



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 INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### PLANTEAMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE POSIBLES ZONAS DE SOMBRA MEDIANTE ALGORITMOS DE INTERPOLACIÓN EN LA BANDA DE FRECUENCIAS UHF DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT)

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

CARLA ESTEFANÍA GARCÍA MORETA

[carli.garcia27@hotmail.com](mailto:carli.garcia27@hotmail.com)

DIRECTOR: Ing. Jorge Eduardo Carvajal Rodríguez, MSc.

[jorge.carvajal@epn.edu.ec](mailto:jorge.carvajal@epn.edu.ec)

CODIRECTOR: Ing. Xavier Santiago Páez Vásquez, MSc.

[xpaezster@gmail.com](mailto:xpaezster@gmail.com)

Quito, Enero 2016

## DECLARACIÓN

Yo, Carla Estefanía García Moreta, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado 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.

---

Carla Estefanía García Moreta

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Carla Estefanía García Moreta, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Jorge Eduardo Carvajal Rodríguez, MSc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Xavier Santiago Páez Vásquez, MSc.  
CODIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme bendecido y con su infinita bondad, brindarme la sabiduría y fuerzas necesarias para no rendirme y permanecer constante en mis objetivos. Él ha sido mi guía, mi refugio y mi compañero fiel en todo momento, principalmente en las adversidades y obstáculos que he tenido que superar.

A mis queridos padres, que son los pilares de mi vida y me han brindado amor, comprensión y apoyo incondicional, en mi corazón siempre los guardaré. De igual forma, a mis tíos, primos y abuelitos por ser mi motivación para cumplir mis metas, su cariño siempre ha cobijado mis sueños y en la culminación de esta meta, está invertido el tiempo que varias veces no pude compartir con ustedes.

Agradezco a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones por abrirme las puertas y permitirme adquirir nuevos conocimientos, de manera muy especial a la Ing. Verónica Yerovi MSc., por su confianza y apoyo en la realización del presente proyecto, además al Ing. Iván Suárez MSc., por su gran calidez humana y al personal técnico que forman parte del área de Telecomunicaciones de la Coordinación Zonal 2 de ARCOTEL.

Al Ing. Xavier Páez MSc., de quien recibí conocimientos esenciales que aportan a la elaboración de mi proyecto de Tesis, gracias por brindarme su apoyo en todo momento.

Al Ing. Jorge Carvajal MSc. por su orientación, dedicación e incentivo en la culminación de mi proyecto, además de su compromiso y entrega para con el mismo.

A Mario Camana por su apoyo y cariño incondicional, así como a mis amigos y compañeros por haber compartido anécdotas inolvidables en esta etapa universitaria.

Muchas gracias a mis profesores de la Escuela Politécnica Nacional por los conocimientos impartidos.

## DEDICATORIA

*A Dios, por permitirme hacer realidad esta meta y por darme unos padres que han sido mi fuerza e incentivo.*

*A mi mami, Silvia Moreta, por su cariño, paciencia y apoyo incondicional.*

*A mi papi, Nelson García, por sus sabios consejos y cariño.*

*Carla García.*

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA .....	IV
RESUMEN.....	XVI
PRESENTACIÓN .....	XIX
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR.....	2
1.2.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2.2 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR.....	4
1.2.3 ETAPAS DEL APAGÓN ANALÓGICO EN EL ECUADOR .....	6
1.2.4 ASPECTOS RELEVANTES DE LA NORMA TÉCNICA PARA EL.....	
SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR.....	7
1.2.4.1 Definiciones .....	7
1.2.4.2 Bandas de frecuencia .....	8
1.2.4.3 Canalización de bandas de frecuencia.....	9
1.2.4.4 Parámetros Técnicos .....	10
1.2.5 ESTACIONES Y CANALES TDT EN LA CIUDAD DE QUITO .....	11
1.3 INTRODUCCIÓN A LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE .....	12
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE .....	12
1.3.1.1 Codificación Binaria.....	12
1.3.1.2 Uso eficiente del Espectro Radioeléctrico.....	13
1.3.1.3 Estándares disponibles para el desarrollo de TDT .....	13
1.3.1.4 Compresión de Video y Audio .....	14
1.3.1.5 Portabilidad y Movilidad.....	14
1.3.1.6 Interactividad .....	15
1.3.1.7 Degradación de la señal TDT .....	16
1.3.2 BENEFICIOS DE LA TDT .....	17
1.3.2.1 Ámbito Social.....	17
1.3.2.2 Ámbito Comercial.....	17

1.3.2.3	Ámbito Laboral.....	18
1.3.2.4	Aspecto Tecnológico.....	18
1.4	PRINCIPIO DEL FUNCIONAMIENTO DE OFDM .....	18
1.4.1	CONDICIONES DE ORTOGONALIDAD .....	20
1.4.2	INTERVALO DE GUARDA .....	21
1.5	ESTADAR ISDB-Tb .....	24
1.5.1	CARACTERÍSTICAS DEL ESTADAR ISDB-Tb .....	24
1.5.1.1	Compresión de audio y video en ISDB-Tb.....	24
1.5.1.2	Multiplexación .....	25
1.5.1.3	Canalización y Modulación .....	25
1.5.1.4	Transmisión Jerárquica en Capas .....	26
1.5.1.5	Esquema de Modulación .....	28
1.5.1.5.1	<i>Descripción de la Modulación QPSK</i> .....	28
1.5.1.5.2	<i>Descripción de la Modulación DQPSK</i> .....	29
1.5.1.5.3	<i>Descripción de la Modulación QAM</i> .....	30
1.5.1.5.4	<i>Descripción de la Modulación 16-QAM</i> .....	30
1.5.1.5.5	<i>Descripción de la Modulación Modulación 64-QAM</i> .....	32
1.5.1.6	<i>Middleware Ginga para interactividad</i> .....	33
1.6	REDES DE FRECUENCIA ÚNICA.....	34
1.6.1	DEFINICIONES DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA .....	34
1.6.2	CONSIDERACIONES EN LOS TRANSMISORES DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA.....	34
1.6.3	VENTAJAS DE LAS REDES DE FRECUENCIA ÚNICA.....	35
<b>CAPÍTULO 2</b>	.....	<b>36</b>
EQUIPOS Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN.....		36
2.1	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN.....	36
2.1.1	MEDICIONES ESTÁTICAS .....	36
2.1.2	MEDICIONES DINÁMICAS .....	37
2.1.3	SELECCIÓN DE LA ZONA DE MEDICIÓN .....	37
2.1.4	DEFINICIÓN DE RUTA Y PUNTOS DE MEDICIÓN.....	38
2.1.5	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	40
2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	41
2.2.1	SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	41
2.2.1.1	Componentes principales que conforman el sistema SACER.....	42

2.2.1.2	Estaciones de Monitoreo Móvil (EM) .....	44
2.2.1.3	Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 – Digital Direction Finder ...	45
2.2.1.4	Software ARGUS .....	46
2.2.1.5	Conmutador de antenas R&S ZS129A1 .....	47
2.2.1.6	Receptor de referencia GPS 129.....	48
2.2.1.7	Antena R&S ADD295 (20 – 300 MHz).....	48
2.2.2	PROCEDIMIENTO DE MEDICIONES DE DRIVE TEST CON EL SOFTWARE ARGUS .....	49
2.2.3	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO R&S ETH .....	55
2.2.3.1	Definición de parámetros técnicos que intervienen en las mediciones con el equipo R&S ETH.....	56
2.2.3.1.1	Tasa de Error Binario .....	56
2.2.3.1.2	Tasa de Error de Modulación .....	57
2.2.3.1.3	Diagrama de Constelación .....	58
2.3	ANÁLISIS TEÓRICO Y GRÁFICO DE LOS ALGORITMOS DE INTERPOLACIÓN: <i>NEAREST NEIGHBOR INTERPOLATION, LINEAR INTERPOLATION, NATURAL NEIGHBOR INTERPOLATION</i> .....	58
2.3.1	NEAREST NEIGHBOR INTERPOLATION .....	58
2.3.2	LINEAR INTERPOLATION .....	60
2.3.3	NATURAL NEIGHBOR INTERPOLATION .....	62
2.4	ESTUDIO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO UTILIZADO .....	65
2.4.1	SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	65
2.4.3	DATUM WGS-84 .....	70
2.5	NIVEL DE SEÑAL DE REFERENCIA PARA LA DETECCIÓN DE ZONAS DE SOMBRA .....	72
2.5.1	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE ANTENA PARA CADA PORTADORA CENTRAL TDT .....	73
2.5.2	CONVERSIÓN DE UNIDADES DE dBm A dBuV/m .....	74
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>76</b>
	PROCESAMIENTO DE DATOS DE MEDICIÓN .....	76
3.1	INTRODUCCIÓN .....	76
3.2	PROCESAMIENTO DE DATOS EN EXCEL .....	77
3.2.1	PROCESO DE CONVERSIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LONGITUD EN EXCEL .....	78
3.2.2	TABULACIÓN DE DATOS EN EXCEL.....	79

3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS EN MATLAB.....	80
3.3.1 REQUISITOS DE SIMULACIÓN .....	80
3.3.2 ESTRUCTURA Y DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DE DATOS EN MATLAB .....	81
3.3.2.1 Importación y adaptación de datos de Excel a MATLAB .....	82
3.3.2.2 Interpolación de datos y definición de los puntos límites del polígono de medición.....	84
3.3.2.3 Exportación de datos a Google Earth .....	88
3.3.2.4 Extracción de valores interpolados .....	95
3.3.2.5 Exportación de puntos de posición desde Excel a Google Earth.....	100
3.4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA PARA OBTENER EL PORCENTAJE DE ERROR EN LA ESTIMACIÓN DE MEDIDAS INTERPOLADAS .....	103
3.4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL CÁLCULO DE ERROR.....	105
3.5. DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO.....	111
3.6 ESTIMACIÓN DE COBERTURA CON EL SOFTWARE ICS TELECOM.....	118
3.6.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE ICS TELECOM.....	118
3.6.2 Estructura de Capas del Software ICS TELECOM .....	119
3.6.3 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE UN TRANSMISOR DE TDT EN EL ICS TELECOM.....	121
3.6.3.1 Parámetros generales de la estación transmisora .....	121
3.6.3.2 Umbral de Nivel de Señal .....	122
3.6.3.3 Parámetros del Sistema Radiante .....	122
3.6.3.4 Elección del Modelo de Propagación.....	122
3.6.3.4.1 Descripción del Modelo UIT-R P. 1546.....	123
3.6.3.4.2 Descripción del Modelo UIT-R P. 1812.....	123
3.6.4 SIMULACIÓN DE COBERTURA CON EL SOFTWARE ICS TELECOM VS INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS DE INTENSIDAD DE CAMPO .....	124
3.6.5 CORRELACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SOFTWARE ICS TELECOM.....	126
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>128</b>
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	128
4.1 IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES ZONAS DE SOMBRA DENTRO DE LA ZONA DE MEDICIÓN .....	128
4.1.1 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 26 .....	130
4.1.2 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 30 .....	131

4.1.3 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 32 .....	132
4.1.4 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 34 .....	133
4.1.5 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 36 .....	134
4.1.6 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 39 .....	135
4.1.7 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 41 .....	136
4.1.8 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 43 .....	137
4.1.9 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 45 .....	138
4.2 FACTORES INTERFERENTES EN LA TRAYECTORIA DE PROPAGACIÓN .....	138
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>140</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	140
5.1 CONCLUSIONES .....	140
5.2 RECOMENDACIONES .....	145
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>148</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>152</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1.1	Movilidad y Portabilidad en TDT.....	15
Figura 1.2	Interactividad en TDT.....	15
Figura 1.3	Degradación de la señal analógica y digital en función de la distancia.....	16
Figura 1.4	Espectro ocupado por señales OFDM.....	19
Figura 1.5	Apreciación Ancho de banda Vs Tiempo del símbolo OFDM.....	20
Figura 1.6	Ortogonalidad entre sub-portadoras.....	20
Figura 1.7	Trayectoria de una señal directa y señal reflejada.....	21
Figura 1.8	Intervalo de Guarda del símbolo OFDM.....	22
Figura 1.9	Escala de valores en relación al $(T_{GT\_U})$ .....	22
Figura 1.10	Inserción del intervalo de guardo en 5 símbolos OFDM sucesivos.....	23
Figura 1.11	Posicionamiento de la ventana FFT.....	24
Figura 1.12	Segmentación del canal de 6 MHz.....	25
Figura 1.13	Distribución de los segmentos del canal ISDB-Tb en Capas Jerárquicas.....	27
Figura 1.14	Capas Jerárquicas de ISDB-Tb.....	28
Figura 1.15	Diagrama de Constelación QPSK.....	29
Figura 1.16	Diagrama de Constelación DQPSK.....	30
Figura 1.17	Representación gráfica de la Matriz de Asignación de niveles de Amplitud.....	32
Figura 1.18	Constelación 64 – QAM.....	32

### CAPÍTULO 2

Figura 2.1	Zona de medición seleccionada sobre el mapa de Google Earth.....	38
Figura 2.2	Ruta de Medición en el Comité del Pueblo.....	39
Figura 2.3	Ubicación de puntos dinámicos en Google Earth.....	39
Figura 2.4	Puntos de medición estáticos sobre el mapa de Google Earth.....	40
Figura 2.5	Esquema General del Sistema de Medición.....	41
Figura 2.6	Componentes del Sistema SACER.....	43
Figura 2.7	Estación de Monitoreo Móvil.....	44
Figura 2.8	Equipos internos de la Estación Móvil.....	45

Figura 2.9	Antenas disponibles en la Estación Móvil.....	45
Figura 2.10	Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255.....	46
Figura 2.11	Pantalla de presentación del software ARGUS.....	46
Figura 2.12	Conmutador de antenas R&S ZS129A1.....	47
Figura 2.13	Receptor GPS DE referencia GPS 129.....	48
Figura 2.14	ANTENA R&S ADD295.....	48
Figura 2.15	Estación de Trabajo del SACER.....	49
Figura 2.16	Logo de inicio del software ARGUS del SACER.....	49
Figura 2.17	Barra de Menú del software ARGUS del SACER.....	50
Figura 2.18	Pantalla ‘Selección de Unidad de medición’ del software ARGUS.....	51
Figura 2.19	Selección de ‘Modo de med. Directa’ en el software ARGUS.....	51
Figura 2.20	Pantalla sct-I04 del software ARGUS del SACER.....	52
Figura 2.21	Selección ‘Modo de med. Interactiva’.....	52
Figura 2.22	Selección ícono ‘Medición de Cobertura.....’.....	52
Figura 2.23	Configuración de la Tabla de Lista de Frecuencias.....	53
Figura 2.24	Selección de Canales TDT en la Pantalla Navegador del software ARGUS del SACER.....	53
Figura 2.25	Configura los parámetros de medición en Modo Interactivo.....	54
Figura 2.26	Visualización de los resultados de la medición.....	54
Figura 2.27	Diagrama de Constelación de la señal digital del CANAL UNO.....	55
Figura 2.28	Escenario de Prueba.....	59
Figura 2.29	Zona de Prueba: Nearest Neighbor Interpolation, resolución: 3m, 4 puntos conocidos.....	60
Figura 2.30	Linear Interpolation.....	60
Figura 2.31	Zona de Prueba: Linear Interpolation, resolución: 3m, 4 puntos conocidos.....	61
Figura 2.32	Representación de 5 vecinos naturales.....	63
Figura 2.33	Coefficientes $f_m(x,y)$ .....	63
Figura 2.34	Zona de Prueba: Natural Neighbor Interpolation, resolución: 3m, 4 puntos conocidos.....	64
Figura 2.35	Meridianos, Paralelos, Longitud y Latitud.....	67
Figura 2.36	Proyección cartográfica UTM.....	68
Figura 2.37	Proyección UTM, despliegue de Husos.....	69
Figura 2.38	Husos y zonas UTM.....	69
Figura 2.39	Semieje Mayor y Semieje Menor de una Elipsoide.....	71
Figura 2.40	Factor de Antena de la Antena ADD295.....	73

## CAPÍTULO 3

Figura 3.1	Diagrama de Bloques General del Procesamiento de Datos.....	76
Figura 3.2	Conversión de coordenada de Longitud.....	78
Figura 3.3	Formato de la tabulación de Datos en Excel.....	79
Figura 3.4	Diagrama de flujo de importación de datos y definición de resolución.....	82
Figura 3.5	Diagrama de flujo de interpolación de datos y definición de los puntos límites de la zona de medición.....	85
Figura 3.6	Ejemplo1: Presentación del polígono de medición en MATLAB.....	87
Figura 3.7	Diagrama de flujo para exportación de datos a Google Earth.....	89
Figura 3.8	Zona 17 M de Ecuador.....	90
Figura 3.9	Ejemplo1: Interpolación de medidas de Intensidad de Campo en MATLAB.....	94
Figura 3.10	Ejemplo1: Interpolación de medidas de Intensidad de Campo en Google Earth.....	94
Figura 3.11	Diagrama de flujo para la extracción de datos interpolados.....	95
Figura 3.12	Malla Simple 3x3, longitud-latitud.....	97
Figura 3.13	Icon35.png.....	102
Figura 3.14	Puntos de Posición sobre el mapa de Google Earth, archivo: puntos_medidos.....	103
Figura 3.15	Mediciones dinámicas en el contorno de la zona de medición.....	104
Figura 3.16	Mediciones dinámicas para validación de algoritmos de interpolación...	104
Figura 3.17	Interpolación en base a 500 puntos de medición.....	107
Figura 3.18	Interpolación en base a puntos del contorno de la zona de medición.....	107
Figura 3.19	Interfaz de Usuario – MENU_PRINCIPAL.....	112
Figura 3.20	Interfaz de Usuario – MENU_INTENSIDAD_DE_CAMPO.....	112
Figura 3.21	Interfaz de Usuario –OPCION1_Intensidad_de_Campo.....	114
Figura 3.22	Interfaz de Usuario –OPCION2_Intensidad_de_Campo.....	115
Figura 3.23	Interfaz de Usuario –OPCION3_Intensidad_de_Campo.....	115
Figura 3.24	Interfaz de Usuario – MENU_MER.....	116
Figura 3.25	Interfaz de Usuario – OPCION1_MER.....	116
Figura 3.26	Interfaz de Usuario – OPCION2_MER.....	117
Figura 3.27	Interfaz de Usuario – COMPRACION_INTERPOLACION.....	117
Figura 3.28	Capas en el ICS TELECOM.....	119
Figura 3.29	Simulación de Cobertura aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1546 en el software ICS TELECOM de ARCOTEL.....	124

Figura 3.30	Simulación de Cobertura aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1812 en el software ICS TELECOM de ARCOTEL.....	124
Figura 3.31	Simulación de Cobertura TDT con Algoritmo de Interpolación Natural sobre el mapa de Google Earth, Canal 26.....	125
Figura 3.32	Correlación de medidas aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1546 en el software ICE TELECOM.....	127
Figura 3.33	Correlación de medidas aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1812 en el software ICE TELECOM.....	127

## CAPÍTULO 4

Figura 4.1	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 26.....	130
Figura 4.2	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 30.....	131
Figura 4.3	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 32.....	132
Figura 4.4	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 34.....	133
Figura 4.5	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 36.....	134
Figura 4.6	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 39.....	135
Figura 4.7	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 41.....	136
Figura 4.8	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 43.....	137
Figura 4.9	Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 45.....	138

## CAPÍTULO 5

Figura 5.1	Comparación de medidas de intensidad de campo y MER en tres puntos de medición.....	146
------------	--	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

Tabla 1.1	Fases de Apagón Analógico en el Ecuador.....	6
Tabla 1.2	Bandas de Frecuencias Principales para TDT.....	8
Tabla 1.3	Bandas de Frecuencias Auxiliares para radiodifusión con emisiones de televisión.....	9
Tabla 1.4	Canalización de Frecuencias Principales para Televisión Digital Terrestre.....	9
Tabla 1.5	Canales TDT en la ciudad de Quito.....	11
Tabla 1.6	Middleware para los estándares de TDT.....	16
Tabla 1.7	Modos de Transmisión en ISDB-Tb.....	26
Tabla 1.8	Fases QPSK.....	29
Tabla 1.9	Matriz de Formación de símbolos 16-QAM.....	31
Tabla 1.10	Matriz de Asignación de niveles de Amplitud.....	31
Tabla 1.11	Tasas de transmisión de acuerdo a los esquemas de modulación en ISDB-Tb.....	33

### CAPÍTULO 2

Tabla 2.1	Cronograma de mediciones.....	36
Tabla 2.2	Puntos conocidos del Escenario de Prueba.....	59
Tabla 2.3	Ejemplo de Coordenadas Geográficas.....	66
Tabla 2.4	Ejemplo de Coordenadas UTM.....	70
Tabla 2.5	Puntos de Referencia de Coordenadas Cartesianas.....	70
Tabla 2.6	Referencias Geodésicas del elipsoide WGS-84.....	71
Tabla 2.7	Factor de Antena para la portadora central de cada canal TDT.....	74

### CAPÍTULO 3

Tabla 3.1	Formato de Datos exportados a Excel desde el software ARGUS.....	77
Tabla 3.2	Exportación de valores interpolados a Excel.....	99
Tabla 3.3	Archivo en Excel: posición_puntos.....	100
Tabla 3.4	Porcentaje de Error de Valores Interpolado con cada Algoritmo de Interpolación.....	105

Tabla 3.5	Promedio de Error de Valores Interpolados con cada Algoritmo de Interpolación.....	106
Tabla 3.6	Porcentaje de Error del Algoritmo de Interpolación Natural, canal 30.....	107
Tabla 3.7	Porcentaje de Error del Algoritmo de Interpolación Natural, canal 32 .....	108
Tabla 3.8	Porcentaje de Error del Algoritmo de Interpolación Natural, canal 41.....	109
Tabla 3.9	Descripción de las capas principales para la simulación de cobertura en el ICS TELECOM.....	120

## CAPÍTULO 4

Tabla 4.1	Puntos interpolados del canal 26.....	130
Tabla 4.2	Puntos interpolados del canal 30.....	132
Tabla 4.3	Puntos interpolados del canal 36.....	134
Tabla 4.4	Puntos interpolados del canal 39.....	135
Tabla 4.5	Puntos interpolados del canal 41.....	136

## ÍNDICE DE CÓDIGOS

Código 3.1	Bucle para asignar el valor de UTM zona 17M.....	91
Código 3.2	Ejemplo: Desarrollo de la Función ge_imagesc.....	93
Código 3.3	Ejemplo: Generación del Archivo *.KML.....	93
Código 3.4	Bucle para la extracción de la coordenada de Latitud de los puntos interpolados.....	97
Código 3.5	Bucle para la extracción de la coordenada de Longitud de los puntos interpolados.....	98
Código 3.6	Barrido de filas y columnas para extracción de puntos interpolados.....	99
Código 3.7	Ejemplo2: Importación de coordenadas de longitud y latitud a MATLAB.....	101
Código 3.8	Ejemplo2: Definición de la altitud.....	102

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo determinar la existencia de zonas de sombra del servicio de radiodifusión de TDT (Televisión Digital Terrestre) correspondiente a los canales que operan actualmente en la ciudad de Quito, para ello se utilizan algoritmos de interpolación, los cuales permiten calcular mediciones desconocidas a partir de otras ya efectuadas. Las mediciones que se realizan corresponden a intensidad de campo eléctrico y MER (*Modulation Error Ratio*), las mismas que son recibidas por equipos facilitados por ARCOTEL<sup>1</sup> (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones), los cuales son: Rohde & Schwarz ETH y el software ARGUS del SACER (Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico).

Para la interpolación de los puntos medidos se emplean tres algoritmos de interpolación denominados: “*Natural Neighbor Interpolation*” (Interpolación del Vecino Natural), “*Nearest Neighbor Interpolation*” (Interpolación del Vecino más Cercano), y “*Linear Interpolation*” (Interpolación Lineal) dispuestos en el software computacional de MATLAB (*MATrix LABoratory*), en donde se implementan mecanismos para adaptación de datos, conversión de unidades y creación de matrices, a fin de efectuar una simulación de cobertura sobre el mapa virtual del programa Google Earth que permita determinar la existencia de zonas de sombra; además, se ha creado una herramienta en el entorno GUI (*Graphical User Interface*) que facilite al usuario el manejo del programa. Posteriormente se calcula un estimado de error para cada algoritmo de interpolación y se realiza una comparativa entre la simulación de cobertura obtenida mediante el software ICS TELECOM y otra utilizando el algoritmo de interpolación de menor porcentaje de error.

En el presente proyecto se establecieron cinco capítulos que se describen a continuación:

---

<sup>1</sup> ARCOTEL: entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión.

En el Capítulo 1 se realiza una reseña histórica de la televisión en el Ecuador, se describen aspectos relevantes concernientes a la “Norma Técnica para el servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre” en el país, en la cual se hace referencia al nivel de intensidad de campo mínimo a proteger en el borde del área de cobertura. Además, se incluye la distribución de los canales TDT que operan actualmente en la ciudad de Quito y la descripción de características principales de la TDT, del estándar ISDB-Tb (*Integrated Service Digital Broadcasting – Terrestrial* versión brasileña), de la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y las ventajas de utilizar las Redes de Frecuencia Única.

En el Capítulo 2 se describen los algoritmos de interpolación “*Nearest Neighbor Interpolation*”, “*Linear Interpolation*” y “*Natural Neighbor Interpolation*”, detallando las características de cada uno de ellos y ejemplificando el funcionamiento de los mismos en el software de simulación de MATLAB. Además, se determina la metodología de medición especificando el escenario a estimar y la selección de las rutas de medición. Finalizado este proceso, se realiza el drive test en la ruta establecida y la adquisición de medidas en varios puntos fijos. De igual forma se determinan los umbrales de referencia en términos de intensidad de campo y la MER para la detección de las zonas de sombra y se proporciona una descripción del sistema de posicionamiento utilizado.

En el Capítulo 3 se explica el procesamiento de datos en Excel y MATLAB en base a las mediciones adquiridas por los equipos antes mencionados, describiendo los principales comandos que intervienen en la programación, además se presentan las interfaces de usuario realizadas en el entorno GUI de MATLAB; seguidamente se realiza la estimación de error de cada algoritmo de interpolación. Se efectúa una comparativa de predicción de cobertura entre el *software* ICS TELECOM y el algoritmo de interpolación de menor porcentaje de error.

En el Capítulo 4 se presentan y analizan los resultados obtenidos en base a la interpolación de los valores de intensidad de campo y MER para los canales que brindan el servicio TDT en la ciudad de Quito.

El Capítulo 5 contiene las conclusiones derivadas de la ejecución del proyecto y recomendaciones que sirvan de apoyo en el desarrollo de investigaciones que se relacionen con esta temática.

Finalmente se presentan los anexos en un CD adjunto, en los cuales se exponen las gráficas obtenidas mediante el equipo *Rohde & Schwarz* ETH acerca de las mediciones de MER, las tabulaciones de medidas de intensidad de campo efectuadas con el software ARGUS, equipos incorporados en Estación Móvil Transportable del SACER y se ilustra la interpolación de dichas medidas mediante mapas a color; además, se indica las instrucciones para instalar el *Toolbox* de *Google Earth* en MATLAB. Se explica el procedimiento de configuración de un transmisor de Televisión Digital Terrestre, el procedimiento de simulación de cobertura en el software ICS TELECOM y el procedimiento para la configuración del patrón de la radiación de la antena ADD 295 para la estación de televisión ECUADOR TV.

## PRESENTACIÓN

El impacto de la TDT debido a los beneficios y mejoras tecnológicas que posee, ha propiciado que en varios países del mundo decidan terminar con la transmisión de televisión analógica y dar inicio a la transmisión digital de televisión, este proceso se denomina “apagón analógico”. El cual incentiva al resto de países a involucrarse en este cambio tecnológico y adoptar un estándar que permita hacer uso del servicio de TDT. El Ecuador ha acogido este sistema de transmisión y tiene previsto efectuar el apagón analógico en el 2018, para lo cual se deben realizar varias pruebas técnicas, principalmente aquellas relacionadas con el tema de la cobertura.

Actualmente, en el país existen sectores donde la señal TDT llega con dificultad, ocasionando bloqueo de imagen, pixelación o pérdida completa de la señal. Razón por la cual, la entidad de telecomunicaciones ARCOTEL, requiere una metodología que permita identificar las zonas de sombra a fin de brindar un mejor servicio a los televidentes, a través de la instalación de *gap fillers*<sup>2</sup>.

En base a la problemática descrita en el párrafo anterior, el presente proyecto plantea una metodología que permita identificar las zonas de sombra mediante la aplicación de algoritmos de interpolación sobre puntos medidos en términos de intensidad de campo y MER.

El presente proyecto sirve como herramienta de análisis para verificar exista una correcta recepción de la señal TDT mediante la evaluación de medidas MER, en puntos donde el nivel de intensidad de campo supera la intensidad mínima a proteger (51 dBuV/m), establecida en la Norma Técnica. Además, mediante el mapa virtual de la ciudad provisto por el *software Google Earth*, se facilita la representación del nivel de señal que simula una predicción de cobertura, en donde es posible visualizar las zonas de sombra.

El presente proyecto va dirigido a profesionales, estudiantes de telecomunicaciones o investigadores interesados en realizar un análisis de campo.

---

<sup>2</sup> *Gap Filler*: Es una estación auxiliar de baja potencia, en el orden de 10 a 100W, este dispositivo de bajo costo se encarga de retransmitir señales de radiodifusión digital en la misma frecuencia y es utilizado para cubrir zonas de sombra.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En la última década, se aprecia un crecimiento en el ámbito de las telecomunicaciones a escala mundial que involucra el paso de televisión analógica a televisión digital. Este cambio ha generado interés y preocupación en temas como la cobertura y el buen uso que se le otorgue al espectro radioeléctrico.

El Ecuador cuenta con la entidad denominada ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) para administrar, regular y controlar las telecomunicaciones, incluyendo el espectro radioeléctrico y su gestión [49]. Acotando que mediante la creación de esta nueva entidad de telecomunicaciones, se suprimió a la ex SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones), ex CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) y ex SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones) mediante la nueva Ley de Telecomunicaciones que entró en vigencia a partir del 18 de febrero del 2015.

Actualmente la transmisión de televisión en el Ecuador se encuentra en periodo *simulcast*, es decir, que está en operación transmisiones digitales simultáneamente con las analógicas y se pretende a futuro iniciar el proceso denominado “apagón analógico” con el fin de aprovechar los beneficios, tales como: las aplicaciones interactivas, aprovechamiento de espectro radioeléctrico, mejor calidad de imagen, audio y video.

De acuerdo a la Norma Técnica para el desarrollo de TDT (Televisión Digital Terrestre) en Ecuador, aprobada el 30 de abril del 2015, se define el término zona de sombra como: “Superficie terrestre dentro del área de cobertura principal autorizada para una estación matriz o repetidora, la cual, debido a su condición geográfica recibe una señal que no cumple con el nivel de intensidad de campo (51 dBuV/m) en el borde del área de cobertura principal” [8]. Por lo tanto, la elaboración

del presente trabajo consiste en llevar a cabo la interpolación<sup>3</sup> de medidas de intensidad de campo, en un área seleccionada del Distrito Metropolitano de Quito, que simule una predicción de cobertura sobre el mapa de Google Earth y considerar a aquellos puntos que se encuentran por debajo del umbral de 51 dBuV/m como zonas de sombra. Además, de acuerdo al Informe Técnico DCE-2015-0 proporcionado por ARCOTEL, los valores de MER (*Modulation Error Rate*) entregan información más completa acerca de la calidad y desempeño de la televisión digital puesto que combinan los efectos de ruido, retardo de grupo (*Group Delay*), efectos de no linealidad y principalmente están basados en vectores que componen la constelación de señales [52]; razón por la cual se ha considerado efectuar la interpolación de medidas de MER, tomando como referencia un umbral de 20 dB, valor sustentado en documentos de investigación [35] [11]. De esta manera, es posible comprobar que la calidad de señal digital sea óptima cuando se ha superado el umbral de 51 dBuV/m como establece en la Norma Técnica.

El usuario podrá interactuar con la herramienta desarrollada en el GUI (*Graphical User Interface*) de MATLAB (*Matrix Laboratory*), el cual permite visualizar las zonas de sombra en el mapa fotográfico de la ciudad provisto por el software *Google Earth* mediante el procesamiento de tres algoritmos de interpolación diferentes, dichos algoritmos son: “*Natural Neighbor Interpolation*” (Interpolación del Vecino Natural), “*Nearest Neighbor Interpolation*” (Interpolación del Vecino más Cercano), y “*Linear Interpolation*” (Interpolación Lineal).

El presente proyecto de titulación contó con el apoyo de la ex SUPERTEL, actualmente denominada ARCOTEL para el desarrollo del mismo.

## **1.2 LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR**

### **1.2.1 ANTECEDENTES [2]**

**1959** Se visualiza por primera vez en el Ecuador, de forma abierta, la televisión en blanco y negro. Hecho que fue posible gracias al norteamericano Ing. Gliford Hartwell, quien encontró un transmisor de televisión abandonado en las

---

<sup>3</sup> Interpolación: Es un proceso que permite calcular valores numéricos desconocidos, a partir de una muestra de valores conocidos que se efectúa en base a la aplicación de un algoritmo seleccionado.

bodegas de General Electric en Syracuse-New York, en el año de 1954, lo reparó y en 1959 decide traerlo a Quito para donarlo a la emisora de radio HCJB.

- 1960** El alemán Jose Rosenbaum y su esposa manabita Linda Zambrano, oriunda de Bahía de Caráquez, importan los primeros equipos profesionales para televisión. Permitiendo de esta manera, realizar avances tecnológicos que incentiven a la población al uso de este tipo de servicio que resultaba novedoso e interesante. Por consiguiente, se funda la Compañía Ecuatoriana de Televisión mediante un acuerdo con la Casa de la Cultura Núcleo del Guayas y se emite por primera vez en el Ecuador, una señal comercial, a través del canal 4 que corresponde a Red Telesistema (RTS).
- 1967** Se crea la estación de televisión Ecuavisa, cuyas instalaciones se ubicaron en el Cerro del Carmen en Guayaquil, su fundador Xavier Alvarado Roca.
- 1969** Se inicia la Cadena Ecuatoriana de Televisión, denominada Telecentro, emitida en el canal 10 bajo la frecuencia en VHF<sup>4</sup> (*Very High Frequency*).
- 1974** La transmisión de televisión en el Ecuador, pasó de ser de blanco y negro a color.
- 1977** Se crea la estación de televisión denominada Gamavisión, en la ciudad de Quito, emitido en el canal 2.
- 1986** Se inicia la instalación y construcción de sistemas de televisión por cable.
- 1993** Se crea la estación de televisión TELERAMA, en Cuenca. En la página web<sup>[8]</sup> de ARCOTEL referente a la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales mediante la Resolución No. 1779-CONARTEL (Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión)-01 se encuentra disponible la información acerca de la distribución de canales con sus respectivas bandas de frecuencia para el servicio de televisión abierta

---

<sup>4</sup> VHF: Es la banda del espectro electromagnético, cuyo rango de frecuencias que va desde 30 MHz hasta 300 MHz.

analógica en el Ecuador, aprobada mediante Resolución No. ST-93-014 de 11 de febrero de 1993.

- 1994** Inicia la transmisión, el Sistema Integral de Televisión (SiTv), actualmente denominado Canal Uno, desde Guayaquil.
- 2004** Ecuavisa Internacional inicia sus transmisiones vía satélite.
- 2007** Inicia la operación del canal del Estado denominado “ECUADOR TV”, desde Montecristi, provincia de Manabí. Se empiezan a realizar las primeras pruebas técnicas para la transición de Televisión Analógica a Televisión Digital Terrestre, el 18 de octubre de 2007. La digitalización de la televisión terrestre se efectuó tiempo después del cable y satélite, porque conlleva un proceso complejo de migración, ya que además de los cambios técnicos, implica afectaciones económicas, sociales, tecnológicas, entre otras; que profundiza su estudio, análisis y ha extendido el tiempo de su implementación.

