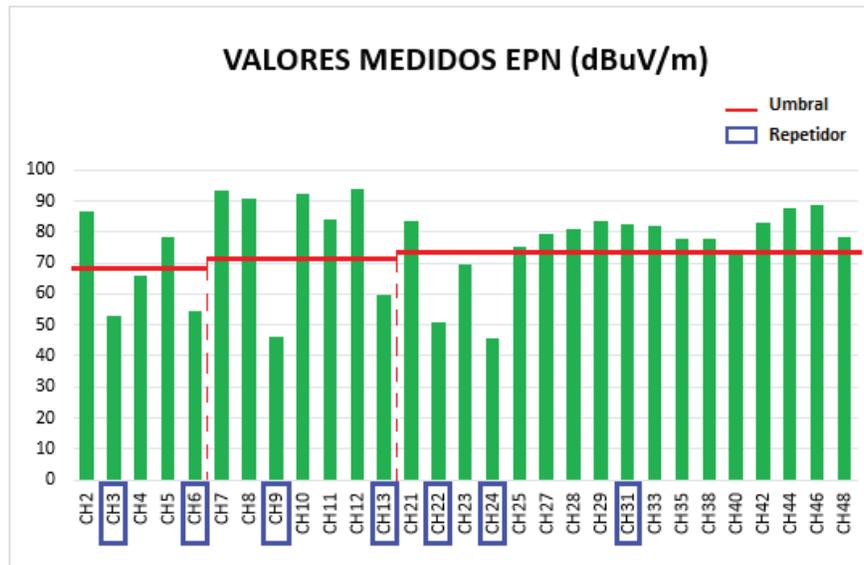


**Figura 4.5** Perfil topográfico Cerro Atacazo – FIEE-EPN



**Figura 4.6** Perfil topográfico Cerro Pichincha – FIEE-EPN

En definitiva, existe solamente un 3,44% de los canales que presentan problemas en su señal en el área de cobertura principal de los transmisores ubicados en el Cerro Pichincha (ver Figura 4.7).



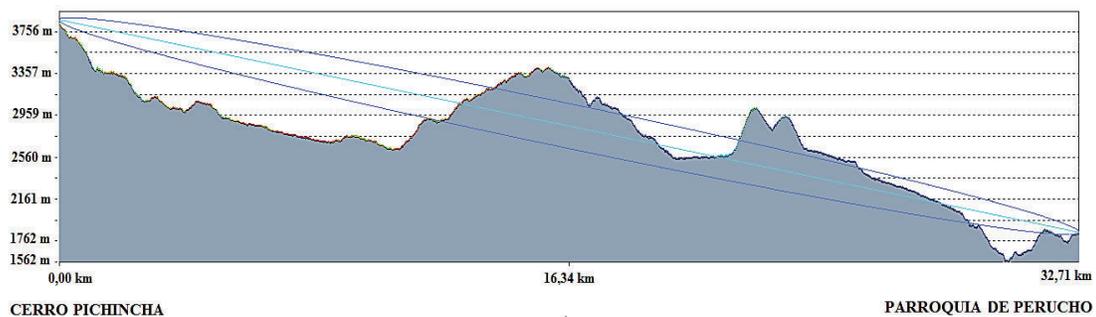
**Figura 4.7** Valores de intensidad de campo eléctrico en el edificio de la FIEE-EPN.

➤ Sitio: Parroquia de Perucho.

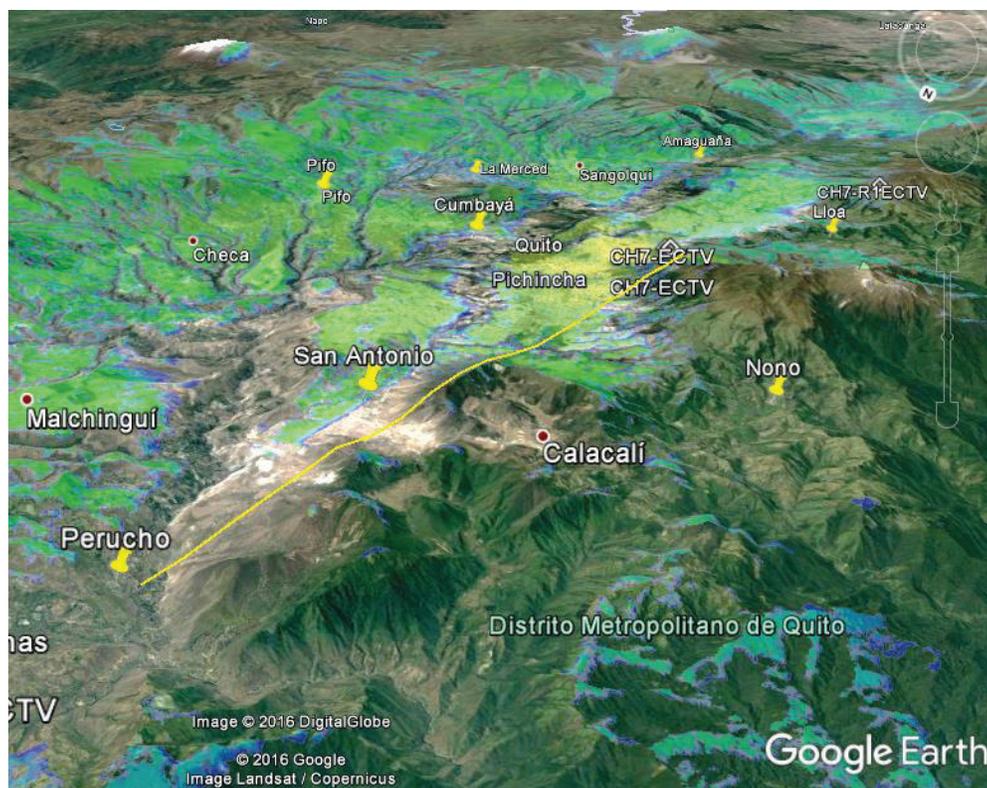
Coordenadas: N 00°06'34.6"- O 078°25'23.9".

Altura: 1840 metros.

Para este análisis, en primer lugar se tomará en cuenta si existe línea de vista directa desde este punto hacia donde se ubican las antenas de los transmisores en el Cerro Pichincha. Como se ve en el perfil topográfico que se muestra en la Figura 4.8 y Figura 4.9 de Google Earth existe una evidente obstrucción de la línea de vista y de la zona de Fresnel por parte del sistema montañoso de la cordillera occidental, lo que impide que se puedan dar comunicaciones con éxito directamente sin el uso de algún repetidor.



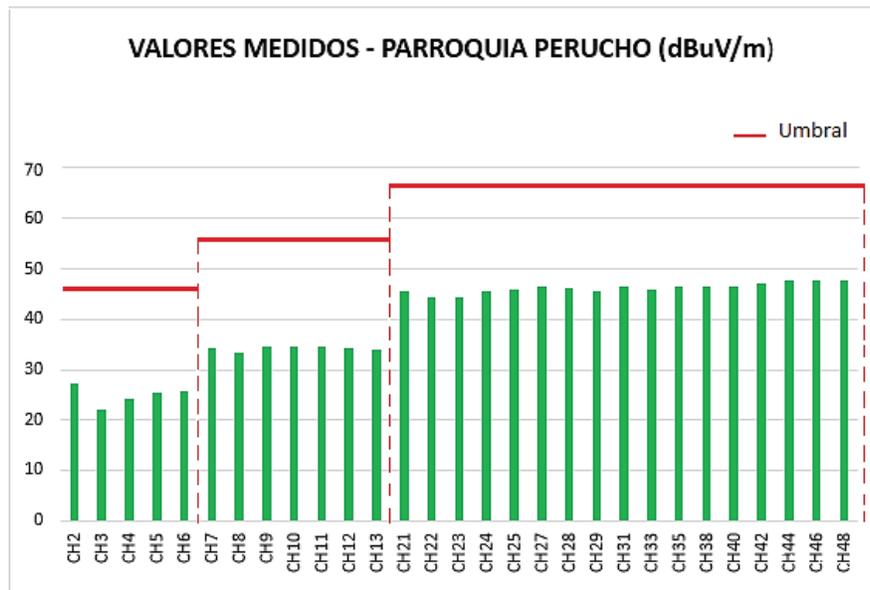
**Figura 4.8** Perfil topográfico Cerro Pichincha – Parroquia de Perucho.



**Figura 4.9** Mapa geográfico entre la Parroquia de Perucho y el Cerro Pichincha.

Esto se comprueba analizando los datos de la Figura 4.10, en la cual se muestran los valores medidos por el analizador de espectros en esta parroquia (expresados en dBuV/m ). Se puede decir que es evidente que en esta zona no existe presencia alguna de señal de televisión analógica en vista de que los valores de intensidad de campo eléctrico en todos los canales están por debajo del umbral establecido por la norma. Por lo que los canales en su totalidad dentro de la banda de los 54

MHz a los 686 MHz se encuentran libres para poder ser aprovechados con una futura implementación de radio cognitiva y así utilizar de manera eficiente el espectro que se encuentra subutilizado en estas parroquias.



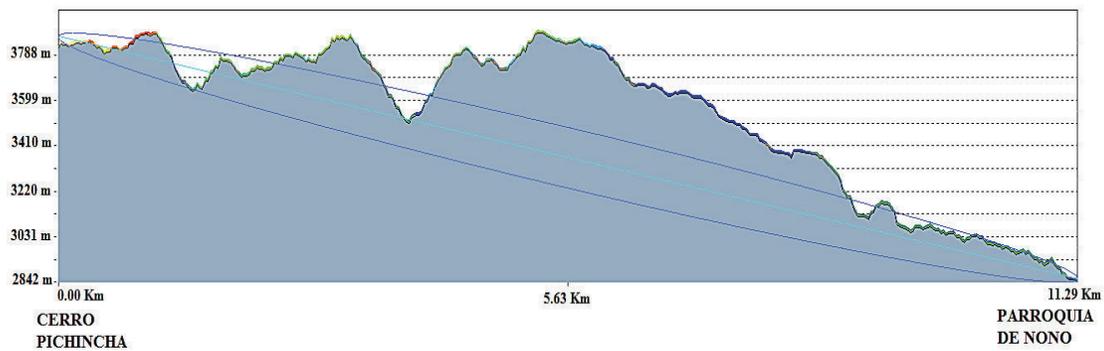
**Figura 4.10** Valores medidos de intensidad de campo eléctrico (dBuV/m) en la parroquia de Perucho.

➤ Sitio: Parroquia de Nono.

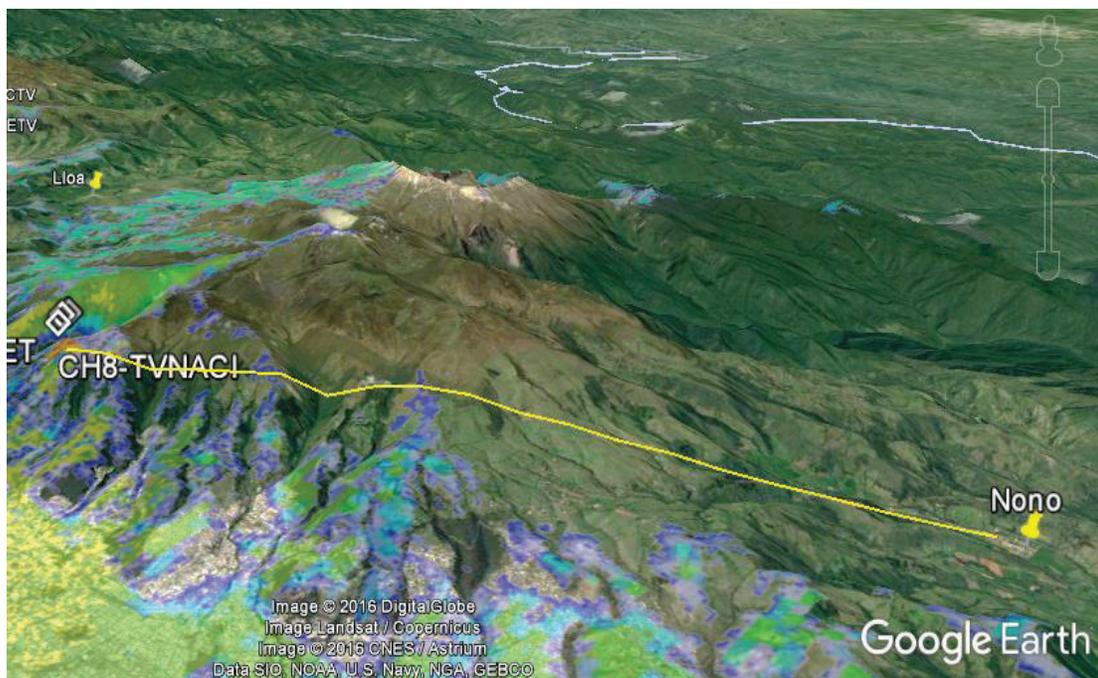
Coordenadas: S 00° 04'43.5"- O 078°34'23.3".

Altura: 2845 metros.

Al igual que en el caso anterior, se analiza primero el perfil topográfico que se muestra en la Figura 4.11, el mismo que refleja una situación aún más crítica en esta zona a pesar de que la longitud del enlace desde el Cerro Pichincha hacia la parroquia es mucho menor, esta se encuentra a una altura considerable (2845 m) pero como se observa además en el mapa de Google Earth de la Figura 4.12, no existe línea de vista alguna y la zona de Fresnel se encuentra totalmente obstruida por el sistema montañoso del Pichincha.

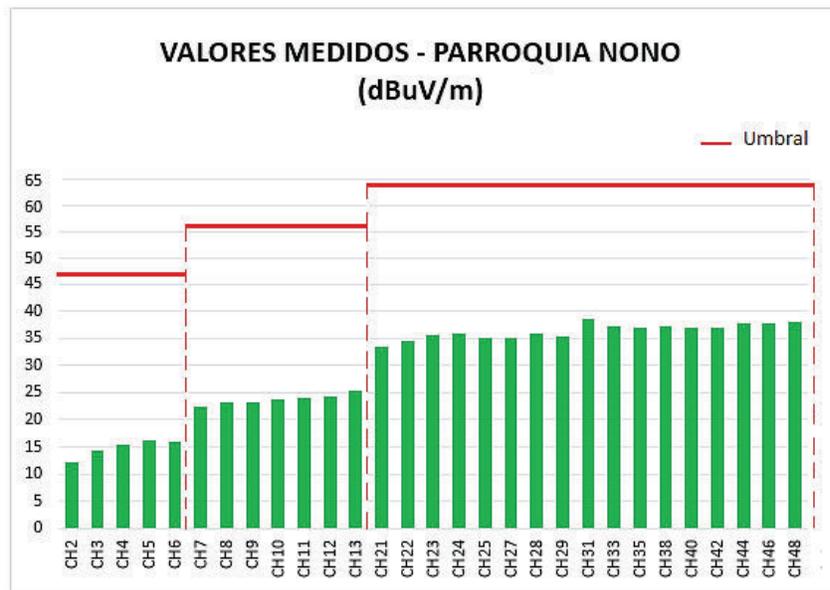


**Figura 4.11** Perfil topográfico Cerro Pichincha – Parroquia de Nono.



**Figura 4.12** Mapa geográfico entre el Cerro Pichincha y la Parroquia de Nono.

De la misma manera, se evidencia que en los valores medidos en la parroquia de Nono (ver Figura 4.13), la intensidad de campo eléctrico presenta niveles mucho más bajos que en la parroquia previamente analizada, fundamentalmente por su ubicación geográfica adversa (oeste de la cordillera occidental) con respecto a la ubicación de la mayoría de los transmisores (este de la cordillera oriental) que prestan el servicio de televisión abierta analógica.