### **1.2.2 TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR [3] [4]**

La transmisión de televisión digital en el Ecuador, ha mejorado las características técnicas de la televisión analógica, dando lugar al desarrollo de avances tecnológicos y aplicaciones que cumplan con las exigencias de los televidentes, que cada vez va en aumento.

La completa transición de televisión analógica a digital, es de gran impacto a nivel nacional, el cual influye en varios factores, entre ellos se tiene:

- *Factor económico:* no toda la población cuenta con el dinero suficiente para adquirir un televisor con características de TDT y los componentes adicionales que se requiere para su correcto desempeño, adicionalmente al otorgar mayores prestaciones que un televisor analógico su precio es mayor.
- *Factor tecnológico:* se debe mantener una relación amigable con el uso de los dispositivos o equipos utilizados para el procesamiento de la recepción de emisiones digitales que permite sintonizar la televisión digital.

- *Factor Social:* el enfrentarse a cambios, en este caso tecnológicos, lleva consigo reacciones que la población, a veces, acostumbrada a la monotonía de un servicio, resulta difícil acoplarse y acostumbrarse a un cambio, surgiendo interrogantes que deben ser solventadas por las principales autoridades de la nación que motivaron a este cambio.

Las ventajas que ofertan al televidente con el uso de la Televisión Digital Terrestre, entre ellas: las aplicaciones interactivas, son las que han propiciado el incentivo para su implementación.

El 18 de octubre de 2007, se delegó a la Superintendencia de Telecomunicaciones realizar el análisis, pruebas y recomendaciones para la adopción del estándar de Televisión Digital Terrestre, entre otras nuevas tecnologías en el país, mediante el artículo 10 del Reglamento General de la Ley de Radiodifusión y Televisión.

El 25 de marzo de 2010, conforme a la Resolución 084-05-CONATEL-2010, el Ecuador adoptó el estándar ISDB-Tb (*Integrated Service Digital Broadcasting – Terrestrial versión brasileña*), se firmaron convenios con los gobiernos de Japón y Brasil para iniciar el proceso de transición a la televisión digital terrestre.

Para contribuir con la elaboración de la Norma Técnica en el proceso de implementación de Televisión Digital Terrestre, los organismos de telecomunicaciones han realizado varias pruebas técnicas basadas en mediciones de parámetros técnicos de operación en diferentes puntos fijos de la ciudad, como mediciones de nivel de intensidad de campo eléctrico realizadas mediante Drive Test<sup>5</sup>; con la finalidad de evaluar la calidad de la señal de los canales en operación de Televisión Digital Terrestre.

El 29 de julio de 2011, conforme a la Resolución RTV-596-16-CONATEL-2011 se delega a MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información) como líder del proceso de TDT. Posteriormente mediante el acuerdo Interministerial 170 se crea el CITDT (Comité de Implementación de la TDT) el 3 de agosto de

---

<sup>5</sup> Drive Test: Recopilación de datos en determinada zona mediante el recorrido de un vehículo. Para la elaboración del presente trabajo, estos datos se refieren a medidas de intensidad de campo y su respectiva posición geográfica.

2011, entidad responsable de coordinar todo el proceso de implementación TDT en el Ecuador

El 18 de octubre del 2012, conforme a la Resolución RTV-681-24-CONATEL-1012, se aprueba el Plan Maestro de Transición a la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, cuyo objetivo general es establecer las condiciones para el Proceso de Transición a la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, bajo el estándar de televisión digital ISDB-T INTERNACIONAL (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*).

El 30 de abril del 2015 se aprueba la Norma Técnica para Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, mediante la Resolución N° CITDT-2015-01-056.

En el Ecuador, el Apagón Analógico está previsto para el año 2018, liberando frecuencias que permitan aumentar la oferta de canales disponibles para otros servicios de comunicación.

### 1.2.3 ETAPAS DEL APAGÓN ANALÓGICO EN EL ECUADOR [2] [4]

Se considera al término Apagón Analógico como la terminación de las transmisiones de televisión analógica.

El cronograma del Apagón Analógico en el Ecuador consta de tres etapas, determinadas por el área de cobertura de las localidades y por la fecha en que se procede a realizar el Apagón Analógico, como lo indica la siguiente Tabla 1.1:

**Tabla 1.1** Fases de Apagón Analógico en el Ecuador [4]

FASES	ÁREAS	FECHA
Fase 1	Áreas de cobertura de las estaciones que al menos cubran una capital de provincia, cabecera cantonal o parroquia con población mayor a 5000.000 habitantes.	31 de diciembre de 2016
Fase 2	Áreas de cobertura de las estaciones que al menos cubran una capital de provincia, cabecera cantonal o parroquia con población entre 5000.000 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

El Ecuador ha realizado una planificación para llevar a cabo el Apagón Analógico de una manera progresiva de acuerdo al cronograma dispuesto en el Capítulo 4 de la Resolución RTV-681-24-CONATEL-2012 emitido por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

El proceso empieza el 31 de diciembre 2016 para las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca y finaliza el 31 de diciembre del 2018. Para ello, la población ecuatoriana debe estar preparada e informada de las adecuaciones que se debe realizar para la incorporación de la Televisión Digital Terrestre, adquiriendo televisores que tienen el sintonizador del estándar ISDB-T Internacional y aplicaciones disponibles que oferta este servicio de televisión.

#### **1.2.4 ASPECTOS RELEVANTES DE LA NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR [13]**

La Norma Técnica para el Servicio de Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, se aprobó el 30 de abril del 2015 por el Comité Técnico de Implementación de la Televisión Digital Terrestre, el mismo que dispuso que citada Norma Técnica sea notificada a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones expide la “Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre” mediante el Registro Oficial 579 en el Acuerdo ARCOTEL-2015-0301.

Se mencionan a continuación varios aspectos considerados como relevantes y de interés para el presente estudio.

##### **1.2.4.1 Definiciones**

En este contexto se tiene en cuenta los siguientes términos de interés para la elaboración del proyecto, que La Norma Técnica adopta las siguientes definiciones:

- *Estación Matriz:* Conformado por el estudio principal, transmisor, sistema radiante, enlaces e instalaciones necesarias para la operación de la estación de radiodifusión.

- *Estación Repetidora:* Es una instalación de Televisión Digital Terrestre que recibe la programación transmitida por la estación matriz y la retransmite en su área de cobertura.
- *Estación Auxiliar (GAP FILLER):* Son transmisores de baja potencia destinados a cubrir zonas de sombra dentro del área de cobertura autorizada, sin ocasionar interferencias a otros servicios de telecomunicaciones.
- *Sistema de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre:* Comprende a la estación matriz, sus repetidoras y auxiliares, que emiten la misma programación de forma simultánea y con carácter permanente.
- *Zona de Sombra:* Superficie Terrestre donde la recepción de la señal no cumple con la intensidad de campo definida como límite establecido en la Norma Técnica de 51 dBuV/m.
- *Área de Cobertura:* Superficie Terrestre donde la recepción de la señal cumple con la intensidad de campo definida como límite establecido en la Norma Técnica de 51 dBuV/m.

#### 1.2.4.2 Bandas de frecuencia

Las bandas de frecuencia asignadas al servicio de TDT, se dividen en frecuencias principales y frecuencias auxiliares. Las frecuencias principales son destinadas para el servicio de televisión digital terrestre. Mientras que las frecuencias auxiliares se utilizan en enlaces auxiliares<sup>6</sup>.

Las bandas de frecuencia principales, se indica en la Tabla 1.2:

**Tabla 1.2** Bandas de Frecuencias Principales para TDT [13]

UHF	
BANDA IV	de 470 a 482 MHz
	de 512 a 608 MHz
	de 614 a 644 MHz
BANDA V	de 644 a 698 MHz

<sup>6</sup> Enlaces Auxiliares: Son enlaces radioeléctricos que sirven en especial para la conectividad entre el estudio principal y el transmisor, así como, para los sistemas de operación remota y conexiones satelitales.

Las bandas de frecuencias auxiliares para el servicio de radiodifusión con emisiones de televisión se indican en la Tabla 1.3, las mismas que están establecidas de acuerdo a la disposición 24-23-CONATEL-2014 del 12 de septiembre de 2014 y conforme al Memorando Nro. ASNT-2014-0338-M del 12 de noviembre del 2014. Dichas bandas están atribuidas en el Plan Nacional de Frecuencias<sup>7</sup>.

**Tabla 1.3** Bandas de Frecuencias Auxiliares para radiodifusión con emisiones de televisión [51]

Frecuencias Auxiliares
2 200 – 2 300 MHz
3600 – 3800 MHz
6 425 – 7 100 MHz
12700 – 12849 MHz

#### 1.2.4.3 Canalización de bandas de frecuencia

Para la operación de estaciones de radiodifusión digital, las bandas de frecuencia disponibles para TDT se dividen en 32 canales físicos, cada canal tiene un ancho de banda de 6 MHz, la frecuencia de la portadora central del canal debe ser desplazada positivamente 1/7 MHz (142,857 kHz) con relación a la frecuencia central, lo que se conoce también como off-set de frecuencia central del canal.

En la tabla 1.4 se indica la información establecida por la norma acerca de la canalización de bandas de frecuencia:

**Tabla 1.4** Canalización de Frecuencias Principales para Televisión Digital Terrestre [13]

CANALES UHF			
CANAL FÍSICO	FRECUENCIA INICIAL	FRECUENCIA FINAL	FRECUENCIA CENTRAL
No.	(MHz)	(MHz)	(MHz)
14	470	476	473+1/7
15	476	482	479+1/7
21	512	518	515+1/7
22	518	524	521+1/7

<sup>7</sup> Plan Nacional de Frecuencias: Es un documento en donde se establecen normas para la distribución del espectro radioeléctrico del país, en el cual se atribuyen bandas de frecuencias para servicios de Telecomunicaciones.

CANALES UHF			
23	524	530	527+1/7
24	530	536	533+1/7
25	536	542	539+1/7
26	542	548	545+1/7
27	548	554	551+1/7
28	554	560	557+1/7
29	560	566	563+1/7
30	566	572	569+1/7
31	572	578	575+1/7
32	578	584	581+1/7
33	584	590	587+1/7
34	590	596	593+1/7
35	596	602	599+1/7
36	602	608	605+1/7
38	614	620	617+1/7
39	620	626	623+1/7
40	626	632	629+1/7
41	632	638	635+1/7
42	638	644	641+1/7
43	644	650	647+1/7
44	650	656	653+1/7
45	656	662	659+1/7
46	662	668	665+1/7
47	668	674	671+1/7
48	674	680	677+1/7
49	680	686	683+1/7
50	686	692	689+1/7
51	692	698	695+1/7

#### 1.2.4.4 Parámetros Técnicos

En este apartado se consideran los parámetros técnicos para la instalación de una estación de radiodifusión de televisión digital terrestre, así como sus emisiones.

De acuerdo con la Norma Técnica, y acogiendo los parámetros de interés para el presente estudio se tiene en cuenta lo siguiente:

- Estándar de Transmisión: se definió utilizar el estándar ISDB-Tb para el servicio de radiodifusión de Televisión Digital Terrestre.
- Intensidad de Campo mínima a proteger: se establece el valor de 51 dBuV/m como umbral de intensidad de campo que será protegido en el borde del área

de cobertura utilizando antena en exteriores; valores que se encuentre por debajo de este, se considerará como zonas de sombra.

- MER: el valor del MER medido en el transmisor debe ser igual o mayor a 32 dB.
- Potencia Efectiva Radiada (PER): es la potencia necesaria para generar el nivel de intensidad de campo mínima a proteger. Se determina en base a la siguiente relación matemática:

$$P.E.R(kW) = P_T(kW) * 10^{\frac{G(dBd) - Pérdidas(dB)}{10}} \quad (\text{Ec. 1.1}) [13]$$

Donde:

$P_T(kW)$ : Potencia nominal del transmisor.

$G(dBd)$ : Ganancia del arreglo de antenas

$Pérdidas(dB)$ : Pérdidas correspondientes a las líneas de transmisión, conectores.

### 1.2.5 ESTACIONES Y CANALES TDT EN LA CIUDAD DE QUITO

Los canales de TDT que operan en Quito, conforme a la base de datos otorgada por ARCOTEL son los indicados en la tabla 1.5.

**Tabla 1.5** Canales TDT en la ciudad de Quito [12]

Canal	Frecuencia Inicial	Frecuencia Final	Portadora Central TDT	Estación
26	542	548	545,14286	ECUADOR TV
30	566	572	569,14286	GAMA TV
32	578	584	581,14286	TELEAMAZONAS
34	590	596	593,14286	RTS
36	602	608	605,14286	ECUAVISA
39	620	626	623,14286	TV SATELITAL
41	632	638	635,14286	TELESUCESOS
43	644	650	647,14286	RTU
45	656	662	659,14286	CANAL UNO

## **1.3 INTRODUCCIÓN A LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE**

El surgimiento de la Televisión Digital Terrestre inició en Estados Unidos de América a mediados de la década del noventa, con la implementación de la norma ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), continuó en Europa con la adopción del estándar DVB - T (*Digital Video Broadcasting Terrestrial*), se desarrolló también en Japón mediante el estándar ISDB (*Integrated Services of Digital Broadcasting*), seguido por países asiáticos con el estándar DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*).

En Latinoamérica, el país pionero en involucrarse con el servicio de TDT fue Brasil en el año 2004, mediante la implementación del estándar ISDB-Tb.

Varios países del mundo han elegido alguno de los estándares mencionados para brindar el servicio de TDT. Entre ellos, Ecuador decidió adoptar la norma japonesa con variante brasileña ISDB-Tb y de esta manera dar paso a un cambio en el servicio de televisión analógica a digital.

En Ecuador, el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, en su página electrónica <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/television-digital-terrestre-en-el-ecuador/>, define a la TDT de la siguiente manera: “La Televisión digital Terrestre, es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión analógica, proceso que permitirá optimizar el espectro radioeléctrico e implementar nuevos servicios audiovisuales e interactivos con una programación diversa a través de este medio de comunicación. Es una oportunidad que posibilitará el desarrollo de múltiples programas y aplicaciones como Telegobierno, Telesalud y Teleducación, para el buen vivir de la población”.

### **1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE**

#### **1.3.1.1 Codificación Binaria [10]**

La Televisión Digital Terrestre es el sistema de transmisión digital de señales abiertas de televisión, cuyo contenido está codificado en el sistema binario, es decir, unos y ceros. Los datos, imagen y sonido emitidos por los operadores se transforman en información digital, es decir, en bits.

### 1.3.1.2 Uso eficiente del Espectro Radioeléctrico [10] [11]

La digitalización de la televisión permite transmitir múltiples señales con diferente programación dentro del mismo ancho de banda asignado a un canal analógico (6 MHz), en el cual solo era posible transmitir un único programa. De esta manera, la TDT oferta un mayor número de contenidos con características mejoradas como: el formato de imagen panorámico, mejor calidad de audio y video, servicios interactivos, acceso a internet.

Además, en TDT es factible utilizar redes de frecuencia única denominadas SFN (*Single Frequency Network*), las cuales permiten transmitir la misma señal a través de varios transmisores empleando la misma frecuencia; útil en el caso de los repetidores debido a que pueden utilizar la misma frecuencia que el transmisor principal, optimizando de esta manera el uso del espectro.

### 1.3.1.3 Estándares disponibles para el desarrollo de TDT [10]

Cada país que desee implementar Televisión Digital Terrestre ha elegido un estándar<sup>8</sup>, de entre los cinco que se oferta para Televisión Digital, tomando en cuenta las características que posee cada uno de ellos, y que mejor se adapte a sus necesidades.

Se han desarrollado cinco estándares de Televisión Digital Terrestre:

- ATSC, estándar originario de Estados Unidos.
- DVB-T y su segunda generación DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial 2*) desarrollados en Europa.
- ISDB-T, estándar desarrollado en Japón.
- ISDB-Tb es la norma japonesa con variante brasileña.
- DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) desarrollado en la República Popular China.

---

<sup>8</sup> Estándar: principios técnicos establecidos mediante acuerdos para iniciar la transmisión de TDT en un área geográfica<sup>[8]</sup>

Cada estándar define sus propias características técnicas como: esquemas de modulación, compresión de audio y video, entre otros; con similitudes y diferencias entre ellos.

#### **1.3.1.4 Compresión de Video y Audio [10] [11]**

El proceso de digitalización, genera una alta cantidad de bits que concurre en el aumento de su capacidad de almacenamiento y de recursos para su transporte. Al respecto, se utilizan técnicas de compresión digital que reduce esta cantidad de bits para permitir su transporte con una gran calidad.

La técnica de compresión se emplea de acuerdo a la especificación de cada estándar, mencionado en el ítem 1.3.1.3. Destacando a MPEG-2 (*Moving Pictures Expert Group-2*) y MPEG-4 para compresión de video y Dolby AC3, MPEG-2 ACC y MPEG-4 ACC para compresión de audio.

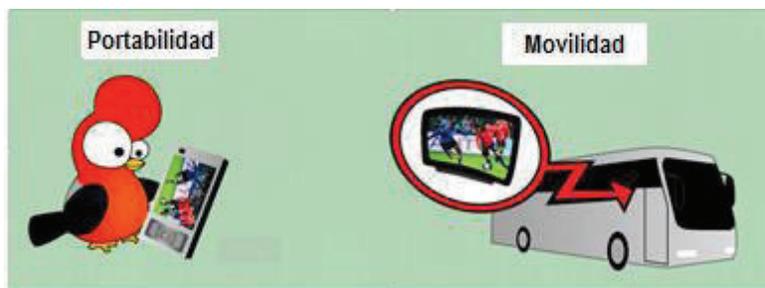
La compresión de digital de video permite disfrutar de diferentes tipos de resoluciones, las tres más conocidas son: *Standard Definition Television* (720 x 480 pixeles), *High Definition Television* (1280 x 720 pixeles) y *Full High Definition Television* (1920 x 1080 pixeles).

#### **1.3.1.5 Portabilidad y Movilidad [10] [11] [18]**

La portabilidad permite recibir la señal digital en quipos portátiles que disponen de una antena incorporada y pueden desplazarse de un lugar a otro, como: celulares, laptop, etc.

La movilidad implica la recepción de la señal digital en equipos en movimiento, como por ejemplo: equipos incorporados en trenes, buses y autos. Este tipo de servicio es más complejo, puesto que la señal digital debe superar varios inconvenientes como el movimiento acelerado y pausas progresivas.

En la Figura 1.1, se ilustra las características de portabilidad y movilidad que ofrece el servicio de Televisión Digital Terrestre.

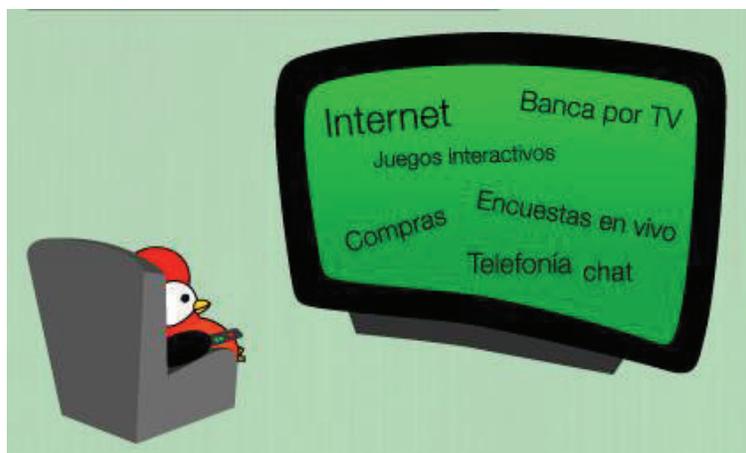


**Figura 1.1** Movilidad y Portabilidad en TDT [18]

#### 1.3.1.6 Interactividad [10] [11]

La interactividad es una característica novedosa que permite al usuario de TDT participar e influir en los programas de televisión, realizando consultas, reclamos y sugerencias sobre la programación que se está presentando, responder encuestas, relacionar al usuario con productores para establecer negocios, realizar compra de productos, etc.; además permite el desarrollo de aplicaciones como Telegobierno, Telesalud y Teleducación.

En la Figura 1.2 se pretende indicar los beneficios que conlleva la interactividad.



**Figura 1.2** Interactividad en TDT [18]

Cada estándar tiene un *middleware*<sup>9</sup> que se usa para la interactividad, en la Tabla 1.6 se distingue los diferentes tipos de middleware que utilizan los estándares para TDT:

<sup>9</sup> *Middleware*: Es un software que sirve de intermediario para que una aplicación pueda interactuar o comunicarse con otras aplicaciones, redes, paquetes de programas, hardware y/o sistemas operativos. De esta manera, los datos contenidos en una base de datos puedan ser accedidos a través de otra.

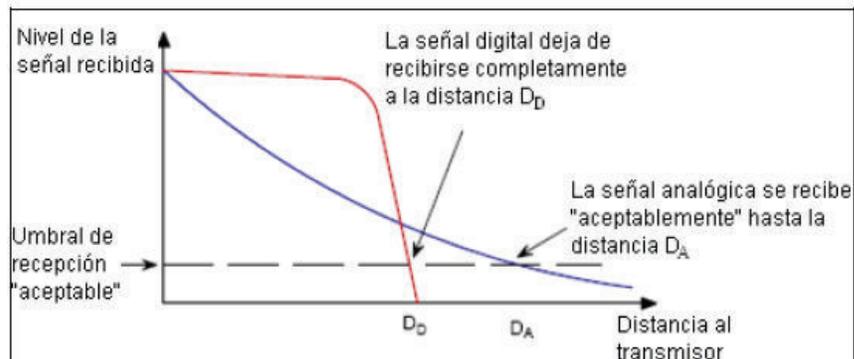
**Tabla 1.6** *Middleware* para los estándares de TDT

Estándar	ATSC	DVB-T	ISDB-T	ISDB-Tb
Middleware	DASE <sup>10</sup>	MHP <sup>11</sup>	ARIB <sup>12</sup>	Ginga <sup>13</sup>

La interactividad establece un canal de retorno, mediante el cual los usuarios puedan ver contenidos adicionales a la programación, navegar por ellos y también intervenir en la participación de concursos, enviar mensajes, votar; es decir, se encarga de la comunicación entre el televidente y la televisora a través de la aplicación interactiva.

### 1.3.1.7 Degradación de la señal TDT [12]

La degradación de la señal TDT, limita la cobertura y ocasiona que la imagen digital se pierda totalmente. A diferencia de los sistemas analógicos, la degradación de la señal en función de la distancia al transmisor es más suave y la señal puede ser recibida con distorsiones, como se indica en la Figura 1.3:



**Figura 1.3** Degradación de la señal analógica y digital en función de la distancia [12]

<sup>10</sup> DASE: *Digital Television Application Software Environment*, es el *middleware* para la televisión digital interactiva desarrollado por ATSC.

<sup>11</sup> MHP: *Multimedia Home Platform*, es un *middleware* que define una plataforma común para las aplicaciones interactivas, independiente del proveedor de servicios interactivos y del receptor de televisión utilizado.

<sup>12</sup> ARIB: *Association of Radio Industries and Businesses*, es una plataforma de *middleware*, en el cual los servicios de datos, audio, y vídeo son multiplexados y transmitidos a través de la difusión de un *Transport Stream* especificado por MPEG-2.

<sup>13</sup> Ginga: Es el *middleware* ubicado entre plataforma de hardware y el sistema operativo, recomendado para utilizar en servicios de IPTV.

Para visualizar los canales de TDT, se debe disponer de una antena receptora adaptada para la señal digital o de un receptor de señal digital. En algunos sectores, por razones de ubicación, la señal de TDT no llega. En esos casos, se requiere de adaptaciones adicionales como módulos amplificadores, o amplificadores de baja potencia denominados *giffers*. Para recibir las señales digitales de la antena, se utilizan decodificadores.

### **1.3.2 BENEFICIOS DE LA TDT**

La inclusión de la tecnología de Televisión Digital Terrestre, trae consigo una serie de beneficios que aportan en diferentes ámbitos al desarrollo y avance no solo tecnológico sino también cultural, social y comercial.

#### **1.3.2.1 Ámbito Social**

La innovación tecnológica que se palpa mediante la aplicación de servicios que ofrece la TDT, permite a la población tener una mejor perspectiva de los cambios tecnológicos que se están suscitando a nivel mundial. De esta manera, se incentivan a los estudiantes a la investigación de la Tecnología de Información y Comunicación (TICs).

La difusión de la TDT en un entorno social brinda la posibilidad de conocer nuevos servicios como las aplicaciones interactivas, la visualización de un mayor número de contenidos con mejor definición de imagen y sonido; que con la televisión analógica no se podía tener. Esto permite a los televidentes tener información disponible acerca de catástrofes naturales, educación, salud, lo cual ayuda a la población a tener una mejor actitud y desempeño frente a las circunstancias que se presenten.

#### **1.3.2.2 Ámbito Comercial**

La publicidad que se ofrece por medio de la TDT, es mucho más nítida y dinámica ante los televidentes. Permitiendo establecer nuevos esquemas de negocios, basados en la interactividad con la participación del usuario de TDT, que ha dejado de ser un simple espectador para poder interactuar con los programas de televisión que salen al aire. Diferentes industrias se ven beneficiadas por las nuevas formas de comercializar sus productos.

### 1.3.2.3 Ámbito Laboral

Cabe recalcar también que para la implementación de la TDT en un determinado sector, se debe contar con profesionales capacitados en esta tecnología que intervenga en casos de pérdida de señal TDT o en inconvenientes que presente el usuario, entre otras situaciones que se considere pertinente para garantizar la recepción de la señal TDT. De esta manera, es posible generar fuentes de trabajo, con personal técnico apto para estos casos.

### 1.3.2.4 Aspecto Tecnológico

La aplicación de TDT proporciona servicios como portabilidad<sup>14</sup>, movilidad<sup>15</sup>, multicasting<sup>16</sup>, y aplicaciones de interactividad<sup>17</sup> que con la televisión analógica no se puede tener.

Además con la inclusión de la TDT, varias bandas de frecuencia quedan libres y otras no son utilizadas, esto ha impulsado al estudio de nuevas técnicas que permitan el uso compartido del espectro asignado al servicio de difusión de televisión. Para ello, está en desarrollo el estándar 802.22 *Wireless Regional Area Network* (WRAN) orientado a gestionar el uso de bandas no utilizadas, mediante el empleo de técnicas de Radio Cognitiva (CR).

## 1.4 PRINCIPIO DEL FUNCIONAMIENTO DE OFDM [9]

OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) es una técnica que permite aumentar la robustez de la señal ante la interferencia ocasionada por el efecto multitrayectoria y permite al receptor aprovechar los ecos recibidos mediante la introducción del tiempo de guarda para obtener la señal deseada. Actualmente no solo se utiliza en las redes inalámbricas LAN o en comunicaciones de alta

---

<sup>14</sup> Portabilidad: En el contexto de beneficios de TDT, indica la recepción de la señal digital en equipos portátiles.

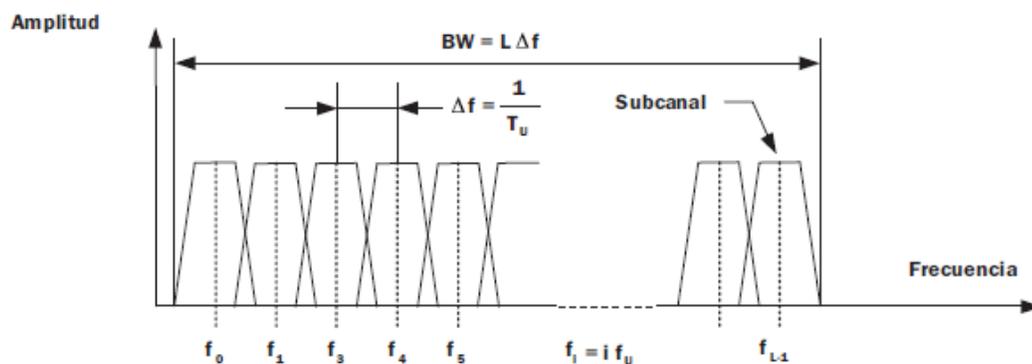
<sup>15</sup> Movilidad: En el contexto de beneficios de TDT, indica la capacidad de un equipo receptor en movimiento para captar la señal digital.

<sup>16</sup> Multicasting: En el contexto de beneficios de TDT, indica la transmisión de señales con diferente resolución: LDTV (*Low Definition Television*), SDTV (*Standard Definition Television*), HDTV (*High Definition Television*).

<sup>17</sup> Interactividad: En el contexto de beneficios de TDT, indica que el usuario puede interactuar en programas de televisión.

velocidad, también es utilizada en la difusión de señales de televisión digital terrestre especificada en la mayoría de los estándares descritos anteriormente. Al respecto, el esquema de modulación que utiliza ISDB-T e ISDB-Tb es OFDM-BST, los estándares DVB-T, DVB-T2, DTMB utilizan OFDM y el estándar ATSC utiliza 8-VSB. Por tanto, en este apartado se realiza un estudio del funcionamiento de OFDM.

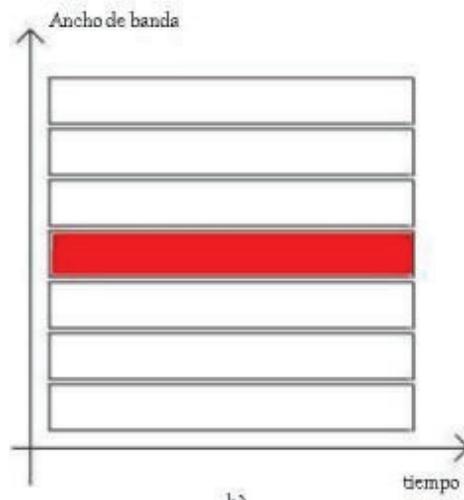
La técnica OFDM se basa en el principio de ortogonalidad mediante el envío de información en múltiples portadoras como se muestra en la Figura 1.4, en lugar de transmitir la información a través de una única portadora. Es decir, se divide el espectro disponible en varios sub-canales (sub-portadoras) y cada uno opera a una tasa de  $Vt/N$  símbolos por segundo, donde  $Vt$  es la velocidad de transmisión de la secuencia de datos que se desea transmitir dividido para los  $N$  sub-canales.



**Figura 1.4** Espectro ocupado por señales OFDM [9]

Los flujos binarios transportados en múltiples portadoras son menores al flujo total que hubiera sido en caso de transmitir toda la información en una misma portadora. Estos flujos se transmiten utilizando esquemas de modulación digital, tales como: BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*), QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*).

Consecuentemente se puede transmitir la información del ancho de banda total, en pequeños anchos de banda a costa del aumento en el tiempo de transmisión. Es decir, se transmiten varios flujos binarios simultáneos de larga duración pero ocupando un menor ancho de banda como indica la Figura 1.5.

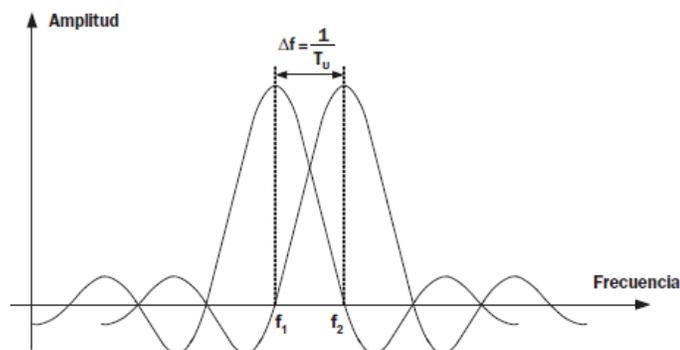


**Figura 1.5** Apreciación Ancho de banda Vs Tiempo del símbolo OFDM

#### 1.4.1 CONDICIONES DE ORTOGONALIDAD [9]

Para obtener una eficiencia espectral alta, los sub-canales están superpuestos y ortogonales entre sí, como se indica en la Figura 1.6, a fin que la interferencia entre sub-portadoras se minimice.

La distancia de separación entre sub-portadoras consecutivas es siempre la misma e igual al inverso del periodo de símbolo, logrando que las sub-portadoras se solapen y así evitar el uso de las bandas de guarda.



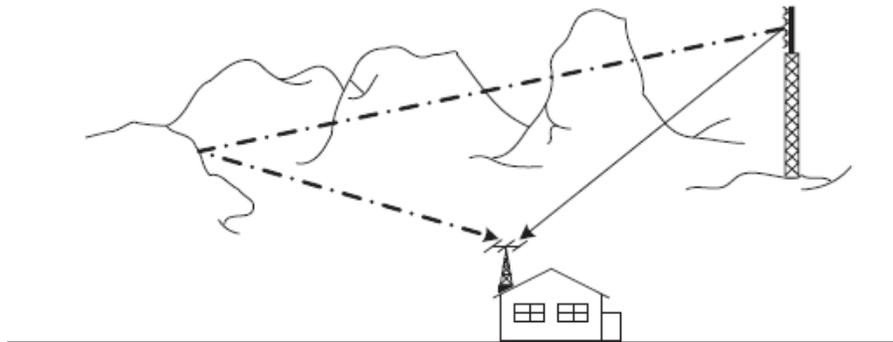
**Figura 1.6** Ortogonalidad entre sub-portadoras [9]

Resumiendo lo expuesto, las condiciones que se debe cumplir para mantener la ortogonalidad en la técnica de modulación OFDM, son las siguientes:

- La separación entre sub-portadoras es igual a la inversa del tiempo de duración del símbolo,  $\Delta f = \frac{1}{T_s}$  (2)
- Los máximos de la señal corresponden con los mínimos de la siguiente.
- Los cruces de las subportadoras tendrán un valor nulo.

#### 1.4.2 INTERVALO DE GUARDA [9]

En televisión digital, los receptores captan la llegada de la señal directa y también de aquellas provenientes de ecos o réplicas de la señal original, ocasionando que la parte inicial de cada símbolo OFDM transmitido en la señal directa se degrade por el final del símbolo que le antecede en la señal reflejada. Un ejemplo que distingue la trayectoria de una señal directa y una señal reflejada referente a la emisión de Televisión, se aprecia en la Figura 1.7.

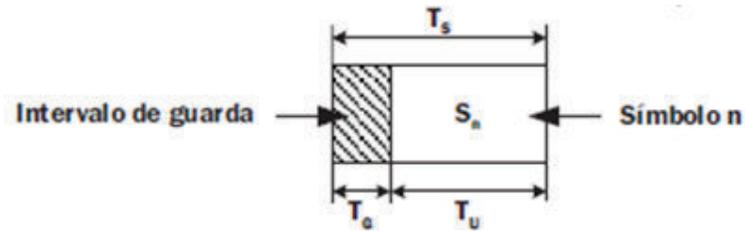


**Figura 1.7** Trayectoria de una señal directa y señal reflejada [9]

El intervalo de guarda constituye una mezcla entre el símbolo actual y réplicas con retardo del símbolo OFDM previo. Por otro lado, el tiempo útil es utilizado para la transmisión de bits de información. La Fig.1.8 indica la representación del símbolo OFDM con intervalo de guarda.

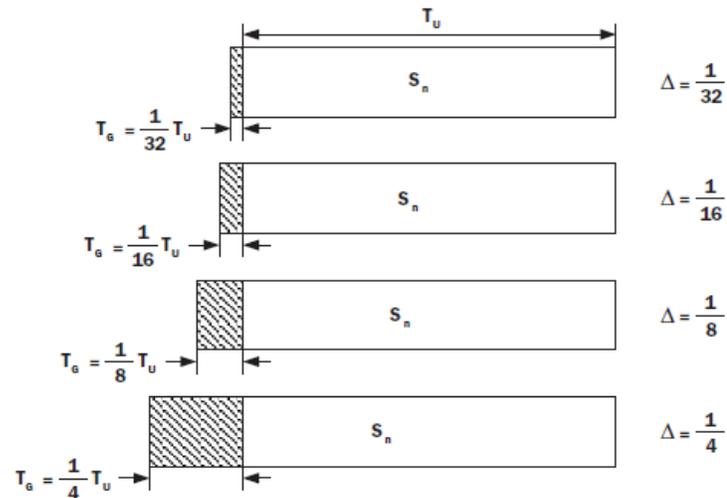
$T_G$ : Tiempo de Guarda

$T_U$ : Tiempo útil.