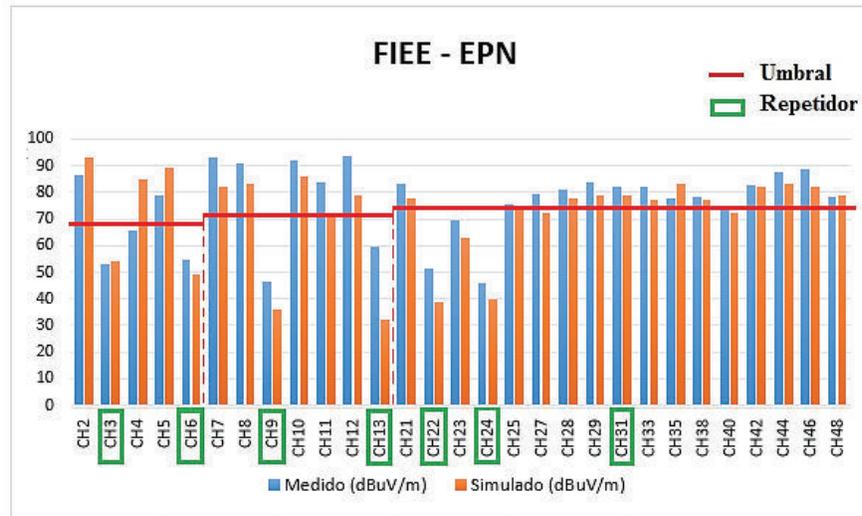
**Figura 4.13** Valores medidos de intensidad de campo eléctrico en la parroquia de Nono.

De ahí que esta parroquia como muchas otras ubicadas al noroccidente del DMQ que se encuentran en situaciones similares, tienen un gran potencial para la implementación de tecnologías que permitan aprovechar el amplio espectro disponible en estas zonas y más que nada se pueda reducir en algo la brecha digital de estas poblaciones que en algunos casos no poseen ni siquiera cobertura de sistema celular.

Por otra parte, para complementar con lo analizado en la sección anterior se puede apreciar en la Figura 4.14 que los niveles de intensidad de campo medidos comparados con los simulados en el punto de la FIEE-EPN son similares. No obstante se puede ver que, la mayor parte de los valores medidos con el analizador de espectros son un tanto mayores en comparación a los mismos valores en la simulación, para la misma banda de frecuencia evaluada.

Esta mínima diferencia en los valores no significaría un inconveniente en vista de que estos puntos cumplen con el umbral establecido o se encuentran muy cerca de los límites. El software *ICS Designer* difícilmente reflejará exactamente los valores medidos que se tienen en la realidad y más aún cuando se utilizan modelos de

propagación empíricos, debido a que como todo proceso de simulación este representa nada más una estimación del posible escenario [49].



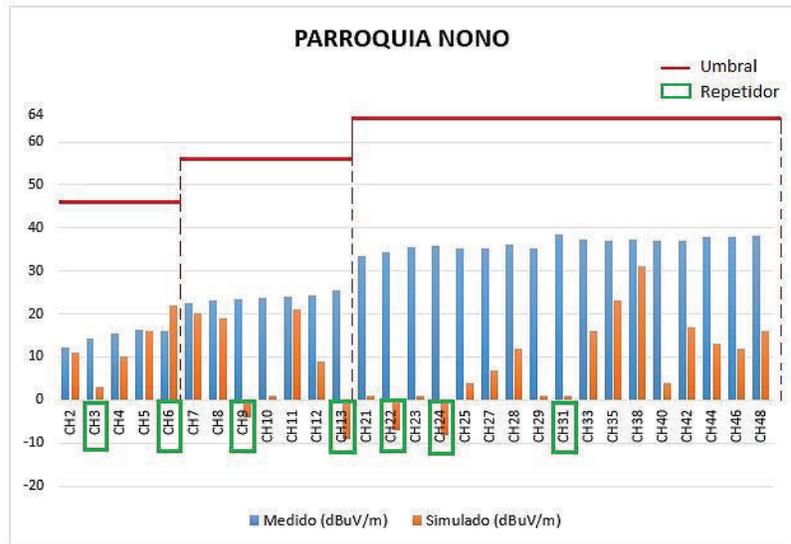
**Figura 4.14** Comparación valores de intensidad de campo eléctrico (dBuV/m) en la FIEE-EPN.

Tomando en cuenta la Figura 4.15 y la Figura 4.16, se puede ver que en las parroquias de Nono y Perucho, los valores medidos en campo son valores positivos pero sin embargo tienen niveles muy inferiores respecto al umbral establecido. Por otra parte los valores simulados arrojan valores de intensidad de campo eléctrico bastante irregulares y valores un negativos en estaciones repetidoras ubicadas al sur de Quito.

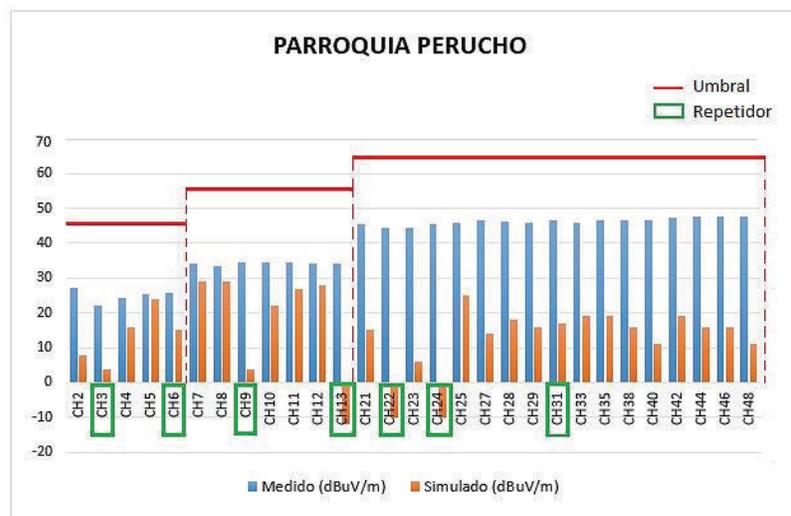
Esto se debe a que el modelo de difracción utilizado (Deygout 94) sobre-predice las pérdidas por difracción valga la redundancia, cuando hay un gran número de bordes que están alineados entre sí, por lo tanto los errores tienden a aumentar a medida que el número de bordes o filos de difracción se hacen mayores [49], en este caso en el sistema montañoso del Pichincha que obstruye la línea de vista drásticamente en estas zonas.

Cabe destacar que, si bien es cierto el modelo de propagación que se eligió presenta errores variables en zonas en donde los niveles de intensidad de campo eléctrico son muy inferiores al umbral, es el modelo que más se acerca a la realidad

con valores positivos en zonas urbanas y rurales del DMQ. Por lo que para este estudio de TVWS es viable pero para estudios posteriores se requerirá el análisis de otro modelo.



**Figura 4.15** Comparación valores de intensidad de campo eléctrico (dBuV/m) en la parroquia de Nono.



**Figura 4.16** Comparación valores de intensidad de campo eléctrico (dBuV/m) en la parroquia de Perucho.

Así, en definitiva tomando esta premisa se puede decir que cuando *ICS Designer* muestre una zona sin cobertura, existe una alta probabilidad en la práctica de que esta zona no tenga cobertura y pueda ser considerada zona de TVWS.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Actualmente con el crecimiento de las tecnologías inalámbricas surge la necesidad de utilizar porciones libres del espectro radioeléctrico para el despliegue de nuevos servicios o para mejorar los servicios existentes. De ahí que, con el análisis de la ocupación actual del espectro radioeléctrico en el DMQ se pudo constatar que aproximadamente en el 67% de las parroquias rurales el espectro se encuentra subutilizado.
- En este trabajo de titulación se ha implementado de manera satisfactoria una metodología que permite, de forma sencilla, identificar los *White Spaces* presentes en la banda de televisión mediante el uso del software de planificación de red *ICS Designer*, que fue diseñado para cumplir otros objetivos. Cabe recalcar que esta metodología se puede implementar además en programas de simulación similares realizando adaptaciones de acuerdo a las particularidades de cada uno.
- Tomando en cuenta la tabla de asignación de frecuencias que establece la “Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales”, si bien es cierto que el 92,85% de los canales dentro de la banda de televisión (54 MHz - 686 MHz) se encuentra concesionado en el DMQ, se han analizado únicamente 29 canales que corresponden a la televisión abierta analógica debido a que estos canales son más opcionados para la implementación de radio cognitiva.
- Al observar las coberturas obtenidas con el software *ICS Designer* para cualquier transmisor se va a cumplir que las zonas en el mapa que no presenten ningún color en la simulación de cobertura, son zonas en las que existen niveles de intensidad de campo eléctrico debajo del umbral configurado en el software. Representan zonas de sombra que están fuera

del área de cobertura principal o secundaria de los transmisores de televisión abierta analógica.

- Parte de la precisión de las coberturas que se obtienen en el software depende de una correcta elección del modelo de propagación. Es por ello que en este proyecto se escogió el modelo de propagación Okumura-Hata/Davidson, el cual es un modelo empírico empleado en entornos urbanos, suburbanos y rurales, toma en cuenta el tipo de ambiente y las irregularidades del terreno para predecir el área de cobertura en un territorio determinado.
- El modelo de propagación elegido se encuentra completamente sustentado y recomendado por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA) en su publicación TSB-88A; como una modificación al modelo Okumura-Hata. A pesar de que es un modelo 'simple', este brinda mejores resultados que el modelo Hata y la extensión del modelo Hata, al trabajar en un rango de frecuencias superior (30-1500 MHz), incrementar la distancia de trabajo hasta 300km y el factor de altura de la estación base de la antena (20-2500m).
- Tomando en cuenta las 33 parroquias rurales que conforman el Distrito Metropolitano de Quito, se tiene que la mayor cantidad de *White Spaces* se encuentran en parroquias que están ubicadas al noroccidente, algunas al norte y pocas en el suroriente del distrito, en donde se reportan niveles altos de intensidad de campo eléctrico en la mayoría de canales y por ende en donde existen pocos canales disponibles.
- Analizando los resultados de la evaluación del espectro en el territorio que comprende el DMQ, se tiene que en promedio existen 168,18 MHz de ancho de banda que se encuentra disponible y corresponde aproximadamente al 66,73% de la banda monitoreada. Un porcentaje significativo que debería ser considerado para una redistribución óptima de frecuencias una vez que se completamente la transición hacia la televisión digital terrestre.

- En base a la conclusión anterior es posible decir que como en la metodología propuesta el objetivo primordial es la identificación de *White Spaces*, el hecho de que el software represente con un valor menor los niveles bajos de intensidad de campo eléctrico representa una ventaja, en vista de que si una zona se muestre sin cobertura se tiene una alta probabilidad de que la en la práctica esto realmente ocurra.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- En vista de que aproximadamente el 67% de las poblaciones rurales del DMQ no reciben buena cobertura de los transmisores de televisión abierta analógica ubicados en el Cerro Pichincha, debido al alto costo que resulta transmitir la señal a estos sitios y considerando que en el país se dará muy pronto el apagón analógico, se recomienda profundizar el estudio para la implementación de proyectos que brinden servicios de telecomunicaciones (Televisión Digital Terrestre, Internet de banda ancha, telefonía, etc.) a estas zonas a través del uso de radio cognitiva aprovechando la gran cantidad de *White Spaces* que existen en estas zonas.
- Tomando en cuenta la factibilidad para la implementación de esta metodología para la identificación de *White Spaces* utilizando una herramienta de planificación de red, esta puede ser aplicada para la realización de estudios similares en otras regiones del Ecuador.
- Una vez que se haya completado la transición hacia la digitalización de la televisión, es evidente que existirán *White Spaces* por lo que se recomienda aplicar ésta metodología a fin de identificar los espacios libres en el espectro para que esos sean aprovechados con la aplicación de tecnologías de radio cognitiva especialmente en las zonas rurales.
- Con respecto al equipo de medición es importante conocer adecuadamente su funcionamiento y los parámetros a configurar, debido a que la cantidad de canales que se van a analizar puede ser grande y optimizar el tiempo

resulta crucial. Además puede ser de utilidad en este tipo de estudios que el equipo analizador de espectros posea la herramienta de 'espectrograma' para analizar la banda de frecuencia en su totalidad durante varios intervalos de tiempo y así tener una visión integral de la ocupación del espectro.

- En base a los resultados obtenidos, las parroquias rurales con menor densidad de población tienen menor cobertura de televisión abierta analógica, se recomienda en estas zonas impulsar la concesión e implementación de estaciones de radiodifusión y proyectos de comunicación comunitarios para que la gente que habita en estas zonas pueda aprovechar de mejor manera este recurso.
- Debido a que existe gran cantidad de espectro disponible dentro de la banda VHF y UHF, en la que se presta el servicio de televisión en las zonas rurales, como línea futura se recomienda realizar un estudio técnico acerca del posible despliegue de sistemas basados en radio cognitiva en estas zonas que incluyan aspectos relacionados a infraestructura, equipos y ubicación de los mismos.
- Para una mejor precisión de los resultados en la simulación se recomienda la utilización de un mapa de mejor resolución y la configuración adecuada de la capa cluter, debido a que dependiendo de la información topográfica disponible el resultado podría variar y acercarse más a la realidad.
- A futuro con la transición total hacia la televisión digital terrestre en el país va a ser necesario un estudio similar considerando todas las implicaciones de esa nueva tecnología para aprovechar de manera eficiente el espectro electromagnético en los nuevos TVWS.
- Profundizar este Trabajo de Titulación con las coberturas de los transmisores ubicados en provincias adyacentes que pueden aportar señales de televisión o a su vez causar interferencia para tener una apreciación mejor de la ocupación espectral en el DMQ.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] V. Espinoza, «FISICA III Blogger,» [En línea]. Available: <http://fisicaiiii-veronica.blogspot.com/2012/05/ondas-electromagneticas.html>. [Último acceso: 2017 abril 20].
- [2] ARCOTEL, «Plan Nacional de Frecuencias,» Quito, 2012.
- [3] U. I. T. Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Reglamento de Radiocomunicaciones,» UIT, Ginebra, Suiza, 2012.
- [4] S. Peredo, «Software para analisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/peredo\\_a\\_s/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf). [Último acceso: 20 mayo 2017].
- [5] J. Luque Ordoñez, «ACTA. (Autores Científico-Técnicos y Académicos),» [En línea]. Available: [http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/062017.pdf](http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf). [Último acceso: Octubre 2016].
- [6] A. LLanos, Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador, Quito: UASB, Serie Magister, Vol. 138.
- [7] «Agilent Technologies, Interference Classifications and Measurements,» [En línea]. Available: [http://www.eetindia.co.in/STATIC/PDF/201201/EEIOL\\_2012JAN17\\_RFD\\_TEST\\_AN\\_01.pdf?SOURCES=DOWNLOAD..](http://www.eetindia.co.in/STATIC/PDF/201201/EEIOL_2012JAN17_RFD_TEST_AN_01.pdf?SOURCES=DOWNLOAD..) [Último acceso: 24 mayo 2017].
- [8] A. Delgado, «Eroski Consumer - El espectro radioeléctrico, un recurso natural y limitado,» [En línea]. Available: <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2009/07/17/186335.php>.
- [9] CONARTEL, «Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales. Resolución No.1779,» Quito.

- [10] «UIT-R P.372-13 - Ruido Radio Eléctrico.» [En línea]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.372-13-201609-!!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.372-13-201609-!!!PDF-E.pdf). [Último acceso: 24 mayo 2017].
- [11] «Unión Internacional de Telecomunicaciones- UIT-R BT 655-7: Relaciones de protección en radiofrecuencia para sistemas de televisión terrenal con modulación de amplitud de banda lateral residual referidos por señales de imagen análogas no deseadas.» [En línea]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.655-7-200402-!!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.655-7-200402-!!!PDF-S.pdf). [Último acceso: 20 mayo 2017].
- [12] ARCOTEL, «Proyecto resolución norma técnica tv analógica final.» [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-técnica-tv-analoga-final.pdf>.
- [13] «ARCOTEL, estadísticas.» [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/radiodifusion-sonora-y-television-abierta-2/>.
- [14] A. Wyglinsky, M. Nekovee y H. Thomas, *Cognitive Radio Communication and Networks, Principles and Practice*, Academic Press, 2010.
- [15] J. Mitola, *Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio*, PhD thesis, Stocolmo, Suiza: Royal Institute of Technology (KTH), Mayo 2000.
- [16] J. M. Huidrobo, «Radio Cognitiva, la radio se vuelve inteligente,» *Antena de Telecomunicación*.
- [17] FCC, ET Docket No. 02 135, "Notice of proposed rulemaking and order", Dic. 2002.
- [18] E. Arun y V. Reena, «Relay Based Cooperation for Cognitive Radio Networks,» [En línea]. Available: <http://www.ijrter.com/papers/volume-2/issue-11/relay-based-cooperation-for-cognitive-radio-networks-a-survey.pdf>. [Último acceso: 20 marzo 2017].
- [19] L. Khalid y A. Anpalagan, «Emerging cognitive radio technology: principles, challenges and opportunities,» [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/222140192\\_Emerging\\_cognitive](https://www.researchgate.net/publication/222140192_Emerging_cognitive)

- \_radio\_technology\_Principles\_challenges\_and\_opportunities. [Último acceso: 20 marzo 2017].
- [20] I. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. Vuran y S. Mohanty, «NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey,» [En línea]. Available: <http://bwn.ece.gatech.edu/papers/2006/j3.pdf>.
- [21] K. Chen, Y. Peng, N. Prasad, Y. Liang y S. Sun, «Cognitive Radio Network Architecture: Part I - General Structure,» [En línea]. Available: [http://santos.ee.ntu.edu.tw/papers/Cognitive\\_radio\\_network\\_architecture\\_part\\_I\\_general\\_structure.pdf](http://santos.ee.ntu.edu.tw/papers/Cognitive_radio_network_architecture_part_I_general_structure.pdf). [Último acceso: 10 febrero 2017].
- [22] M. Abdulsattar y Z. Hussein, «ENERGY DETECTION TECHNIQUE FOR SPECTRUM SENSING IN COGNITIVE RADIO: A SURVEY,» IJCN, International Journal of Computer Networks & Communications.
- [23] S. Jain y R. B. Jain, «Spectrum Sensing Methods in Cognitive Radio, Thesis of Bachelor. National Institute of Technology,» 2011. [En línea]. Available: [http://ethesis.nitrkl.ac.in/2641/1/B\\_tech\\_Final\\_Thesis.pdf](http://ethesis.nitrkl.ac.in/2641/1/B_tech_Final_Thesis.pdf).
- [24] D. Segura, «Análisis de Factibilidad para la utilización de Cognitive Radio en las radiocomunicaciones necesarias para situaciones de emergencia en el Ecuador.,» 2010. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2602/1/CD-3284.pdf>.
- [25] F. Sotomayor, «Análisis de los estándares de televisión digital terrestre (TDT) y pruebas de campo utilizando los equipos de comprobación técnica de la superintendencia de telecomunicaciones.,» [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1159/1/CD-2628.pdf>.
- [26] L. Tenesaca, «Estudio de factibilidad para la implementación del servicio de DVB-T en el Ecuador, Tesis de Grado, ESPE,» [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/84/1/T-ESPE-027543.pdf>.
- [27] C. Gallegos, «Digital Broadcasting Experts Group,» [En línea]. Available: [http://www.dibeg.org/news/2009/0905Paraguay\\_ISDB-T\\_seminar/session3.pdf](http://www.dibeg.org/news/2009/0905Paraguay_ISDB-T_seminar/session3.pdf). [Último acceso: 29 mayo 2017].
- [28] R. T. d. ARIB, «Características del sistema ISDB-T,» [En línea]. Available: [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf).

- [29] L. Loyola, «Televisión Digital al alcance de todos,» [En línea]. Available: [http://www.tvd.cl/wp-content/uploads/2011/11/television\\_digital\\_al\\_alcance\\_de\\_todos.pdf](http://www.tvd.cl/wp-content/uploads/2011/11/television_digital_al_alcance_de_todos.pdf).
- [30] R. 084-05-CONATEL-2010, «Consejo Nacional de Telecomunicaciones,» 25 marzo 2010. [En línea]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/084\\_05\\_conatel\\_2010.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/084_05_conatel_2010.pdf).
- [31] L. Albornoz y T. García, «La televisión digital terrestre. Experiencias nacionales y diversidad en Europa, América y Asia.,» [En línea]. Available: [https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/120728/1/Luis\\_A\\_ALBORNOS\\_y\\_M%C2%AA\\_Trinidad\\_GARCIA\\_LEI.pdf](https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/120728/1/Luis_A_ALBORNOS_y_M%C2%AA_Trinidad_GARCIA_LEI.pdf). [Último acceso: 17 enero 2017].
- [32] C. Hernandez, «Transición de la Tecnología Analógica a la Digital,» [En línea]. Available: [http://cidac.org/esp/uploads/1/Transici\\_\\_n\\_de\\_la\\_televisi\\_\\_n\\_anal\\_\\_gica\\_a\\_la\\_digital\\_PDF.pdf](http://cidac.org/esp/uploads/1/Transici__n_de_la_televisi__n_anal__gica_a_la_digital_PDF.pdf).
- [33] ECC Report 159, «Technical and operational requirements for the possible operation of Cognitive Radio Systems in the 'White Spaces' of the frequency band 470-790 MHz,» January 2011. [En línea]. Available: <http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/ECCRep159.pdf>. [Último acceso: 14 febrero 2017].
- [34] C. Guanoluisa, «Factibilidad Técnica de Implementación de smart metering en zonas rurales con tecnología de radio cognitiva en los espacios blancos de televisión, Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7989/1/UPS-KT00984.pdf>. [Último acceso: 24 marzo 2017].
- [35] «TV Digital Ecuador,» [En línea]. Available: <http://tvdigitalepn.blogspot.com/p/blog-page.html>. [Último acceso: 15 diciembre 2016].
- [36] «Municipio Distrito Metropolitano de Quito,» [En línea]. Available: <http://www.ecuadornoticias.com/2012/10/mapa-de-quito.html>. [Último acceso: 12 enero 2017].

- [37] «In Quito,» [En línea]. Available: <http://www.in-quito.com/quito-pichincha-map.JPG>. [Último acceso: 12 enero 2017].
- [38] R. JARRIN y M. Carlos, «Diseño de una red de frecuencia única para un canal de televisión en la banda UHF con la norma ISDB-Tb para la zona geográfica P (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.,» 2012 [En línea]. Available: [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4580/1/CD-4206.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4580/1/CD-4206.pdf) . [Último acceso: 26 marzo 2017].
- [39] P. Parthania, P. Kumar, B. Shashi «Performance Evaluation of different Path Loss Models for broadcasting applications» 2014. [En línea]. Available: [http://www.ajer.org/papers/v3\(4\)/ZO34335342.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(4)/ZO34335342.pdf). [Último acceso: 02 septiembre 2017].
- [40] Fratu, Octavia, Martian, Alexandru, Lazaridis, Pavlos, Zaharis, Zaharias D. and Kasampalis, Stylianos, 2015 «Comparative study of Radio Mobile and IC S Telecom propagation prediction models for DVB-T» 1994. [En línea]. Available: <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/25670/1/MM-15-102.pdf>
- [41] U. I. T. Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Propagation by diffraction, ITU-R Recommendation P.526-13,» 2013. [En línea].
- [42] ATDI, «ATDI,» [En línea]. Available: <http://www.atdi.com/ics-designer/>. [Último acceso: 15 noviembre 2016].
- [43] «Radio Center- antena Discono DX-D130,» [En línea]. Available: [http://www.radiocenter.es/contents/es-mx/p3075\\_d3000n\\_diamond.html..](http://www.radiocenter.es/contents/es-mx/p3075_d3000n_diamond.html..) [Último acceso: 22 enero 2017].
- [44] ANRITSU, «Spectrum Master,» [En línea]. Available: <http://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/Brochure/11410-00518K.pdf>.
- [45] «Garmin- Nuvi 44,» [En línea]. Available: [http://static.garmincdn.com/pumac/nuvi\\_42\\_52\\_OM\\_ES.pdf](http://static.garmincdn.com/pumac/nuvi_42_52_OM_ES.pdf). [Último acceso: 22 enero 2017].

- [46] «INEC,» [En línea]. Available: [www.inec.gob.ec/tabulados\\_CPV/1\\_POBL\\_PROV\\_CANT\\_PARR\\_AREA.xls](http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/1_POBL_PROV_CANT_PARR_AREA.xls). [Último acceso: 05 abril 2017].
- [47] «ATDI, Technical Support Resources - Field Strength Received (dBuV/m) & Power Received (dBm),» [En línea]. Available: <http://www.atdi.co.uk/wp-content/uploads/downloads/2011/08/Field-strength-and-power-received-in-ICS-Telecom.pdf>. [Último acceso: 30 mayo 2017].
- [48] M. Huidrobo y A. Umbert, «Identificación de White Spaces en la banda de televisión para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva, Tesis de pregrado, UPC ,Catalunya -España,» [En línea]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12749/Proyecto\\_Final\\_de\\_Carrera.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12749/Proyecto_Final_de_Carrera.pdf). [Último acceso: 09 abril 2017].
- [49] K. Barria, O. Ferreira, R. Gonzales, D. Jiménez, P. Moreno, E. Rudas, «Comparación de los Modelos de Difracción y Propagación» [En línea]. Available: <https://www.scribd.com/document/102401671/Modelos-de-Difraccion-y-Propagacion>. [Último acceso: 28 agosto 2017].
- [50] C. Pérez, «Introducción a los sistemas transmisores de Televisión.,» [En línea]. Available: <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Introduccion%20a%20los%20sistemas%20transmisores%20de%20TV.pdf>. [Último acceso: 17 marzo 2017].

# **ANEXOS**

**Anexo A. PLAN DE ASIGNACIÓN DE CANALES Y CONCESIÓN ESPECTRAL  
PARA TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA Y DIGITAL EN EL DMQ.**

**1. Plan de asignación de canales**

<b>ZONA GEOGRÁFICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ZONA</b>	<b>GRUPOS VHF</b>	<b>GRUPOS UHF</b>
A	Provincia de Azuay, Cuenca, Girón, Santa Isabel, Nabón	A1 y B2	G1 y G4
B	Provincia de Bolívar, Guaranda, San José de Chimbo, San Miguel, Chillanes	A1 y B2	G1 y G4
C	Provincia del Carchi, Tulcán, Huaca, Bolívar, Pimampiro	A1 y B2	G1 y G4
D	Provincia de Orellana y Sucumbios, Nueva Loja, La bonita, Puerto el Carmen de Putumayo, Tarapoa, Puerto Francisco de Orellana, La Joya de los Sachas.	A1 y B2	G1 y G4
E	Provincia de Esmeraldas, Esmeraldas, San Lorenzo.	A1 y B2	G1 y G3
G	Provincia del Guayas, Guayaquil, Samborondón, Yaguachi Nuevo, Milagro, Daule, Eloy Alfaro, La Troncal, General Villamil.	A1 y B1	G2 y G4
F	Provincia de Santa Elena, Salinas, Santa Elena, La libertad, Manglaralto.	A1 y B2	G1 y G3
H	Provincia de Chimborazo, Riobamba, Chambo, Guano, Alausí, Guamote.	A1 y B2	G1 y G4
J	Provincia de Imbabura, Ibarra, Otavalo, Cotacachi, Atuntaqui, Urcuqui.	A2 y B2	G2 y G3
L1	Provincia de Loja, Gonzanamá, Quilanga, Cariamanga, Macará y Sozoranga.	A2 y B1	G2 y G3
L2	Provincia de Loja, Loja, Catamayo, Saraguro.	A1 y B2	G2 y G3
M1	Provincia de Manabí, Bahía de Caráquez, San Vicente, Muisne, Flavio Alfaro, Jama, Pedernales.	A2 y B1	G1 y G4
M2	Provincia de Manabí, Portoviejo, Manta, Montecristi, Jaramijó, Rocafuerte, Puerto López.	A1 y B2	G2 y G3
N	Provincia de Napo, Tena, Archidona, Baeza, El Charco.	A1 y B2	G2 y G3

Ñ	Provincia de Cañar, Azoguez, Biblián, Cañar, El tambo, Paute, Gualaceo, Chordeleg, El Pan, Sevilla de Oro,	A2 y B1	G2 y G3
O	Provincia de EL Oro, Machala, Santa Rosa, Pasaje, El Guabo	A2 y B2	G1 y G3
P	Provincia de Pichincha, Quito, Machachi, Sangolqui, Tabacundo, Cayambe.	A1 y B1	G1 y G4
K	Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Santo Domingo de los Colorados, El Carmen.	A1 y B2	G1 y G3
R1	Provincia de Los Ríos, Babahoyo, Alfredo Baquerizo Moreno, Baba.	A1 y B1	G2 y G4
R2	Provincia de Los Ríos, Quevedo, La Maná, Pujilí, El Empalme	A2 y B2	G1 y G3
S1	Provincia de Morona Santiago, Mácas, Sucúa, Huamboya, Taisha, Santiago de Méndez.	A2 y B2	G2 y G4
S2	Provincia de Morona Santiago, San Juan Bosco.	A1 y B2	G2 y G4
T	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, Latacunga, Ambato, Cevallos, Quero, Pelileo, Mocha.	A1 y B1	G2 y G3
X	Provincia de Pastaza, Puyo, Arajuno.	A1 y B2	G1 y G3
Y	Provincia de Galápagos, Puerto Ayora, Puerto Villamil, Puerto Baquerizo Moreno.	A1 y B2	G1 y G3
Z	Provincia de Zamora Chinchipe, Zamora, Zumba, Yantzaza, Palanda, Paquisha.	A1 y B2	G1 y G3

## 2. Concesión Espectral para Televisión Abierta en el DMQ.

NOMBRE ESTACIÓN	CANAL (banda MHz)	TIPO (Matriz o Repetidora)	ÁREA DE SERVICIO	CLASE
TELEVISION DEL PACIFICO	2 (54-60)	M	Quito	Comercial Privada
TELEVISION DEL PACIFICO	3 (60-66)	R	Sur de quito	Comercial Privada
TELEAMAZONAS	4 (66-72)	M	Quito y alrededores	Comercial Privada
TELEVICENTRO - TVC (5 VHF)	5 (76-82)	M	Quito y alrededores	Comercial Privada