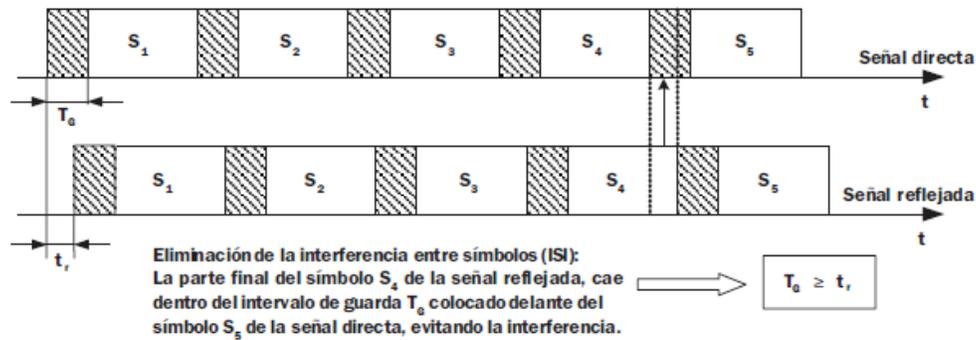
**Figura 1.8** Intervalo de Guarda del símbolo OFDM [13]

La Figura 1.9, muestra la relación entre el tiempo de guarda y el tiempo útil ( $T_g/T_u$ ), mediante el cual se determinan los valores de intervalos de guarda que se pueden obtener. Se establece cuatro posibles valores para dicha relación, los cuales son: 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32.



**Figura 1.9** Escala de valores en relación al ( $T_g/T_u$ ) [13]

El intervalo de guarda se inserta en la parte final del símbolo OFDM que se transmite a continuación, para contrarrestar la interferencia entre símbolos conocida como ISI y evitar los ecos producidos por réplicas de la señal original. A manera de ejemplo, la Figura 1.10 muestra la transmisión de 5 símbolos sucesivos, en la cual se aprecia la interferencia que puede producirse al comienzo del símbolo  $S_5$  por la parte final del símbolo  $S_4$  es contrarrestada con la inserción de un intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo.

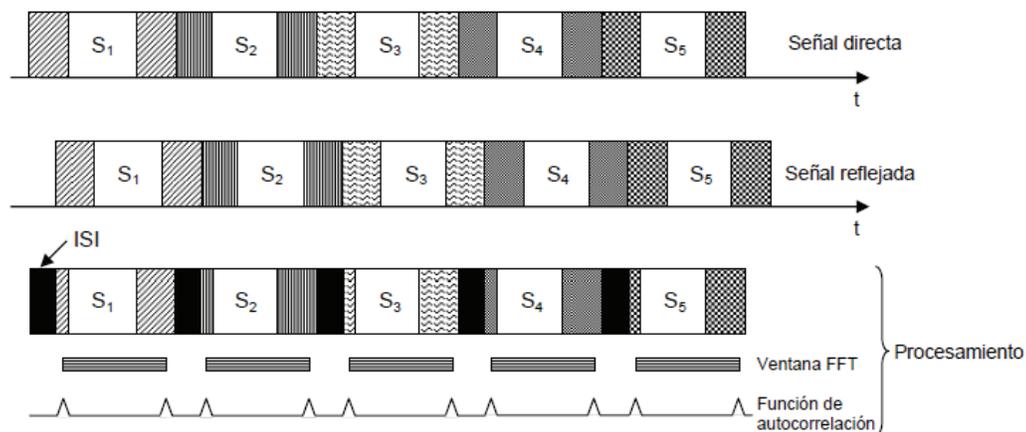


**Figura 1.10** Inserción del intervalo de guarda en 5 símbolos OFDM sucesivos [19]

Para esto, se debe cumplir que  $T_G \geq T_{retardo}$ , de esta manera los retardos pueden ser capturados en el intervalo de guarda y así evitar que se mezclen con el tiempo útil del símbolo OFDM. Sin embargo, introducir este tiempo en la duración total del símbolo OFDM limita la velocidad teórica de transferencia de datos provocando una pérdida en la capacidad de transmisión del canal, dado que se incrementa el tiempo de duración del símbolo.

El comportamiento del canal radioeléctrico por donde se transmite las señales de tv digital es inestable, debido a distintos factores como son: el ruido, interferencias e inestabilidad de propagación a causa de las señales reflejadas que siguen múltiples trayectorias. Teniendo en cuenta esta situación, se puede presentar el caso que componentes de la señal se repitan y estén presentes más de una vez dentro del lapso libre de ISI; además, la alta dificultad de la detección del inicio del símbolo OFDM y la sincronización del receptor. Es por ello que a través de la función de autocorrelación, dichas componentes pueden ser detectadas y además permite encontrar el inicio y fin de la zona que está libre de ISI para que el receptor pueda situar la ventana de muestreo de la Transformada de Fourier (FFT) en el sector libre de interferencias.

Se aprecia a la función de autocorrelación como una señal auxiliar de sincronización que permite posicionar la ventana FFT, como se muestra en la Figura 1.11. Esta ventana tiene una longitud igual a un símbolo y al no quedar alineada con el símbolo que está detectando provoca un error de fase que se traduce en una rotación del diagrama de constelación con el cual han sido moduladas las portadoras.



**Figura 1.11** Posicionamiento de la ventana FFT [9]

## 1.5 ESTADAR ISDB-Tb [10]

El estándar ISDB-Tb es también denominado ISDB-T International o SBTVD, surge a partir de la adopción del estándar de televisión japonés ISDB-T por parte de Brasil, el cual fue modificado y desarrollado por un grupo de estudio conformado por miembros brasileños, coordinado por el Ministerio de Comunicaciones y liderado por la Agencia Brasileña de Telecomunicaciones, con el objetivo de implementar un estándar para el país que mejore las características técnicas, económicas e impulse la inclusión social.

ISDB-Tb fue certificado oficialmente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el 29 de abril de 2009.

### 1.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTADAR ISDB-Tb

#### 1.5.1.1 Compresión de audio y video en ISDB-Tb [10]

ISDB-Tb utiliza como método de compresión para aplicaciones de audio y video, al estándar MPEG-4 en sus distintas modalidades.

- ✓ *Para dispositivos portátiles* utiliza MPEG-4 AAC nivel 2.
- ✓ *Para video* utiliza MPEG-4 AVC (*Advanced Video Codec*) versión H.264.

- ✓ Para audio utiliza MPEG-4<sup>18</sup> AAC<sup>19</sup> nivel 4 o MPEG-4 HE-ACC<sup>20</sup> v.1 nivel 4, en modalidad estéreo utiliza MPEG-4 nivel 2 o MPEG-4 HE-ACC v.1 nivel 2.

### 1.5.1.2 Multiplexación [10]

ISDB-Tb utiliza para la multiplexación de las señales al estándar MPEG-2. Este estándar tiene dos esquemas de multiplexación: *transport stream* y *program stream*.

*Program Stream* contiene y almacena información (audio, video, datos) de un solo canal. Es usado en canales con baja interferencia. Y *transport stream*, contiene información de varios canales, usado para la transmisión de información, expuesto a interferencias de varios tipos.

### 1.5.1.3 Canalización y Modulación [9]

El estándar ISDB-Tb utiliza la modulación OFDM con banda segmentada (BST-OFDM) porque permite organizar el canal en 14 segmentos, de los cuales uno de ellos es reservado para ser distribuido entre las bandas de guarda superior e inferior del canal. Por lo tanto, los segmentos utilizables son 13 y están enumerados como se indica en la Figura 1.12.

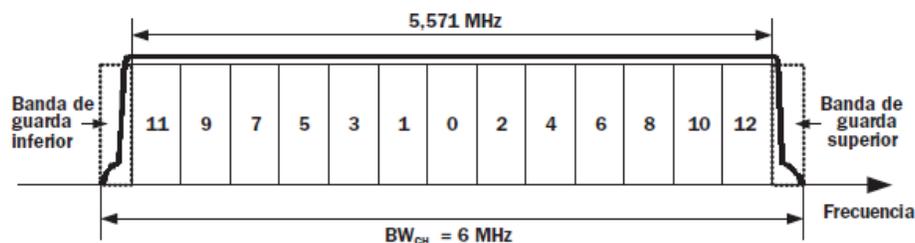


Figura 1.12 Segmentación del canal de 6 MHz [9]

El segmento cero se destina para servicio de “one seg”<sup>21</sup> a receptores móviles y portátiles, este segmento ocupa la posición central mientras que los 12 segmentos

<sup>18</sup> MPEG-4: Estándar para la compresión de audio y video, incluido compresión de datos de audiovisuales para la web, voz y difusión de aplicaciones de televisión.

<sup>19</sup> AAC (*Advanced Audio Codec*): Códec de Audio Avanzado.

<sup>20</sup> HE-AAC (*High-Efficiency Advanced Audio Codec*): Códec de Audio Avanzado de Alta Eficiencia.

<sup>21</sup> Servicio “one seg”: Servicio de baja velocidad de transferencia, es decir, no demanda la necesidad de un gran ancho de banda ni de bits por segundo, se utiliza el segmento 0 del canal de TDT para receptores móviles y portátiles.

restantes son distribuidos en igual cantidad, los pares a la izquierda y los impares a la derecha del segmento central (segmento cero).

El ancho de banda de cada segmento está definido por la siguiente ecuación:

$$Bw_n = \frac{Bw_c}{N_s} = \frac{6000 \text{ KHz}}{14} = 428,47 \text{ kHz} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Donde:

$Bw_c$ : Ancho de banda del canal

$Bw_n$ : Ancho de banda de cada segmento aproximadamente

$N_s$ : Número de segmentos

El estándar ISDB-Tb define tres modos de transmisión de acuerdo a la cantidad de sub-portadoras por segmento, en la Tabla 1.7 se presenta al número de sub-portadoras por segmento al cual hace referencia cada modo de transmisión, de las cuales 1248, 2496 y 4992 portan datos, y las demás se destinan para pilotaje y para transmisión de parámetros de codificación y modulación:

**Tabla 1.7** Modos de Transmisión en ISDB-Tb [10]

Modos	Subportadora/segmento
1	1405
2	2809
3	5617

La elección del modo de transmisión depende de la robustez que requiera la señal, para ello se tiene en cuenta que a menos portadoras por segmento, mayor será el ancho de banda por sub-portadora y por ende es mayor la tasa de datos por sub-portadora. Por ejemplo, el modo 1 es robusto frente a interferencias por efecto Doppler y resulta adecuado para el servicio móvil debido a que la separación entre sus portadoras es mayor respecto a los otros dos modos.

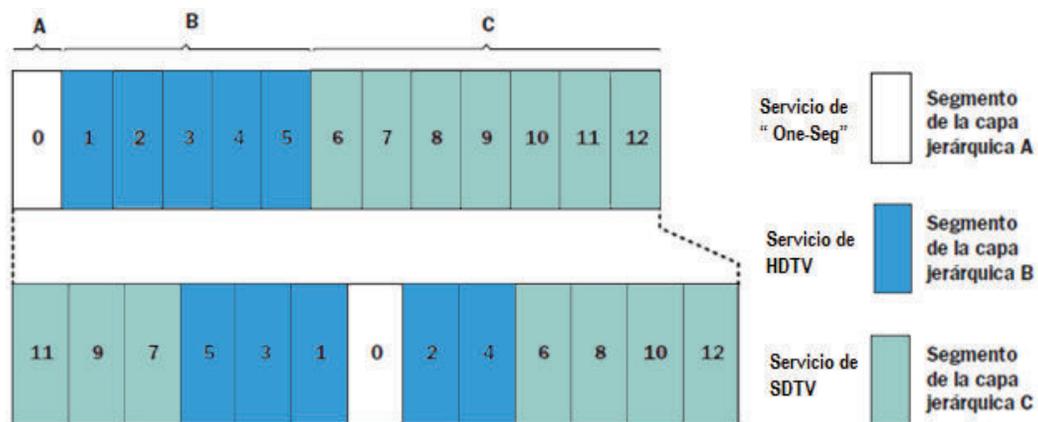
#### 1.5.1.4 Transmisión Jerárquica en Capas [9] [10]

La información a transmitir en el sistema ISDB-Tb, se organiza en tres capas jerárquicas diferentes, denominadas A, B y C; el número de segmentos que

conforman cada capa jerárquica depende del ancho de banda que requiera el servicio que se desea ofrecer.

Es importante mencionar que el segmento cero siempre se ubica en la parte central del ancho de banda y puede ser utilizado para el servicio de “One-Seg”, los segmentos restantes se utilizan para transmitir los servicios en alta definición (HDTV) y/o en definición estándar (SDTV). Acotando que los 13 segmentos pueden transmitir los dos tipos de definiciones, incluido el segmento cero.

La Figura 1.13 muestra un ejemplo de la transmisión en tres capas jerárquicas mediante la segmentación del canal.



**Figura 1.13** Distribución de los segmentos del canal ISDB-Tb en Capas Jerárquicas [9]

En cada capa jerárquica es posible especificar para cada uno o por separado los parámetros de configuración como: intervalo de guarda, tasa de codificación interna<sup>22</sup>, esquema de modulación, número de segmentos asignados a cada capa. A continuación, en la Figura 1.14 se presenta un ejemplo de los diferentes parámetros que han sido asignados a las capas jerárquicas:

<sup>22</sup> Codificación Interna: Es una técnica para proteger la secuencia de bits, sin importar el paquete al cual pertenecen. Se establecen 5 relaciones para protección interna de errores: 1/2, 2/3, 3/4, 5/7, 7/8.



**Figura 1.14** Capas Jerárquicas de ISDB-Tb [10]

### 1.5.1.5 Esquema de Modulación [14] [15] [16]

Los esquemas de modulación utilizados en el estándar ISDB-Tb, son los siguientes: DQPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, los mismos que se explicarán más a detalle en los siguientes items. Cada símbolo de modulación puede estar representado por 2, 4, o 6 bits dependiendo del esquema de modulación elegido.

Se puede utilizar hasta tres tipos de modulaciones simultáneamente, uno en cada nivel jerárquico, como se indica en la Figura 1.14.

#### 1.5.1.5.1 Descripción de la Modulación QPSK

Modulación por cambio de fase en cuadratura consiste en el desplazamiento de fase de cuatro símbolos, cada símbolo transmitirá dos bits. La separación entre las fases adyacentes son equiespaciadas cada  $90^\circ$ , y representan los dígitos 00, 01, 11, 10.

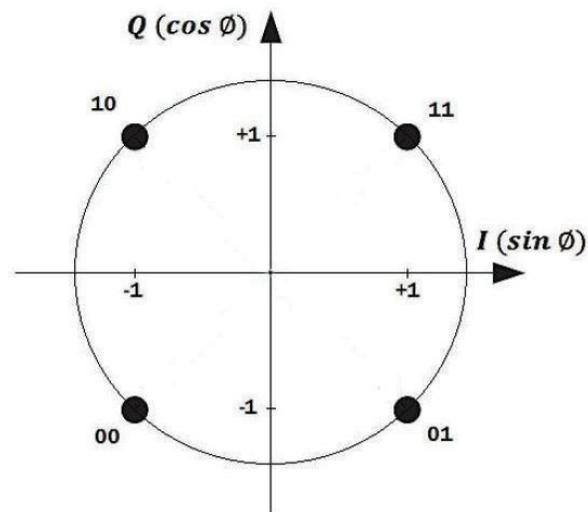
Se representa mediante el diagrama de constelación, conformado por cuatro puntos que representan las fases, equidistantes al origen de coordenadas.

A fin de minimizar la tasa de bits erróneos, la asignación de bits a cada símbolo difiere en un bit.

Como se muestra en la Figura 1.15, los ejes del diagrama de constelación se denominan I y Q; en la Tabla 1.8, se muestra las fases QPSK.

El valor binario 1 se presenta por  $I = Q = +1$

El valor binario 0 se presenta por  $I = Q = -1$



**Figura 1.15** Diagrama de Constelación QPSK [15]

**Tabla 1.8** Fases QPSK [15]

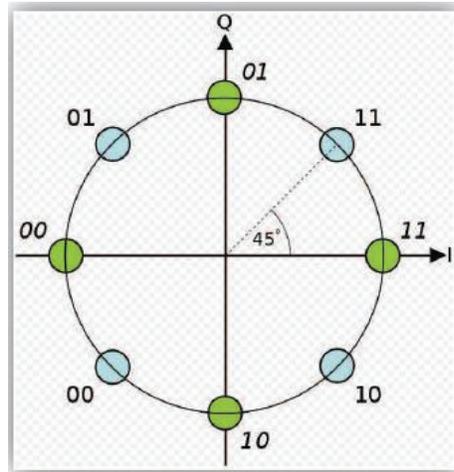
I	Q	$\theta$
0	0	-135
1	0	135
0	1	-45
1	1	45

La modulación QPSK se utiliza en el Grupo A denominado “one-seg” de los segmentos que conforman el canal ISDB-Tb.

#### 1.5.1.5.2 Descripción de la Modulación DQPSK [11]

Es una variante de la modulación QPSK en modo Diferencial, lo que implica que depende de una condición anterior y no requiere portadora síncrona en el extremo del receptor. De este modo, transmite información con variaciones de fase con respecto al estado anterior.

Utiliza dos constelaciones giradas en  $45^\circ$  con respecto a la otra, que se muestran en la Figura 1.16 referente al diagrama para D-QPSK.



**Figura 1.16** Diagrama de Constelación DQPSK [11]

#### 1.5.1.5.3 Descripción de la Modulación QAM [15]

Es una forma de modulación digital que permite transportar dos señales independientes, las cuales pueden operar por el mismo canal sin interferencia mutua; esto se consigue mediante la modulación de una señal portadora, tanto en amplitud como en fase (desfasada en  $90^\circ$ ).

#### 1.5.1.5.4 Descripción de la Modulación 16-QAM [17]

Es un tipo de modulación en cuadratura, que transmite 16 estados de modulación dado que es un sistema M-ario donde  $M = 4$  ( $2^4 = 16$ ). Los bits que conforman cada estado en el diagrama de constelación se basa en el código de Gray<sup>23</sup>, a fin de que cada punto de la constelación solo cambie en un bit respecto a su adyacente.

Para generar el diagrama de constelación de 16-QAM se parte de 4 variables, ya que para 16-QAM, el tamaño del símbolo es de 4 bits. Se divide a las dos variables en grupos de dos, es decir, AB y CD a los cuales se les asigna 4 valores de dos bits.

La intersección de los bits correspondientes a los grupos AB y CD, forman los símbolos de cuatro bits como se indica en la Tabla 1.9.

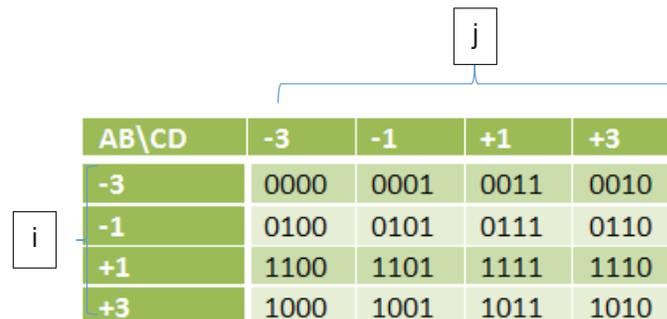
<sup>23</sup> Código de Gray: Es un sistema binario, en el cual dos bits sucesivos difieren en uno de su consecutivo.

**Tabla 1.9** Matriz de Formación de símbolos 16-QAM [17]

AB\CD	00	01	11	10
00	0000	0001	0011	0010
01	0100	0101	0111	0110
11	1100	1101	1111	1110
10	1000	1001	1011	1010

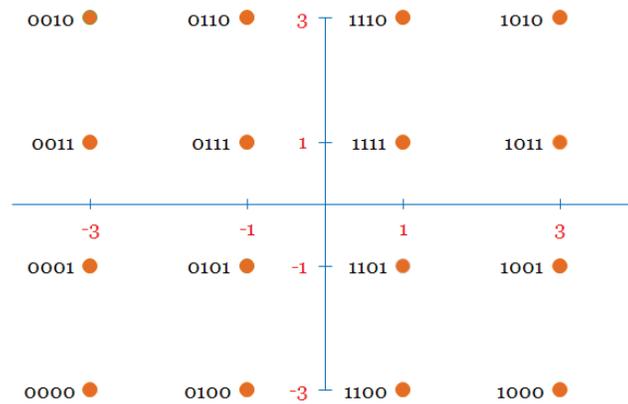
Ahora, se sustituye las variables AB y CD con los 4 niveles de amplitud  $\{-3, -1, +1, +3\}$ . Aquí AB se considera como los dos bits ASK modulada en el brazo en fase y CD se considera como los dos bits ASK (*Amplitude Shift Keying*) modulada en el brazo cuadratura.

Se interpreta a los bits que conformaron los conjuntos de AB y CD como niveles de amplitud  $\{-3, -1, +1, +3\}$ .

**Tabla 1.10** Matriz de Asignación de niveles de Amplitud [17]


AB\CD	-3	-1	+1	+3
-3	0000	0001	0011	0010
-1	0100	0101	0111	0110
+1	1100	1101	1111	1110
+3	1000	1001	1011	1010

Se muestra gráficamente el Diagrama de Constelación 16-QAM en la Figura 1.17, en donde cada punto con la representación binaria equivalente a la matriz indicada en la Tabla 1.10, difieren en sólo un bit con los símbolos adyacentes.

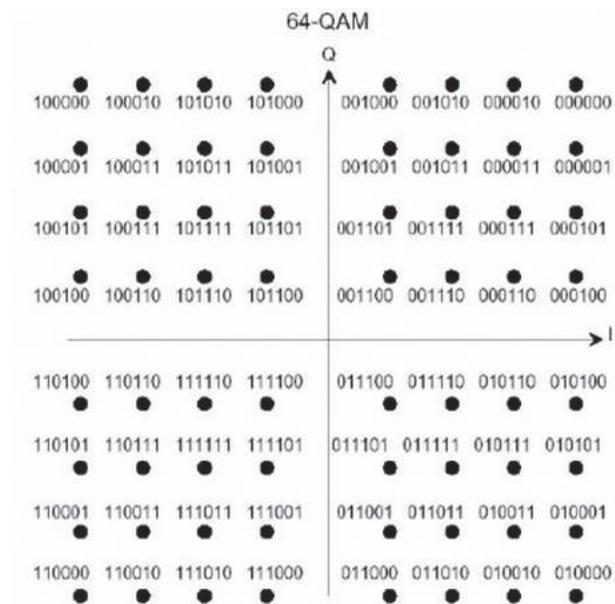


**Figura 1.17** Representació gràfica de la Matriz de Asignación de niveles de Amplitud [17]

#### 1.5.1.5.5 Descripción de la Modulación Modulación 64-QAM [7]

Es una técnica de modulación digital derivada de QAM que presenta variaciones tanto en fase como en amplitud. Es considerada muy eficiente en la transmisión de un gran volumen de datos.

El diagrama de constelación para 64-QAM que se indica en la Figura 1.18, lleva 6 bits por eje (I,Q) dando lugar a la formación de seis bits de información, es decir, se transmite seis bits por estado.



**Figura 1.18** Constelación 64 – QAM [7]

La Tabla 1.11 indica las tasas de transmisión para los esquemas de modulación que utiliza el estándar ISDB-Tb.

**Tabla 1.11** Tasas de transmisión de acuerdo a los esquemas de modulación en ISDB-Tb [10]

Esquema de Modulación	Tasa de Código Interno	Tasa de Transmisión (Mbps)			
		Intervalo de Guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,651	4,057	4,296	4,426
	2/3	4,868	5,409	5,727	5,901
	3/4	5,477	6,085	6,443	6,639
	5/6	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	6,39	7,1	7,517	7,745
DQPSK	1/2	3,651	4,057	4,296	4,426
	2/3	4,868	5,409	5,727	5,901
	3/4	5,477	6,085	6,443	6,639
	5/6	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	6,39	7,1	7,517	7,745
16-QAM	1/2	7,302	8,114	8,591	8,851
	2/3	9,737	10,818	11,455	11,802
	3/4	10,954	12,171	12,887	13,277
	5/6	12,171	13,523	14,318	14,752
	7/8	12,779	14,199	15,034	15,49
64-QAM	1/2	10,954	12,171	12,887	13,277
	2/3	14,605	16,228	17,182	17,703
	3/4	16,43	18,256	19,33	19,916
	5/6	18,256	20,284	21,478	22,128
	7/8	19,169	21,299	22,552	23,235

#### 1.5.1.6 *Middleware* Ginga para interactividad [10]

El software que permite el desarrollo de aplicaciones interactivas para TDT, utilizado en el estándar ISDB-Tb, es el *middleware* Ginga. El cual es una capa de software que se manifiesta como intermediario entre el sistema operativo y las aplicaciones desarrolladas para la televisión digital, independiente de la plataforma del hardware de los fabricantes y terminales de acceso.

Un receptor que incluya *middleware* Ginga, logra la recepción de las aplicaciones interactivas. La arquitectura del *middleware* Ginga se divide en tres módulos: Ginga-NCL<sup>24</sup>,Ginga-J<sup>25</sup>, Ginga-CC<sup>26</sup>.

## 1.6 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA

### 1.6.1 DEFINICIONES DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA [5]

Se denominan Redes de Frecuencia Única al conjunto de transmisores que difunden la misma señal y operan simultáneamente en el mismo canal de frecuencia sin interferirse. Este tipo de redes utilizan la técnica de multiplexación OFDM, la cual provee de robustez a la señal frente al ruido blanco e impulsivo y ante la interferencia ocasionada por la multitrayectoria; el intervalo de guarda del sistema OFDM es un elemento fundamental para el funcionamiento de las redes SFN, este ayuda a contrarrestar los ecos provenientes de varios transmisores de la red.

### 1.6.2 CONSIDERACIONES EN LOS TRANSMISORES DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA [9]

Los transmisores empleados en las Redes de Frecuencia Única deben tener en cuenta ciertas consideraciones, previo a la implementación de la red, entre las cuales se mencionan a continuación:

- Transmitir el mismo programa en la misma frecuencia.
- Emitir las señales al mismo tiempo y los retardos deben ser controlados con precisión.
- Emplear el mismo esquema de modulación, intervalo de guarda y modo de transmisión.
- La información es enviada por el mismo canal virtual<sup>27</sup>.

---

<sup>24</sup> Ginga-NCL (*Nested Context Language*): Provee una infraestructura de presentación que sirve de soporte para aplicaciones interactivas de tipo declarativas escritas en el lenguaje NCL.

<sup>25</sup> Ginga-J (*Java*): Subsistema lógico que provee una infraestructura de ejecución de aplicaciones basadas en Xlet, referente a un lenguaje Java.

<sup>26</sup> Ginga-CC (*Common Core*): Subsistema lógico que permite soportar tanto Ginga-NCL así como Ginga-J mediante la provisión de un núcleo común, el cual contiene decodificadores de contenido.

<sup>27</sup> Canal virtual: Número que identifica al programa que se transmite en la grilla de canales.

### 1.6.3 VENTAJAS DE LAS REDES DE FRECUENCIA ÚNICA [10]

- **Ahorro del Espectro Radioeléctrico:** la ocupación radioeléctrica es optimizada mediante la asignación de una única frecuencia para cubrir toda el área de cobertura, de esta manera es posible la operación de múltiples transmisores utilizando la misma frecuencia lo cual implica un ahorro de espectro para los planificadores porque adjudican una sola frecuencia para cubrir toda el área de servicio. Además quedan frecuencias disponibles para ofrecer un servicio de telecomunicaciones alterno.
- **Aprovechamiento de los Ecos:** la técnica de transmisión OFDM, introduce un tiempo de guarda que le permite al receptor obtener la señal deseada a través de los ecos recibidos. Es posible que las señales que tienen un retraso, y este sea menor al tiempo de guarda, puedan ser combinadas constructivamente en el receptor mediante la aplicación de OFDM.
- **Menor consumo de potencia:** debido a señales que llegan al receptor están en fase puede presentarse una suma de todas las señales, logrando que la potencia de transmisión necesaria para cubrir un área sea menor a la potencia necesaria para cubrir la misma área utilizando un sistema de transmisión para televisión digital MFN (*Multiple Frequency Network*)<sup>28</sup>. De esta manera, se evita sobredimensionar la potencia requerida por los transmisores como ocurre en las redes MFN para compensar efectos de desvanecimiento ocasionados por ecos.
- **Uso de Gap Filler:** las redes SFN permiten el uso de los *gap-fillers* para solventar problemas de zonas de sombra. Los *gap-fillers* son dispositivos de baja potencia, del orden de 10 a 100W, diseñados para cubrir sectores en donde la recepción de la señal digital es insatisfactoria, conocidos como zonas de sombra; su funcionamiento consiste en retransmitir los datos que reciben desde la estación principal, utilizando siempre la misma frecuencia y son instalados en los bordes de las zonas de sombra, de esta manera estos dispositivos permiten asegurar la recepción móvil y fija en toda el área de servicio.

---

<sup>28</sup> MFN: Redes Multifrecuencia, formada por transmisores que utilizan canales de frecuencia diferentes e individuales. Comúnmente utilizadas en la difusión de radio y televisión analógica.

## CAPITULO 2

### EQUIPOS Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

#### 2.1 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

La metodología de medición que se plantea para la identificación de zonas de sombra correspondiente a los canales de Televisión Digital Terrestre en la banda UHF que operan actualmente en la ciudad de Quito, se basa en la recopilación de medidas de nivel de señal (expresadas en unidades de intensidad de campo eléctrico) y la posición geográfica de cada punto de medición, dichas medidas son recibidas por un analizador de espectro. Además, se efectúan pruebas adicionales de medidas de BER (Tasa de Error Binario) y MER, en las cuales se aprecie la calidad de señal digital en recepción. Para ello, se efectuaron dos tipos de mediciones para cada canal TDT que operan actualmente en la ciudad de Quito, clasificadas en: Estáticas y Dinámicas.

Las mediciones se realizaron de acuerdo al cronograma de mediciones indicado en la Tabla 2.1, para lo cual se consideró la disponibilidad de los equipos que fueron facilitados por ARCOTEL.

**Tabla 2.1** Cronograma de mediciones

Cronograma de Mediciones		
Fecha	Hora	Tipo de Medidas
7 de Mayo del 2015	9:00 AM	Mediciones Dinámicas
15 de Mayo del 2015	2:00 PM	Mediciones Dinámicas
5 de Junio del 2015	9:00 AM	Mediciones Estáticas

##### 2.1.1 MEDICIONES ESTÁTICAS

Las mediciones estáticas se refieren a las medidas de intensidad de campo y Tasa de Error de Modulación, recibidas por el equipo R&S (*Rohde & Schwarz*) ETH, en puntos fijos dentro de la zona de medición; a fin de corroborar que las mediciones que superen el umbral establecido para intensidad de campo (51 dBuV/m), también superen el umbral de MER (20 dB)

La posición donde se efectuaron estas mediciones se indican sobre el mapa de *Google Earth* en la Figura 2.1; y en el ANEXO A se tienen las mediciones extraídas del equipo R&S ETH e indicadas mediante imágenes de la pantalla principal del equipo.

### **2.1.2 MEDICIONES DINÁMICAS**

Se denomina mediciones dinámicas a aquellas medidas de intensidad de campo obtenidas mediante el drive test, que se llevó a cabo utilizando el software ARGUS y el vehículo de monitoreo móvil del SACER, el cual realiza un recorrido sobre área de medición seleccionada.

Las mediciones dinámicas se efectuaron para la validación de los algoritmos de interpolación mediante el cálculo del error, el cual se detallará en el capítulo 3.4. Además, mediante la interpolación de estos puntos de medición se obtiene el mapeado a color de la intensidad de campo eléctrico del resto de puntos. De este modo, es posible efectuar un análisis a nivel espectral.

Las mediciones dinámicas de los nuevos canales de Televisión Digital Terrestre se encuentran tabuladas en el ANEXO B.

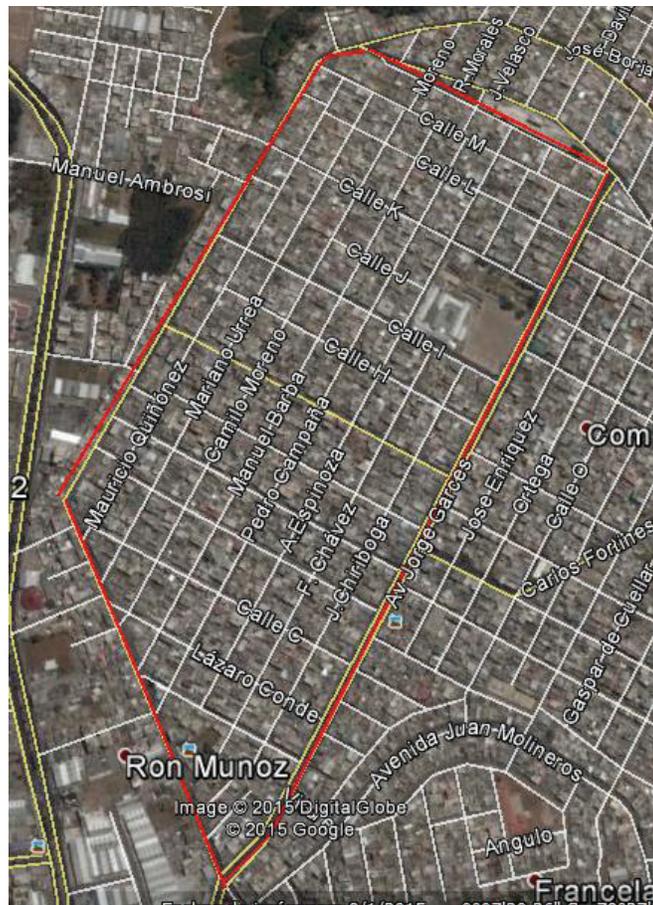
### **2.1.3 SELECCIÓN DE LA ZONA DE MEDICIÓN**

ARCOTEL ha ejecutado varias pruebas de drive test, en la ciudad de Quito, que proveen información referencial respecto a las zonas donde la recepción de la señal TDT es de mala calidad o nula y en base a dichas pruebas técnicas las zonas determinadas con problemas de cobertura corresponden a las siguientes: La Bota, San José de Chilibulo y La Mena, Sur Occidente: La Mascota – Chillogallo, Centro Histórico. Av. 5 de Junio: sector posterior del panecillo, Antigua Av. Oriental: parte posterior del parque Itchimbia.

Sin embargo, en el presente proyecto no se seleccionó ninguna de las zonas mencionadas en el párrafo anterior dado que se prefiere trabajar sobre aquella en donde aparentemente no tenga problemas de cobertura y verificar que la recepción de la señal digital sea óptima. Por lo tanto, la zona de medición seleccionada pertenece al Comité del Pueblo, cercana al sector de La Bota, de aproximadamente 36967,0758 m<sup>2</sup>. Sobre esta área, aparentemente no identificada dentro del grupo

de zonas con problemas de cobertura, se tomarán medidas que permitan determinar la existencia de zonas de sombra.

En la Figura 2.1 se muestra el contorno de la zona de medición seleccionada para el desarrollo del presente proyecto, la misma que es expuesta sobre el mapa de Google Earth.



**Figura 2.1** Zona de medición seleccionada sobre el mapa de Google Earth

#### 2.1.4 DEFINICIÓN DE RUTA Y PUNTOS DE MEDICIÓN

Para definir el recorrido de la ruta de medición se utilizó la aplicación denominada Galileo<sup>29</sup>, la cual contiene mapas donde se visualiza la ubicación geográfica y va grabando la ruta conforme el vehículo este en movimiento. De este modo, se efectúa el Drive Test para medir el nivel de señal de recepción de los canales de

<sup>29</sup> Galileo: La aplicación gratuita de Galileo permite visualizar y descargar mapas, indicando la posición geográfica y grabando el recorrido de la ruta.