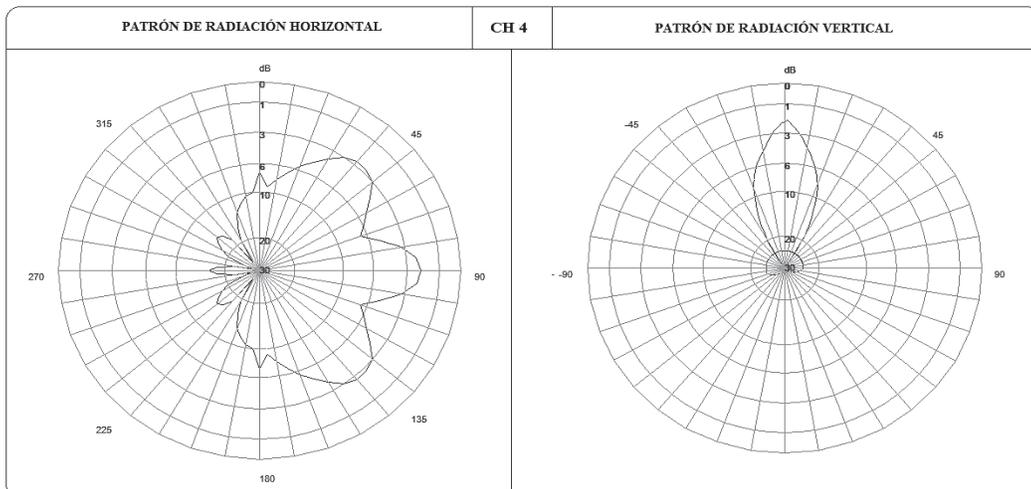
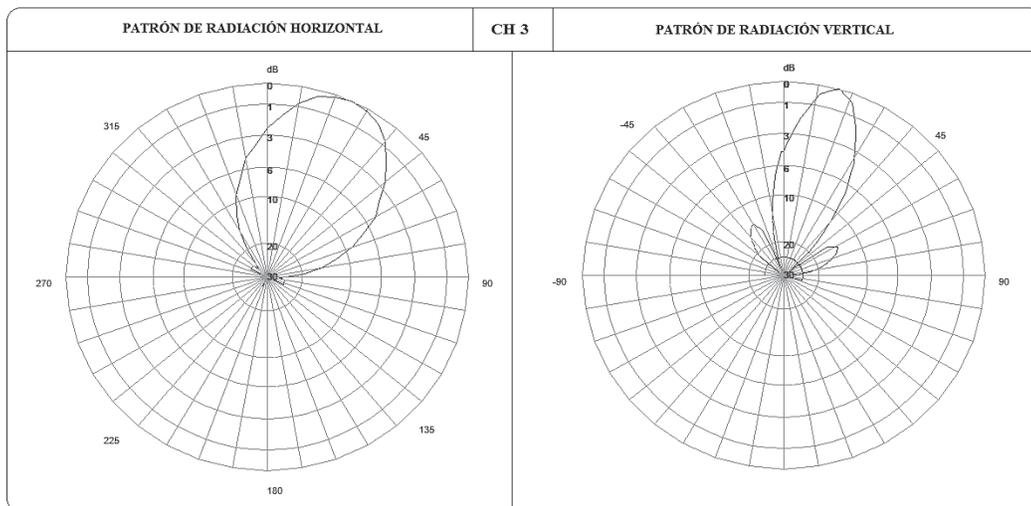
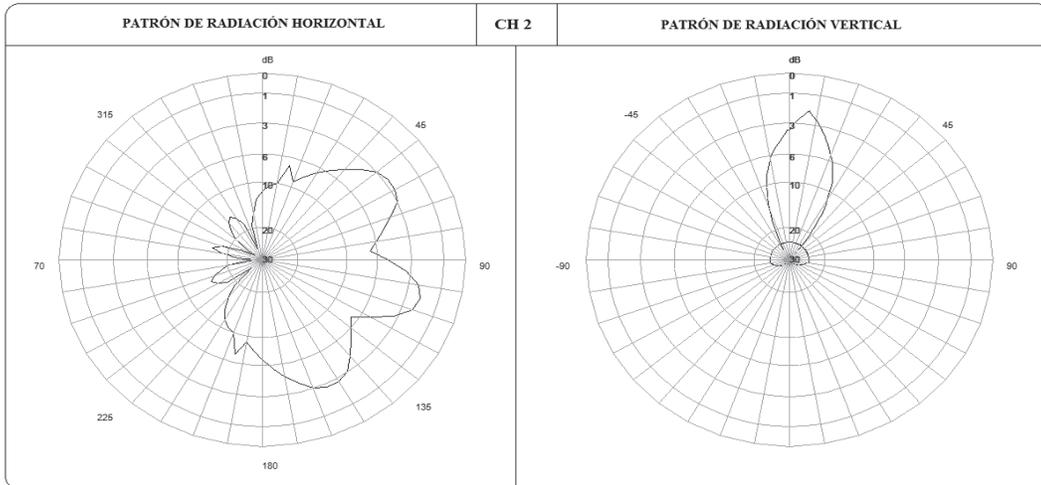
TELEVICENTRO - TVC (5 VHF)	6 (82-88)	R	Sur de quito	Comercial Privada
ECUADOR TV	7 (174-180)	M	Quito, Sangolquí, Machachi	Servicio Público
ECUADOR TV	7 (174-180)	R	Nanegal	Servicio Público
ECUADOR TV	7 (174-180)	R	Sur de quito	Servicio Público
ECUADOR TV	7 (174-180)	R	San jose de minas	Servicio Público
TELEVISORA NACIONAL	8 (180-186)	M	Quito	Comercial Privada
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	9 (186-192)	R	Sur de quito	Comercial Privada
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	10 (192-198)	R	Quito y alrededores	Comercial Privada
RED TELESISTEMA (R.T.S)	11 (198-204)	R	Quito	Comercial Privada
RED TELESISTEMA (R.T.S)	11 (198-204)	R	Sur de quito (zona de sombra)	Comercial Privada
CANAL UNO	12 (204-210)	M	Quito	Comercial Privada
CANAL UNO	13 (210-216)	R	Sur de quito(zona de sombra)	Comercial Privada
ARPEGGIO	21 (512-518)	M	Quito,sangolqui	Comercial Privada
46 UHF ABC (RTU)	22 (518-524)	R	Sur de quito	Comercial Privada
CANAL 23 UHF TELEANDINA	23 (534-530)	M	Quito y alrededores	Comercial Privada
TELEVISION SATELITAL	24 (530-536)	R	Sur de quito	Comercial Privada
TELEVISION SATELITAL	25 (536-542)	M	Quito y alrededores	Comercial Privada
ASOMAVISION	27 (548-554)	M	Quito y alrededores	Comunitaria
EDUCA	28 (554-560)	M	Quito, sangolqui	Servicio Público
TELESUCESOS	29 (560-566)	M	Quito	Comercial Privada
TELERAMA	31 (572-678)	R	Quito y alrededores	Comercial Privada
TV+ (TEVEMAS)	33 (584-590)	R	Quito y alrededores	Comercial Privada
CANAL INTIMAS	35 (596-602)	R	Quito, sangolqui	Comercial Privada

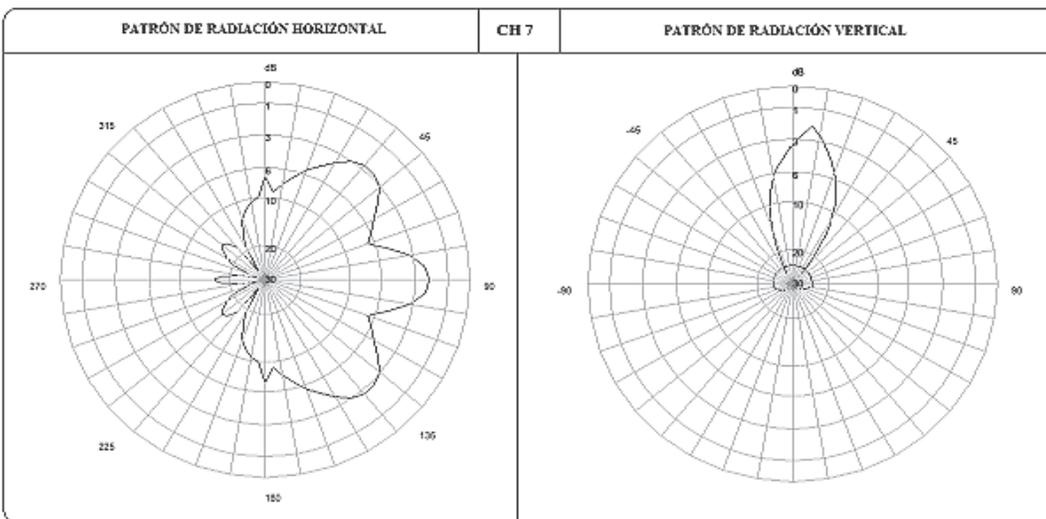
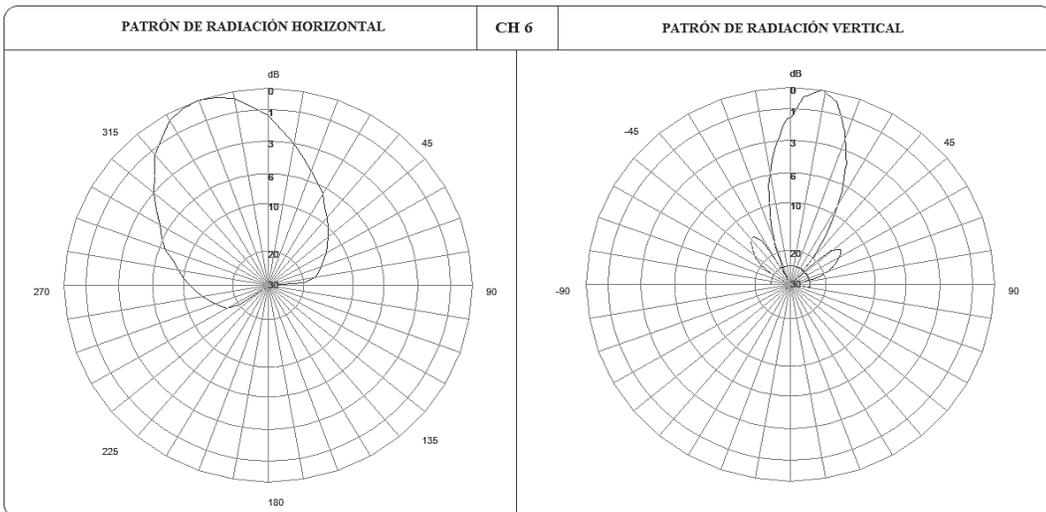
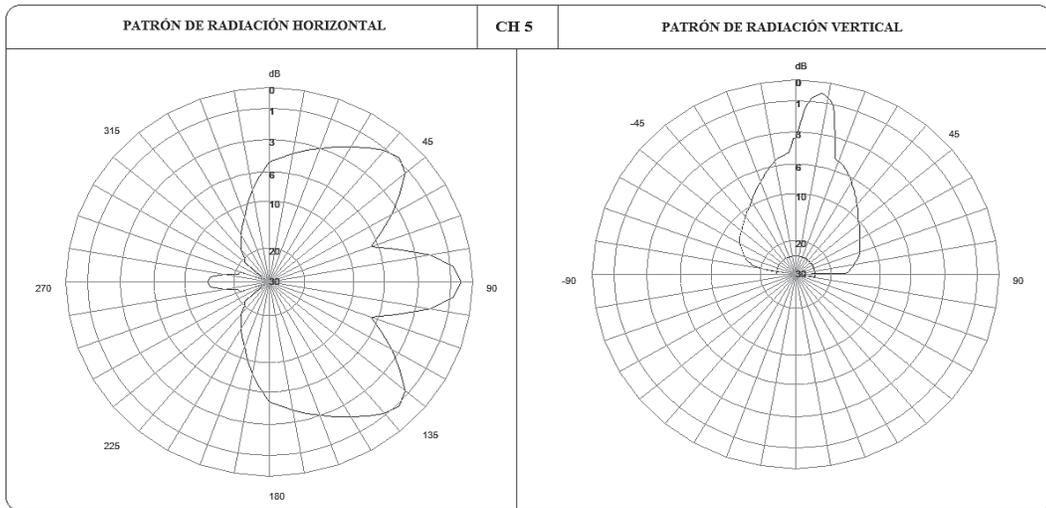
RED TV ECUADOR	38 (614-620)	M	Quito y alrededores	Comercial Privada
CANAL UNO	40 (626-632)	R	Quito	Comercial Privada
TV LEGISLATIVA	42 (638-644)	M	Quito y otros cantones	Servicio Público
CANELA TV	44 (650-656)	R	Quito	Comercial Privada
46 UHF ABC (RTU)	46 (662-668)	M	Quito	Comercial Privada
EL CIUDADANO TV	48 (674-680)	M	Quito	Servicio Público

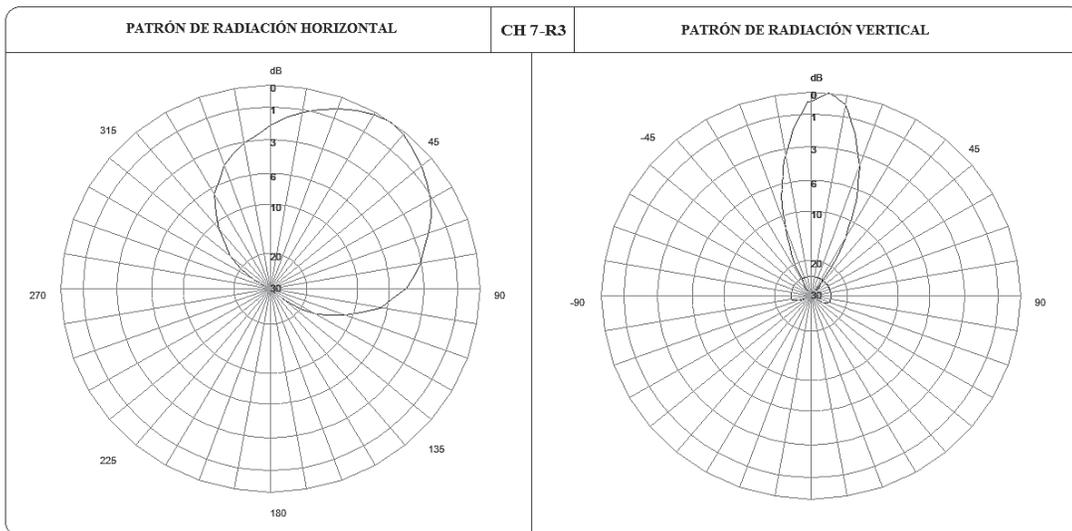
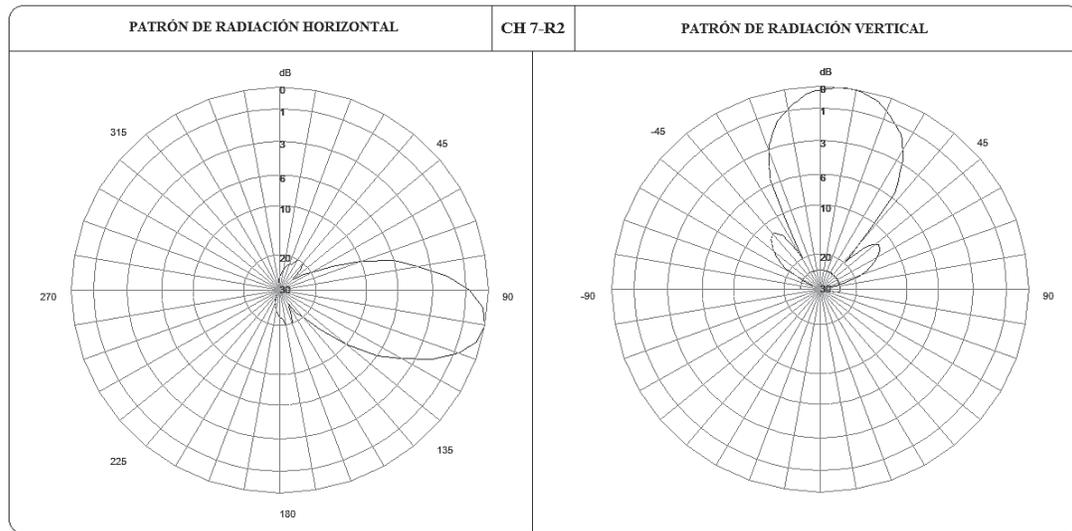
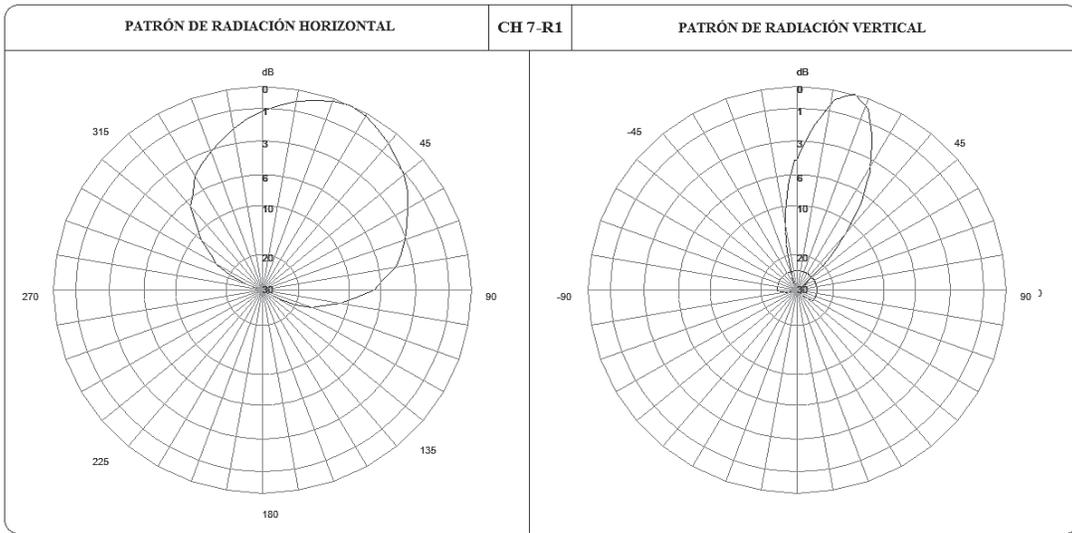
### 3. Concesión Espectral para Televisión Digital Terrestre en el DMQ.

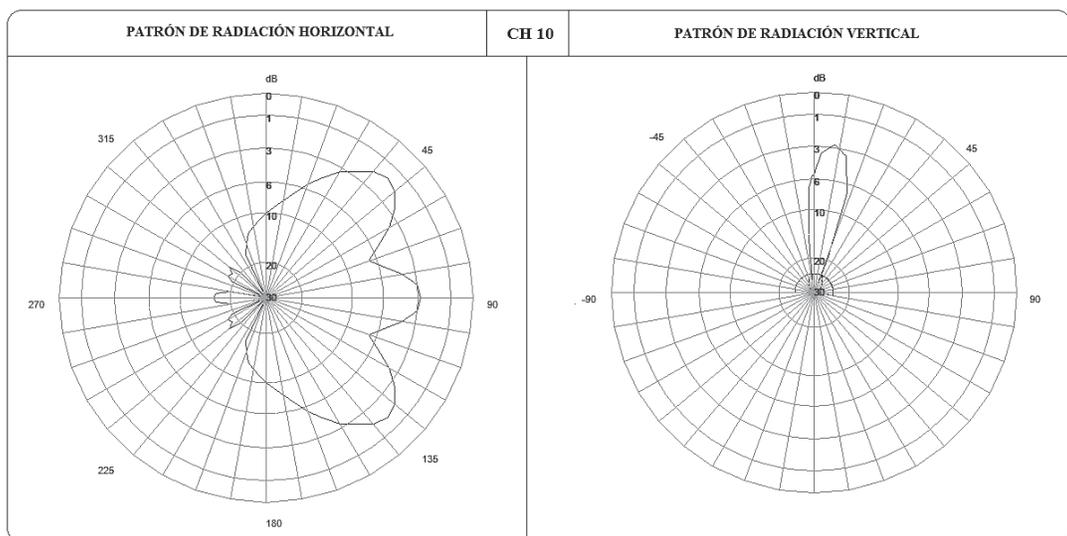
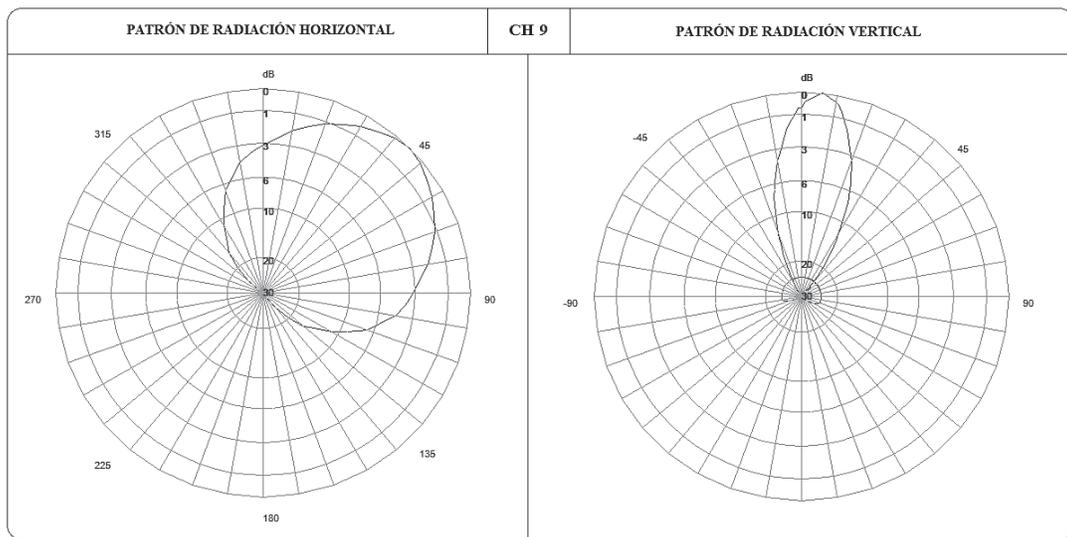
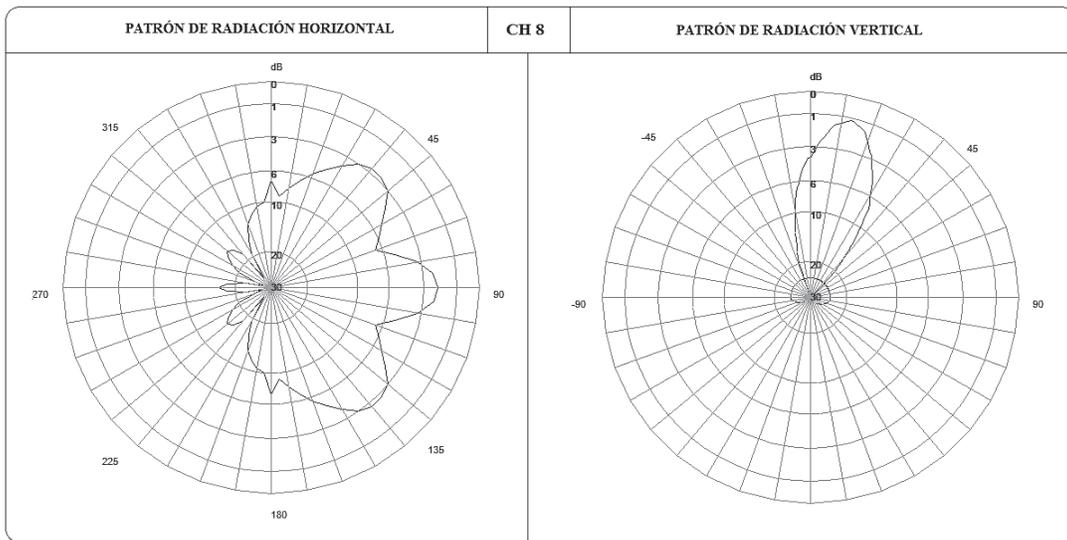
NOMBRE ESTACIÓN	CANAL (banda MHz)	TIPO (Matriz o Repetidora)	ÁREA DE SERVICIO	CLASE
ECUADOR TV	26 (542-548)	M	Quito	Servicio Público
TELEVISION DEL PACIFICO	30 (566-572)	M	Quito	Comercial Privada
TELEAMAZONAS	32 (578-584)	M	Quito	Comercial Privada
TELESISTEMA	34 (590-596)	M	Quito	Comercial Privada
TELEVISORA NACIONAL	36 (174-180)	M	Quito	Comercial Privada
TELEVISION SATELITAL	39 (620-626)	M	Quito	Comercial Privada
TELESUCESOS	41 (632-638)	M	Quito	Comercial Privada
46 UHF ABC (RTU)	43 (644-650)	M	Quito	Comercial Privada
CANAL UNO	45 (656-662)	M	Quito	Comercial Privada
TC TELEVISION	47 (668-674)	R	Quito	Comercial Privada

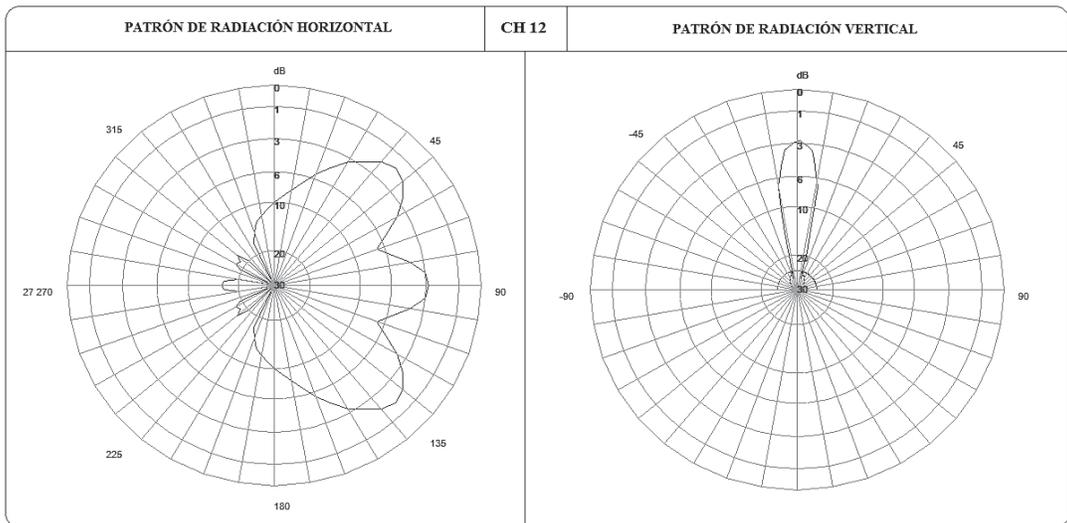
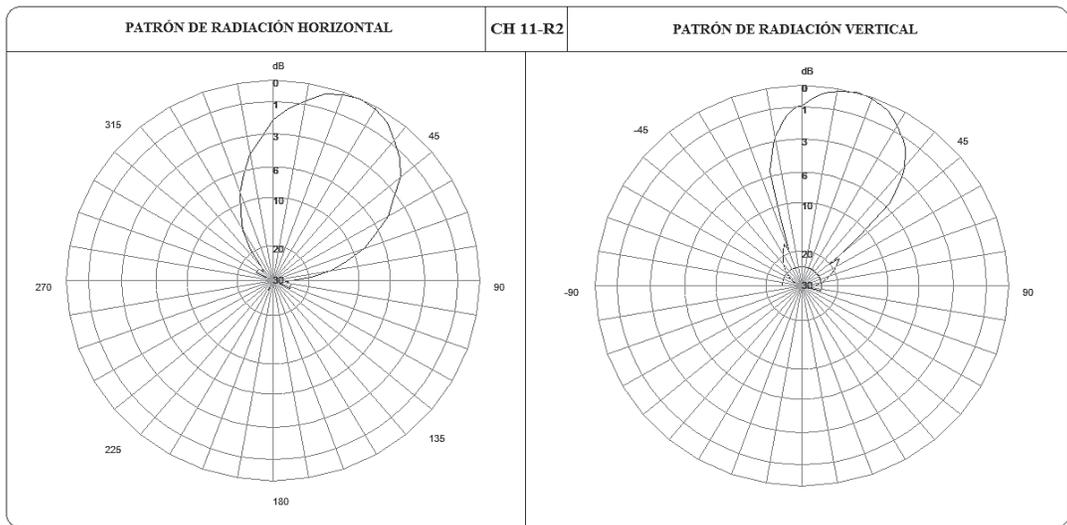
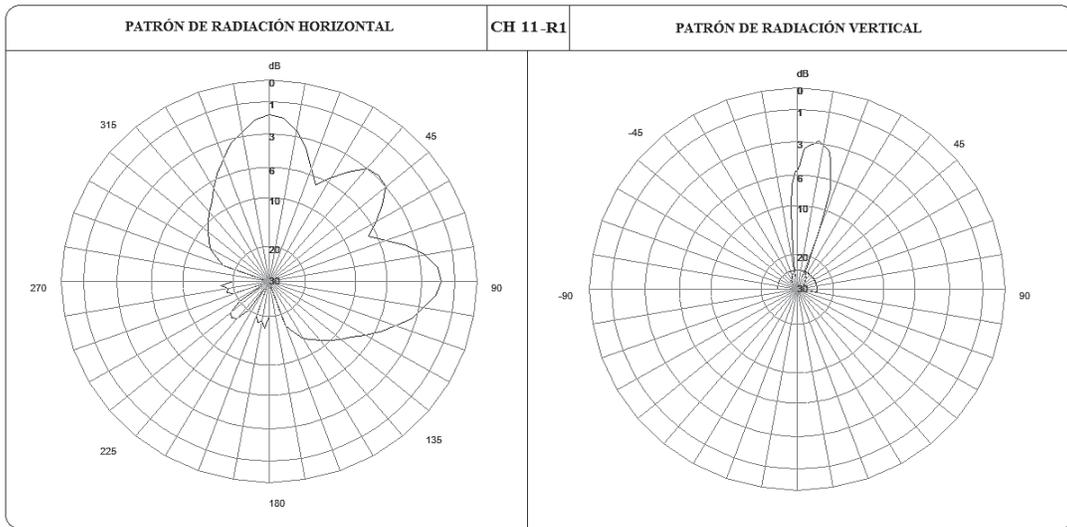
**Anexo B. PATRONES DE RADIACIÓN DE LOS ARREGLOS DE ANTENAS E INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS TRANSMISORES DE TV ABIERTA QUE OPERAN EN EL DMQ.**

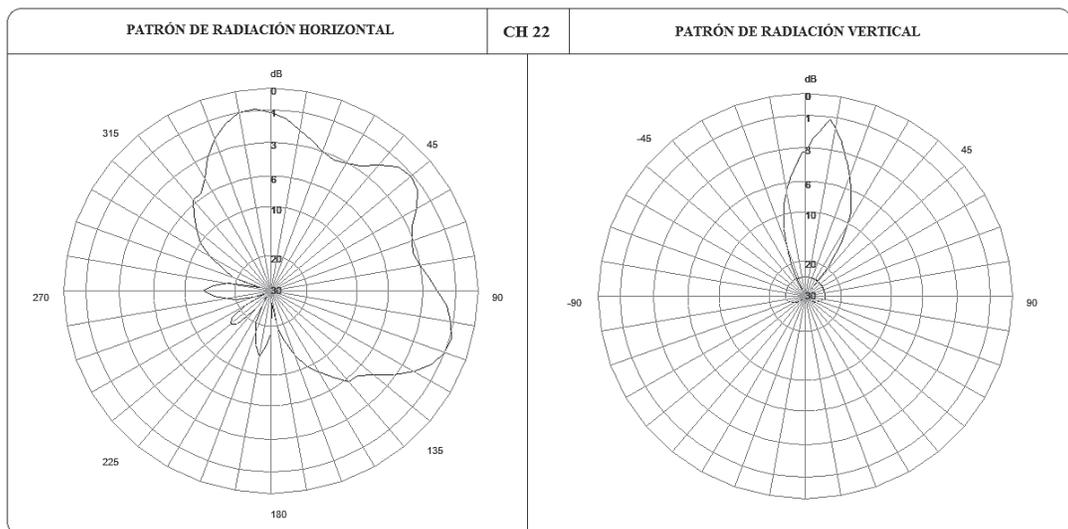
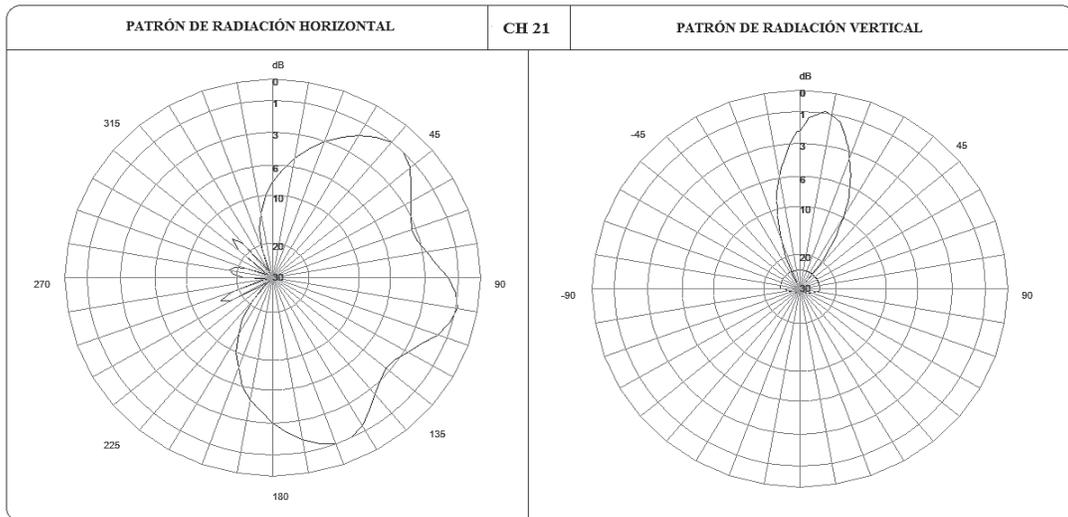
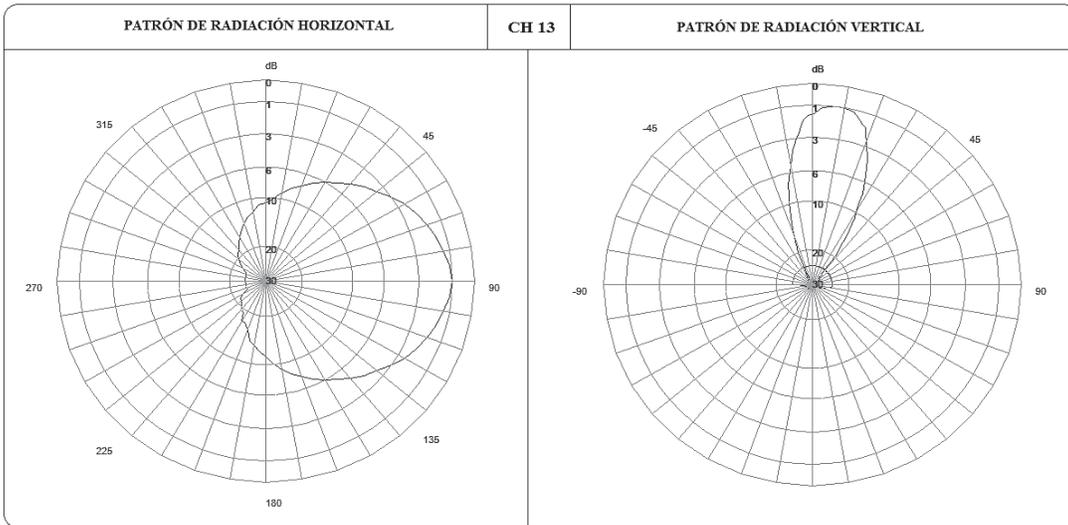