TDT. En la Figura 2.2 se muestra como se ha ido grabando la ruta correspondiente a las mediciones dinámicas en una zona del Comité del Pueblo mediante el uso de un ipad con la aplicación de Galileo.



**Figura 2.2** Ruta de Medición en el Comité del Pueblo

En la Figura 2.3, se muestran los puntos correspondientes a las mediciones dinámicas que se efectuaron a lo largo de las calles, sobre el mapa de Google Earth:



**Figura 2.3** Ubicación de puntos dinámicos en Google Earth

Las mediciones estáticas son aquellas mediciones de intensidad de campo y MER, efectuadas por el equipo R&S ETH que han sido tomadas en varios puntos fijos dentro de la zona, para cada Estación de Televisión como se muestran en la Figura 2.4

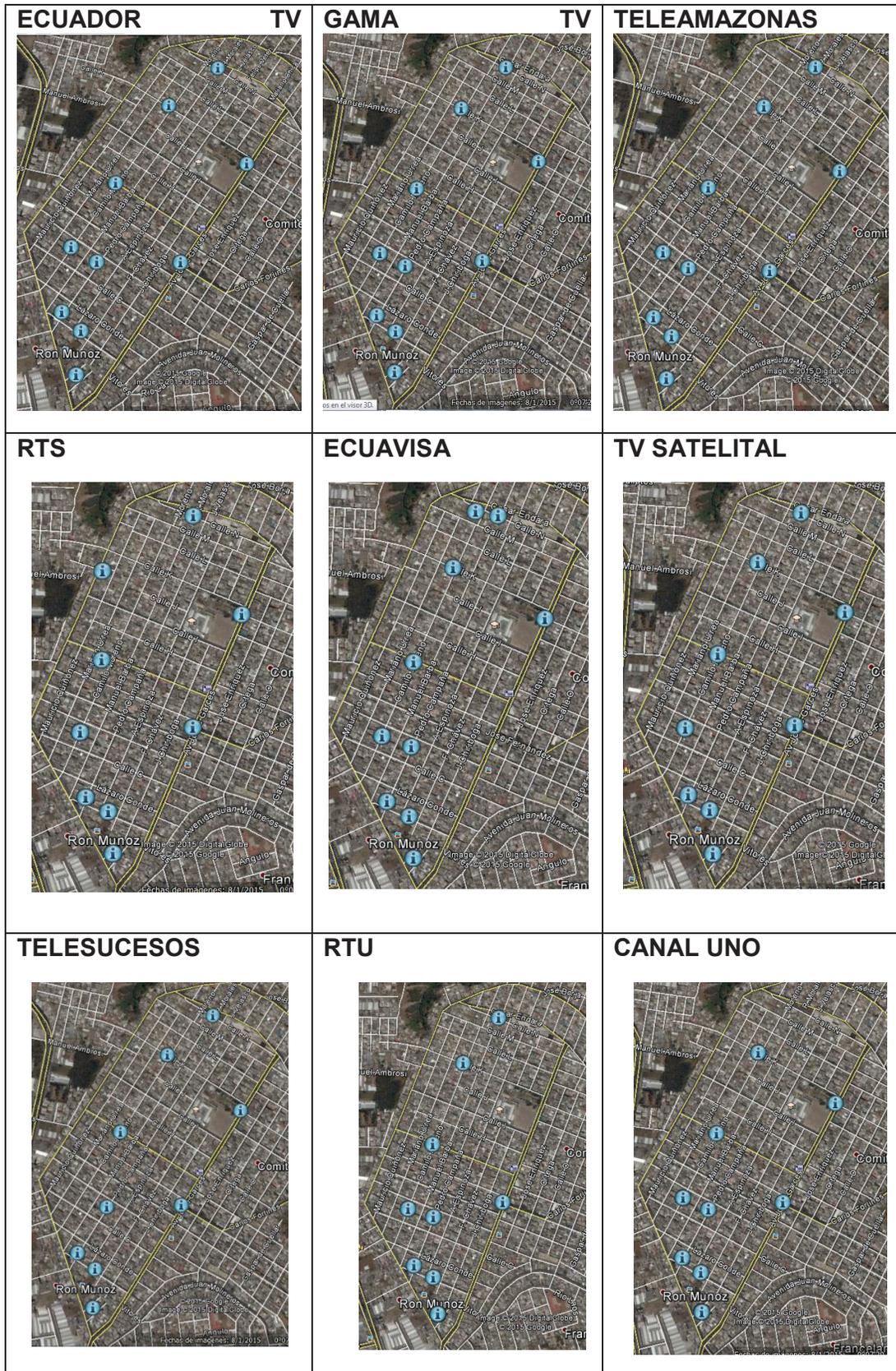
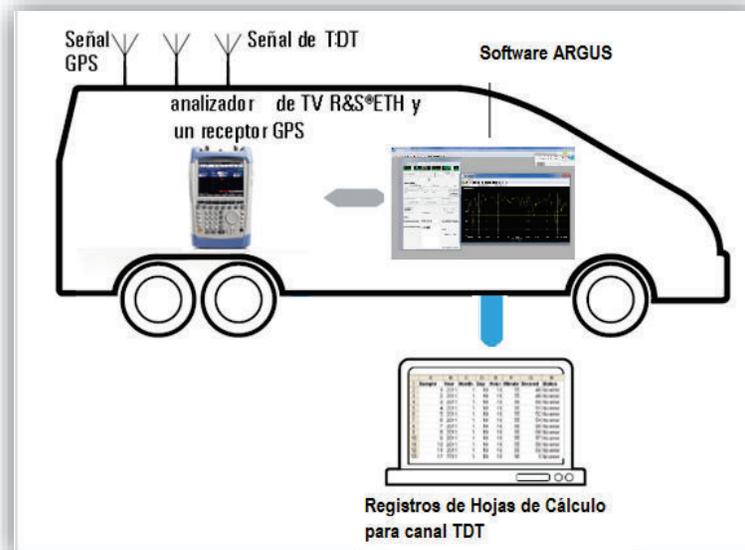


Figura 2.4 Puntos de medición estáticos sobre el mapa de Google Earth

### 2.1.5 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

En la Figura 2.5 se muestra el esquema general del sistema de medición utilizado, en el cual se indica la estación de monitoreo móvil del SACER, el equipo R&S ETH y el software ARGUS con un sistema de posicionamiento GPS (*Global Positioning System*) integrado. Para el sustento de esta información.



**Figura 2.5** Esquema General del Sistema de Medición

## 2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

En este capítulo se describen las características de los equipos que se han utilizado para llevar a cabo la medición de parámetros técnicos requeridos para el desarrollo del presente proyecto. Además, se explica brevemente las principales funciones y características del Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico, utilizado a nivel nacional por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

### 2.2.1 SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO [20] [21]

El Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico fabricado por Rohde & Schwarz, fue adquirido por la ex SUPERTEL en el año 2011, bajo la necesidad de fortalecer las actividades de control y monitoreo del espectro

radioeléctrico, en forma remota y en tiempo real; actualmente, se encuentra operando bajo la responsabilidad de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

El sistema gestor de espectro trabaja en las bandas de frecuencia VHF y UHF desde 20 MHz hasta 3 GHz y fue desarrollado en base a las recomendaciones de la UIT de acuerdo a los manuales de Comprobación Técnica del Espectro, Gestión Técnica del Espectro y Reglamento de Radiocomunicaciones.

Este sistema ofrece a la entidad de telecomunicaciones ARCOTEL varios servicios que contribuyen con el desarrollo de las telecomunicaciones en el país, entre los que se mencionan a continuación:

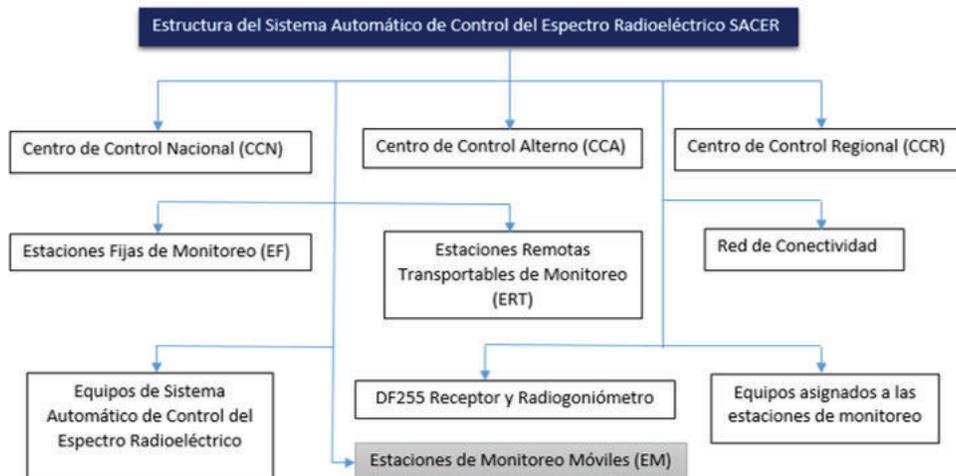
- Monitoreo de los servicios de radiodifusión, verificación de parámetros autorizados de los sistemas concesionarios para determinar la presencia de transmisores ilegales.
- Análisis de la ocupación del espectro radioeléctrico en todas las bandas de frecuencias.
- Incorpora un sistema de radiogoniometría<sup>30</sup> automático y con mapas digitales de todo el Ecuador.
- Ejecución de Drive Test mediante las Estaciones Móviles de Monitoreo.
- Identificación y resolución de señales que podrían originar interferencias.
- Mediciones de cobertura mediante el nivel de intensidad de campo.
- Monitoreo de redes de comunicaciones.

#### **2.2.1.1 Componentes principales que conforman el sistema SACER [20] [21]**

En la Figura 2.6 se aprecia las componentes que conforman la estructura del Sistema Automático del Control del Espectro Radioeléctrico para su apropiado funcionamiento.

---

<sup>30</sup> Radiogoniometría: Sistema electrónico que determina la dirección de procedencia de una señal de radio.



**Figura 2.6** Componentes del Sistema SACER

El recuadro que contiene al contexto Estaciones de Monitoreo Móviles, indicado en la Figura 2.5, se marca de un color diferente respecto a los demás debido a que una de mencionadas estaciones se ocupó para obtener las medidas de intensidad de campo eléctrico. Por tal motivo, se explicará brevemente el resto de componentes sin entrar a detalle.

Los centros de control que conforman la estructura del SACER están divididos en Centro de Control Nacional (CCN), Centro de Control Alterno (CCA) y Centro de Control Regional (CCR). El Centro de Control Nacional está localizado en las oficinas de la ARCOTEL Coordinación Zonal 2, en la ciudad de Quito y es considerado la principal unidad operacional del SACER. El Centro de Control Alterno es designado como unidad de respaldo y está ubicado en la ciudad de Cuenca.

El Centro de Control Regional, ubicado en las oficinas de la ARCOTEL Coordinación Zonal 2 es la unidad operativa del sistema, la misma que cuenta con tres estaciones de trabajo que permiten la ejecución de las mediciones con las diferentes estaciones remotas transportables, además es donde se procesa la información recopilada, la cual actualiza la base de datos de monitoreo.

El sistema de control automático del espectro radioeléctrico está conformado por Estaciones Fijas y Remotas Transportables, Centros de Control Nacional y Regional, además de Unidades Móviles, todas equipadas para el cumplimiento de

las funciones del sistema, conectados mediante una red WAN robusta. Además, cuenta con un grupo de antenas activas y de diferente polarización para efectuar una correcta medición y análisis del espectro radioeléctrico.

### 2.2.1.2 Estaciones de Monitoreo Móvil (EM) [28] [21]

Tal como se mencionó anteriormente, haciendo uso de la Estación Móvil se efectuó el Drive Test en la zona de medición seleccionada, unidad que mediante equipos técnicos y un sistema informático, realiza funciones de monitoreo de las emisiones radioeléctricas.

El vehículo indicado en la Figura 2.7 es una Estación de Monitoreo Móvil, conformada internamente por un conmutador de antenas, un receptor DDF 255 y un GPS de alta precisión, equipos que se muestran en la Figura 2.8 y son explicados en ítems posteriores. Además, cuenta con una laptop para acceder a la conexión del software ARGUS y sistemas de energía de back up.

La parte externa es representada en la Figura 2.9, en la cual se indican las antenas disponibles en la Estación Móvil, entre ellas se mencionan a las siguientes: ADD295, ADC2300, HE500, HE010, de las cuales se utilizó a la antena ADD295 para medir los niveles de intensidad de campo eléctrico y MER.



**Figura 2.7** Estación de Monitoreo Móvil [21]



**Figura 2.8** Equipos internos de la Estación Móvil [29]



**Figura 2.9** Antenas disponibles en la Estación Móvil [29]

A continuación se describirá características de los equipos principales que han sido utilizados en el desarrollo del presente proyecto y son de gran aporte respecto a la precisión de los datos obtenidos durante la medición.

### 2.2.1.3 Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 – Digital Direction Finder [29]

En la Figura 2.10 se muestra la imagen correspondiente a un receptor Rhode & Schwarz DDF255, el cual cumple funciones de monitoreo del espectro radioeléctrico para la determinación de ocupación de bandas de frecuencia y es

apto para aplicaciones móviles y estacionarias. El equipo está conformado por dos interfaces de 1 Gbit LAN y puede ser operado a control remoto por medio de la interfaz LAN integrada en el equipo.



**Figura 2.10** Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 [20]

#### 2.2.1.4 Software ARGUS [21]

El software ARGUS fue desarrollado por Rohde & Schwarz, el mismo que permite realizar evaluaciones del espectro radioeléctrico a través de configuraciones adecuadas. Esta herramienta hace posible que los usuarios puedan acceder de forma remota al manejo de instrumentos y aplicaciones del sistema SACER. De esta manera se logra simplificar procesos de medición, lo cual incide en un ahorro de tiempo y de recursos.

En la Figura 2.11 se muestra la pantalla de presentación del software ARGUS, al iniciar el programa.



**Figura 2.11** Pantalla de presentación del software ARGUS

El manejo del software ARGUS se puede efectuar de distintas modalidades, acorde a los requerimientos del operador:

- **Manejo directo:** permite el control directo del equipo de medición vía paneles frontales mediante una PC, para realizar las mediciones de monitoreo, radiogoniometría, localización e identificación de emisiones.
- **Manejo Automático:** permite programar de forma remota cualquier tarea de monitoreo a la hora y fecha que se requiera realizar, no se necesita la presencia del operador cuando se ejecuten las tareas. Simplificando rutinas de mediciones manuales.
- **Manejo Interactivo:** permite realizar diferentes actividades que involucra la apreciación global del espectro, como: identificar emisiones electromagnéticas, detección automática de señales desconocidas, medición de cobertura, entre otras.

#### 2.2.1.5 Conmutador de antenas R&S ZS129A1 [21]

La imagen que se indica en la Figura 2.12 corresponde a un conmutador de antenas R&S ZS129A1, este equipo permite conmutar entre las antenas disponibles para analizar sus datos. Es utilizado en las estaciones fijas, conectado mediante una interfaz serial a la computadora del sistema y tiene la posibilidad de ser manejado de forma manual o remota.

Manualmente, el usuario introduce los datos de configuración mediante menús adaptados al sistema y de forma remota, es teledirigido usando el software ARGUS, el cual le permite cambiar la conexión haciendo clic en la conexión del interfaz gráfico del usuario.



**Figura 2.12** Conmutador de antenas R&S ZS129A1 [21]

### 2.2.1.6 Receptor de referencia GPS 129 [21]

Un receptor GPS almacena en memoria la información geográfica digitalizada de mapas, planos de las calles, red de carreteras, que se pueden visualizar gráficamente en una pantalla del ordenador.

En la Figura 2.13 se muestra el Receptor de referencia GPS 129, el mismo que proporciona información relacionada con tiempo, posición y frecuencias extremadamente precisas.



**Figura 2.13** Receptor referencia GPS 129 [21]

### 2.2.1.7 Antena R&S ADD295 (20 – 300 MHz) [21]

La antena marca Activa modelo R&S ADD295 se indica en la Figura 2.14, ha sido diseñada como una antena de monitoreo integrada y goniometría para polarización circular en las bandas de frecuencias desde 20 MHz a 3 GHz. Esta antena es adecuada para aplicaciones móviles debido a que dispone de una alta sensibilidad.



**Figura 2.14** ANTENA R&S ADD295 [21]

## 2.2.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIONES DE DRIVE TEST CON EL SOFTWARE ARGUS

La descripción de este procedimiento se realizó desde una Estación de Trabajo del SACER, la cual se indica en la Figura 22.15 y permite monitorear las mediciones drive test.



**Figura 2.15** Estación de Trabajo del SACER

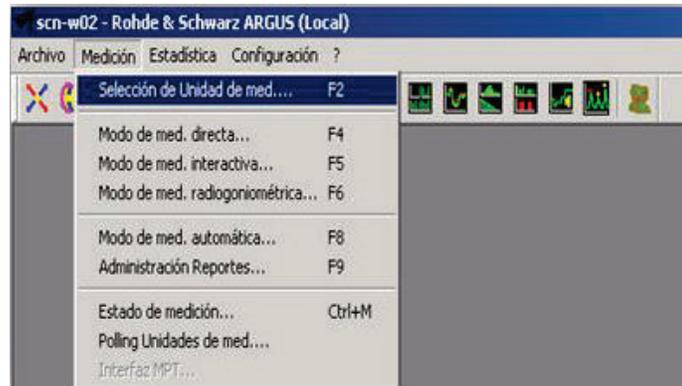
Una vez realizada esta aclaración, se procede a explicar el proceso de medición:

1.\_ Ingreso al software ARGUS del sistema SACER de la ARCOTEL, doble clic en ARGUS – scn-w02. En la Figura 2.16 se presenta el logo de inicio del software ARGUS e inmediatamente aparece una ventana denominada Conectar, en donde se introduce la clave de seguridad.



**Figura 2.16** Logo de inicio del software ARGUS del SACER del SACER

2.\_ Seleccionar la Unidad de Medición como se indica en la Figura 2.17. Para ello, se debe dar clic en el menú 'Medición' y después clic en 'Selección de Unidad de medición' o en su defecto presionar F2.



**Figura 2.17** Barra de Menú del software ARGUS del SACER

3.\_ Posteriormente se despliega la ventana 'Selección de Unidad de medición', en la cual se elige la Estación Remota Transportable a utilizar. Como se observa en la Figura 2.18, se dispone de varias Estaciones Remotas Transportables que se encuentran ubicadas en diferentes partes del país, como: Tulcán, Ibarra, Santo Domingo, Nueva Loja, Quito. Para el presente trabajo, se selecciona la Estación Remota ubicada en la ciudad de Quito denominada SCN-L06 (Scn-I06/ARGUS\_MT1)\*.

A continuación se indica la provincia a la cual pertenece cada estación remota.

SCN-L01 (Scn-I01/ARGUS\_MT1)\* Estación Remota Transportable ubicada en la ciudad de Tulcán.

SCN-L02 (Scn-I02/ARGUS\_MT1)\* Estación Remota Transportable ubicada en la ciudad de Ibarra.

SCN-L03 (Scn-I03/ARGUS\_MT1)\* Estación Remota Transportable ubicada en la ciudad de Esmeraldas.

SCN-L04 (Scn-I04/ARGUS\_MT1)\* Estación Remota Transportable ubicada en la ciudad de Santo Domingo.

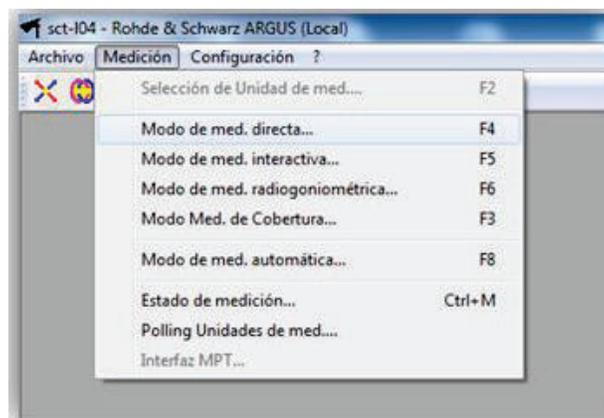
SCN-L05 (Scn-I05/ARGUS\_MT1)\* Estación Remota Transportable ubicada en la ciudad de Nueva Loja.

SCN-L06 (Scn-I06/ARGUS\_MT1)\* Estación Remota Transportable ubicada en la ciudad de Quito.



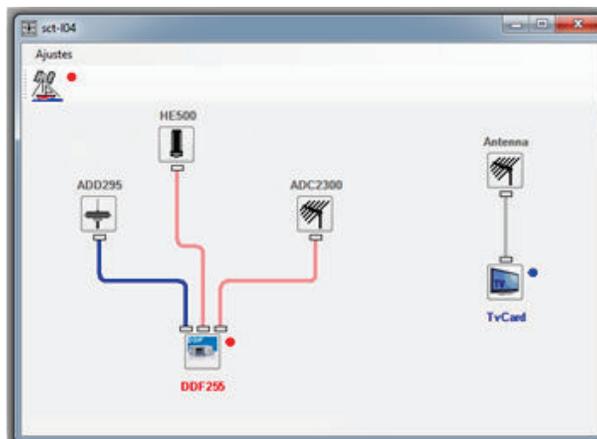
**Figura 2.18** Pantalla 'Selección de Unidad de medición' del software ARGUS

4.\_Clic en el menú 'Medición', se despliega una ventana en la cual se elige la opción 'Modo de med. directa', como se indica en la Figura 2.19.



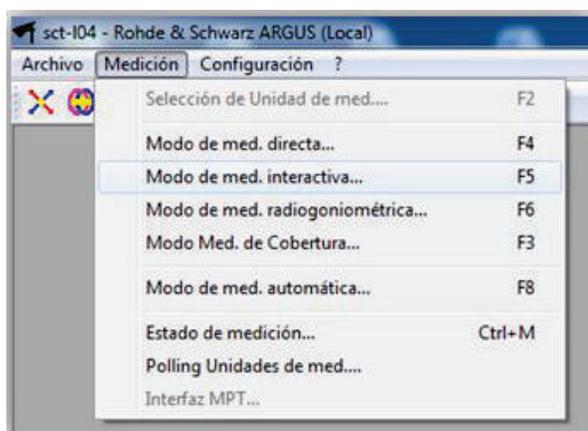
**Figura 2.19** Selección de Modo de med. Directa.en el software ARGUS

5.\_ Aparece la pantalla sct-I04 como se indica en la Figura 2.20, en la cual se selecciona la antena para realizar la medición, como se mencionó en el apartado 2.2.1.2, se escogió a la antena ADD295.



**Figura 2.20** Pantalla sct-I04 del software ARGUS del SACER

6.\_ Una vez escogida la antena, clic en Modo de medición interactiva para captar las medidas recibidas en la ejecución del Drive Test, como se indica en la Figura 2.21.



**Figura 2.21** Selección 'Modo de med. Interactiva'

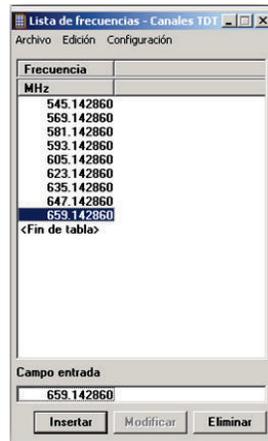
7.\_ Seleccionar el ícono 'Medición de Cobertura', que corresponde al quinto recuadro contando a partir de la derecha de la Figura 2.22.



**Figura 2.22** Selección ícono 'Medición de Cobertura'

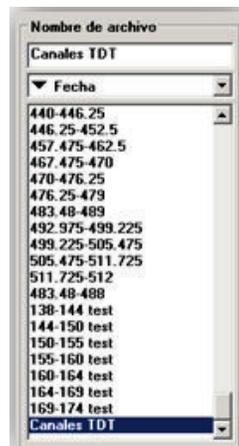
8.\_ Crear la lista de frecuencias a monitorear, para ello se debe dar clic en el menú 'Archivo', seleccionar 'Lista de frecuencias' e ingresar las frecuencias de cada

portadora central. El nombre del archivo que almacena las frecuencias se denominó Canales TDT, como se observa en la Figura 2.23 .



**Figura 2.23** Configuración de la Tabla de Lista de Frecuencias

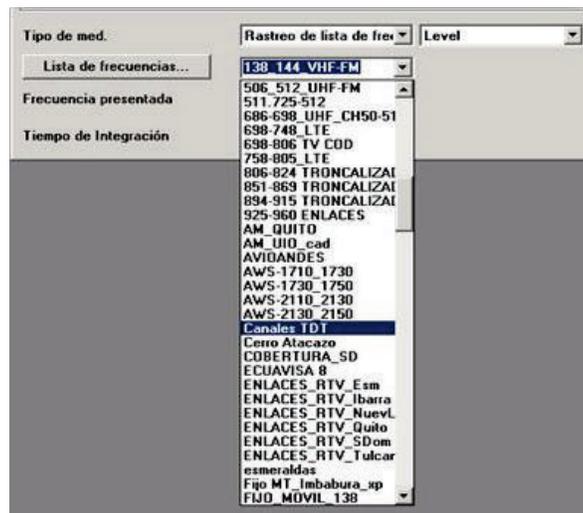
9.\_En la barra de Herramientas de la ventana 'sct-I04-Rohde&Schwarz ARGUS ', clic en el ícono 'Navegador', seleccionar 'Lista de frecuencias' y dar doble clic en Canales TDT como se observa en la Figura 2.24, para cargar las frecuencias a monitorear.



**Figura 2.24** Selección de Canales TDT en la Pantalla Navegador del software ARGUS del SACER

10.\_ Para iniciar el monitoreo es necesario retornar a la ventana de Modo de medición Interactiva y seleccionar Rastreo de lista de frecuencias en el menú contextual correspondiente a tipo de medición (Tipo de med.). En el menú contextual inferior al primero, seleccionar Canales TDT como se indica en la Figura 2.25. Una vez resueltos mencionados pasos a seguir, clic en el botón Iniciar y de

esta manera se obtendrán las mediciones de intensidad de campo para canal TDT, simultáneamente, conforme el vehículo de monitoreo realice el drive test.



**Figura 2.25** Configura los parámetros de medición en Modo Interactivo

12.\_Para extraer las mediciones efectuadas en el drive test, se debe seleccionar el botón 'Resultados de medic.' y buscar los resultados en el menú contextual denominado Nombre de archivo, en este caso la medición ha sido grabada con el nombre IMM\_150505\_003kar1 una vez finalizada la medición. Por lo tanto, para visualizar los resultados se procede a dar doble clic en archivo IMM\_150505\_003kar1 y de esta manera se despliegan las mediciones obtenidas, como se indica en la Figura 2.26. Estos datos son exportados a Excel, con un simple *Copy* y *Paste*, para posteriormente ser precesados.

Tiempo	Frecuencia	Level	Longitud	Latitud	Altitud
Fecha + Hora	MHz	dBuV/m	Longitud	Latitud	m
05/05/2015 9:40:09.212	545.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	569.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	581.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	593.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	605.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	623.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	635.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	647.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:09.212	659.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	545.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	569.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	581.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	593.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	605.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	623.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	635.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	647.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
05/05/2015 9:40:12.707	659.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00

Campo entrada

05/05/2015 9:40:09.212	545.142860	*	078°28'15.7\"W	00°07'43.7\"S	2924.00
------------------------	------------	---	----------------	---------------	---------

Insertar Modificar Eliminar

**Figura 2.26** Visualización de los resultados de la medición

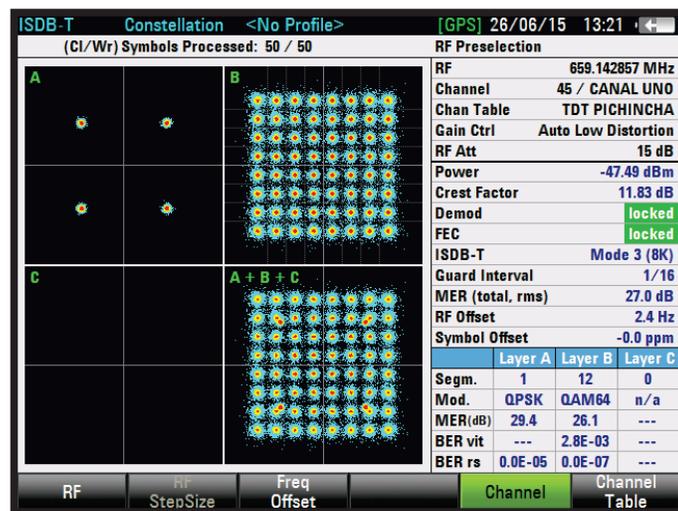
### 2.2.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO R&S ETH [33]

El equipo R&S ETH indica resultados para definir la calidad de señal digital, tales como: MER, BER, diagrama de constelación para el esquema de modulación definido y tiene integrado un GPS que permite localizar geográficamente las mediciones efectuadas.

Es un analizador de televisión portátil que permite efectuar mediciones de cobertura, análisis de señales ISDB-Tb en el rango de 30 MHz a 3 GHz, permite la detección automática de los modos de ISDB-Tb (Modo 1 (2K), Modo 2 (4K), Modo 3 (8K)) y del esquema de modulación mediante la visualización de sus diagramas de constelación.

Tiene la capacidad de realizar mediciones tipo drive test con formato ISDB-Tb y posibilita la recepción de medidas de intensidad de campo eléctrico expresadas en dBuV/m o también medidas de nivel en el rango de -75 dBm a +10 dBm.

En la Figura 2.27 se muestra en la pantalla del equipo R&S ETH, el Diagrama de Constelación de la señal digital del canal que ha sido configurado.



**Figura 2.27** Diagrama de Constelación de la señal digital del CANAL UNO

En la parte derecha, se muestra características de la señal como la frecuencia central, el canal con el nombre de la Estación de Televisión, intervalo de guarda, etc; y resultados de la medición reflejados en parámetros como el MER y BER.

En las Capas A y B, se visualiza el diagrama de constelación de la señal digital modulada con QPSK y 64QAM, respectivamente. El recuadro titulado A+B+C, suma los diagramas de constelación de las capas; dado que la capa C no está siendo utilizada para la transmisión, no influye en la suma de las constelaciones.

### **2.2.3.1 Definición de parámetros técnicos que intervienen en las mediciones con el equipo R&S ETH**

El equipo R&S ETH proporciona información de la señal digital recibida mediante parámetros técnicos que se definen a continuación:

#### *2.2.3.1.1 Tasa de Error Binario [33] [34]*

Es uno de los parámetros utilizados para la evaluación de señales digitales, que representa el número de bits erróneos respecto al número total de bits enviados durante un intervalo de tiempo. Se identifican dos tipos de BER, el CBER (*Constant Bit Rate*) y el VBER (*Viterbi Bit Error Rate*). En [34] establece como medida ideal de CBER un valor de  $1.0E-4$  (1bit erróneo por cada 10.000bits) y como medida límite un valor de  $1.0E-2$  (1 bit erróneo por cada 100 bits). Sin embargo, se tiene en consideración la información proporcionada en el proyecto de investigación indicada en [33], el cual mediante la realización de varias pruebas técnicas efectuadas con el equipo ETH se establece un umbral límite de  $1.0E-3$  (1bit erróneo por cada 1000 bits) y un umbral superior de  $1.0E-8$  (1bit erróneo por cada 100000000 bits).

VBER: Es el BER medido a la salida del decodificador de Viterbi<sup>31</sup>, antes del decodificador Reed-Solomon<sup>32</sup>. En [34] establece como medida ideal de VBER un valor de  $1.0E-7$  (1bit erróneo por cada 10000000 bits) y como medida límite un valor de  $2.0E-4$  (2 bit erróneos por cada 10000 bits).

---

<sup>31</sup> Decodificador de Viterbi: Es el primer decodificador en el receptor para minimizar los errores en las siguientes etapas de decodificación.

<sup>32</sup> Reed-Solomon: Se utiliza en el receptor para efectuar la corrección de errores en la decodificación

### 2.2.3.1.2 Tasa de Error de Modulación [35]

Es un indicador de calidad de la señal digital modulada que representa el vector error cuantitativamente, mediante la diferencia entre la señal ideal que debería recibirse y la señal real con errores que se recibe.

En el diagrama de constelación, la tasa de error de modulación representa la exactitud de una constelación digital.

La dispersión de los puntos respecto al valor esperado incide en un grado de MER alto o bajo; a mayor dispersión se consigue un MER bajo, mientras que a menor dispersión se consigue un valor de MER alto.

La Tasa de Error de Modulación establece una relación entre la potencia de la señal recibida y la potencia de la señal de error, típicamente expresado en dB como se indica en la ecuación 2.1.

$$MER_{dB} = 10 * \log \left( \frac{P_{error}}{P_{señal}} \right) \quad (\text{Ec. 2.1}) [35]$$

Donde:

$P_{error}$ : Error cuadrático medio

$P_{señal}$ : Valor cuadrático medio de la señal transmitida

También se expresa en porcentaje, empleando la ecuación 2.2:

$$MER(\%) = \sqrt{\left( \frac{P_{error}}{P_{señal}} \right)} * 100\% \quad (\text{Ec. 2.2}) [35]$$

La Norma Técnica para el servicio de radiodifusión de Televisión Digital Terrestre en el Ecuador especifica que el valor de tasa de error de modulación medido en el transmisor debe ser igual o mayor a 32 dB.

El manual desarrollado por Rohde & Schwarz citado en [35], involucra temas relacionados con parámetros técnicos que evalúan la calidad de la señal como la tasa de error de modulación; al respecto, establece que los valores óptimos de MER en recepción se encuentran en el rango desde 20 a 30 dB, excepto para receptores portátiles en el cual su rango de aceptación varía desde 13 a 20 dB.

### 2.2.3.1.3 Diagrama de Constelación

Es una representación gráfica de estados de los símbolos en términos de amplitud y fase de una portadora modulada digitalmente. Este diagrama consta de ejes denominados "I" y "Q", los cuales hacen referencia a los componentes de los símbolos que están en fase con la señal portadora y los componentes en cuadratura, respectivamente.

Este método se emplea con el fin de analizar la calidad de señal recibida, la cual puede ser afectada por distintos factores que se presentan en el diagrama de constelación, entre ellos se menciona a los siguientes:

- Ruido Gaussiano: puntos difusos
- Ruido de Fase: puntos dispersos
- Interferencia: puntos en forma de círculos

## 2.3 ANÁLISIS TEÓRICO Y GRÁFICO DE LOS ALGORITMOS DE INTERPOLACIÓN: *NEAREST NEIGHBOR INTERPOLATION, LINEAR INTERPOLATION, NATURAL NEIGHBOR INTERPOLATION*

En el presente apartado, se efectuará el análisis teórico de los algoritmos de interpolación, los cuales serán simulados en el software computacional MATLAB para la interpolación de puntos adicionales a los medidos.

Los algoritmos de interpolación planteados para el desarrollo del presente proyecto son: *Nearest Neighbor Interpolation*, *Linear Interpolation* y *Natural Neighbor Interpolation*.

### 2.3.1 NEAREST NEIGHBOR INTERPOLATION [22]

*Nearest Neighbor Interpolation* basa su interpolación en el punto conocido más cercano y descarta el resto de puntos vecinos. Para lo cual, calcula las distancias desde el punto que se desea interpolar a todos los puntos conocidos, y de esta manera el punto desconocido (punto a interpolar) toma el valor del punto conocido más cercano.

Mediante la ecuación (2.3), se pretende representar lo mencionado.

$$P(x, y) = \min_{d_k} P_m(x_m, y_m) \quad (\text{Ec. 2.3}) [22]$$

Donde:

$P(x, y)$ : Punto  $(x, y)$  a interpolar.

$P_m(x_m, y_m)$ : Puntos conocidos.