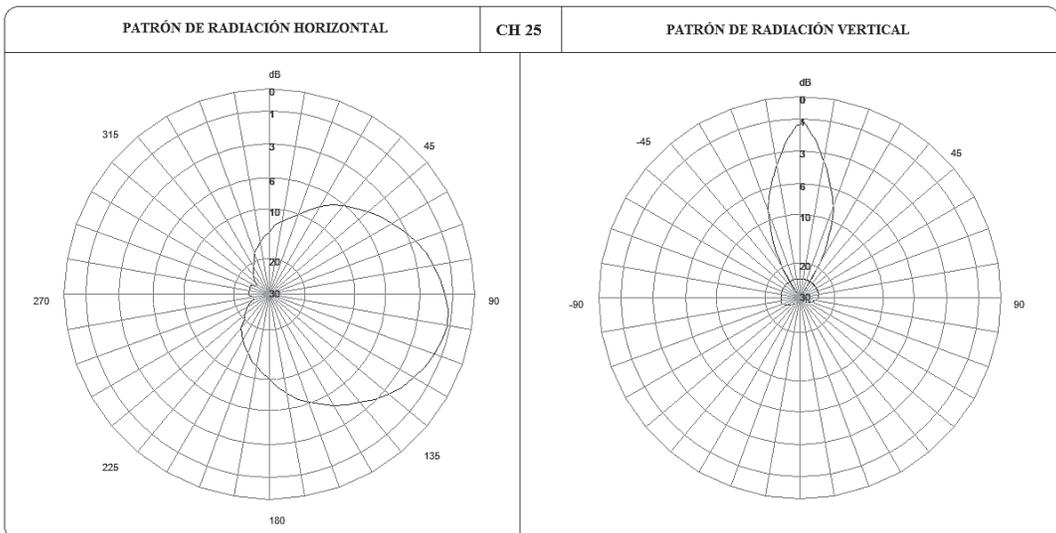
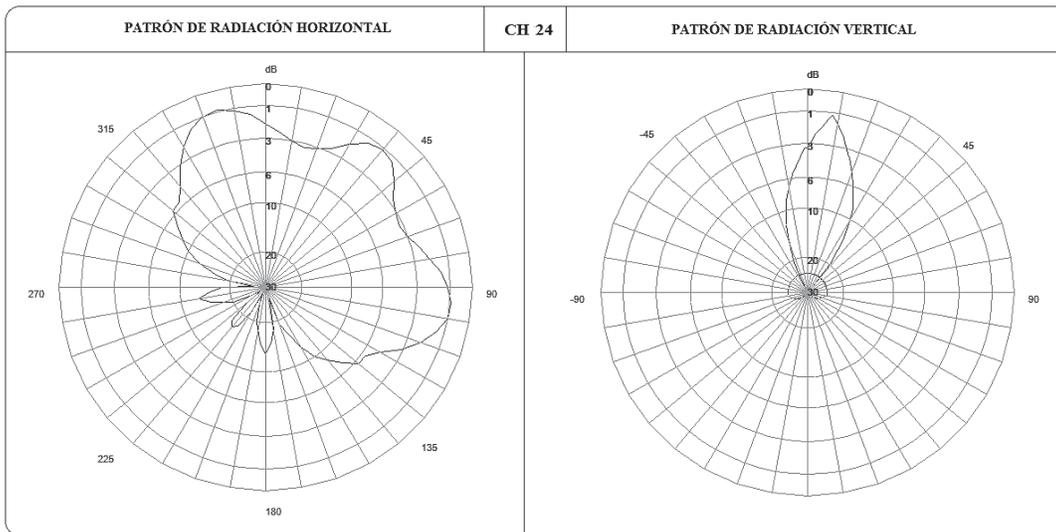
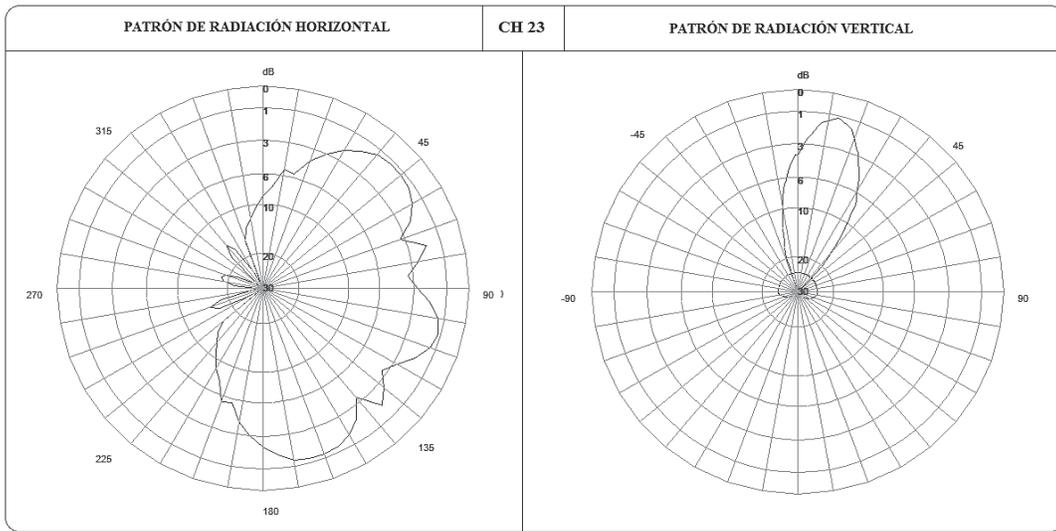


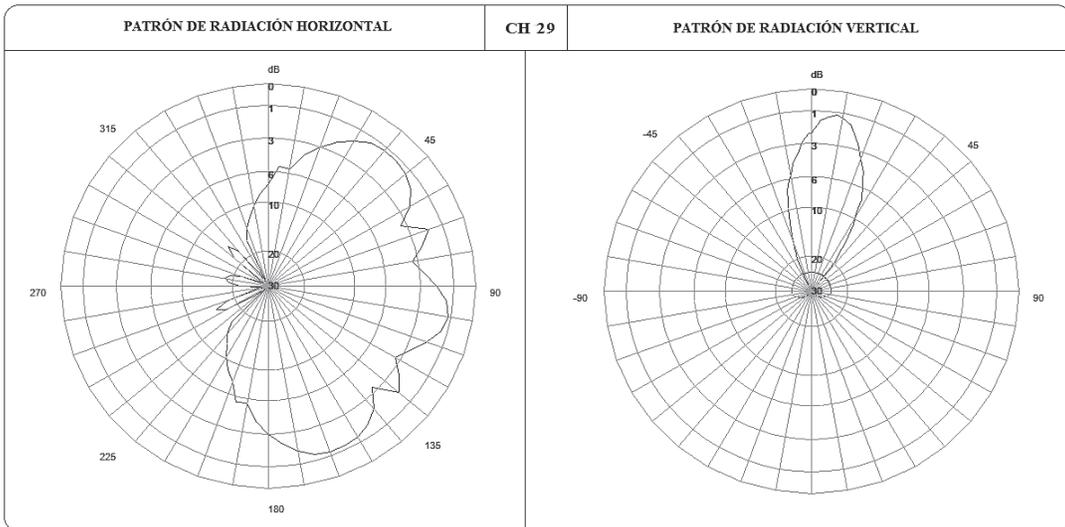
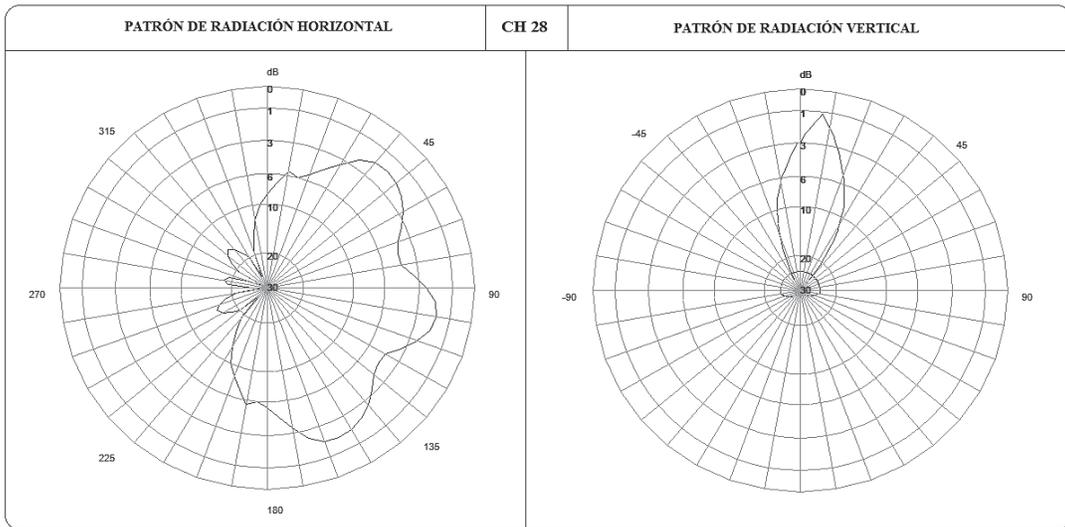
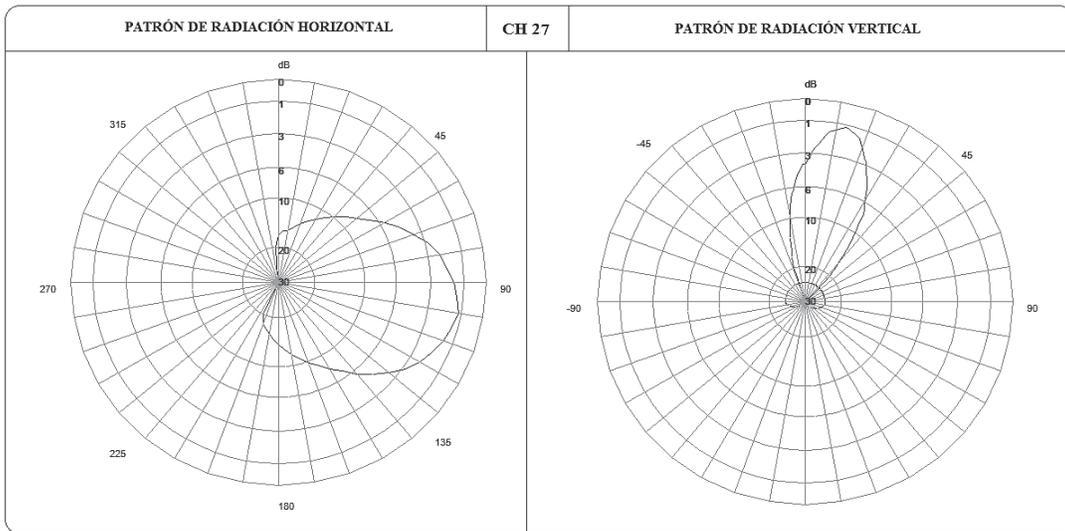


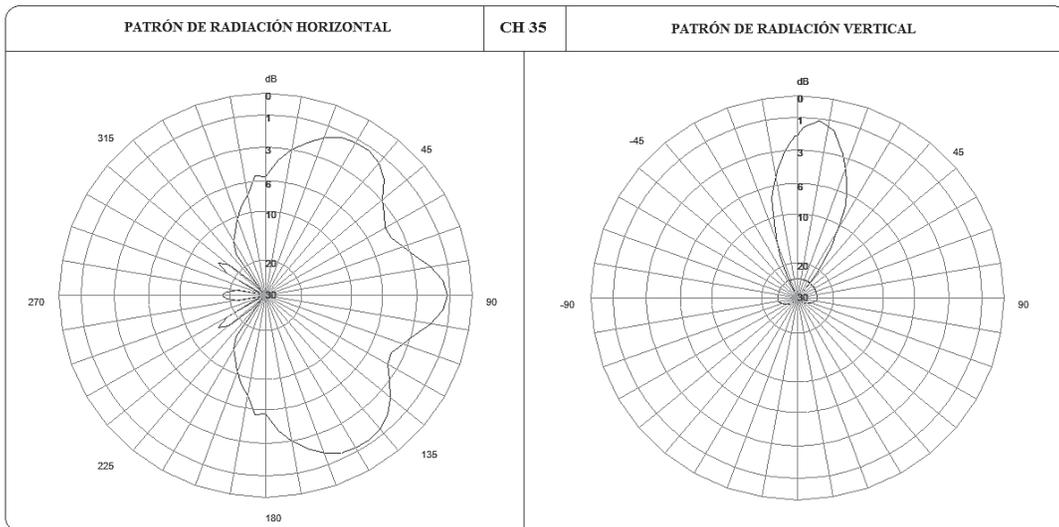
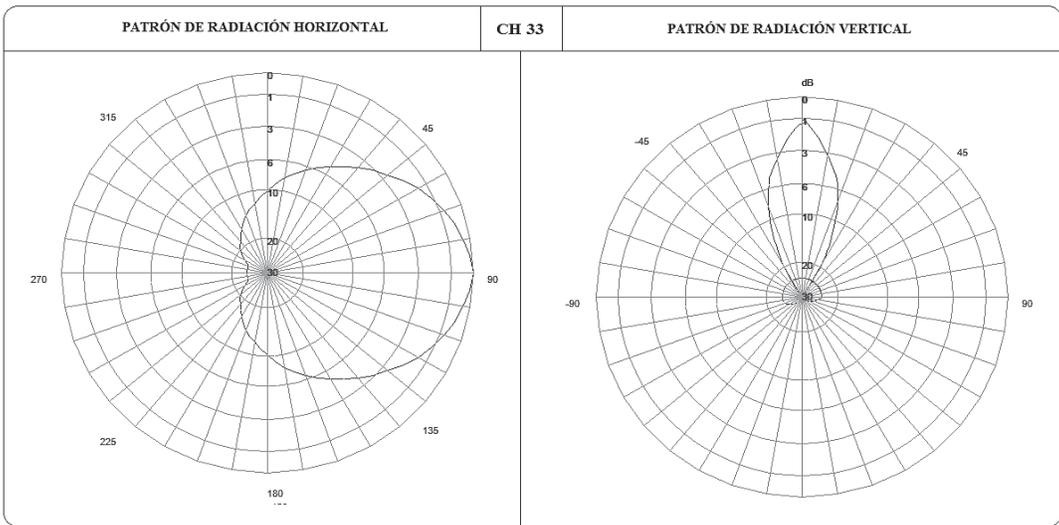
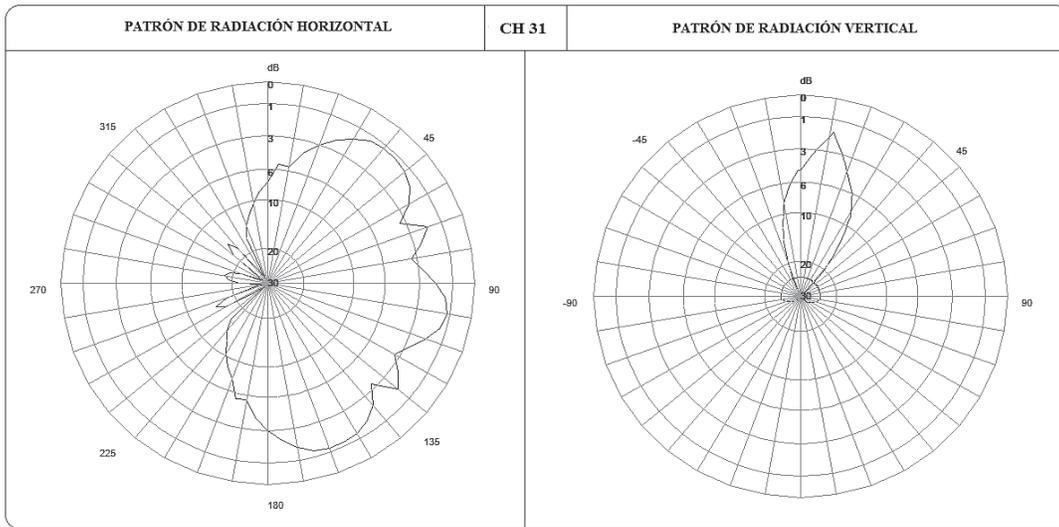


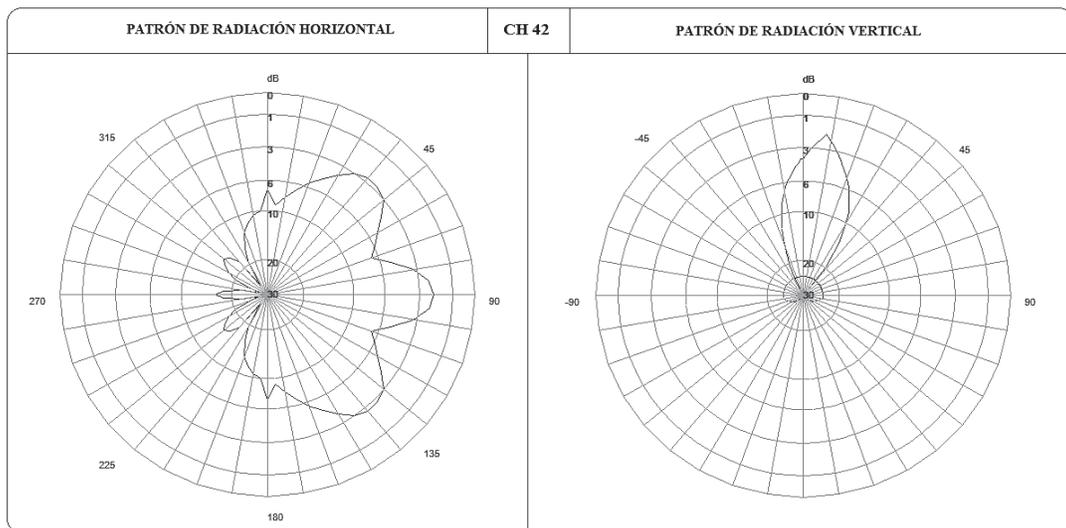
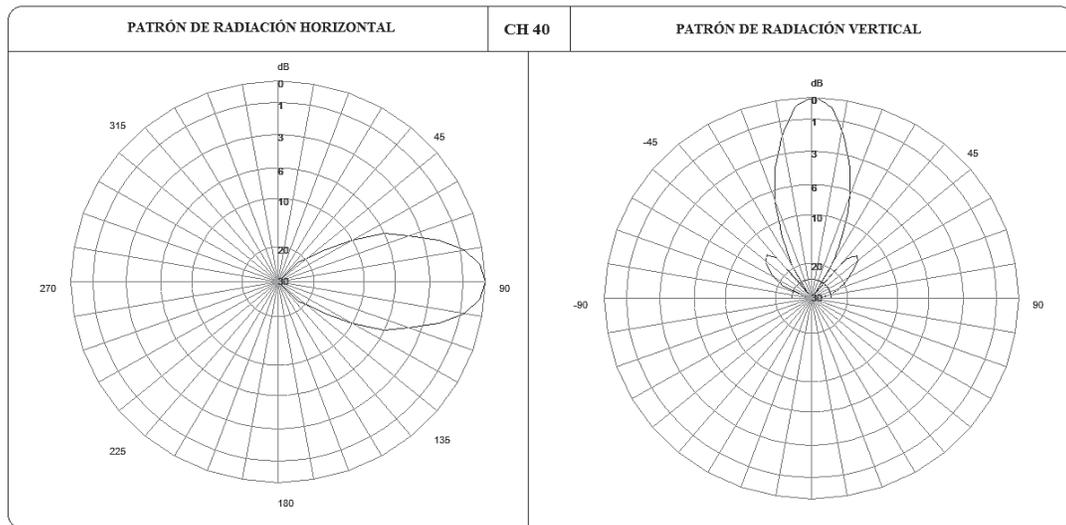
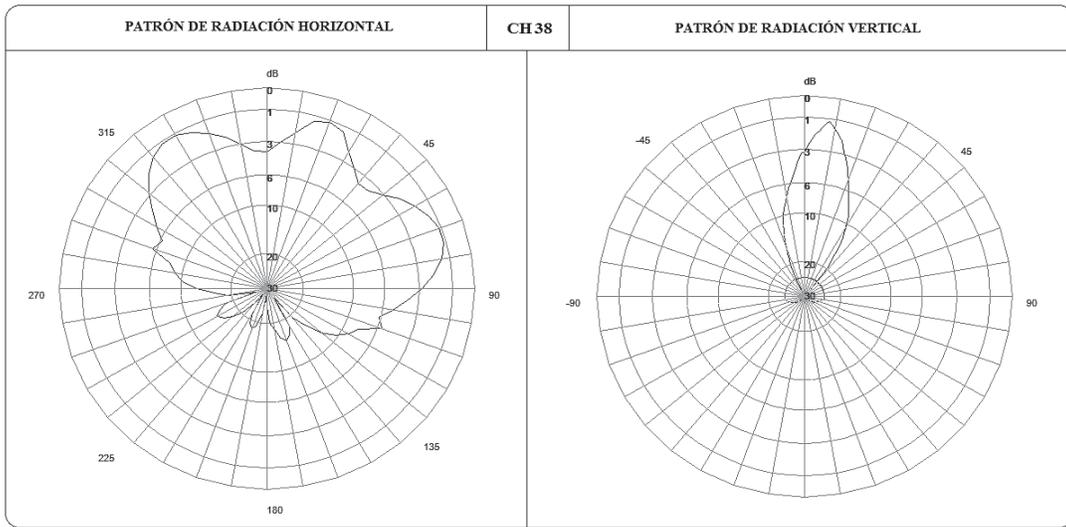


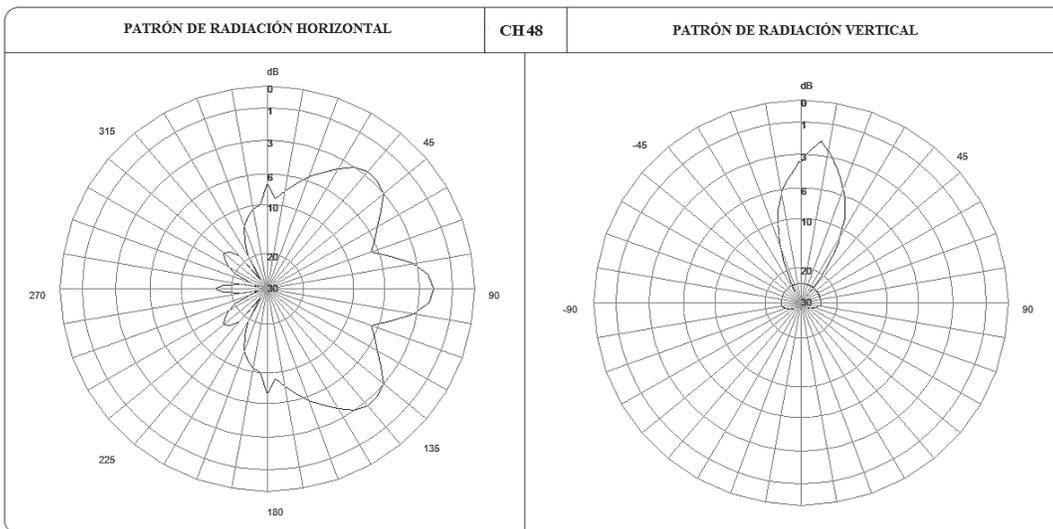
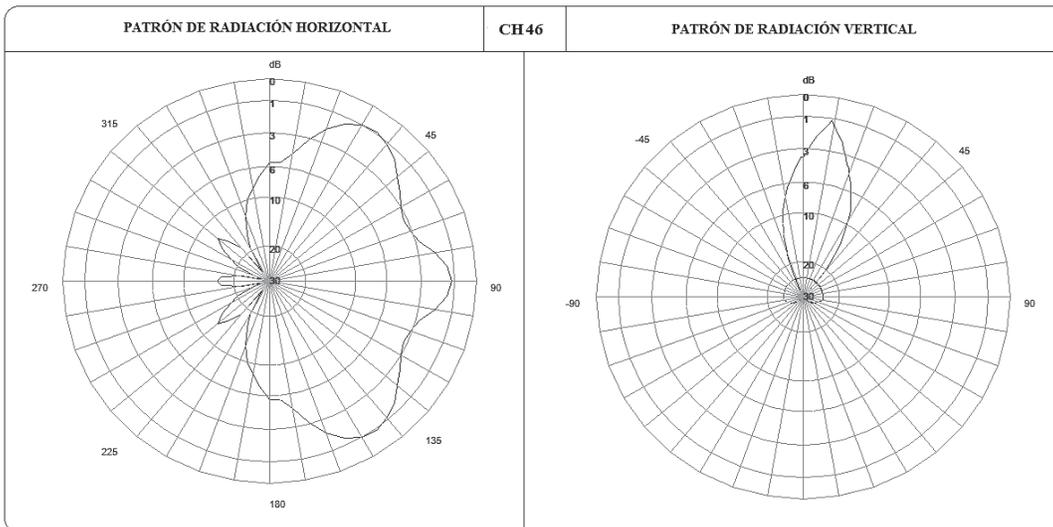
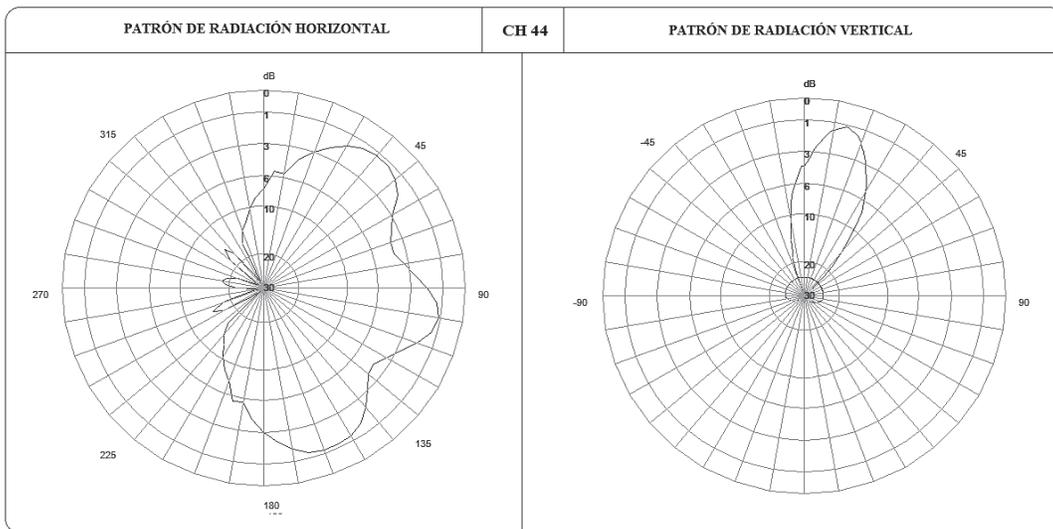












Categoría	Nombre Estación	Frecuencia	Longitud Tx	Latitud Tx	Ubicación Tx	Altura	Potencia Salida	Tipo De Antena	P.E. R.	Cobertura	Hro. Antenas	Azmut	Inclinación	Ganancia	Marca Antena	Modelo Antena
TELEVISION ABIERTA	RED TV ECUADOR	38	78°31'29,10"W	00°10'04,10"S	CERRO PICHINCHA	3857	5000	ARREGLO DE 4 PANELES	39720	QUITO-METROPOLITANO	2	50	7	11	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	ASOMAVISION	27	78°31'32,10"W	00°10'00,80"S	CERRO PICHINCHA	3892	5000	ARREGLO DE 4 PANELES	59570	QUITO-METROPOLITANO	4	100	12	13,2	URTE	1230
TELEVISION ABIERTA	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	10	78°31'27"W	00°10'04"S	CERRO PICHINCHA	3828	10000	ARREGLO DE 8 DIEDROS	178250	SANGOLQUIMACHACHI, TABACUNDO, QUITO-METROPOLITANO	4	45	7,5	14,01	ECUATRONIX	BANDA III
TELEVISION ABIERTA	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	9	78°36'01"W	00°18'55"S	CERRO ATACAZO	3850	7,08	ARREGLO DE 2 PANELES	100	(SUR DE QUITO), QUITO-DISTRITO METROPOLITANO, QUITO-DISTRITO METROPOLITANO	2	45	5	13	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	CANAL UNO	12	78°31'29,30"W	00°10'04,20"S	CERRO PICHINCHA	3884	10000	ARREGLO DE 8 ANTENAS DIEDRICAS	141254	QUITO-METROPOLITANO, SANGOLQUIM	4	45	0	13	ANDREW	ANDREW
TELEVISION ABIERTA	CANAL UNO	13	78°36'10,60"W	00°19'04,80"S	CERRO ATACAZO	3884	15,45	ARREGLO DE 3 ANTENAS DIEDRICAS	100	(SUR DE QUITO), QUITO-DISTRITO METROPOLITANO, QUITO-DISTRITO METROPOLITANO	3	90	7	9,61	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	TELEAMAZONAS	4	78°31'26,07"W	00°10'2,39"S	CERRO PICHINCHA	3800	10000	ARREGLO DE 8 PANELES	178250	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO, TABACUNDO, CAYAMBE, SANGOLQUIM	4	45	0	14,01	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	TELEVISION DEL PACIFICO	2	78°31'26,59"W	00°10'5,01"S	CERRO PICHINCHA	3870	15000	8 PANELES VHF 2 DIPOLOS	189290	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO, CAYAMBE, SANGOLQUIM, ABACUNDO	4	148	6,5	14,01	Construcción Nacional	Construcción Nacional