$d_k$ : Distancia a cada uno de los puntos conocidos.

En la Figura 2.28 se muestra el escenario de prueba realizado, en el cual se aplica la interpolación *Nearest Neighbor Interpolation* para cuatro puntos conocidos ubicados en los vértices del polígono, con un valor de resolución igual a 3 metros.



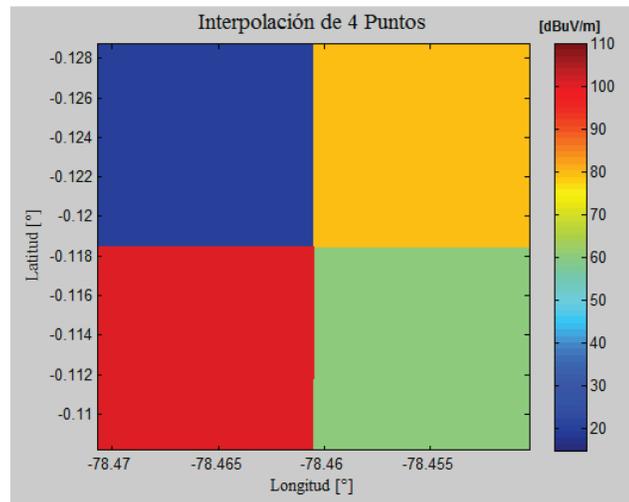
**Figura 2.28** Escenario de Prueba

El escenario de prueba es de aproximadamente  $(2268 \times 2268)$  m, con un área de  $5143824 \text{ m}^2$ , tiene 4 puntos con valores conocidos de intensidad de campo y se indican en la Tabla 2.2:

**Tabla 2.2** Puntos conocidos del Escenario de Prueba

Puntos Conocidos	Longitud [°]	Latitud [°]	dBuV/m
P1	-78,4707	-0,1082222	20
P2	-78,450383	-0,1081555	80
P3	-78,470705	-0,1285583	100
P4	-78,450325	-0,1286861	60

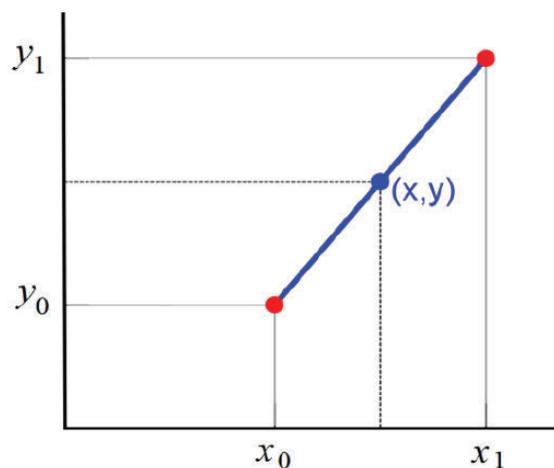
La Figura 2.29 es el resultado de aplicar el algoritmo *Nearest Neighbor Interpolation* a los cuatro puntos conocidos, cuyos ejes (x,y) están representados por coordenadas geográficas expresadas en grados decimales. Como se puede apreciar los puntos desconocidos, toman el valor del punto conocido más cercano, es así que al llegar a la mitad de la parrilla cambian de color bruscamente.



**Figura 2.29** Zona de Prueba: *Nearest Neighbor Interpolation*, resolución: 3m, 4 puntos conocidos

### 2.3.2 LINEAR INTERPOLATION [22]

*Linear Interpolation* efectúa la interpolación en base a líneas rectas, empleando dos puntos conocidos adyacentes a la zona donde se interpola el punto desconocido.



**Figura 2.30** Linear Interpolation [22]

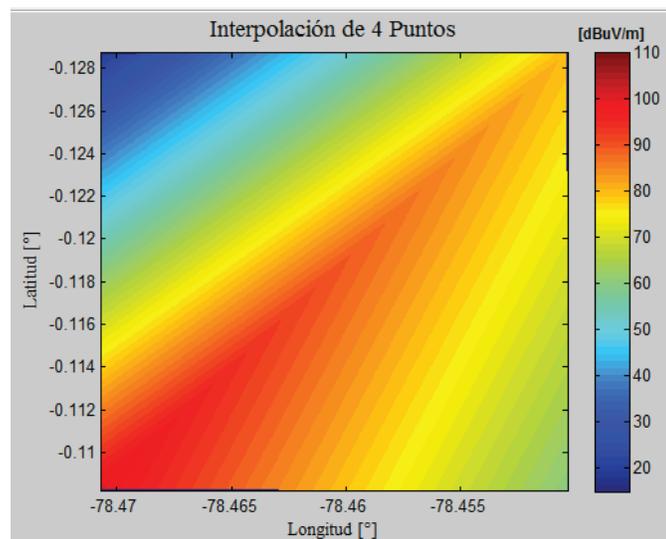
La función interpolante consiste en una línea recta que conecta los dos puntos dados como se observa en la Figura 2.30; la línea azul cumple la función de interpolador lineal entre los dos puntos rojos que son los valores conocidos para encontrar el valor en el punto  $(x,y)$ , el cual es el valor desconocido que se desea estimar. La expresión matemática correspondiente a este algoritmo para dos dimensiones, se define de la siguiente manera:

$$P(x,y) = P_0(x_0,y_0) + u \left( P_1(x_1,y_1) - P_0(x_0,y_0) \right) \quad (\text{Ec. 2.4}) [14]$$

La variable  $u$  indica la distancia entre el punto interpolado y los correspondientes conocidos. Puede tomar valores comprendidos entre el intervalo de  $[0,1]$ , es decir, un extremo de la línea toma el valor del 0 y su opuesto toma el valor de 1. En caso de que la variable  $u$  se encuentre fuera de este rango, se presenta extrapolación. Reemplazando el valor de  $u$  se define la ecuación de la recta:

$$u(x) = \frac{x-x_0}{x_1-x_0} \rightarrow y(x) = \left( y_0 + (x-x_0) \frac{y_1-y_0}{x_1-x_0} \right) \quad (\text{Ec. 2.5}) [14]$$

A continuación, se realiza un ejemplo sencillo que aplica la interpolación lineal definido por el comando `TriScatteredInterp` en MATLAB, en donde se utiliza el promedio ponderado de dos valores para realizar la interpolación.



**Figura 2.31** Zona de Prueba: Linear Interpolation, resolución: 3m, 4 puntos conocidos

Al igual que en el caso anterior, se genera el mismo escenario de prueba del apartado 2.3, en el software de simulación de MATLAB y se utilizan los 4 puntos conocidos ubicados en los vértices del escenario de interpolación. Se obtiene la Figura 2.31, como resultado de aplicar el algoritmo *Linear* a los 4 puntos conocidos.

De la gráfica se puede deducir que se obtiene diagonales con colores difuminados, La unión lineal principal que se puede apreciar, es la del P2 al P3. El cambio de tonalidad se presenta debido a la variación de los valores en los puntos vértices de la diagonal que forma el polígono.

### 2.3.3 NATURAL NEIGHBOR INTERPOLATION [22] [24]

Este algoritmo tiene en cuenta los puntos cercanos o vecinos naturales alrededor al que se desea interpolar. Mientras mayor es la cantidad de puntos conocidos, este algoritmo resulta ser el más eficiente y proporciona menor error, sin embargo, esta tasa aumenta a medida que se dispone de menos vecinos a su alrededor como en los extremos del escenario a interpolar.

A cada punto se le asigna un área o región mediante una construcción geométrica, conocida como el diagrama de Voronoi<sup>33</sup>.

Para este tipo de interpolación la expresión matemática que modela la media ponderada de los vecinos naturales o puntos alrededor al que se desea interpolar, es la siguiente:

$$P(x, y) = \sum_{m=1}^n f_m(x, y) * P(x_m, y_m) \quad (\text{Ec. 2.6}) [22]$$

$P(x_m, y_m)$ : Indica los m puntos correspondientes a los vecinos naturales alrededor del punto  $P(x, y)$  que se desea interpolar.

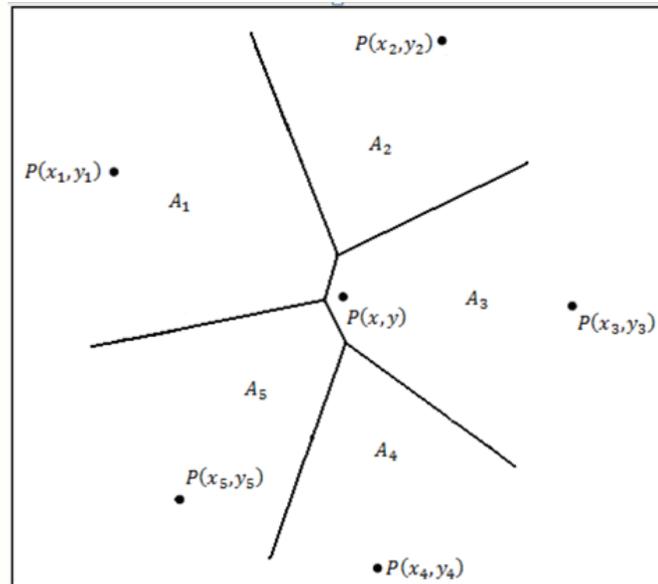
$f_m(x, y)$ : Indica los coeficientes que pondera cada punto.

Para entender mejor la obtención de los coeficientes, se realiza un ejemplo indicado en la Figura 2.32, el cual está formado por cinco vecinos naturales

---

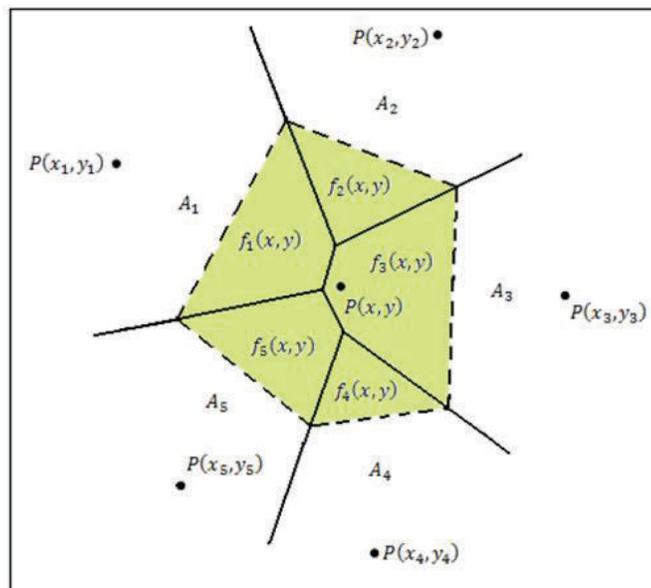
<sup>33</sup> Diagrama de Voronoi: Estructuras de la geometría computacional que almacena información referente a la proximidad entre puntos.

$P(x_1, y_1), P(x_2, y_2), P(x_3, y_3), P(x_4, y_4), P(x_5, y_5)$  que pertenecen a un área denominada diagrama de voronoi e identificada por las iniciales  $(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5)$ .



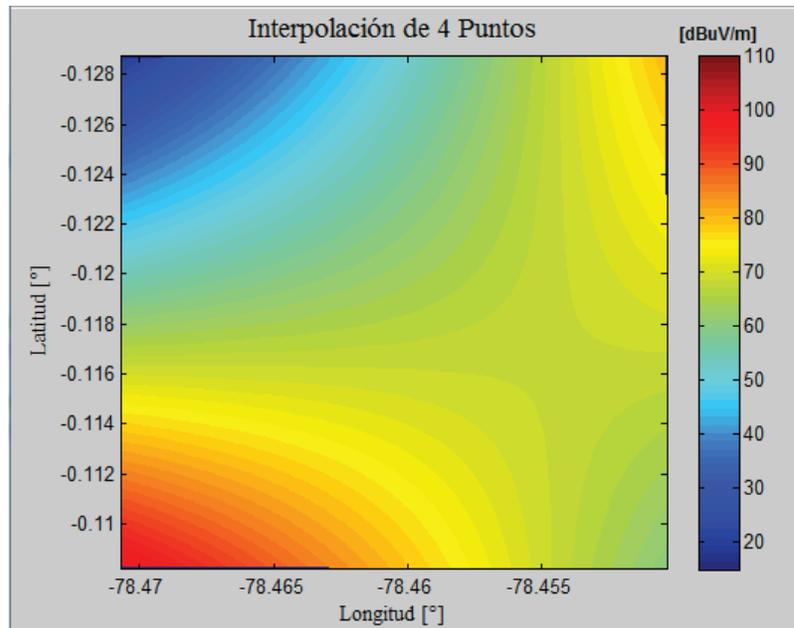
**Figura 2.32** Representación de 5 vecinos naturales [22]

Se crea un polígono de Voronoi, alrededor del punto que se desea estimar  $P(x, y)$ . Los coeficientes  $f_m(x, y)$  están definidos por la porción de superposición entre el nuevo polígono y los polígonos iniciales como se indica en la Figura 2.33.



**Figura 2.33** Coeficientes  $f_m(x, y)$  [22]

La Figura 2.34 se presenta el escenario de prueba con las mismas dimensiones que el expuesto en el apartado 2.3.1 y con cuatro puntos conocidos que son interpolados mediante el algoritmo *Natural Neighbor Interpolation*.



**Figura 2.34** Zona de Prueba: *Natural Neighbor Interpolation*, resolución: 3m, 4 puntos conocidos

En la Figura 2.34, se puede apreciar la diferencia en el resultado de interpolación respecto a los dos anteriores. En este caso, no se visualiza cambios bruscos en los valores, ni variación de tonos de acuerdo a diagonales; dado que este método de interpolación tiene en cuenta a todos los vecinos o valores cercanos disponibles, de esta manera se logra aproximar los valores a una estimación más cercana a la realidad.

Así pues, al tener puntos conocidos distribuidos uniformemente, el rendimiento de este algoritmo mejora notablemente. Sin embargo, su precisión y rendimiento requiere mayor carga computacional ya que se debe efectuar el cálculo del polígono de Voronoi para cada uno de los puntos, lo cual exige mayor capacidad aumentando el tiempo de procesamiento.

## **2.4 ESTUDIO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO UTILIZADO [22] [26]**

Como se mencionó en el apartado 2.1.1 para la realización del presente proyecto se ha escogido una determinada zona de la ciudad de Quito sobre la cual se efectúa la estimación del nivel de señal, para ello, se debe tener conocimiento de la ubicación de los puntos medidos y estimados que permitan definir correctamente la localización geográfica de cada punto sobre la superficie terrestre. Sin embargo, surge un problema cuando se aplican los algoritmos de interpolación descritos anteriormente dado que se tratan de modelos matemáticos que trabajan sobre superficies planas, por tal motivo se realiza un estudio del sistema de coordenadas UTM, ya que es una proyección cartográfica<sup>34</sup> que se basa en cuadrículas y no distorsiona la superficie en grandes magnitudes; además se debe considerar la adaptación de datos en el programa desarrollado en MATLAB, puesto que los datos referentes a la posición fueron adquiridos en coordenadas geográficas mediante los equipos utilizados para la medición. Este hecho conlleva a realizar un pequeño estudio acerca de los sistemas de posicionamiento utilizados, es decir, el sistema de coordenadas geográficas en formato Longitud-Latitud y el sistema de coordenadas (x,y) UTM (*Universal Transverse Mercator*).

### **2.4.1 SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS [22]**

El sistema de coordenadas geográficas es una referencia de posición que permite determinar la ubicación de un punto en el planeta tierra mediante dos coordenadas angulares denominadas latitud y longitud, las cuales a su vez están relacionadas con un conjunto de líneas imaginarias que conforman este sistema y corresponden a los paralelos y meridianos, términos que se definen a continuación.

- Paralelos: Son líneas imaginarias en forma de círculos que se definen sobre el globo terráqueo y están situadas geoméricamente paralelas respecto al paralelo de mayor radio denominado ECUADOR, el cual divide al globo en Hemisferio

---

<sup>34</sup> Proyección cartográfica: Método por el cual, sobre una superficie plana se pretende representar la superficie de la tierra, o parte de ella. Se realiza mediante procedimientos matemáticos generalmente efectuados sobre figuras geométricas o a partir de ellas, las más utilizadas son: el cilindro, cono y el plano.

Norte y Hemisferio Sur. Los paralelos son trazados a intervalos de  $10^\circ$  y a partir de la Línea del Ecuador se tiene un total de 90 paralelos en dirección al Polo Norte y 90 en dirección al Polo Sur.

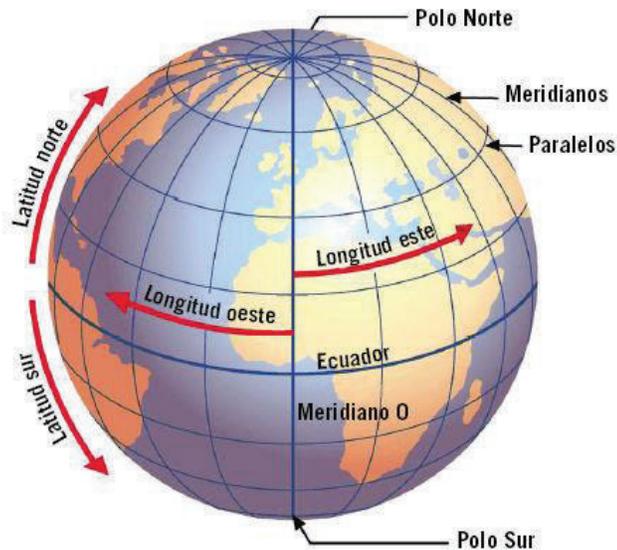
- Meridianos: Son líneas imaginarias en forma de círculos que pasan por los polos y toman como referencia al Meridiano  $0^\circ$  cuyo nombre es Meridiano de Greenwich para designar la coordenada angular de Latitud de un determinado meridiano. En total se tiene 360 meridianos, trazados a intervalos de  $10^\circ$ , los cuales se cuentan a partir del Meridiano  $0^\circ$ , 180 meridianos hacia el oeste y 180 meridianos hacia el este. Dicho Meridiano  $0^\circ$ , pasa por el Observatorio Astronómico de Greenwich, por tal motivo se le asignó el nombre de Meridiano de Greenwich, el cual divide a la Tierra en: Hemisferio Oeste u Occidental y Hemisferio Este u Oriental.
- Latitud: Es la distancia angular entre cualquier paralelo y la Línea del Ecuador, el cual se mide en grados sexagesimales hacia el Norte o hacia el Sur respecto a la Línea del Ecuador. La mayor latitud que se puede medir es de  $90^\circ$  debido a que hay 90 paralelos en cada hemisferio (Norte o Sur).
- Longitud: Es la distancia angular entre cualquier meridiano y el Meridiano de Greenwich, la cual se mide en grados sexagesimales. La mayor longitud que se puede medir es  $180^\circ$  debido a que hay 180 meridianos en cada hemisferio (Hemisferio Occidental y Hemisferio Oriental).

En la Tabla 2.3 se indica un ejemplo de la notación de las coordenadas de longitud y latitud en grados minutos y segundos.

**Tabla 2.3** Ejemplo de Coordenadas Geográficas

Longitud	Latitud
$78^\circ 28' 14,4'' W$	$0^\circ 7' 42,9'' S$
$83^\circ 46' 54'' E$	$22^\circ 27' 08'' N$

En la Figura 2.35 se ilustra la representación gráfica de meridianos, paralelos, longitud y latitud.



**Figura 2.35** Meridianos, Paralelos, Longitud y Latitud [45]

### 2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA UTM [26] [46]

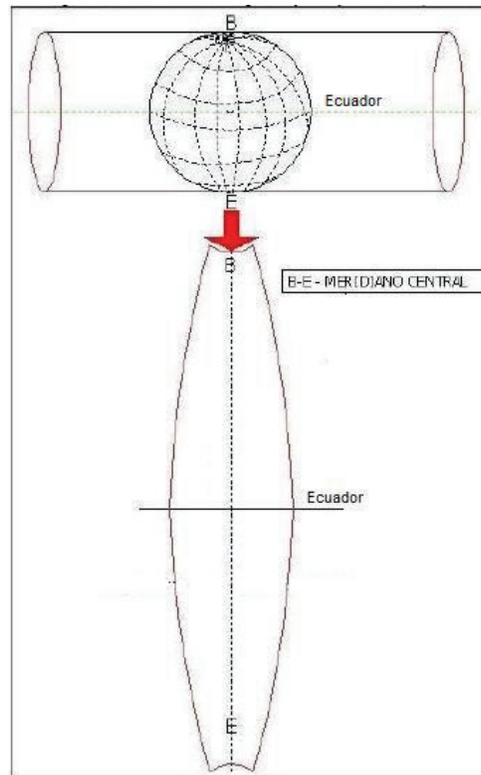
El sistema de coordenadas (x,y) UTM fue desarrollado en la década de 1940 por Gerardus Mercator<sup>35</sup> y se basa en la proyección cartográfica denominada transversa de Mercator, creada para referenciar puntos sobre la superficie terrestre y cuyas magnitudes se expresan en metros a nivel del mar. En este caso, el valor de una coordenada UTM representan un área cuadrada, más no la posición exacta de un determinado punto como se suele pensar, de tal manera que cualquier punto comprendido dentro de este cuadrado se le asigna el mismo valor de coordenada UTM.

La Proyección Transversa de Mercator es una proyección conforme<sup>36</sup> que emplea un cilindro tangente a un meridiano central<sup>37</sup>, de tal manera que al desplegar el cilindro, el Ecuador se transforma en una recta que es utilizada como referencia del eje de las X, y el meridiano central se transforma en otra recta que es utilizada como referencia del eje de las Y como se observa en la Figura 2.36.

<sup>35</sup>Gerardus Mercator: Cartógrafo y científico, quien desarrolló la proyección de la tierra en un cilindro.

<sup>36</sup>Proyección conforme: Conserva los ángulos y casi no distorsiona las formas pero sí lo hace con distancias y áreas.

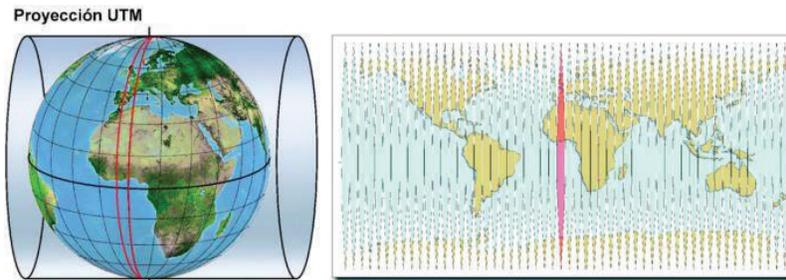
<sup>37</sup> Meridiano Central: Es la línea central de cada huso UTM, siendo dicha línea un meridiano.



**Figura 2.36** Proyección cartográfica UTM [26]

El sistema UTM localiza un punto de acuerdo a las coordenadas (x,y), sin embargo se necesita de datos adicionales para definir una correcta posición geográfica, estos datos son: el Huso, la Banda y el Datum; dichos términos son definidos a continuación.

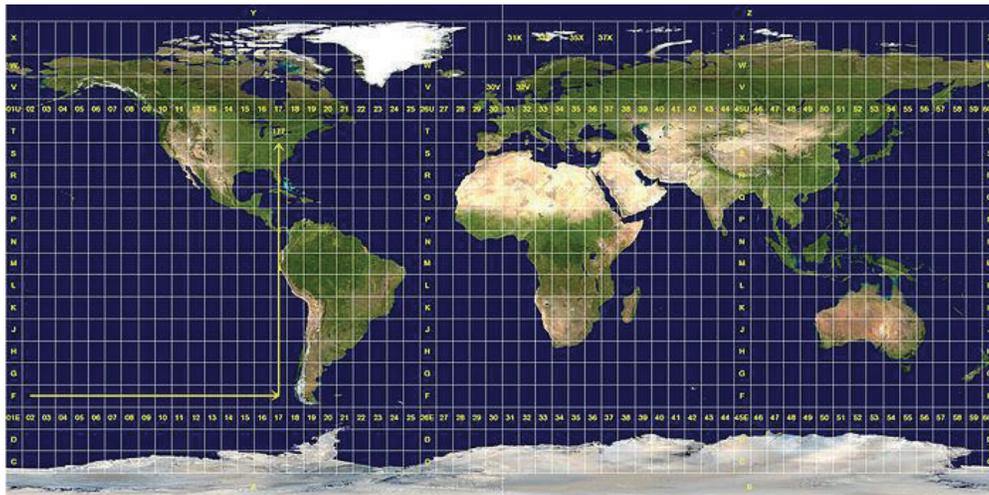
- Los husos o zonas UTM son las posiciones geográficas correspondientes a los puntos comprendidos entre dos meridianos, como se observa en la Figura 2.37. El sistema UTM divide el elipsoide terrestre en 60 husos enumerados entre el 1 al 60 en orden ascendente hacia el Este, estos husos fueron creados a fin de evitar que las deformaciones ocasionadas por la proyección sean de gran consideración. Cada huso del sistema UTM es de  $6^\circ$  de longitud, y está conformado por un meridiano central y el Ecuador como ejes de referencia.



**Figura 2.37** Proyección UTM, despliegue de Husos [47]

- Cada zona UTM está dividida en 20 bandas, las cuales son divisiones asignadas mediante letras desde la "C" hasta la "X" excluyendo a las letras "I", "O" y "Ñ", las bandas C a M están en el Hemisferio Sur y las bandas "N" a "X" están en el Hemisferio Norte. Cada banda tiene una altura de 8°, excepto la banda "X" tiene una altura de 12°.

En la Figura 2.38 se ilustra gráficamente los husos y bandas UTM.



**Figura 2.38** Husos y bandas UTM [48]

El datum es una referencia utilizada para describir la localización de puntos sobre la superficie terrestre, cada datum se define en función de un elipsoide y un punto llamado Fundamental. El elipsoide es una figura que representa la tierra y el punto fundamental es el punto donde la tierra y el elipsoide son tangentes. Actualmente existen varios datums utilizados para referenciar puntos, el datum que se utiliza en

el presente proyecto para el desarrollo del programa en MATLAB es el datum WGS-84 (*World Geodetic System 84*).

Como se mencionó anteriormente, el valor de una coordenada UTM corresponde a un área cuadrada, por lo tanto el valor de Este representa la distancia hacia el Este desde la esquina inferior izquierda de la cuadrícula UTM y el valor Norte es la distancia hacia el Norte al Ecuador. La coordenada Este corresponde al eje horizontal del mapa (x) y la coordenada Norte corresponde al eje vertical (y).

Un ejemplo de este tipo de designación de coordenadas UTM se presenta en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.4** Ejemplo de Coordenadas UTM

Coordendas UTM	
x	386.143 m
y	4.560.137 m
Zona	30
Banda	T
Datum	ED50

### 2.4.3 DATUM WGS-84 [22]

El datum WGS-84, es el datum estándar en los dispositivos GPS comerciales; el cual permite localizar cualquier punto de la Tierra y define un elipsoide aplicando un patrón matemático de tres dimensiones.

Las coordenadas que se definen sobre la elipsoide del datum WGS-84, tienen la posibilidad de ser cartesianas (X, Y, Z) en el espacio o geodésicas<sup>38</sup>.

Los puntos de referencia de las coordenadas cartesianas se indican en la Tabla 2.4 y las características geodésicas de un elipsoide WGS-84 se exponen en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5** Puntos de Referencia de Coordenadas Cartesianas [22]

<b>Eje X</b>	Intersección del plano del Ecuador y meridiano de Greenwich
--------------	---

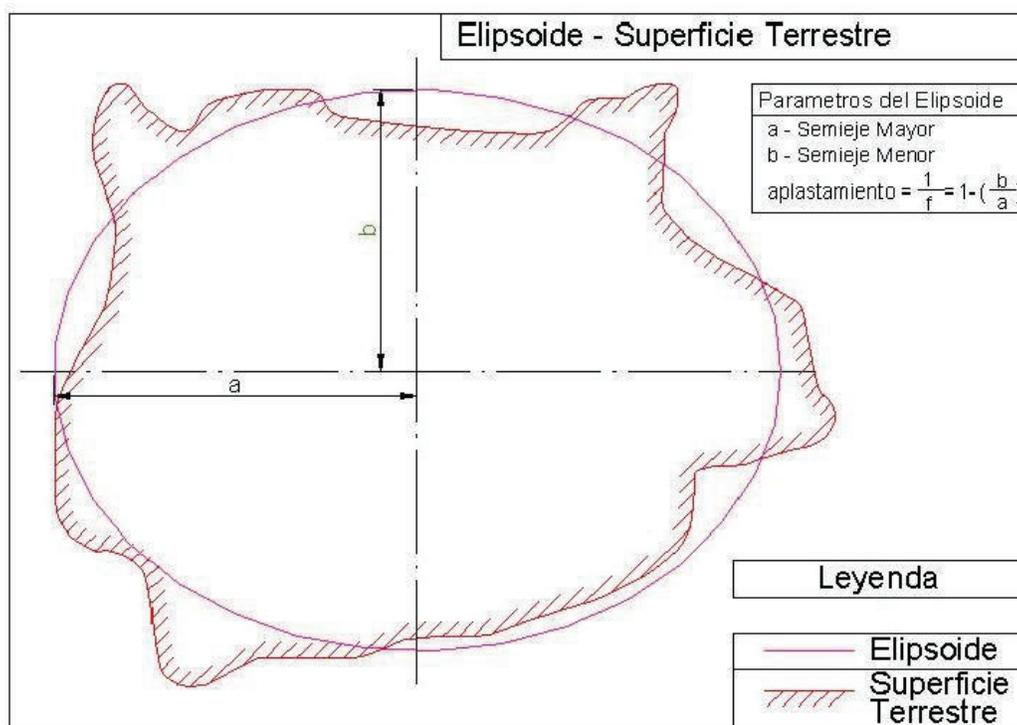
<sup>38</sup> Geodésicas: Es la representación de la superficie y forma de la tierra.

Eje Y	Perpendicular a los ejes Z y X
Eje Z	Paralelo al polo medio
Origen (0,0,0)	Centro de Masas de la Tierra

**Tabla 2.6** Referencias Geodésicas del elipsoide WGS-84 [22]

Parámetro	Medida de Referencia
Semieje mayor (a)	6.378.137 m
Semieje menor (b)	6.356.752,3142 m
Inversa de aplastamiento	298,2572236

En la elipsoide que se muestra en la Figura 2.39 se indica el semieje mayor (a), el semieje menor (b) y la relación de aplastamiento definido por la ecuación:  $\text{aplastamiento} = 1 - (b/a)$ .



**Figura 2.39** Semieje Mayor y Semieje Menor de una Elipsoide [26]

## 2.5 NIVEL DE SEÑAL DE REFERENCIA PARA LA DETECCIÓN DE ZONAS DE SOMBRA [9]

El área de cobertura se establece para una superficie geográfica definida por la intensidad de campo eléctrico necesaria para una adecuada recepción; la unidad de medición de intensidad de campo eléctrico es el uV/m (microvoltio por metro), con su correspondiente escala logarítmica dBuV/m debido a que en la práctica los valores recibidos son muy pequeños. En el apartado 1.2.4.1 se indica que el mínimo nivel requerido de intensidad de campo eléctrico es 51 dBuV/m y valores que encuentren por debajo de aquel umbral serán considerados como zonas de sombra, de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica para el servicio de radiodifusión de TDT en el Ecuador.

Para determinar el nivel de señal en un determinado punto del área de servicio mediante valores de intensidad de campo eléctrico, básicamente, existen dos métodos: gráfico y analítico.

El método gráfico está basado en curvas estadísticas de propagación que fueron desarrolladas a mediados del siglo XX. En cambio, el método analítico consiste en un cálculo asistido por computadora mediante la aplicación de un software especializado que disponga de características topográficas del terreno y bases de datos completas que incluya las curvas estadísticas.

La ecuación matemática indicada en 2.7 permite obtener la intensidad de campo eléctrico a partir de la tensión medida por el instrumento. Acotando que la expresión situada entre las llaves, se conoce como factor de antena<sup>39</sup> (AF) y será explicada en el ítem 2.5.1.

$$E \left[ \frac{dB\mu V}{m} \right] = V[dB\mu V] + \left\{ A[dB] - G[dBi] + 20 \log_{10} \left( 2\pi \sqrt{\frac{73}{Z[\Omega]}} \right) - 20 \log_{10} \left( \frac{300}{f[MHz]} \right) \right\} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

---

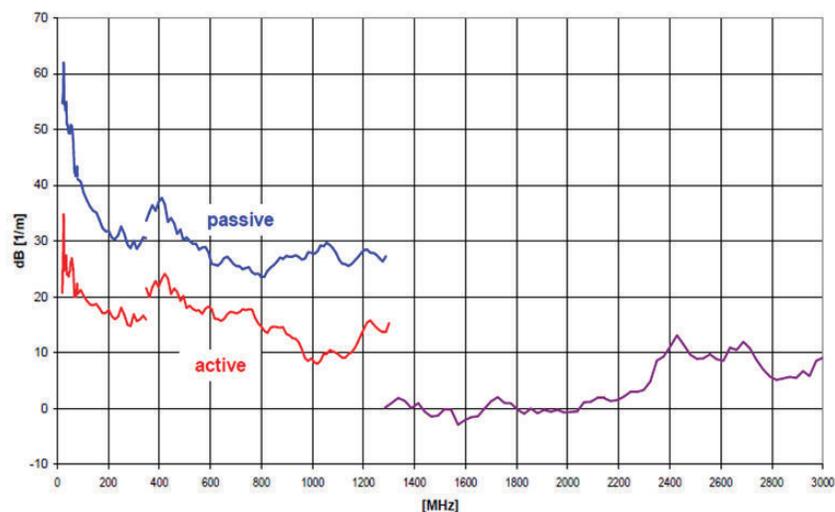
<sup>39</sup> Factor de Antena: Es la relación entre el campo eléctrico fuerza y la tensión inducido a través de los terminales de la antena [23]

- E: Valor de intensidad de campo recibido.
- V: Tensión medida en el instrumento.
- G: Ganancia de la antena respecto a la isotrópica, dada por  $G(\text{dBi}) = 2,15 + G$ .
- A: Atenuación de la línea de transmisión.
- f: Frecuencia central del canal.
- Z: Impedancia (75 o 50)  $\Omega$ .

### 2.5.1 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE ANTENA PARA CADA PORTADORA CENTRAL TDT

En este apartado se describe el método mediante el cual se determina el factor de antena para cada portadora central de televisión digital terrestre, útil para realizar el proceso de conversión de dBm a dBuV/m y viceversa.

Como se indicó en el apartado 2.2.1.2, se utilizó la antena ADD295 en los equipos de medición para el desarrollo del presente proyecto y de acuerdo a la información proporcionada en el *datasheet* de mencionada antena, se obtiene la Figura 2.40, la cual es permite determinar el factor de antena para cada canal TDT; resultados que se indican en la Tabla 2.6.



**Figura 2.40** Factor de Antena de la Antena ADD295 [32]

**Tabla 2.7** Factor de Antena para la portadora central de cada canal TDT

Canal	Portadora Central TDT	Factor de Antena
26	545,14286	15
30	569,14286	17
32	581,14286	18
34	593,14286	19
36	605,14286	17
39	623,14286	18
41	635,14286	16
43	647,14286	16
45	659,14286	15

### 2.5.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES DE dBm A dBuV/m [9] [29]

Entre los equipos más utilizados para medir la intensidad de campo está el analizador de espectro, el mismo que también mide la potencia desarrollada por la señal en su entrada y está expresada, por lo general, en dBm.

Los equipos utilizados en el presente proyecto permiten efectuar mediciones de intensidad de campo expresadas en dBuV/m y mediciones de potencia en unidades de dBm. Sin embargo, estos equipos no permiten trabajar con las dos unidades simultáneamente al momento de efectuar las mediciones. Es por ello que se debe realizar un estudio acerca de la conversión de unidades de dBm a dBuV/m y viceversa.

Se tiene en cuenta que dBm es una unidad de potencia, por lo tanto la conversión a tensión dependerá del valor de la impedancia de entrada. 0 dBm equivale a una tensión de  $108,75 \text{ dB}\mu\text{V}$ , para impedancias de 75 ohms y para impedancias de 50 ohms, 0 dBm equivale a una tensión de  $107 \text{ dB}\mu\text{V}$ . Se pretende interpretar lo dicho para un sistema de  $50 \Omega$ , mediante la Ecuación 2.8.

$$\text{dBm} = \text{dBuV} - 107 \quad (\text{Ec. 2.8}) [29]$$

Donde:

AF: Factor de Antena

dBuV: Unidad de medición de la tensión en la entrada del receptor.

dBm: Relación en decibelios de Watts a un milliwatt.

Para realizar el proceso de conversión de dBm a dBuV/m, se emplea las ecuaciones 2.6 y 2.7; A continuación se realiza un ejemplo que permita clarificar el entendimiento.

***Ejemplo de conversión de unidades de dBm a dBuV/m***

La potencia recibida en un punto del área de servicio, destinado a televisión digital terrestre del canal 26 medido con un equipo analizador de espectro cuya antena es la ADD295, corresponde a un valor igual a -45,05 dBm y se desea conocer su equivalente en dBuV/m, asumiendo que la impedancia de entrada es de 50 ohms; se efectúa el siguiente procedimiento:

1.\_Reemplazar los datos en la ecuación 2.9

$$dBuV = dBm + 107$$

$$dBuV = -45,05 + 107 = 61,95$$

2.\_Reemplazar el resultado obtenido en dBuV en la siguiente ecuación y utilizar el factor de antena correspondiente al canal 26, que se indica en la tabla 2.4.

$$\frac{dBuV}{m} = dBuV + AF$$

$$\frac{dBuV}{m} = 61,95 + 15 = 76,95$$

Entonces, -45,05 dBm equivale a 76,95 dBuV/m.

## CAPITULO 3

### PROCESAMIENTO DE DATOS DE MEDICIÓN

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Una vez recolectadas las medidas (mediciones estáticas y dinámicas) correspondiente a las bandas de frecuencia de canales TDT que operan actualmente en la ciudad de Quito, se realiza el procesamiento de datos.

Así pues, este procesamiento consta de una fase previa al tratamiento de datos en MATLAB, el cual corresponde al procesamiento de datos en Excel, como se indica en la Figura 3.1.

En MATLAB se utilizan funciones para procesar los datos, se programa una fase de cálculo que estima el polígono de la zona en la cual se realiza la interpolación, se generan las representaciones gráficas<sup>40</sup>. Además, se definen varios aspectos importantes como el algoritmo de interpolación a utilizar, los umbrales máximos y mínimos de nivel de intensidad de campo y MER, extracción de puntos interpolados y sistema de posicionamiento.



**Figura 3.1** Diagrama de Bloques General del Procesamiento de Datos

<sup>40</sup> Representaciones gráficas: Se refieren a la aplicación de los algoritmos de interpolación sobre la zona de medición, las cuales son visualizadas en MATLAB y en Google Earth.

### 3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS EN EXCEL

Este procesamiento es de mayor utilidad para las mediciones dinámicas, es decir, aquellas obtenidas mediante el Drive Test utilizando la Estación Móvil del SACER, debido al gran volumen de datos obtenidos. Para tal caso, la información a procesar, es la siguiente: nivel de señal (intensidad de campo eléctrico), posición geográfica (longitud y latitud) y altitud en cada punto de medición; estos datos son exportados a Excel desde el software ARGUS de la Estación Móvil del SACER, los cuales se presentan con el formato indicado en la Tabla 3.1:

**Tabla 3.1** Formato de Datos exportados a Excel desde el software ARGUS

Tiempo	Frecuencia	Level	Longitud	Latitud	Altitud (m)
Fecha + Hora	MHz	dBuV/m	Longitud	Latitud	m
44:42.7	545.14286	56	078°28'09,5"W	00°07'17,6"S	2951.3

Para que MATLAB pueda leer esos valores y sea factible el tratamiento de datos, las coordenadas geográficas de longitud y latitud (expresadas inicialmente en formato de texto) deben ser cambiadas a valores numéricos en grados. Pero no es conveniente realizar la conversión manualmente, es decir, uno por uno. Al respecto, se utiliza herramientas proporcionadas por Excel que permiten simplificar este proceso, como son las funciones IZQUIERDA<sup>41</sup> y EXTRAER<sup>42</sup>.

La función IZQUIERDA se utilizó para extraer el valor de grados, ubicado a la izquierda de los elementos que conforman la coordenada geográfica y la función EXTRAER se utilizó para extraer el valor de minutos y segundos, ubicado en el centro y a la derecha, respectivamente, de los elementos que conforman la coordenada geográfica.

<sup>41</sup> Función IZQUIERDA: Permite obtener letras o números que forman una cadena de texto, ubicados a la izquierda de la misma, dependiendo de la cantidad de caracteres que se han especificado. Para ello, se fija la celda de la cual se desea extraer los caracteres y separar por medio de una coma el número caracteres que se desea obtener de la cadena de texto.

<sup>42</sup> Función EXTRAER: Permite extraer caracteres de una cadena de texto. Para ello, se debe especificar el número de caracteres que deseamos obtener y su punto de inicio dentro de la cadena de texto [23].

### 3.2.1 PROCESO DE CONVERSIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LONGITUD EN EXCEL

A continuación se realiza una ejemplificación con las coordenadas de longitud obtenidas como dato en la ejecución de la medición, acotando que el proceso para las coordenadas de latitud es el mismo.

Se tiene la coordenada 078°28'09,5"W, la cual ya ha sido transformada a decimal como se indica en el parámetro de Longitud Final de la Figura 3.2.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1												
2												
3		Tiempo	Frecuencia	Level	Longitud							
4	Fecha + Hora	MHz	dBμV/m	Longitud	Grados	Grados mod	Minutos	Min modifi	Segundos	Segundos mod	Longitud	Longitud Final
5	53:38,0	647,14286	78,46	078°28'14,4"W	078	78	28	28	14,4	14,4	78,470667	-78,4706667

**Figura 3.2** Conversión de coordenada de Longitud

- 1.\_ Se utiliza la función IZQUIERDA para extraer los números correspondientes a los grados. En vista que son tres caracteres ubicados en la celda F5, a la izquierda de la cadena de texto, se utiliza la función IZQUIERDA(F5,3).
- 2.\_ Ahora, mediante la siguiente sintaxis: EXTRAER(F5,5,2), se extrae los 2 caracteres correspondientes a minutos ubicados en la celda F5, que empiezan a partir del carácter número 5.
- 3.\_ Del mismo modo, para obtener los segundos se utilizó la función EXTRAER, mediante la siguiente sintaxis EXTRAER(F5,8,4).
- 4.\_ Se transforma los grados, minutos y segundos en valores numéricos, cada uno de ellos ubicados en Grados mod, Min modifi y Segundos mod respectivamente.
- 5.\_ Se efectúa la Ecuación 3.1, para expresar la coordenada geográfica de longitud en unidades de grados, en el parámetro Longitud de la Figura 3.2.

$$\text{Longitud} = \text{Grados mod} + \left(\frac{\text{Min modifi}}{60}\right) + \left(\frac{\text{Segundos mod}}{360}\right) \quad (\text{Ec. 3.1})$$

- 5.\_ Finalmente se multiplica por -1 a los resultados correspondientes al parámetro Longitud, debido a que la coordenada geográfica está ubicada al Oeste. Para la latitud también se multiplica por -1 ya que los puntos medidos se acentúan al Sur.

### 3.2.2 TABULACIÓN DE DATOS EN EXCEL

Una vez procesado los datos en Excel, se procede a tabular la información obtenida para cada Estación de Televisión, estas tablas se muestran en el ANEXO B.

Los parámetros que intervienen en cada tabla de datos son: ítem, Frecuencia, GPS Longitude, GPS Latitude, Level, Altitud. Como se indica en la Figura 3.3.

	A	B	C	D	E	F
1	Item	Frecuencia [MHz]	GPS Longitude [°]	GPS Latitude [°]	Level [dBuV/m]	Altitud [m]
2	1	623,14286	-78,46761111	-0,123972222	65,9	2968,6
3	2	623,14286	-78,46761111	-0,123972222	64,7	2968,5
4	3	623,14286	-78,46769444	-0,123944444	73,4	2967,8
5	4	623,14286	-78,46805556	-0,123722222	34,2	2969,3
6	5	623,14286	-78,46838889	-0,123555556	32,2	2974,3
7	6	623,14286	-78,46872222	-0,123361111	40,2	2979,9
8	7	623,14286	-78,46897222	-0,123222222	68,2	2984,4
9	8	623,14286	-78,46925	-0,123055556	76,4	2990,3
10	9	623,14286	-78,46961111	-0,122861111	80,8	2996
11	10	623,14286	-78,47005556	-0,122638889	82,4	3000
12	11	623,14286	-78,47036111	-0,122472222	83,8	3002,5
13	12	623,14286	-78,47069444	-0,122277778	69	3003,2
14	13	623,14286	-78,47088889	-0,122388889	78,8	3003,7
15	14	623,14286	-78,47083333	-0,122638889	84,4	3013
16	15	623,14286	-78,47055556	-0,122777778	79,3	3013,7
17	16	623,14286	-78,47047222	-0,122888889	76,6	3014,5
18	17	623,14286	-78,47025	-0,123055556	75,4	3015,8
19	18	623,14286	-78,47002778	-0,123222222	78,2	3012,5
20	19	623,14286	-78,46977778	-0,123361111	75,1	3014,6
21	20	623,14286	-78,46944444	-0,123555556	75,4	3003,6
22	21	623,14286	-78,46913889	-0,123694444	69,2	2994,8
23	22	623,14286	-78,46880556	-0,123888889	85,6	2987,6

**Figura 3.3** Formato de la tabulación de Datos en Excel

- **Ítem:** Se utiliza para enumerar la cantidad de mediciones de nivel de señal en cada posición por canal TDT.
- **Frecuencia:** Es la portadora central del canal TDT.
- **GPS Longitude:** Es la posición de longitud de cada punto de medición, expresada en decimal (grados).
- **GPS Latitude:** Es la posición de latitud de cada punto de medición, expresada en decimal (grados).
- **Level:** Es el nivel de señal para referirse a intensidad de campo eléctrico, expresada en dBuV/m, captada por el equipo de recepción.

- **Altitud:** Es la distancia en metros de cada punto de medición, respecto al nivel de mar.

Nota: las mediciones presentadas en las tablas son el resultado del promedio de mediciones realizadas en distintos días y en diferentes horas.

Las tablas de datos que se guardan en archivos de Excel, están nombradas como prueba1, prueba2, prueba3, prueba4, prueba5, prueba6, prueba7, prueba8, prueba9. Cada una de ellas hace referencia a los nueve canales TDT que operan actualmente en la ciudad de Quito.

Recalcando que se realizaron dos mediciones por días, uno en la mañana y otro en tarde, durante cinco días.

### **3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS EN MATLAB**

En este apartado se expone el procedimiento para la estimación de cobertura mediante el software de simulación de MATLAB. Esta plataforma de desarrollo ha sido seleccionada debido a sus ventajas en cuanto al cálculo computacional y la posibilidad de crear un entorno amigable para el usuario a través de la programación en la interfaz gráfica GUIDE (*Graphical User Interface Development Enviroment*).

#### **3.3.1 REQUISITOS DE SIMULACIÓN**

Los parámetros que se describen a continuación son requisitos que se debe tener en cuenta para simular en MATLAB.

- ✓ Selección de la zona de medición: este parámetro define el lugar en donde se desea realizar el análisis de cobertura, una vez seleccionado se efectúa el dimensionamiento para la zona de medición establecida, procedimiento que se detalla en el apartado 3.3.2.3.
- ✓ Medidas de Intensidad de campo: la recopilación de las medidas de intensidad de campo eléctrico expresadas en dBuV/m obtenidas con los equipos especializados son la base para simular el programa en MATLAB, ya que son

los datos esenciales para estimar el resto de puntos desconocidos evaluados dentro de la zona de medición.

- ✓ Posición Geográfica: la posición geográfica se especifica para cada punto de medición de intensidad de campo eléctrico adquirido mediante un dispositivo GPS que está incluido en los equipos de medición a utilizar.
  
- ✓ Adaptación de Datos a formatos requeridos: los datos adquiridos deben adaptarse al formato que permita a MATLAB procesar la información, específicamente los datos de posición geográfica que vienen expresados en coordenadas geográficas en archivos .xlsx. Estos valores deben ser transformados a coordenadas expresadas en grados decimales mediante una conversión que se realiza en Excel, procedimiento que se explica en el apartado 3.2.1. Además, se realiza la conversión de coordenadas expresadas en WGS84 al sistema de proyección UTM y viceversa para un adecuado procesamiento de los datos que han sido importados a MATLAB.

### **3.3.2 ESTRUCTURA Y DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DE DATOS EN MATLAB**

Una vez recolectadas las medidas de intensidad de campo y MER de cada uno de los canales TDT que operan actualmente en la ciudad de Quito, se realiza la interpolación de puntos mediante la aplicación de los algoritmos de interpolación descritos en el apartado 2.3.

Así pues, en esta sección se explica el código efectuado en MATLAB, que se encarga del procesamiento de datos y de los procesos de interpolación, con el fin de obtener resultados correctos y visibles sobre el mapa de Google Earth.

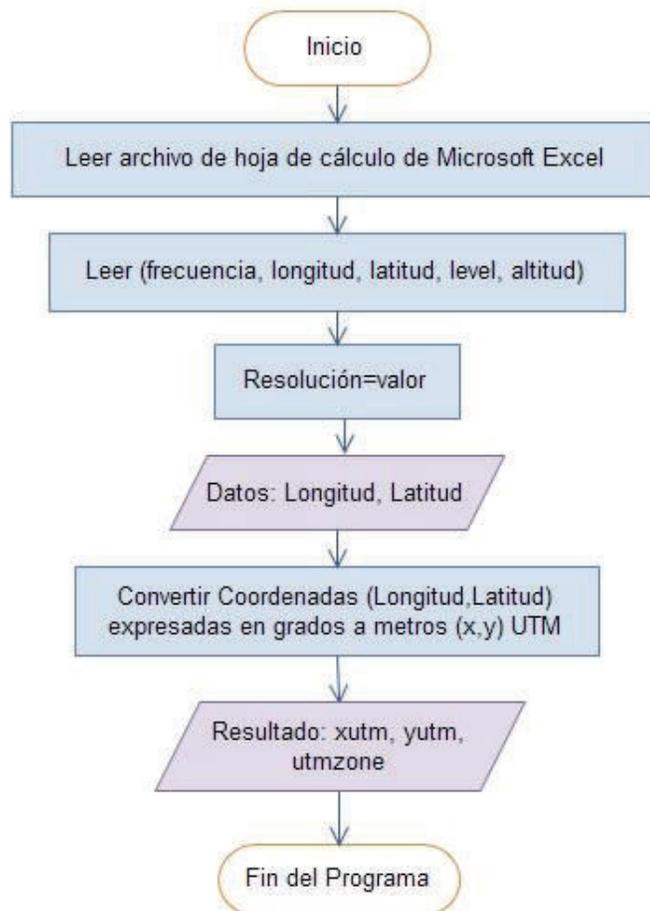
Los códigos desarrollados son expuestos en varias secciones, dado que han sido divididos de acuerdo al funcionamiento que desempeñan de la siguiente manera:

- Importación y adaptación de datos de Excel a MATLAB
  
- Interpolación de datos y definición de los puntos límites del polígono de medición

- Exportación de datos a Google Earth.
- Extracción de valores interpolados.
- Exportación de puntos de posición desde Excel a Google Earth.

### 3.3.2.1 Importación y adaptación de datos de Excel a MATLAB

El diagrama de flujo presentado en la Figura 3.4 indica la fase inicial del procesamiento de datos en MATLAB, la cual consiste en la importación de la información de los puntos medidos desde Excel a MATLAB, este proceso se efectúa mediante el comando `xlsread`, posteriormente se define el valor de la resolución y se transforma las coordenadas de latitud y longitud (expresadas en grados) al formato de coordenadas UTM, esto se logra mediante el comando `wgs2utm`.



**Figura 3.4** Diagrama de flujo de importación de datos y definición de resolución

Los datos experimentales analizados en el presente proyecto, se encuentran tabulados de forma numérica en hojas de cálculo Excel, por tanto, se utiliza el comando `xlsread` para llevar a cabo la importación de los datos desde Excel a MATLAB, mediante la siguiente sintaxis:

```
Variable = xlsread('nombre_archivo')
```

Esta sintaxis permite leer la primera hoja del libro de hojas de cálculo que ha sido guardada con el nombre `nombre_archivo` y devuelve los datos numéricos en una matriz llamada `Variable`.

Se utiliza como ejemplo a la Figura 3.3 correspondiente a la sección 3.2.2 para indicar la hoja de cálculo Excel que es exportada a MATLAB, suponiendo que mencionada hoja de cálculo se guarde con el nombre `prueba2`; se utiliza la sintaxis definida en el párrafo anterior y se obtiene el número de filas y columnas de la matriz datos que se muestra la siguiente sentencia para realizar la importación de los valores contenidos en el archivo de Excel.

```
datos=xlsread('prueba2.xlsx');
```

Una vez realizada la importación de datos de Excel a MATLAB, se crea un código que permita leer los valores de Excel, almacenados en una variable tipo array de MATLAB, donde cada columna de la matriz “datos” corresponde a la respectiva columna del archivo Excel de entrada.

Así pues, el valor de longitud corresponde a la tercera columna del archivo Excel (véase Figura 3.3), por lo tanto, en el siguiente comando se especifica que los valores de todas las filas de la columna 3 se almacenarán en la variable `longitud`.

```
Longitud=datos(1:sizefila,3);
```

De igual forma a lo expuesto en el párrafo anterior, se realizará para la cuarta, quinta y sexta columna que contienen los valores de latitud, level (nivel de intensidad de campo) y altitud, respectivamente.

La resolución a la cual va a interpolar el resto de puntos de intensidad de campo se define con la variable “resolución”, en otras palabras, esta variable corresponde a

la separación entre los puntos de posición a ser interpolados, como ejemplo se indica en el siguiente comando el valor 8 de resolución.

```
Resolución=8;
```

Posteriormente, los vectores Latitud y Longitud recibidos desde la hoja de cálculo de Excel se adaptan a un formato adecuado para la función `TriScatteredInterp()`, es decir, al formato de coordenadas UTM (expresadas en metros). Para ello se utiliza la función `wgs2utm()`, la cual tiene como datos de entrada las coordenadas de latitud y longitud y como resultado se obtiene coordenadas UTM (x,y), expresadas en metros.

La siguiente sintaxis se define en MATLAB para la aplicación de la función `wgs2utm`.

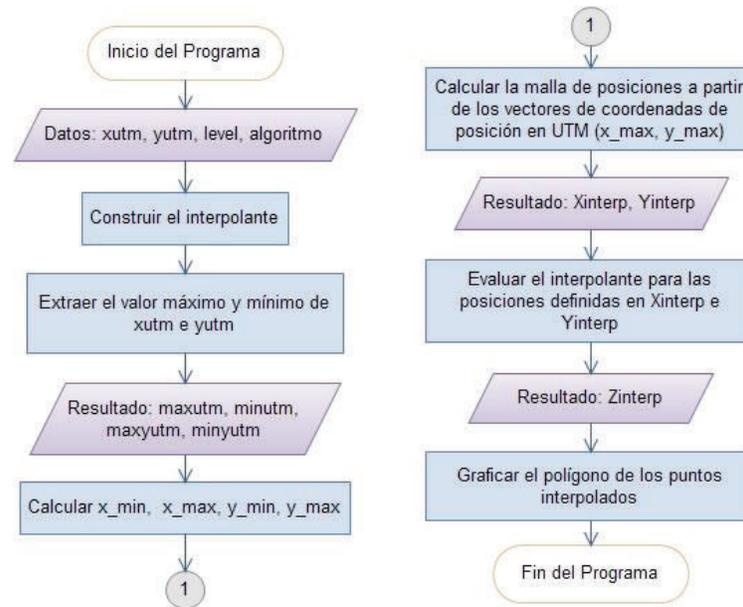
```
[xutm,yutm] = wgs2utm(latitud,longitud);
```

### 3.3.2.2 Interpolación de datos y definición de los puntos límites del polígono de medición

El diagrama de flujo representado en la Figura 3.5, indica el proceso de interpolación de los valores de nivel (intensidad de campo o MER) de acuerdo al algoritmo de interpolación seleccionado y definido en el diagrama de flujo con el nombre de “método”.

Este proceso toma como datos de entrada los valores `xutm`, `yutm`, `level` y `método` para construir la función interpolante (“F”) que será evaluada en la malla de posiciones donde se realizó la medición (`Xinterp` e `Yinterp`), cuyos límites son definidos por `x_max`, `x_min`, `y_max`, `y_min`, dichos límites se calculan en base a los valores `maxutm`, `minutm`, `maxutm,minyutm`, correspondientes a los puntos máximos y mínimos de x,y expresados en coordenadas UTM.

La función escogida en la librería de MATLAB para realizar las estimaciones es `TriScatteredInterp()`, la cual permite la aplicación de los tres algoritmos de interpolación (*Natural*, *Nearest* y *Linear*) estudiados e interpola un conjunto de datos espaciados irregularmente adecuado para las características de nuestro entorno de medición.



**Figura 3.5** Diagrama de flujo de interpolación de datos y definición de los puntos límites de la zona de medición

Para utilizar esta función se debe crear un interpolante mediante la siguiente sentencia:

```
F = TriScatteredInterp(x, y, z 'algoritmo')
```

Donde:

$x, y$ : Corresponden a las posiciones (xutm, yutm) UTM en donde se efectuaron las mediciones.

$z$ : Valor de level (intensidad de campo o MER)

algoritmo: Es el algoritmo de interpolación con el cual se va a efectuar la estimación de valores y pueden ser: *natural*, *linear* o *nearest*.

F: Es el interpolante.

Después se obtiene los puntos “minutm”, “maxutm”, “minyutm”, “maxyutm” mediante las siguientes sentencias declaradas en MATLAB:

```
maxutm=max(xutm); %Valor máximo de la coordenada xutm
```

```
minxutm=min(xutm); %Valor mínimo de la coordenada xutm
```

```
maxyutm=max(yutm); %Valor máximo de la coordenada yutm
```

```
minyutm=min(yutm); %Valor mínimo de la coordenada yutm
```

Una vez obtenidos dichos valores se procede a efectuar el cálculo de los límites del polígono de medición, como se mencionó anteriormente dichos puntos se identifican con los nombres “x\_min”, “x\_max”, “y\_min”, “y\_max”, y son calculados como se explica en el ejemplo detallado a continuación.

Suponiendo que los valores correspondientes a los máximos y mínimos de (x, y) UTM son:

```
maxutm = 782183
```

```
minxutm = 781481
```

```
maxyutm = 9986969
```

```
minyutm = 9985903
```

Como primer paso se restan los valores  $\text{maxutm} - \text{minxutm}$  y  $\text{maxyutm} - \text{minyutm}$ , obteniendo como resultado para x: 702, y: 1066, después se ajusta al resultado de mayor valor para que las dos diferencias coincidan y se forme el polígono. Para ello se debe calcular un nuevo valor de minxutm que permita realizar el ajuste, entonces, resolviendo la diferencia de  $782183 - \text{minxutm} = 1066$  se obtiene el nuevo valor de minxutm = 781117, el cual corresponde al límite x\_min, de esta modo los límites de la malla que formará el polígono son:

```
x_min: 781117
```

```
x_max: 782183
```

```
y_min: 9985903
```

```
y_max: 9986969
```

Por último se crea la malla de posiciones a partir de los límites definidos, empleando la siguiente sentencia:

```
[Xinterp,Yinterp] =
meshgrid(781117:resolucion:782183,9985903:resolucion:9986969);
```

Xinterp e Yinterp son matrices que pueden ser usadas para evaluar funciones de dos variables y graficar superficies. Las filas de la matriz de salida Xinterp son copias del vector x y las columnas de la matriz de salida Yinterp son copias del vector y, el vector x se define por el intervalo de 781117:Resolución:782183 y el vector y se define por el intervalo de 9985903:Resolución:9986969.

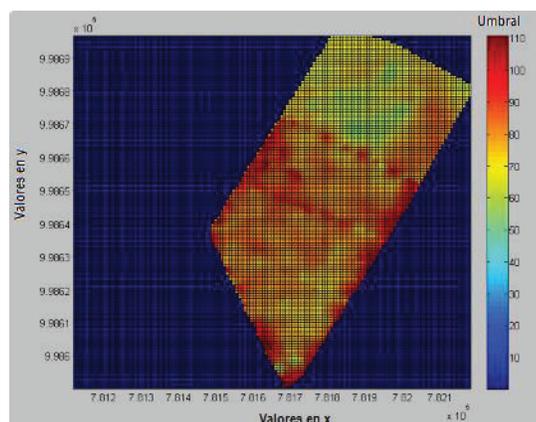
A continuación se evalúa el interpolante representado con la variable “F”, es decir, se procede a obtener el valor interpolado en cada uno de los puntos de posición Xinterp, Yinterp mediante la siguiente sentencia:

```
Zinterp = F(Xinterp,Yinterp);
```

Para graficar los valores interpolados se utiliza la función `pcolor()`, la cual crea una parcela de colores en donde se muestra la correspondencia de cada valor a estimar con un determinado color y su sintaxis se muestra a continuación:

```
pcolor(Xinterp,Yinterp,Zinterp),colorbar;
```

De esta manera, se presenta el polígono (cuadrado) en la Figura 3.6, en el cual se ha aplicado el algoritmo *natural*, y contiene la zona dónde se realizaron las mediciones y en las cuales se seleccionaron los puntos a interpolarse. Cabe recalcar que hasta esta etapa todavía no se fijan los umbrales de color por tal motivo se ha hecho uso del comando `colorbar` para que defina la barra o paleta de colores aleatoriamente.



**Figura 3.6** Ejemplo1: Presentación del polígono de medición en MATLAB

En adición a lo anterior, existe otra función dentro del entorno de MATLAB denominada `imagesc()`, similar a `pcolor()` que permite presentar gráficamente la parcela de colores asignados a valores estimados en MATLAB, acotando que para el uso adecuado de dicha función se requiere invertir el contenido de `Zinterp` mediante la función `flipud()`, cuyas sentencias son las siguientes:

```
Zinterp=flipud(Zinterp);
imagesc(Lon,Lat,Zinterp,[cLimLow,cLimHigh]);
colorbar %Presenta la barra de colores
```

### 3.3.2.3 Exportación de datos a Google Earth

Para exportar los valores obtenidos con la función `TriScatteredInterp()` al entorno del programa Google Earth se requiere instalar el Toolbox de Google Earth en MATLAB (procedimiento que se detalla en el Anexo C), una vez realizada la instalación, se procede a programar en el editor de MATLAB.

El diagrama de flujo de la Figura 3.7, indica el procedimiento que se realiza para exportar los datos desde MATLAB a Google Earth, este procedimiento toma como datos de entrada los límites del polígono de medición (“x\_min”, “x\_max”, “y\_min”, “y\_max”) para definir los vectores `yutmfinal` y `xutmfinal` que son utilizados como argumentos de entrada en la función `utm2deg()` con el propósito de transformar las coordenadas UTM de cada punto que conforma el polígono de medición (puntos a interpolarse) a coordenadas (Latitud y Longitud) expresadas en grados, dado que es el formato que acepta el programa visual Google Earth, además se requiere definir como argumento de entrada en dicha función al huso y a la zona de cada punto de las coordenadas UTM para lo cual se realiza un bucle iterativo. Posteriormente se debe especificar determinados parámetros relacionados con la aparición de los datos en Google Earth, como son: `cLimLow`, `cLimHigh`, `altitudeMode`, `alphaMatrix`, `colorMap`, se invierte el contenido de la matriz `Zinterp` para ello se utiliza el comando `flipud`, de este manera es posible crear el objeto para la visualización de las matrices regulares 2D en Google Earth y finalmente se genera el archivo con extensión \*.KML que muestra la estimación de valores sobre el mapa de Google Earth.

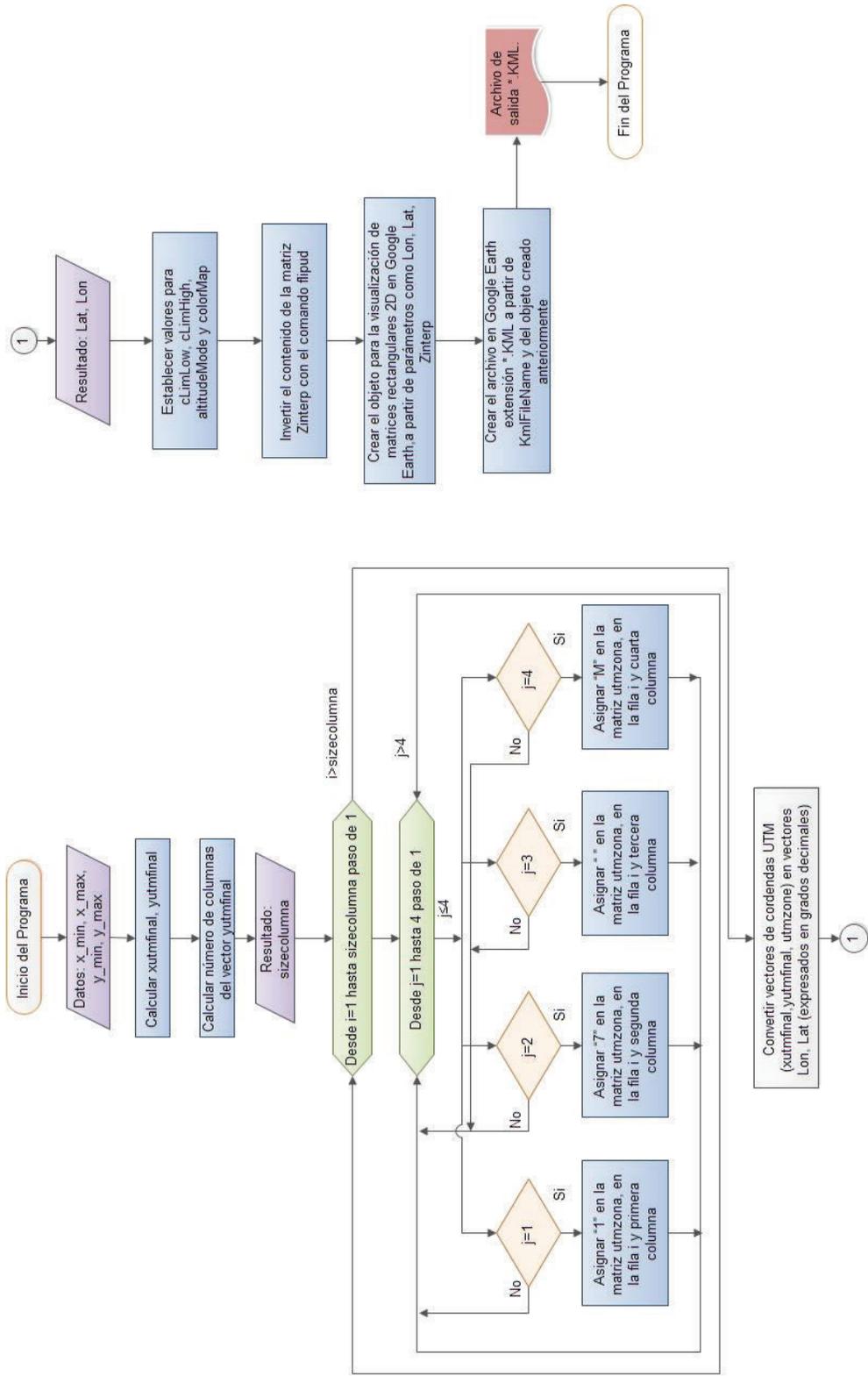


Figura 3.7 Diagrama de flujo para exportación de datos a Google Earth

A continuación se explica con más detalle el procedimiento de exportación de datos a Google Earth.

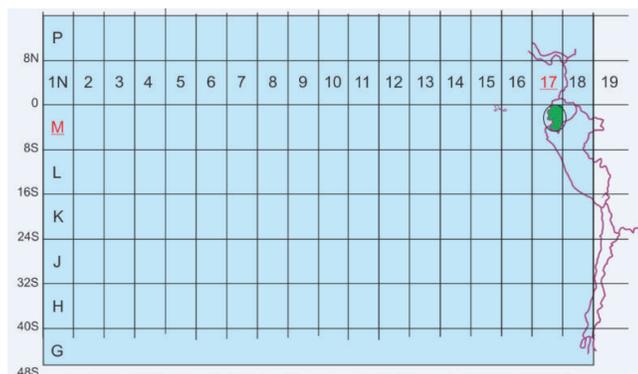
En primera instancia, se define la parrilla de interpolación indicando los límites que contiene a la zona de medición. Para ello, se debe utilizar los mismos límites de x, y obtenidos y utilizados para la función `meshgrid()` en el literal 3.3.3.3, los cuales son:

```
xutmfinal=781117:resolucion:782183;
yutmfinal=9985903:resolucion:9986969;
```

Cabe recalcar que en el presente proyecto se utiliza la versión 7.1 de Google Earth definida como Google Earth Pro, la cual utiliza el datum WGS84 y permite la importación de datos, como coordenadas geográficas, las mismas que deben estar expresadas en (Latitud, Longitud) por tal motivo se utiliza la función `utm2deg()` para transformar las coordenadas que anteriormente se encontraban definidas en formato UTM (utilizadas por `TriScatteredInterp`) a Longitud y Latitud expresadas en grados. La sintaxis para el uso de la función `utm2deg` es la siguiente:

[Lat,Lon] = `utm2deg(x,y,utmzona)`

Donde x e y son los argumentos de entrada definidos por los vectores en coordenadas UTM, y `utmzone` hace referencia al huso y a la banda del sistema UTM, misma que para la zona de medición corresponde a “17 M”, como se observa en la Figura 3.8. Sin embargo, esta variable `utmzone` debe ser un vector de igual longitud que x e y, y como la zona es la misma para todas las coordenadas entonces la variable `utmzone` debe tener el mismo valor en todos sus elementos.



**Figura 3.8** Zona 17 M de Ecuador

Para crear el vector utmzona con el valor “17 M”, se debe recordar que por el contenido se trata de una matriz de texto, en la cual cada símbolo ocupa una columna, por ejemplo la matriz (2x4) es la siguiente:

17 M

25 N

Entonces el símbolo 1 está en la primera fila y primera columna, de igual forma el símbolo 5 estará en la segunda fila y segunda columna, M estará en la primera fila y cuarta columna, el espacio “ ” ocupa la tercera columna.

Conforme a lo anterior, se realiza el siguiente bucle, indicado en el Código 3.1, para asignar el valor de “17 M” a cada fila de la matriz utmzone, cuyo número de filas viene definido por la longitud del vector (número de columnas) yutmfinal o xutmfinal.