Categoría	Nombre Estación	Frecuencia	Longitud Tx	Latitud Tx	Ubicación Tx	Altura	Potencia Salida	Tipo De Antena	P.E. R.	Cobertura	Nro. Antenas	Azimuth	Inclinación	Ganancia	Marca Antena	Modelo Antena
TELEVISION ABIERTA	TELEVISION DEL PACIFICO	3	78°36'11,0 0"W	00°19'05,0 0"S	CERRO ATACAZO	3866	500	ARREGLO DE 4 ANTENAS YAGI DE 4 ELEMENTOS	7227,2	(SUR DE QUITO), QUITO -DISTRITO METROPOLITANA NO. QUITO -DISTRITO METROPOLITANA NO.	4	25	15	13,1	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	ECUADOR TV	7	78°31'00,0 0"W	00°10'03,3 0"S	CERRO PICHINCHA	3855	8873,4	ARREGLO DE 8 PANELES VHF	80000	SANGOLQUI, QUITO-DISTRITO METROPOLITANA NO. MACHACHI	4	45	6	10,51	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	ECUADOR TV	7	78°41'38,9 0"W	00°08'25,8 0"N	CARTAGENA	1430	50	ARREGLO DE 2 PANELES VHF DE 2 DIPOLOS	511	NANEGALQUITO-DISTRITO METROPOLITANA NO.	2	100	6,5	11,5	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	ECUADOR TV	7	78°36'07,0 0"W	00°19'06,0 0"S	CERRO ATACAZO	3867	100	ARREGLO DE 4 ANTENAS YAGI DE 8 ELEMENTOS	1445	(SUR DE QUITO), QUITO -DISTRITO METROPOLITANA NO. QUITO -DISTRITO METROPOLITANA NO.	4	25	15	13,1	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	ECUADOR TV	7	78°25'02,8 0"W	00°09'46,5 0"N	SANTA ROSA	2485	12,3	ARREGLO DE 2 PANELES VHF DE 2 DIPOLOS	126	SAN JOSE DE MINAS, QUITO-DISTRITO METROPOLITANA NO.	2	35	4,5	11,5	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	TELEVCENTRO-TV (CANAL 5 VHF)	5	78°31'31,3 0"W	00°10'01,8 0"S	CERRO PICHINCHA	3878	18000	ARREGLO DE 4 RADIADES	160430	QUITO-DISTRITO METROPOLITANA NO. CAYAMBE, SANGOLQUI, ABACUNDO	2	135	7	11	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	TELEVCENTRO-TV (CANAL 5 VHF)	6	78°36'13,9 0"W	00°19'04,8 0"S	CERRO ATACAZO	3851	500	2 DIEDROS	7062,7	(SUR DE QUITO), QUITO -DISTRITO METROPOLITANA NO. QUITO -DISTRITO METROPOLITANA NO.	2	340	8	13	Construcción Nacional	Construcción Nacional
											2	45	7	11	Construcción Nacional	Construcción Nacional

Categoría	Nombre Estación	Frecuencia	Longitud Tx	Latitud Tx	Ubicación Tx	Altura	Potencia Salida	Tipo De Antena	P.E.R.	Cobertura	Nro. Antenas	Azmut	Inclinación	Ganancia	Marca Antena	Modelo Antena
TELEVISION ABIERTA	RED TELESYSTEM A.(R.T.S)	11	78°31'30,0 0"W	00°10'03,0 0"S	CERRO PICHINCHA	3861	10000	ARREGLO DE 8 ANTENAS YADIEDRICAS	141254	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO,CAYAMBE,SANGOLQUI,ABACUNDO,MA CHACHI	4	45	7,5	13	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	RED TELESYSTEM A.(R.T.S)	11	78°36'11,0 0"W	00°19'05,0 0"S	CERRO ATACAZO	3866	50	ARREGLO DE 4 ANTENAS YAGI DE 3 ELEMENTOS	734,5	(SUR DE QUITO),QUITO -DISTRITO METROPOLITANO,QUITO-DISTRITO METROPOLITANO	4	25	15	13,17	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	TELEVISION SATELITAL	25	78°31'19,7 2"W	00°10'10,3 7"S	CERRO PICHINCHA	3730	5000	ARREGLO DE 4 PANELES UHF	39720	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO	4	100	0	10	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION ABIERTA	TELEVISION SATELITAL	24	78°36'11" W	00°19'05" S	CERRO ATACAZO	3150	-	ARREGLO DE 4 PANELES UHF	100	(SUR DE QUITO),QUITO -DISTRITO METROPOLITANO,QUITO-DISTRITO METROPOLITANO	2	0	5,5	11	RYMSA	AT15-240
TELEVISION TERRESTRE	CANAL UNO	45	78°31'30,0 4"W	00°10'3,76 "S	CERRO PICHINCHA	3873	2405	ARREGLO DE 12 PANELES UHF DE DOBLE POLARIDAD	28700	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO,SANGOLQUI	6	65	7,5	12,77	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISION TERRESTRE	TELEAMAZONAS	32	78°31'26,0 7"W	00°10'02,3 9"S	CERRO PICHINCHA	3720	3500	ARREGLO DE 8 PANELES UHF	65625	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO,TABACUNDO,CAYAMBE,SANGOLQUI	4	40	5,5	14,1	Construcción Nacional	Construcción Nacional
											4	180	5,5	14,1	Construcción Nacional	Construcción Nacional

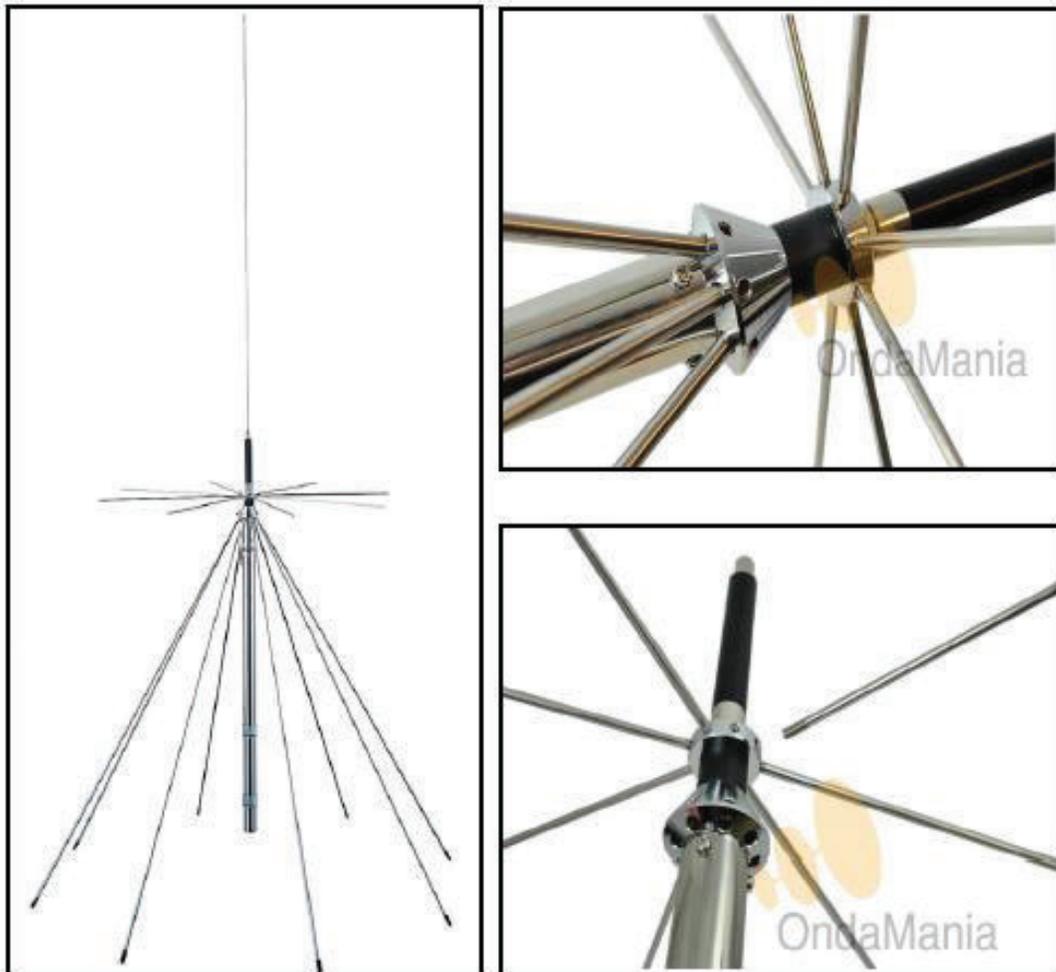
Categoría	Nombre Estación	Frecuencia	Longitud Tx	Latitud Tx	Ubicación Tx	Altura	Potencia Salida	Tipo De Antena	P.E. R.	Cobertura	Nro. Antenas	Azimuth	Inclinación	Ganancia	Marca Antena	Modelo Antena
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	TELESUCESOS	41	78°31'27,0 0"W	00°10'04,0 0"S	CERRO PICHINCHA	3827	1500	ARREGLO DE 4 PANELES UHF	13660	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO SANGOLQUI	2	55	7,5	11,6	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	TELESISTEMA	34	78°31'31,3 0"W	00°10'01,8 0"S	CERRO PICHINCHA	3878	3900	ARREGLO DE 4 PANELES UHF	27419	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO CAYAMBE, SANGOLQUI, T. ABACUNDO	2	65	6,5	11,3	Construcción Nacional	Construcción Nacional
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	TELEVISORANACIONAL	36	78°31'22,9 0"W	00°10'01,3 0"S	CERRO PICHINCHA	3767	3700	ARREGLO DE 6 PANELES UHF	35335	QUITO-DISTRITO METROPOLITANO T. ABACUNDO, CAYAMBE, MACHACHI, SAN GOLQUI	3	70	6	11	Construcción Nacional	Construcción Nacional
											3	180	6	11	Construcción Nacional	Construcción Nacional

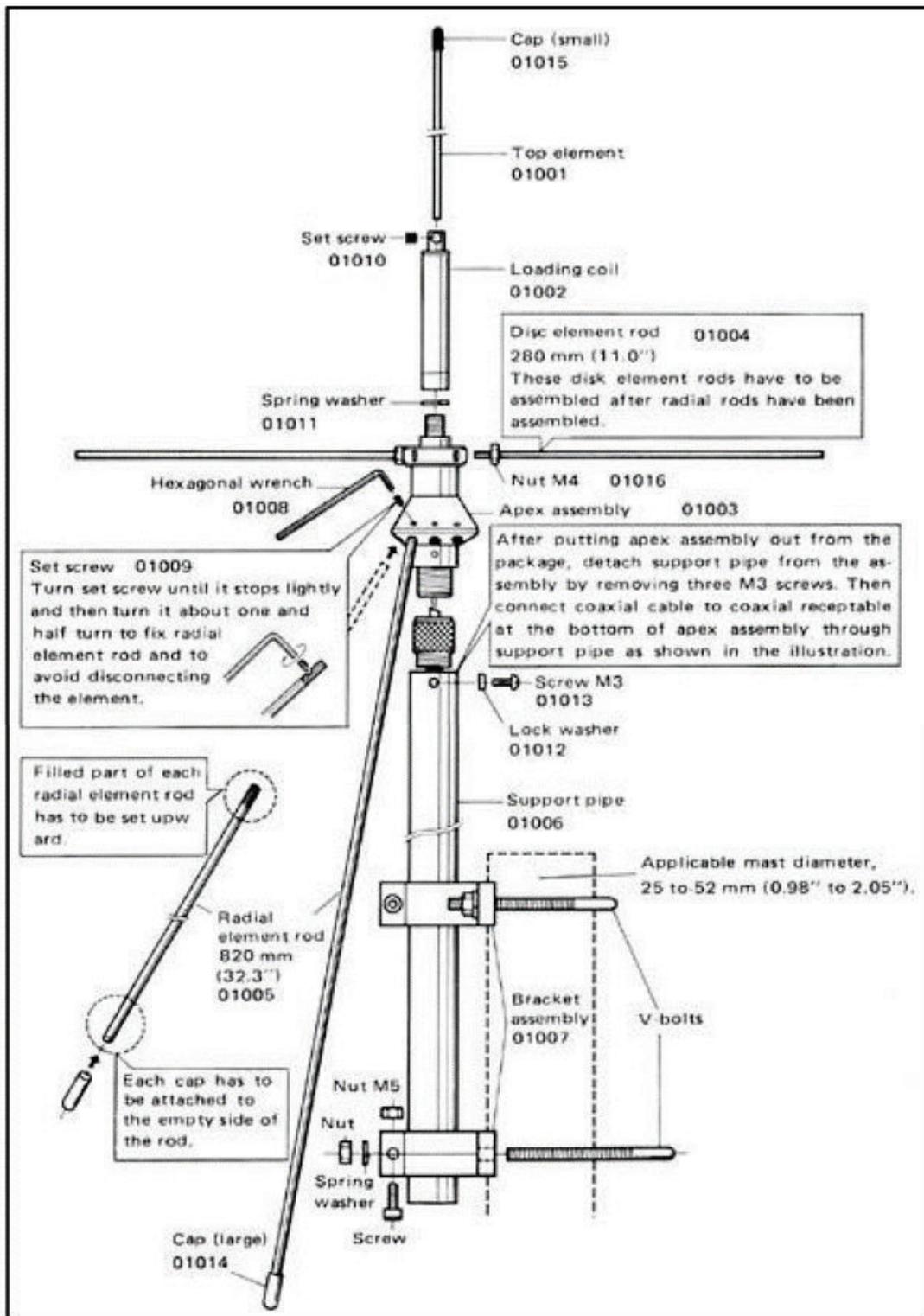
**Anexo C. REPRESENTACIÓN DE LAS COBERTURAS OBTENIDAS EN ICS  
DESIGNER.**

# DIGITAL

**Anexo D. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN  
EQUIPOS DE MEDICIÓN.**

Antena Discono	
TX Frecuencia	TX 50 - 144 - 430 - 900 - 1200 Mhz
RX Frecuencia	RX 25 - 1300 Mhz
Potencia Max.	350W
Altura m.	1,70
Conector	N





### Anexo E. FÓRMULAS DE CONVERSIÓN ENTRE VALORES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (dBuV/m) Y POTENCIA RECIBIDA (dBm).

- De dBm a dBuV/m:

$$FSR = Z + PR - 20 \cdot \log_{10}(300/f) + 20 \cdot \log_{10}(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{73/ohms}) - GP - loss$$

- De dBuV/m a dBm:

$$PR = FSR + 20 \cdot \log_{10}(300/f) - 20 \cdot \log_{10}(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{73/ohms}) + GP - loss - Z$$

Donde:

GP= G- 2.15 + Ganancia antena de referencia

G= Ganancia antena de recepción en dB.

Ganancia antena de referencia: Onda completa= 4.8 dB

Media onda= 2.15 dB

Isotrópica= 0 Db

Z se refiere a la impedancia: para 50 de impedancia, Z= 107 dB.

Para 75 de impedancia, Z= 108.75 dB.

FSR= Field Strength Received = Intensidad de campo eléctrico en dBuV/m.

f= frecuencia en MHz.

Loss= perdidas de recepción en dB.

PR= Potencia recibida en dBm.

**Anexo F. REPORTES DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO RECIBIDO OBTENIDOS CON EL SOFTWARE ICS DESIGNER EN CADA UNA DE LAS PARROQUIAS Y GRÁFICAS OBTENIDAS DEL ANALIZADOR DE ESPECTRO.**

# DIGITAL

**Anexo G. CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO EN FIEE-EPN, NONO, PERUCHO Y MEDICIÓN DE PÉRDIDAS EN EL CABLE UTILIZANDO UN ANALIZADOR VECTORIAL.**



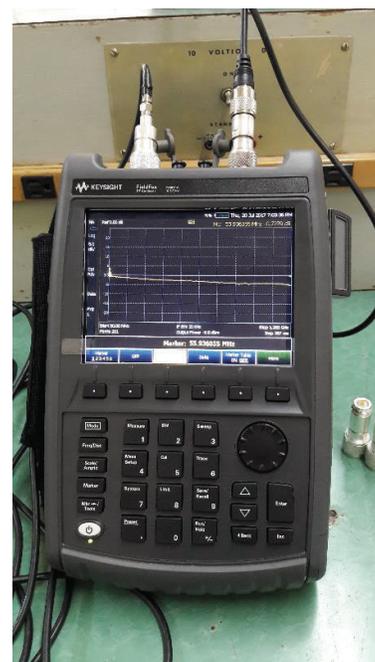
**FIEE-EPN**



**PARROQUIA DE PERUCHO**



**PARROQUIA DE NONO**



**MEDICIÓN PÉRDIDAS EN CABLE**