El bucle de la matriz utmzone contiene dos lazos for, el primer lazo permite moverse de fila a fila, y el segundo lazo for es para escribir en cada columna su correspondiente valor de “17 M”. En otras palabras, se escribe en la primera columna el valor de “1”, en la segunda columna el valor de “7”, en la tercera un espacio “ ” y en la cuarta “M”; y este procedimiento se repite para todas las filas hasta que la matriz utmzone tenga tantas filas como columnas tiene el vector yutmzone.

```
%Se calcula el vector de zona horaria 17 M
[sizefila,sizecolumna]=size(yutmfinal);
for i=1:1:sizecolumna %barrido de filas
    for j=1:1:4 %barrido de filas
        if j==1
            utmzona(i,j)= '1';
        end
        if j==2
            utmzona(i,j)= '7';
        end
        if j==3
            utmzona(i,j)= ' ';
        end
        if j==4
            utmzona(i,j)= 'M';
        end
    end
end
end
```

**Código 3.1** Bucle para asignar el valor de UTM zona 17M

Posteriormente, el siguiente comando devolverá las coordenadas de cada punto interpolado en coordenadas WGS84.

```
[Lat,Lon] = utm2deg(xutmfinal,yutmfinal,utmzona);
```

Para visualizar la estimación de valores sobre la zona seleccionada (Sector de la Av. Garcés en Quito) en Google Earth se utiliza la herramienta `ge_imagesc()`, la cual emplea una sintaxis que incluye varios parámetros relacionados con los datos que se desea observar en Google Earth. A continuación, se describe brevemente las características de los parámetros que se han utilizado:

- 'AlphaMatrix': Su valor oscila entre 0 y 1, indicando transparencia cuando es 0 y conforme se acerca a 1 opacidad.
- 'ImgURL': Contiene la ruta de la imagen creada.
- 'CLimLow': Define el umbral de valor mínimo designado a un determinado color, el cual es posible apreciarlo por medio de la barra de colores.
- 'CLimHigh': Indica el umbral máximo de intensidad de campo, por medio de la barra de colores.
- 'AltitudeMode': Indica el plano de referencia a utilizar, en este caso se utilizó `relativeToGround`.

Los valores utilizados son los siguientes:

```
cLimLow = 51;
cLimHigh = 100;
AltitudeMode = relativeToGround;
alphaMatrix = 0.5;
```

El comando `ge_imagesc` realiza algo similar a `pcolor`, es decir, permite mapear los valores de level a un determinado color para cada coordenada de posición. Sin embargo, `ge_imagesc` no despliega la imagen en el entorno de MATLAB, sino que genera un objeto que puede ser exportado a un archivo \*.KML de Google Earth. Para el uso adecuado de este comando `ge_imagesc` es necesario invertir el

contenido de la matriz `Zinterp`, volteándolo en la dirección arriba-abajo, de la misma manera que se realizó con el comando `imagesc` se aplica el comando `flipud`, de la siguiente forma:

```
Zinterp=flipud(Zinterp);
```

Adicionalmente se especifica el mapa de color a utilizar, utilizando el siguiente comando:

```
cmap = 'jet'; %Especifica el mapa de color a utilizar.
colormap(cmap)
```

Posteriormente se almacena el objeto creado por `ge_imagesc` en una variable “output” y se asigna los valores para cada uno de los parámetros mencionados en párrafos anteriores, mediante el Código 3.2.

```
output = ge_imagesc(Lon,Lat,Zinterp,...
                   'imgURL','conpuntos2.png',... %Se crea el
archivo de imagen
                   'cLimLow',cLimLow,...
                   'cLimHigh',cLimHigh,...
                   'altitude',relativeToGround,...
'altitudeMode','absolute',...
                   'colorMap',cmap,...
                   'alphaMatrix',alphaMatrix);
```

**Código 3.2** Ejemplo: Desarrollo de la Función `ge_imagesc`

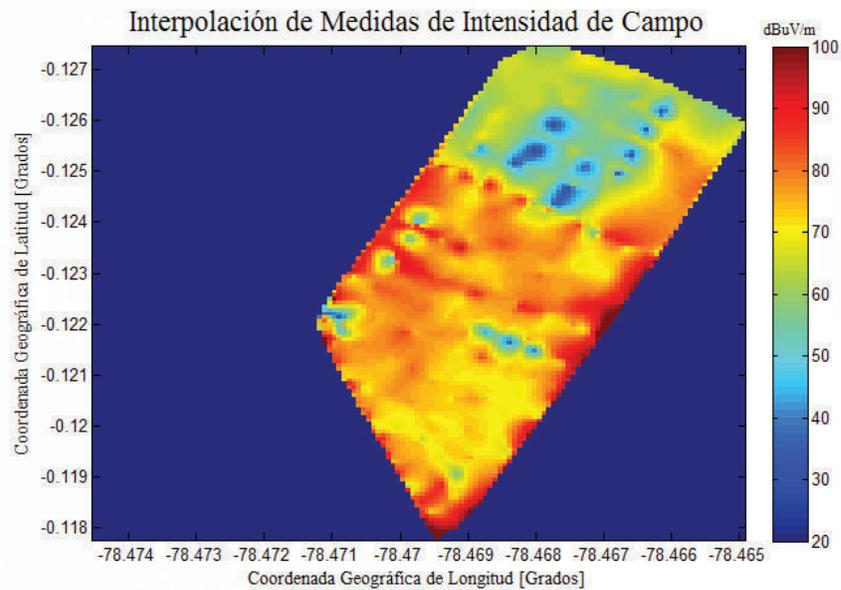
Mediante el Código 3.3 se genera un archivo \*.KML, el cual permite visualizar el mapa a color de intensidad de campo en Google Earth. Para ello se debe especificar el nombre del archivo y el objeto (generado por `ge_imagesc`) que se debe presentar en mencionado archivo de google Earth.

```
kmlFileName = 'conpuntos2.kml';
ge_output(kmlFileName,output);
```

**Código 3.3** Ejemplo: Generación del Archivo \*.KML

La Figura 3.9 muestra la estimación de valores “level” correspondientes a las medidas de intensidad de campo mediante la aplicación del algoritmo de interpolación natural en MATLAB. En la parte derecha se tiene a la barra de colores

indicando los valores de intensidad de campo a la que representa la tonalidad de cada color, estos valores están expresados en dBuV/m.



**Figura 3.9** Ejemplo1: Interpolación de medidas de Intensidad de Campo en MATLAB

En la Figura 3.10 se muestra la estimación de valores de intensidad de campo sobre la cual se aplicaron los algoritmos de interpolación en el mapa de Google Earth



**Figura 3.10** Ejemplo1: Interpolación de medidas de Intensidad de Campo en Google Earth

### 3.3.2.4 Extracción de valores interpolados

La extracción de los valores interpolados en MATLAB permite al usuario tener conocimiento del resultado de los valores estimados, sin haber realizado mediciones fijas en aquellos puntos. Para este propósito se realiza un código en el software de MATLAB, el cual exporta los valores interpolados a Excel, con su respectiva posición geográfica expresada en grados correspondiente a Latitud y Longitud.

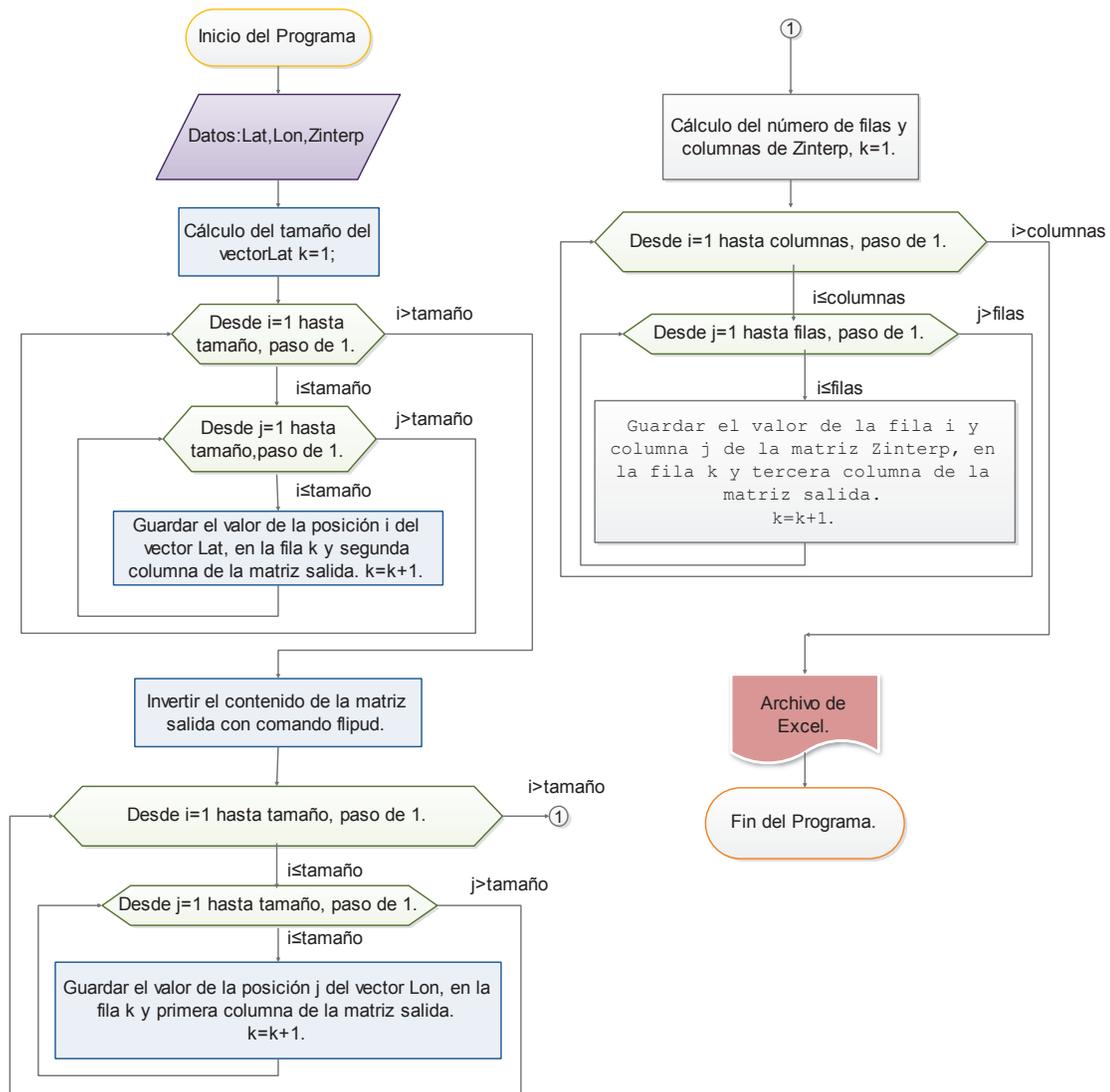


Figura 3.11 Diagrama de flujo para la extracción de datos interpolados

El diagrama de flujo representado en la Figura 3.11 indica el procedimiento efectuado en MATLAB, para lo cual se realizaron bucles interactivos que tomen en cuenta la posición de los puntos interpolados con su respectivo valor de level (intensidad de campo o MER), obteniendo los resultados en hojas de cálculo de Excel.

En primer lugar se calcula el tamaño del vector Lat obtenido en la sección 3.3.2.4, para ello se utiliza la función `size()`, que devuelve una matriz con el tamaño de filas y columnas, de las cuales se escoge el valor del número de filas mediante los siguientes comandos:

```
tamano=size(Lat);
```

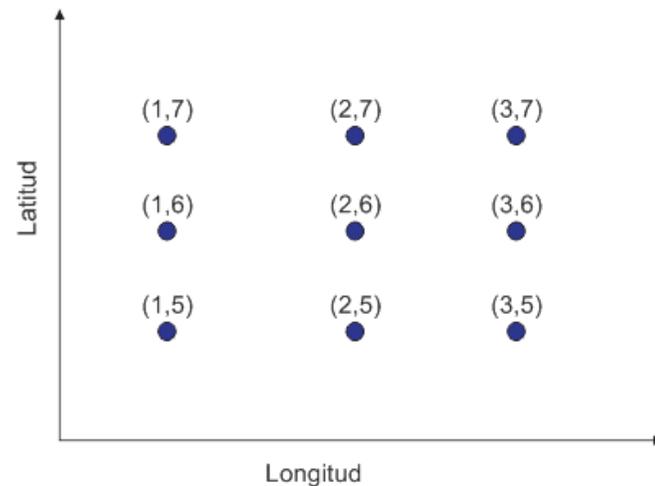
```
tamano=tamano(1);
```

Los valores de longitud, latitud y nivel de señal se almacenarán en la primera, segunda y tercera columna de la matriz salida, respectivamente. Cabe recalcar que los valores interpolados tienen un comportamiento de malla, es decir, hay un conjunto de coordenadas que comparten un mismo valor de longitud o latitud.

Por ejemplo, la Figura 3.12, ilustra una malla simple de 3x3 con el formato de (longitud, latitud), donde se observa que a pesar que el vector Longitud o Latitud no tiene sus elementos repetidos, en la malla que se genera para `TriScatteredInterp` con `meshgrid` en el literal 3.3.3.3, estos terminan teniendo puntos que comparten un mismo valor de longitud ( 1,5; 1,6; 1,7) o un mismo valor de latitud (1,7; 2,7; 3,7).

```
Longitud=[1,2,3]
```

```
Latitud=[5,6,7]
```



**Figura 3.12** Malla Simple 3x3, longitud-latitud

Para representar cada uno de los puntos de coordenadas pertenecientes a la malla, se utiliza como base a los vectores Lon y Lat, y se emplea un bucle para los valores de latitud. Para ello, primero se define una variable auxiliar “k”, inicializando en k=1, que permitirá incrementar el número de filas correspondiente a la columna 2 del vector salida (columna de los valores de latitud).

Se utiliza dos lazos for, como se muestra en el Código 3.4, el primer lazo selecciona uno por uno los elementos del vector latitud y mediante el segundo lazo (lazo interno) se repite este valor tantas veces como tamaño tenga el vector Longitud (de igual tamaño que el vector latitud). Un ejemplo de las iteraciones se encuentra en la Tabla 3.2, donde se observa que para el valor de i=1 (primera iteración del lazo for principal) el primer elemento del vector Latitud (-0.11) se repite tantas veces como elementos tiene el vector Longitud.

```

for i=1:1:tamano
    for j=1:1:tamano
        salida(k,2)=Lat(i); % salida(k,n)=salida(1,2),
        porque los valores de latitud exportados a Excel
        empiezan en la fila 1 y la columna 2
        k=k+1; % incrementa el valor de k, es decir, de
        filas. Conforme a los datos de Latitud obtenidos
    end
end
end

```

**Código 3.4** Bucle para la extracción de la coordenada de Latitud de los puntos interpolados

A causa del procedimiento a realizarse, los resultados de la columna Latitud deben ser invertidos mediante el comando `flipud`, para posicionar los puntos de manera correcta, mediante la siguiente sintaxis:

```
salida=flipud(salida);
```

En el caso de los valores de longitud, se utiliza igualmente la variable auxiliar “k”, inicializando en  $k=1$ , que permitirá incrementar el número de filas correspondiente a la columna 1 del vector salida (columna de los valores de longitud). De igual forma se utiliza dos lazos for, el lazo for interno permite seleccionar uno por uno los elementos del vector longitud y almacenarlos en la primera columna del variable “salida”, cuyo procedimiento se repite tantas veces como elementos tenga el vector latitud( igual tamaño que el vector longitud).

En la columna de Longitud de la Tabla 3.2, se ejemplifica el procedimiento expuesto mediante el Código 3.5, en donde, durante la primera iteración del bucle principal, el segundo bucle almacena de uno en uno todos los valores del vector longitud. Después, se repite exactamente hasta terminar el número de iteraciones del bucle principal (igual al tamaño del vector longitud).

```
for i=1:1:tamano %barrido de filas
    for j=1:1:tamano %barrido de filas
        salida(k,1)=Lon(j);
        k=k+1;
    end
end
```

**Código 3.5** Bucle para la extracción de la coordenada de Longitud de los puntos interpolados

Finalmente, se almacena el valor interpolado (level), obtenido a partir de la matriz `Zinterp`, mediante la sintaxis indicada a continuación. Para este caso, es una matriz el origen de los datos, por lo cual se debe determinar primero su número de columnas y filas (son de igual tamaño porque es una matriz de  $n \times n$ ).

```
tamano=size(Zinterp);
```

```
filas=tamano(1);
```

```
columna=tamano(1);
```

De igual forma a lo mencionado anteriormente, se utiliza una variable auxiliar “k” que permitirá incrementar el número de filas correspondiente a la columna 3 del vector salida (columna de los valores interpolados).

Para este caso, se utiliza también dos lazos for, expuestos en el Código 3.6, cuyo lazo for interno permite seleccionar uno por uno los elementos de todas columnas de la matriz Zinterp pertenecientes a una misma fila e irlos almacenando en la tercera columna de la matriz Salida. El lazo for principal permite repetir el procedimiento anterior tantas veces como filas tenga la matriz Zinterp.

```
for i=1:1:filas %barrido de filas
    for j=1:1:columna %barrido de
    columnas
        salida(k,3)=Zinterp(i,j);
        k=k+1;
    end
end
```

**Código 3.6** Barrido de filas y columnas para extracción de puntos interpolados

Visualizando la Tabla 3.2, es posible apreciar lo siguiente:

Al ejecutarse cada iteración  $i$ , durante el bucle de  $j$ , se realiza un barrido de los valores de Longitud en un mismo punto de latitud. Cada valor de longitud cambia dentro de cada iteración, porque depende de  $j$  y la variable  $k$  indica el número de fila a la cual corresponde cada valor de Longitud, Latitud, Zinterp.

Longitud, Latitud y Zinterp, las cuales conforman una matriz de 4x4 cada una, donde Zinterp representa los valores interpolados y ubicados en su respectiva posición de Longitud y Latitud.

**Tabla 3.2** Exportación de valores interpolados a Excel

		Longitud	Latitud	Zinterp	
i=1	j=1	-78,47	-0,11	64,00671046	k=1
	j=2	-78,57	-0,11	63,96597437	k=2
	j=3	-78,67	-0,11	64,26756479	k=3
	j=4	-78,77	-0,11	64,66096904	k=4
i=2	j=1	-78,47	-0,12	65,06577511	k=5
	j=2	-78,57	-0,12	65,47058117	k=6

	j=3	-78,67	-0,12	65,86235962	k=7
	j=4	-78,77	-0,12	66,1875994	k=8
i=3	j=1	-78,47	-0,13	66,00855572	k=9
	j=2	-78,57	-0,13	67,52082733	k=10
	j=3	-78,67	-0,13	65,21831175	k=11
	j=4	-78,77	-0,13	64,3862094	k=12
i=4	j=1	-78,47	-0,14	63,626237	k=13
	j=2	-78,57	-0,14	63,626237	k=14
	j=3	-78,67	-0,14	63,68768082	k=15
	j=4	-78,77	-0,14	64,00478006	k=16

### 3.3.2.5 Exportación de puntos de posición desde Excel a Google Earth

Para el desarrollo del presente trabajo es necesario verificar que la ubicación de las coordenadas adquiridas con el equipo de medición pertenezcan a la zona de interés, para ello se ha realizado un código en MATLAB que permite indicar las mediciones de posición sobre el mapa de Google Earth.

Como ejemplo, en la Tabla 3.3 se muestra 37 puntos de medición, los cuales se desea exportarlos al mapa visual de Google Earth. Dichos puntos han sido guardados en un archivo de Excel con el nombre "posición\_puntos" y el formato de sus coordenadas de longitud y latitud están expresadas en grados.

**Tabla 3.3** Archivo en Excel: posición\_puntos

Item	GPS Longitude	GPS Latitude
1	-78,46843046	-0,120174784
2	-78,46834966	-0,120174784
3	-78,46826887	-0,120174784
4	-78,46818808	-0,120174784
5	-78,46810728	-0,120174784
6	-78,46802649	-0,120174784
7	-78,46794569	-0,120174784
8	-78,4678649	-0,120174784
9	-78,46778411	-0,120174784
10	-78,46770331	-0,120174784
11	-78,46762252	-0,120174784
12	-78,46754173	-0,120174784
13	-78,46746093	-0,120174784
14	-78,46738014	-0,120174784
15	-78,46729934	-0,120174784
16	-78,46721855	-0,120174784
17	-78,46713776	-0,120174784

18	-78,46705696	-0,120174784
19	-78,46697617	-0,120174784
20	-78,46689537	-0,120174784
21	-78,46681458	-0,120174784
22	-78,46673379	-0,120174784
23	-78,46665299	-0,120174784
24	-78,4665722	-0,120174784
25	-78,46649141	-0,120174784
26	-78,46641061	-0,120174784
27	-78,46632982	-0,120174784
28	-78,46624902	-0,120174784
29	-78,46616823	-0,120174784
30	-78,46608744	-0,120174784
31	-78,46600664	-0,120174784
32	-78,46592585	-0,120174784
33	-78,46584505	-0,120174784
34	-78,46576426	-0,120174784
35	-78,46568347	-0,120174784
36	-78,46560267	-0,120174784
37	-78,46552188	-0,120174784

Es conveniente que la exportación de los puntos de posición al mapa de Google Earth se efectúe de manera automática para ahorrar tiempo y evitar ingresar las coordenadas de manera manual. Para ello, se utiliza el software computacional MATLAB como intermediario entre Excel y Google Earth, de tal forma que las coordenadas expresadas en grados decimales que se encuentran almacenadas en el archivo de Excel, puedan ser ubicadas en el mapa de Google Earth. Esto se logra mediante la ejecución del Código 3.7 realizado en el editor de MATLAB.

```
datos=xlsread('posición_puntos.xlsx');
longitud=datos(1:sizefila,2); %Segunda
columna
latitud=datos(1:sizefila,3); %Tercera
columna
```

**Código 3.7** Ejemplo2: Importación de coordenadas de longitud y latitud a MATLAB

La función a utilizarse para la exportación de los puntos a Google Earth es `ge_point()`, misma que permite visualizar puntos en tercera dimensión. La sintaxis de esta función se expone a continuación:

```
tmp = ge_point(longitud,latitud,altitud,...
               'iconURL','icon35.png');
```

Donde `IconURL` contiene la ruta de la imagen que será utilizada como representación del punto en Google Earth, la cual se indica en la Figura 3.13.



**Figura 3.13** Icon35.png

El vector `altitud` debe tener la misma longitud que los vectores importados de Excel, (`longitud` y `latitud`); por ello se realiza el siguiente bucle, indicado en el Código 3.8, el cual permite crear un vector `altitud` de igual longitud al vector `latitud` y con el valor de 2950 en cada uno de sus elementos.

```
[sizefila,sizecolumna]=size(latitud);
for i=1:1:sizefila %Barrido de columnas
    altitud(i,1)=2950; %Establecimiento
del valor de altitud
end
```

**Código 3.8** Ejemplo2: Definición de la altitud

Finalmente se genera un archivo `*.KML` que permite visualizar la ubicación de los puntos de medición en Google Earth. Para ello, se debe especificar el nombre del archivo y la variable que contiene la ubicación de puntos medidos, como se muestra en la siguiente sintaxis:

```
ge_output('puntos_medidos.kml',tmp);
```





Para cuantificar el porcentaje de error en la estimación, se emplea el denominado error relativo, el mismo que corresponde al cociente entre el error absoluto y la medición estática o valor real como se indica en la Ecuación 3.2.

$$\text{Error Relativo} = \frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor Real}} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$\text{Error Absoluto} = \text{Valor estimado} - \text{Valor Real} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

### 3.4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL CÁLCULO DE ERROR

La Tabla 3.4 indica el porcentaje de error que se obtuvo en cada medición mediante la aplicación de los tres A.I (Algoritmos de Interpolación).

**Tabla 3.4** Porcentaje de Error de Valores Interpolado con cada Algoritmo de Interpolación

Vr	A.I Natural		A.I Linear		A.I Nearest	
	Vi	Error [%]	Vi	Error [%]	Vi	Error [%]
80,5	88,2	9,60	89,8	11,6	94,2	17,02
92	90,1	2,06	91,8	0,2	94	2,17
76,3	87,2	14,27	96,6	26,6	101,5	33,03
77,6	82,2	5,94	75,6	2,6	69,6	10,31
94,3	80,4	14,70	72,4	23,2	77,3	18,03
73,4	79,4	8,17	76,8	4,7	78	6,27
72,9	78,4	7,61	76,6	5,1	80	9,74
75,2	78,1	3,83	76,0	1,1	78	3,72
72,4	80,1	10,60	76,1	5,1	77,3	6,77
75,7	75,5	0,24	72,3	4,4	77,5	2,38
71,3	75,0	5,17	72,8	2,0	75,2	5,47
83,8	86,7	3,42	86,8	3,6	85,8	2,39
72,1	80,4	11,55	79,1	9,7	74,1	2,77
67,1	78,9	17,56	74,8	11,5	74,1	10,43
75,6	76,2	0,85	74,3	1,7	71,6	5,29
82,1	76,4	6,94	73,7	10,2	79	3,78
75,1	77,0	2,56	73,4	2,3	81,6	8,66
86,3	79,0	8,45	75,4	12,6	74,1	14,14
76,3	77,3	1,32	75,1	1,6	74,1	2,88
77,5	76,4	1,44	74,7	3,6	81,6	5,29
80,2	77,5	3,35	74,1	7,6	81,6	1,75
94,3	89,8	4,73	91,5	3,0	91,2	3,29
77,1	81,3	5,42	72,6	5,9	74,1	3,89
78,6	79,0	0,52	76,0	3,4	74,1	5,73
79,2	76,8	3,08	75,4	4,8	78	1,52

63,8	68,4	7,18	68,4	7,2	73,2	14,73
69,9	65,5	6,28	65,0	7,1	63,9	8,58
59,1	63,2	6,99	60,0	1,5	50	15,40
67,8	72,2	6,50	71,0	4,7	73,2	7,96
76,2	70,7	7,20	72,2	5,2	73,2	3,94
65,2	68,9	5,74	69,8	7,1	73,2	12,27
66,3	64,7	2,37	66,1	0,3	62,2	6,18
65,5	64,4	1,63	66,2	1,1	62,2	5,04
61,8	65,1	5,40	65,9	6,7	62,2	0,65
57,7	66,4	15,06	65,6	13,6	63,9	10,75
68,6	70,5	2,73	68,3	0,5	68,9	0,44
68,2	73,8	8,27	86,9	27,4	52	23,75
73	73,8	1,07	86,8	18,8	62,7	14,11
70,7	74,1	4,86	82,5	16,7	73,5	3,96
68,5	74,2	8,38	68,5	0,0	56	18,25
70,2	74,8	6,55	69,6	0,9	73,5	4,70
66,6	76,7	15,13	72,0	8,0	96,1	44,29

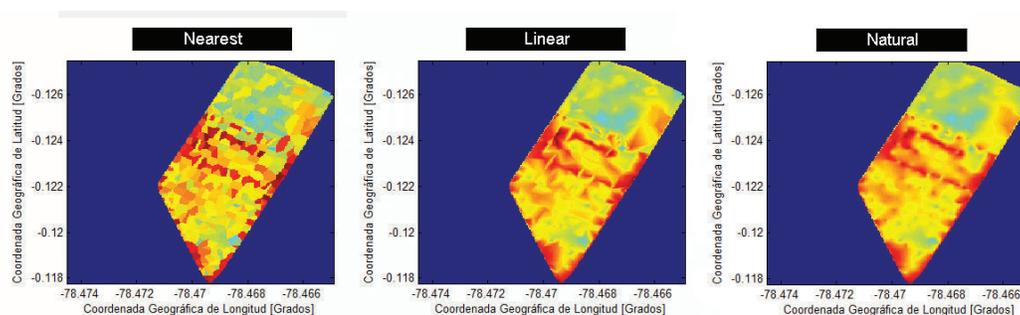
El promedio de error de cada A.I, se obtiene empleando la siguiente Ecuación 3.4. En la Tabla 3.5 se indica el resultado obtenido para cada algoritmo.

$$Promedio_{Error} = \frac{\sum Error_i}{Número\ de\ errores} \quad (Ec. 3.4)$$

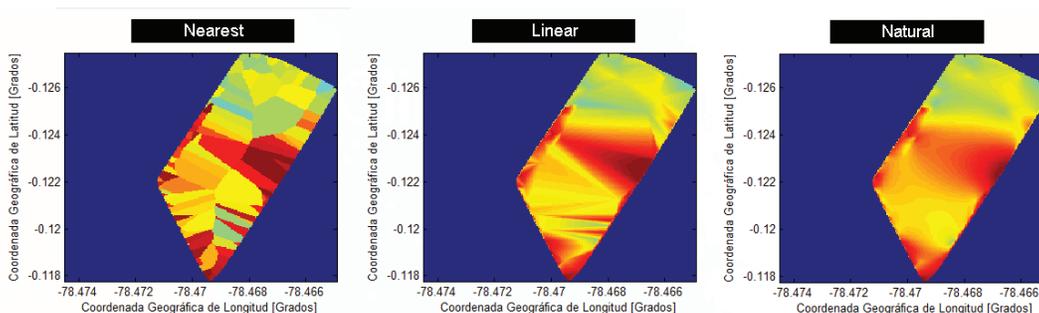
**Tabla 3.5** Promedio de Error de Valores Interpolados con cada Algoritmo de Interpolación

A.I Natural	A.I Linear	A.I Nearest
6,45%	7,45%	9,34%

A continuación, se compara gráficamente los mapas a color obtenidos de la interpolación en base a 500 puntos de medición, con la interpolación de los puntos presentados en la Figura 3.16, para los tres algoritmos de interpolación mediante las Figuras 3.17 y 3.18.



**Figura 3.17** Interpolación en base a 500 puntos de medición



**Figura 3.18** Interpolación en base a puntos del contorno de la zona de medición

Mediante el análisis de porcentaje de error realizado en esta sección, la comparación entre las Figuras 3.19 y 3.20 y el estudio teórico efectuado en el apartado 2.3, es posible notar que el algoritmo de interpolación Natural, posee mejor precisión y por tanto estima resultados más acertados. Debido a ello, a continuación se realizan cálculos de error para el algoritmo de interpolación Natural, en base a una muestra de puntos medidos dinámicos medidos con el SACER de la ARCOTEL para los canales 30, 32 y 41, los cuales se presentan en la Tabla 3.6, 3.7 y 3.8, respectivamente.

### Canal 30

**Tabla 3.6** Porcentaje de Error del Algoritmo de Interpolación *Natural*, canal 30

Longitud	Latitud	Vr	Vi	Error [%]
-78,4685651	-0,12348316	88,8	90,0271243	1,38
-78,4694628	-0,1229408	83,7	89,6754429	7,14
-78,4705401	-0,12239844	80	84,9049373	6,13
-78,4703605	-0,1229408	84,7	87,1799212	2,93
-78,4696424	-0,12348316	77,4	86,9247927	12,31
-78,4692384	-0,12361875	82,7	87,3290155	5,60
-78,4687447	-0,12474866	83,8	81,4769847	2,77
-78,4706298	-0,12361875	73,2	83,1492721	13,59

-78,4692833	-0,12511023	74,6	80,1611124	7,45
-78,4693731	-0,12402552	74,5	85,1984056	14,36
-78,4691037	-0,12348316	83,7	88,2963646	5,49
-78,4681163	-0,12181089	76,9	85,6411435	11,37
-78,4673981	-0,12031941	62,1	71,2184793	14,68
-78,4669044	-0,11946068	70,7	70,1436112	0,79
-78,4661413	-0,11909911	78,5	70,8658987	9,72
-78,4679816	-0,11950588	66,7	70,8269819	6,19
-78,467039	-0,12027422	60,7	69,3460538	14,24
-78,4667697	-0,12181089	72,1	72,3913922	0,40
-78,4663208	-0,11941549	72,3	68,9032761	4,70
-78,4679367	-0,12226285	75,5	87,9691265	16,52
-78,4684305	-0,12316678	79,7	92,5268023	16,09
-78,4692833	-0,12470347	81,9	81,9681305	0,08
-78,4696424	-0,12542661	76,1	79,7900534	4,85
-78,46861	-0,12181089	81,8	89,7539857	9,72
-78,467443	-0,11986745	72,9	70,4420255	3,37
-78,4683407	-0,120455	74,2	75,7786258	2,13
-78,4693282	-0,12221766	86,4	94,7861166	9,71
-78,4698668	-0,12321198	77	87,341209	13,43
-78,4701361	-0,12361875	88,8	85,0922378	4,18
-78,4704503	-0,12343796	82,4	84,8094266	2,92
-78,4682509	-0,11941549	67,4	70,4745511	4,56
-78,4700015	-0,12176569	97,1	90,4508607	6,85
-78,4696424	-0,12221766	108,7	108,451027	0,23
-78,4673083	-0,12325718	95,1	92,7800797	2,44
-78,467443	-0,12393512	96,2	97,4265195	1,27
			Promedio	6,85

### Canal 32

**Tabla 3.7** Porcentaje de Error del Algoritmo de Interpolación *Natural*, canal 32

Longitud	Latitud	Vr	Vi	Error [%]
-78,46861	-0,12343796	82,9	88,7472383	7,05
-78,4695526	-0,1228956	82,2	89,5068875	8,89
-78,4706298	-0,12230805	76	84,1728059	10,75
-78,4703156	-0,12303119	86,7	85,654831	1,21
-78,4695077	-0,12352836	80,1	85,5556106	6,81
-78,4692384	-0,12361875	89,1	85,7800479	3,73
-78,46861	-0,12474866	71,5	79,8313439	11,65
-78,4687447	-0,12470347	80,6	80,0335673	0,70
-78,4700463	-0,12402552	75,9	81,4233045	7,28
-78,4706298	-0,12361875	75,1	82,2312636	9,50
-78,4691935	-0,12515543	79,2	78,4818155	0,91
-78,4693731	-0,12402552	79,6	83,0486557	4,33
-78,4690589	-0,12343796	85,4	87,4308406	2,38

-78,4689691	-0,12321198	78,5	89,1805816	13,61
-78,4681163	-0,1217205	77,8	89,0024724	14,40
-78,4673532	-0,12022902	61,9	74,6856474	20,66
-78,4661862	-0,11905392	66,1	73,1695547	10,70
-78,4661862	-0,11905392	85,7	73,1695547	14,62
-78,4677572	-0,11982225	66,7	74,9074417	12,31
-78,4672634	-0,12059059	65,3	76,5026902	17,16
-78,4669941	-0,12022902	64,2	72,5265946	12,97
-78,4667697	-0,12185609	74,8	84,3408061	12,76
-78,4677123	-0,12361875	81,4	94,5300359	16,13
-78,4681163	-0,12361875	80,7	89,4018774	10,78
-78,4663657	-0,11995784	72,9	75,1510733	3,09
-78,466635	-0,11995784	67,8	72,3792792	6,75
-78,4684753	-0,12325718	81,3	90,5078321	11,33
-78,4694628	-0,12506504	79,2	78,633621	0,72
-78,4692384	-0,12474866	68,3	79,5532665	16,48
-78,4696424	-0,12547181	70,9	79,2023448	11,71
-78,4685651	-0,1216753	86,4	91,5032988	5,91
-78,467443	-0,11986745	77,5	73,886696	4,66
-78,4683856	-0,1205002	73,2	80,550034	10,04
-78,4693282	-0,12221766	88,2	97,5004996	10,54
-78,4698668	-0,12325718	82,9	86,0138373	3,76
-78,4701361	-0,12370914	86,7	82,7769269	4,52
-78,4704503	-0,12334757	82,5	83,9829328	1,80
-78,4682509	-0,11946068	67	75,725493	13,02
-78,468206	-0,11946068	66,5	75,6555308	13,77
-78,4700463	-0,12181089	94,3	90,8191644	3,69
-78,4696424	-0,12221766	101,4	101,085333	0,31
-78,4673981	-0,12325718	95,7	95,3699335	0,34
-78,467443	-0,12393512	99,1	98,5259491	0,58
-78,4708094	-0,1242063	101,1	93,5155549	7,50
			Promedio	8,22

### Canal 41

**Tabla 3.8** Porcentaje de Error del Algoritmo de Interpolación *Natural*, canal 41

Longitud	Latitud	Vr	Vi	Error [%]
-78,4696424	-0,12280521	74,6	78,8540577	5,70
-78,4702708	-0,12307639	69,3	72,6092293	4,78
-78,4694628	-0,12357355	70,9	75,6767917	6,74
-78,4690589	-0,12370914	67,5	75,9027594	12,45
-78,4686549	-0,12447748	63	71,8202583	14,00

-78,4689691	-0,12461307	70,2	71,4653015	1,80
-78,470181	-0,12393512	75,2	72,2712113	3,89
-78,4708543	-0,12357355	73,1	70,1932819	3,98
-78,4690589	-0,12520063	64,8	70,1471428	8,25
-78,4692833	-0,12384473	72,4	74,7650287	3,27
-78,469014	-0,12330237	70,2	78,5444564	11,89
-78,4688793	-0,12312159	71,1	80,0900877	12,64
-78,4683856	-0,12217246	68,2	79,084749	15,96
-78,4680714	-0,12163011	75,4	73,1140589	3,03
-78,4672634	-0,12013863	49,7	57,7998604	16,30
-78,4667697	-0,1192347	57,8	63,5123406	9,88
-78,4663657	-0,11896352	63,5	66,0237616	3,97
-78,4681163	-0,11937029	58,6	62,3299353	6,37
-78,4668146	-0,12013863	53,5	54,2328921	1,37
-78,4668146	-0,12194648	66,5	67,5047788	1,51
-78,4677572	-0,12366394	70,7	79,5452914	12,51
-78,4681163	-0,12352836	68	79,0146613	16,20
-78,4664555	-0,11964147	61,1	68,0328491	11,35
-78,4666799	-0,12000304	55,5	58,7025624	5,77
-78,4679367	-0,12226285	71	77,3984731	9,01
-78,4685202	-0,12334757	80	79,3511921	0,81
-78,4694628	-0,12506504	68,9	70,7080873	2,62
-78,4692384	-0,12465827	67,9	71,420099	5,18
-78,4696873	-0,125517	60,5	71,5872835	18,33
-78,4691037	-0,12266962	69,9	82,9947922	18,73
-78,4684753	-0,12153971	75,8	75,2261945	0,76
-78,467443	-0,11982225	62,9	58,1800993	7,50
-78,4680714	-0,11986745	54,5	61,7266882	13,26
-78,4684305	-0,12063579	65	67,8397721	4,37
-78,4693731	-0,12230805	74,6	85,3130251	14,36
-78,4700015	-0,12343796	80,4	74,1926429	7,72
-78,470181	-0,12384473	77,4	72,4596302	6,38
-78,4703605	-0,12316678	73,6	71,8605194	2,36
-78,468206	-0,11937029	55,9	62,6732892	12,12
-78,4681611	-0,11937029	59,9	62,504685	4,35
-78,4700463	-0,12185609	83,1	83,2206834	0,15
-78,4695077	-0,12226285	83	83,4028241	0,49
-78,4672634	-0,12330237	83,4	83,8962641	0,60
-78,4706747	-0,12452268	81,5	80,0085971	1,83
			Promedio	7,38

### 3.5. DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO

MATLAB dispone de un entorno de programación visual denominado GUIDE, el cual permite realizar y ejecutar programas que involucren un ingreso continuo de datos.

Mediante interfaces gráficas de usuario, es decir, mediante GUI, los usuarios pueden interactuar con el programa de tal forma que no necesiten utilizar comandos para la ejecución del mismo.

Los GUIs contienen elementos gráficos como: campos de texto, botones, menús, axes, etc. Los cuales son programados para ejecutar determinada acción dentro del programa.

Cuando se utiliza GUIDE, se obtiene dos tipos de archivos: un archivo FIG que contiene los objetos creados, es decir, los elementos gráficos que conforman el programa; y un archivo M que contiene la programación de cada botón, en donde se define la acción que cada uno va a realizar.

En la interfaz gráfica GUIDE de MATLAB, se efectúan tres tipos de presentaciones; la primera permite visualizar la interpolación de los puntos dinámicos mediante la opción 'MENU\_Intensidad\_de\_Campo', la segunda permite visualizar la interpolación de los puntos estáticos mediante la opción 'MENU\_MER', y la tercera efectúa una comparación de la interpolación de los puntos estáticos, correspondientes a medidas de intensidad de campo y MER, mediante la opción 'MENU\_COMPARACION'.

A continuación, se presentan los GUIs creados para interactuar con el usuario, en donde se observa gráficamente los mapas a color que se formaron mediante la aplicación de los algoritmos de interpolación.

La aplicación desarrollada consta de nueve interfaces de usuario, las cuales se utilizan de la siguiente manera: cuando se ejecuta el programa, se genera la interfaz de usuario llamada 'MENU\_PRINCIPAL', la cual se muestra en la Figura 3.19 y presenta tres botones denominados: OPCION1, OPCION2, OPCION3. El botón OPCIÓN 1, permite acceder a la interfaz de usuario llamada

'MENU\_INTENSIDAD\_DE\_CAMPO'; el botón OPCIÓN 2 permite acceder a la interfaz de usuario llamada 'MENU\_MER' y el botón OPCION 3 permite acceder a la interfaz de usuario llamada 'COMPARACION\_INTERPOLACION'.



**Figura 3.19** Interfaz de Usuario – MENU\_PRINCIPAL

La interfaz de usuario denominada 'MENU\_INTENSIDAD\_DE\_CAMPO' se muestra en la Figura 3.20 y consta de tres opciones. El botón OPCIÓN1 permite acceder a la interfaz denominada 'OPCION1\_Intensidad\_de\_Campo', el botón OPCIÓN2 permite acceder a la interfaz denominada 'OPCION2\_Intensidad\_de\_Campo' y el botón OPCIÓN3 permite acceder a la interfaz denominada 'OPCION3\_Intensidad\_de\_Campo'.



**Figura 3.20** Interfaz de Usuario – MENU\_INTENSIDAD\_DE\_CAMPO

La interfaz de usuario denominada 'OPCION1\_Intensidad\_de\_Campo', presenta el mapa a color de la interpolación de los puntos de intensidad de campo, como se muestra en la Figura 3.21; para lo cual se debe configurar los siguientes parámetros:

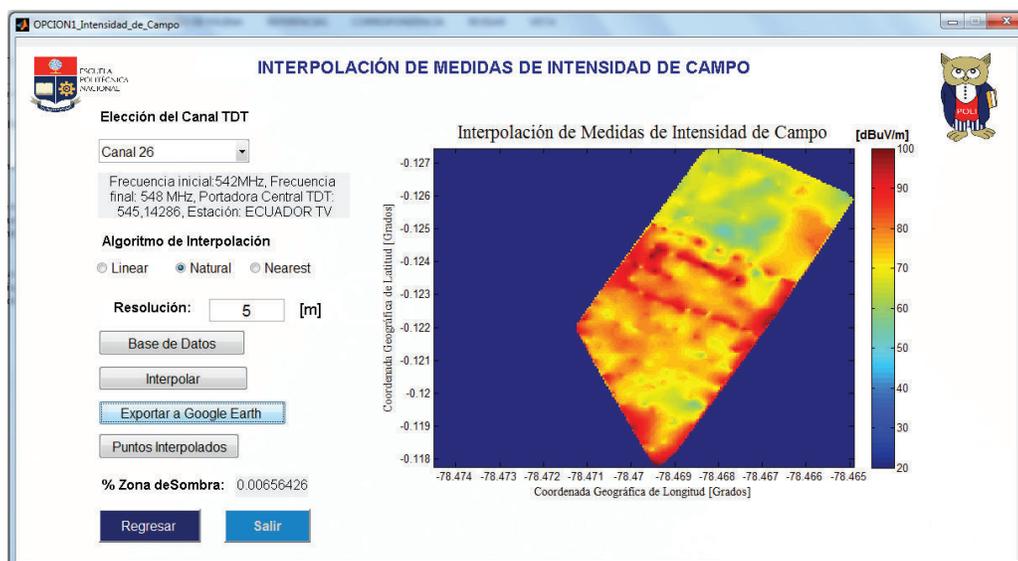
- **Elección del Canal TDT:** Se tienen disponibles los nueve canales de Televisión Digital Terrestre que operan actualmente en la ciudad de Quito. El análisis de interpolación se realiza de manera individual para cada canal TDT.
- **Selección del Algoritmo de Interpolación:** Se tienen disponibles los tres algoritmos de interpolación estudiados, los cuales son: *Linear Interpolation* referido en la interfaz gráfica como *Linear*, *Natural Neighbor Interpolation* referido en la interfaz gráfica como *Natural* y *Nearest Neighbor Interpolation* referido en la interfaz gráfica como *Nearest*.
- **Resolución:** Se define el valor de resolución, el cual puede ser desde 1m hasta 10m para tener una adecuada apreciación del mapeado a color. Sin embargo, si es posible aumentar este valor, acostará a la degradación de la imagen.
- **Botón Base de Datos:** Este botón muestra la tabulación de datos referente a las mediciones del canal seleccionado, cuyos parámetros son: nivel de intensidad de campo eléctrico, frecuencia central del canal TDT y posición geográfica, como se indicó en la Figura 3.3; esta información es almacenada en archivos de Excel que serán mostrados de acuerdo al canal TDT que ha sido seleccionado para realizar la interpolación.
- **Botón Interpolar:** Se encarga de generar la interpolación de valores de intensidad de campo e que se muestra en la Figura 3.21.
- **Botón Exportar a Google Earth:** Se encarga de generar un archivo \*.KML para visualizar el mapa a color sobre la zona de medición en el mapa de Google Earth, Para el caso de intensidad de campo, dichos gráficos sobre el mapa de Google Earth, se muestran en el ANEXO B sección B.2.
- **Botón Puntos Interpolados:** Genera un archivo en Excel con el prefijo 'Salida', el cual contiene los puntos que han sido estimados, resultado de interpolar los puntos medidos. Este archivo contiene el nivel de intensidad

de campo eléctrico estimado y su respectiva posición geográfica expresada en grados, referente al canal TDT que ha sido seleccionado.

- **Botón Salir:** Permite cerrar esta interfaz de usuario.
- **Botón Regresar:** Permite regresar a la interfaz de usuario anterior, es decir, 'MENU\_INEENSIDAD\_DE\_CAMPO'.

En la parte inferior de la interfaz gráfica, se presenta el porcentaje de zonas de sombra que existe en la zona de medición seleccionada.

Algunos de estos botones, se utilizan nuevamente en varios GUIs realizados en el proyecto, cuya funcionalidad es muy similar. Por lo tanto, no se volverá a repetir su explicación.



**Figura 3.21** Interfaz de Usuario –OPCION1\_Intensidad\_de\_Campo

La interfaz de usuario 'OPCION2\_Intensidad\_de\_Campo', mostrada en la Figura 3.22, permite observar simultáneamente los mapas a color de los canales de Televisión Digital Terrestre, resultado de la interpolación de medidas de intensidad de campo. Para ello, lo único que se debe hacer, es seleccionar el algoritmo de interpolación a aplicar, definir el valor de la resolución y dar clic en el botón Graficar.

El botón Puntos Interpolados, genera archivos en Excel de los puntos de intensidad de campo estimados de todos los canales de Televisión Digital Terrestre.

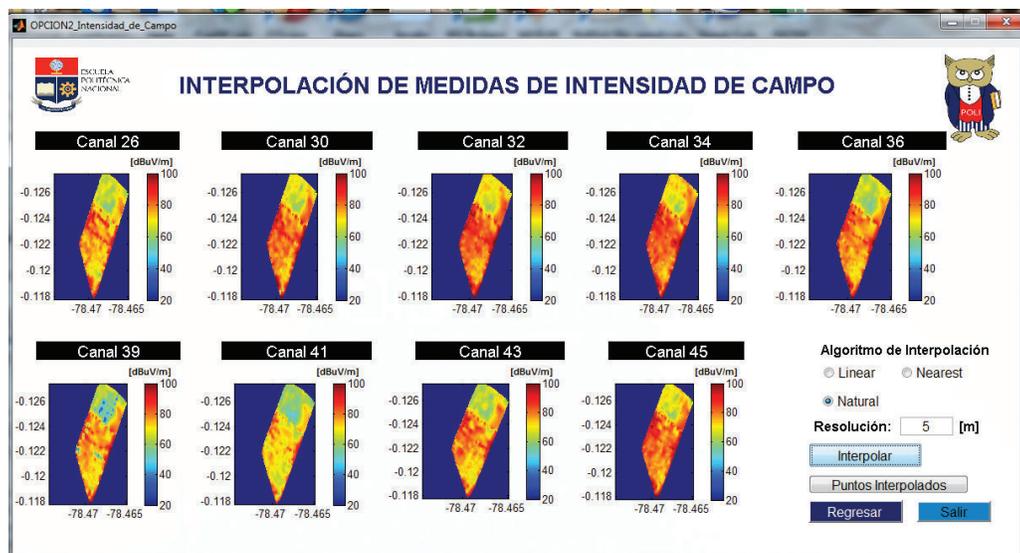


Figura 3.22 Interfaz de Usuario –OPCION2\_Intensidad\_de\_Campo

La interfaz de usuario ‘OPCION3\_Intensidad\_de\_Campo’, indicada en la Figura 3.23, permite observar simultáneamente los mapas a color de cada canal de Televisión Digital Terrestre con los tres algoritmos de interpolación propuestos (*Linear*, *Nearest*, *Natural*). Para ello se requiere especificar el canal a analizar, definir la resolución y clic en el botón Graficar.

**Botón Limpiar:** se encarga de borrar las gráficas generadas en los axes, a fin de seleccionar otro canal TDT para efectuar la interpolación de los puntos de intensidad de campo.

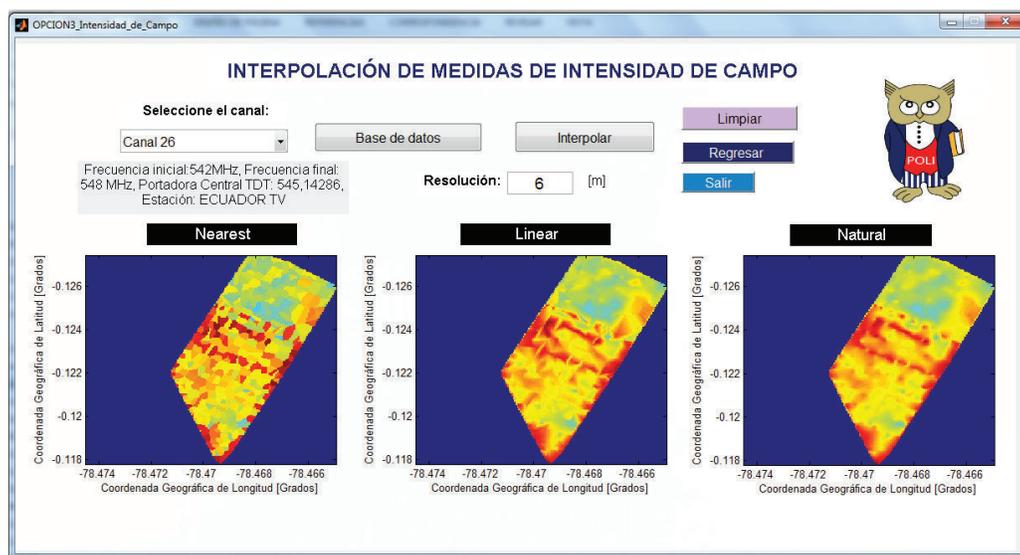
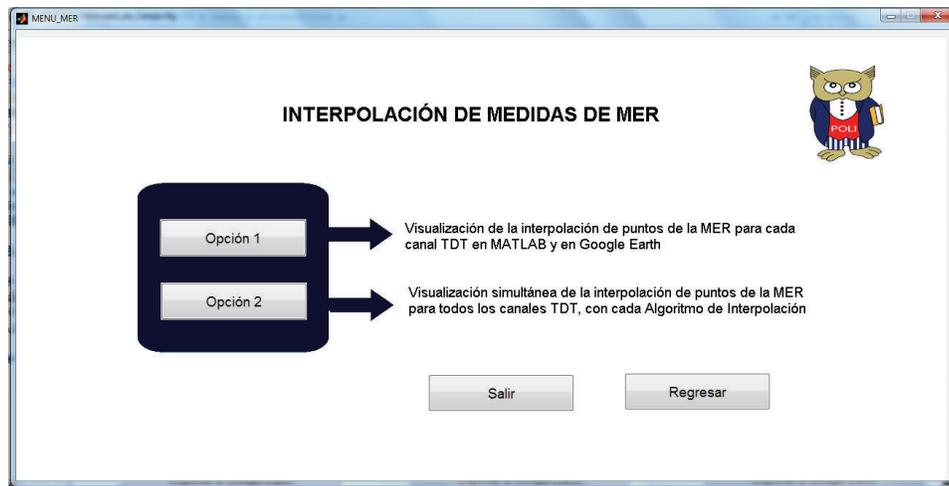


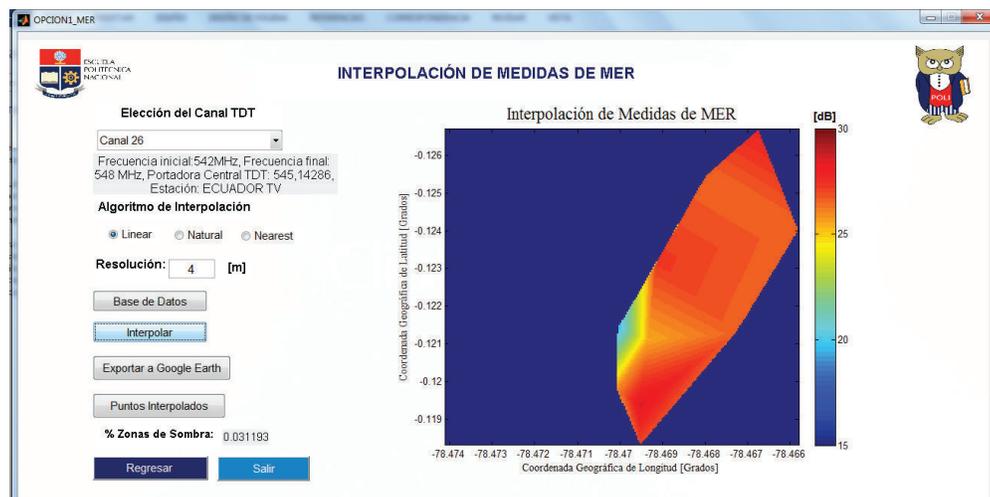
Figura 3.23 Interfaz de Usuario –OPCION3\_Intensidad\_de\_Campo

La interfaz de usuario 'MENU\_MER', indicada en la Figura 3.24, contiene dos opciones denominadas: OPCION1 y OPCION2.



**Figura 3.24** Interfaz de Usuario – MENU\_MER

El botón OPCION1 genera la interfaz de usuario 'OPCION1\_MER', la cual se muestra en la Figura 3.25. De este modo, una vez seleccionado el canal TDT, el algoritmo de interpolación y definido del valor de resolución, se presiona el botón Interpolación, el cual efectúa la interpolación en base a los puntos de Tasa de Error de Modulación medidos.



**Figura 3.25** Interfaz de Usuario – OPCION1\_MER

El botón OPCION2 genera la interfaz gráfica 'OPCION2\_MER', la cual se muestra en la Figura 3.26.

Al igual que la interfaz de usuario ‘OPCION2\_Intensidad\_de\_Campo’, mediante esta opción, es posible observar simultáneamente los mapas a color de los canales de Televisión Digital Terrestre, con la diferencia que los puntos a interpolar corresponden a mediciones de MER.

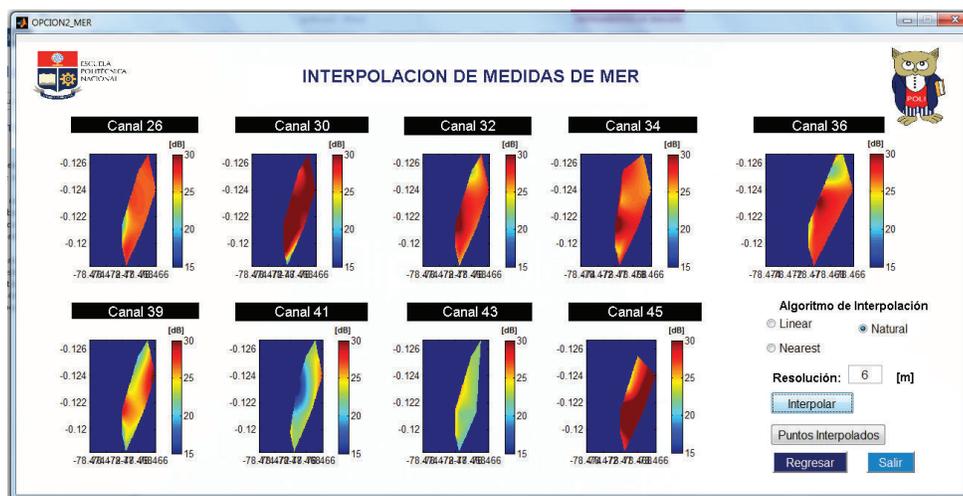


Figura 3.26 Interfaz de Usuario – OPCION2\_MER

La interfaz de usuario ‘COMPARACION\_INTERPOLACION’, se indica en la Figura 3.27, la cual contiene el botón Graficar MER e Intensidad de Campo para realizar la interpolación de las medidas estáticas correspondientes a MER e intensidad de campo del canal seleccionado en el GUIDE de MATLAB, y mediante los botones Graficar MER y Graficar Intensidad de Campo se observa los mapas a color sobre el mapa de Google Earth. Los botones como Regresar a Opciones y Salir, ya han sido definidos en párrafos anteriores.

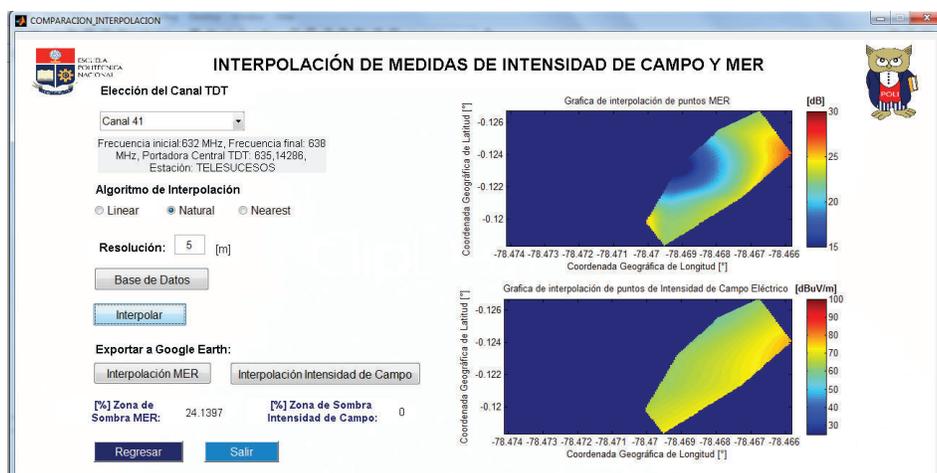


Figura 3.27 Interfaz de Usuario – COMPRACION\_INTERPOLACION

### **3.6 ESTIMACIÓN DE COBERTURA CON EL SOFTWARE ICS TELECOM**

Se utilizó el software ICS TELECOM proporcionado por ARCOTEL para estimar las posibles zonas de sombras mediante la visualización de cobertura en la pantalla principal del mencionado programa; resultado de la configuración de varios parámetros técnicos de los transmisores correspondientes a las estaciones de Televisión Digital Terrestre que operan actualmente en la ciudad de Quito.

A continuación se realiza una breve descripción del software de simulación ICS TELECOM para un mejor entendimiento de su desempeño en el presente proyecto de titulación.

#### **3.6.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE ICS TELECOM**

ICS TELECOM es un software desarrollado por ATDI (*Advanced Radiocommunications*), útil para analizar los resultados provenientes del modelado de redes mediante el cálculo de propagación de señales considerando varios aspectos como la posición geográfica, sistema radiante, modelos de propagación, tecnología, entre otros. Cuyo rango de frecuencia de aplicación abarca desde 10 KHz a 450 GHz.

ICS TELECOM permite realizar la predicción de áreas de cobertura, para ello se debe tener en cuenta la información necesaria requerida para la configuración de los transmisores correspondientes al tipo de servicio de telecomunicaciones que se desee analizar, por ejemplo TDT. También considera la geografía del medio en los cuales interviene el Modelo Digital de Terreno y el Modelo Digital de Elevación.

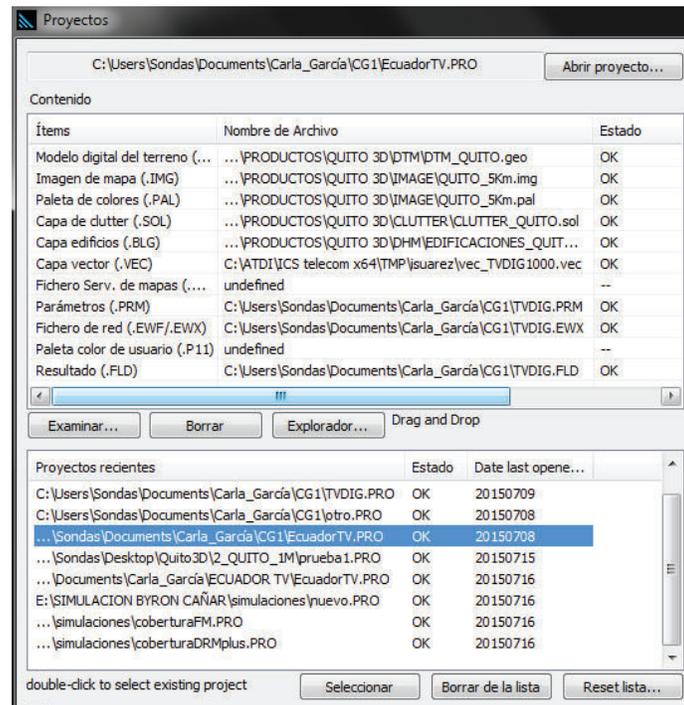
El Modelo Digital de Elevación (DEM) se refiere a las alturas de las capas del clutter, edificios. En cambio, el Modelo Digital de Terreno (DTM) se refiere a la superficie de la tierra.

### 3.6.2 Estructura de Capas del Software ICS TELECOM

Previamente, para efectuar la simulación se debe cargar las capas que aportan con información de altimetría<sup>43</sup>, edificaciones, tipos de atenuaciones, entre otros; los cuales son parte de la estructura de capas del software ICS TELECOM.

Al iniciar la ejecución del software ICS TELECOM se despliega la ventana 'Gestión de Proyecto', en la cual se cargan las capas y los proyectos creados se guardan con la extensión .PRO.

En la Figura 3.28 se muestra las capas correspondientes al proyecto EcuadorTV.PRO, el cual se ha efectuado a modo de ejemplo para exponer las simulaciones de cobertura en la zona de medición seleccionada.



**Figura 3.28** Capas en el ICS TELECOM

Para la apreciación de cobertura de televisión digital se debe definir el Modelo de Elevación Digital, las capas de interés corresponde a las siguientes extensiones: .GEO, .IMG, .SOL, .PAL., explicadas brevemente en la Tabla 3.9.

<sup>43</sup> Altimetría: Representa la altura respecto a un plano de referencia para apreciar el relieve del terreno.

**Tabla 3.9** Descripción de las capas principales para la simulación de cobertura en el ICS TELECOM

Extensión	Descripción
.GEO	Esencial para identificar al archivo DEM. Contiene las coordenadas X, Y, Z de la posición de cada punto. Proporciona características de altimetría del terreno geográfico.
.IMG	Proporciona la imagen del mapa complementaria a la información del archivo .GEO. Contiene las coordenadas X, Y de la posición de cada punto.
.SOL	Identifica a los archivos Clutter, que hacen referencia a la atenuación de acuerdo al tipo de zona dentro del mapa considerando las alturas de los obstáculos en cada tipo de terreno.
.PAL	Identifica a la paleta de colores para visualización de la imagen.

El DEM permite visualizar y expresar matemáticamente los niveles de altura con respecto al nivel del mar, caracterizando los relieves y objetos presentes en el mismo. Esta capa es de gran importancia para la simulación que se ejecuta en el ICS TELECOM; el resto de capas es posible cargarlas progresivamente conforme se utilice el programa.

Los archivos correspondientes a las terminaciones .img y .geo son considerados de tipo raster, es decir, contienen datos representados en pixeles de la división de la zona geográfica.

La resolución que identifica al tamaño del pixel es el tamaño de una célula del archivo de cartografía. Es recomendable tener la misma resolución para los archivos .GEO / .SOL / .BLG, excepto para la imagen .IMG, que puede ser más precisa. Para nuestro caso, se utilizó una resolución de 5 metros disponibles para los mapas de Quito proporcionados por el departamento de Dirección del Espectro Radioeléctrico de ARCOTEL.

### **3.6.3 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE UN TRANSMISOR DE TDT EN EL ICS TELECOM [43]**

Para realizar la predicción de cobertura con el software de simulación ICS TELECOM, se debe considerar algunos parámetros de configuración de los transmisores pertenecientes a las estaciones de TDT. Para ello, se requiere tener conocimiento de los datos de operación ya que se debe llenar espacios en blanco en donde se solicita información técnica de los transmisores de televisión digital.

De acuerdo a la información proporcionada por ARCOTEL, se conoce que los transmisores de Televisión Digital Terrestre que se encuentran actualmente en operación y sirven a la ciudad de Quito, están localizados en el Cerro Pichincha. Así mismo, los parámetros técnicos especificados en las configuraciones son datos provenientes de contratos de concesiones de frecuencia y pruebas de inspecciones realizadas por ARCOTEL, información que se encuentra registrada en el SIRA TV de ARCOTEL.

#### **3.6.3.1 Parámetros generales de la estación transmisora**

En la pantalla denominada Parámetros Tx/Rx se debe configurar los parámetros solicitados por el software de simulación ICS TELECOM, mencionados a continuación:

- Potencia Nominal: para pruebas de cobertura aplicadas con este software realizadas por los ingenieros de ARCOTEL, se refiere a la potencia de salida del Tx, información registrada en el SIRA TV.
- Tipo de señal a transmitir: elección del tipo de señal; para el presente proyecto de estudio se considera a la señal digital y se selecciona el estándar ISDB-T.
- Frecuencia de operación: se refiere a la portadora central en el que opera cada canal de Televisión Digital Terrestre.
- Ancho de banda de Tx: son los 6 MHz que ocupa cada canal de TDT.
- Altura de la Torre: se ingresa el valor de altura de la torre para cada caso de simulación de cobertura con estaciones de TDT que se ejecute.

- Ubicación geográfica del Tx: se ingresa la ubicación del transmisor en formato 4DMS (*Degrees-Minutes-Seconds*).

### **3.6.3.2 Umbral de Nivel de Señal**

El nivel de señal hace referencia a la intensidad de campo eléctrico expresada en dBuV/m, indica el mínimo nivel de señal establecido como aceptable para la recepción de la señal de TDT.

### **3.6.3.3 Parámetros del Sistema Radiante**

Se ingresan valores correspondientes a la ganancia en dBd del arreglo de antenas conforme al canal de TDT que se desee utilizar para la simulación. Además se considera el tipo de polarización, el azimut<sup>44</sup> y el tilt<sup>45</sup> de la antena de Tx.

El tipo de antena se puede escoger en base a los disponibles en el ICS TELCOM o se puede crear una antena con características propias mediante algún tipo de software como el denominado ANTIOS.

### **3.6.3.4 Elección del Modelo de Propagación [36] [37] [42]**

El software ICS TELECOM, consta de varios modelos de propagación disponibles para realizar predicciones de cobertura, entre ellos se tiene al modelo propuesto por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) mediante la recomendación P.1546. Este modelo es utilizado por la entidad de telecomunicaciones de Brasil denominado ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicaciones) para el servicio de televisión digital. Por consiguiente, dado que el Ecuador utiliza el mismo estándar (ISDB-Tb) de TDT adoptado por Brasil, se selecciona al modelo de propagación UIT-R P.1546 para efectuar la simulación de cobertura de la estación de televisión ECUADOR TV.

Además se realiza una predicción de cobertura adicional, utilizando la recomendación UIT-R P.1218 debido a que este método de predicción nace con el

---

<sup>44</sup> Azimut: Indica el valor en que se debe fijar la antena respecto al plano horizontal. Medido desde el norte geográfico en sentido horario.

<sup>45</sup> Tilt: Se refiere al tilt mecánico, el cual representa la inclinación de la antena sin cambiar la fase de la señal de entrada.

objetivo de complementar a la Recomendación ITU-R P.1546, cuando se dispone de perfiles del terreno extraídos usualmente de una base de datos digital de las elevaciones del terreno [38].

#### *3.6.3.4.1 Descripción del Modelo UIT-R P.1546 [40]*

La recomendación UIT-R P.1546 describe la predicción de propagación radioeléctrica en enlaces punto a zona<sup>46</sup>, adecuado para servicios de radiodifusión en la banda de frecuencias de 30 MHz a 3GHz. Proporciona un conjunto de gráficas de 24 curvas normalizadas para las frecuencias de 100, 600 y 2000 MHz, útiles para estimar el valor de campo eléctrico en función de la distancia entre transmisor y receptor, con distancias desde 1 km hasta unos 1000 km de longitud. Involucra procedimientos de extrapolación, interpolación y cálculos de corrección en predicciones de intensidad de campo cuyas frecuencias sean diferentes a las nominales establecidas (100, 600 y 2000 MHz), y así obtener mayor precisión.

Esta recomendación consta de 8 capítulos referidos como anexos de acuerdo a la UIT. En los cuales se definen aspectos necesarios para la comprensión del modelo de propagación, e incluyen mecanismos de interpolación, presentación de curvas de nivel de intensidad de campo eléctrico en formato tabulado y gráfico.

#### *3.6.3.4.2 Descripción del Modelo UIT-R P.1812 [39]*

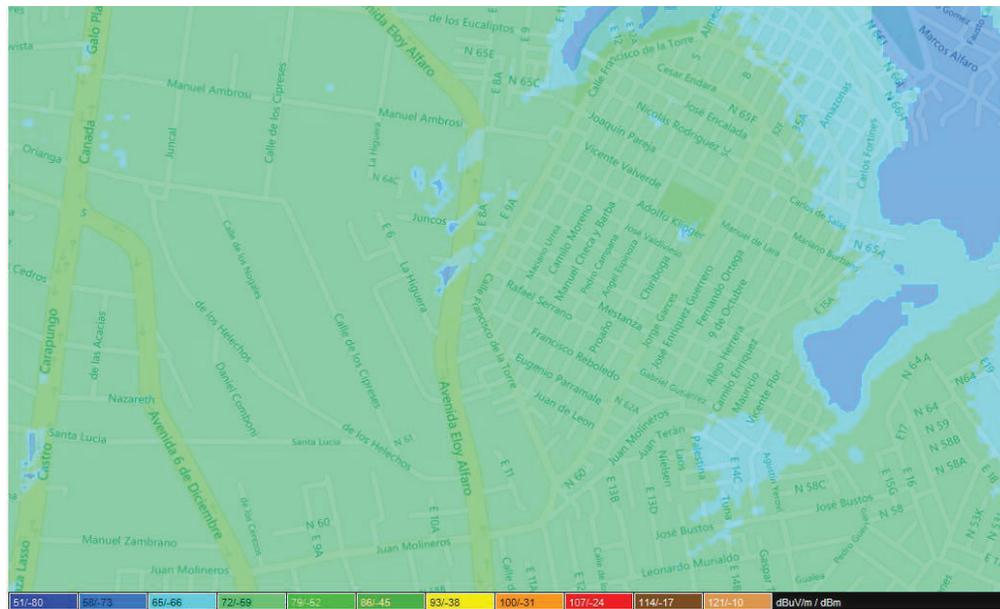
La recomendación UIT-R P.1812, al igual que el método anterior, describe la predicción de propagación radioeléctrica en enlaces punto a zona, en la banda de frecuencias de 30 MHz a 3 GHz. Su análisis se basa en el perfil del terreno y consiste en evaluar los niveles de señal rebasados durante un porcentaje de tiempo,  $p\%$ , donde  $1\% \leq p \leq 50\%$ , y en un porcentaje dado de ubicaciones,  $p_L$ , donde  $1\% \leq p_L \leq 99\%$ , adecuado en sistemas de radiodifusión cuyos trayectos desde el transmisor al receptor van desde 0,25 km hasta unos 3 000 km de longitud.

---

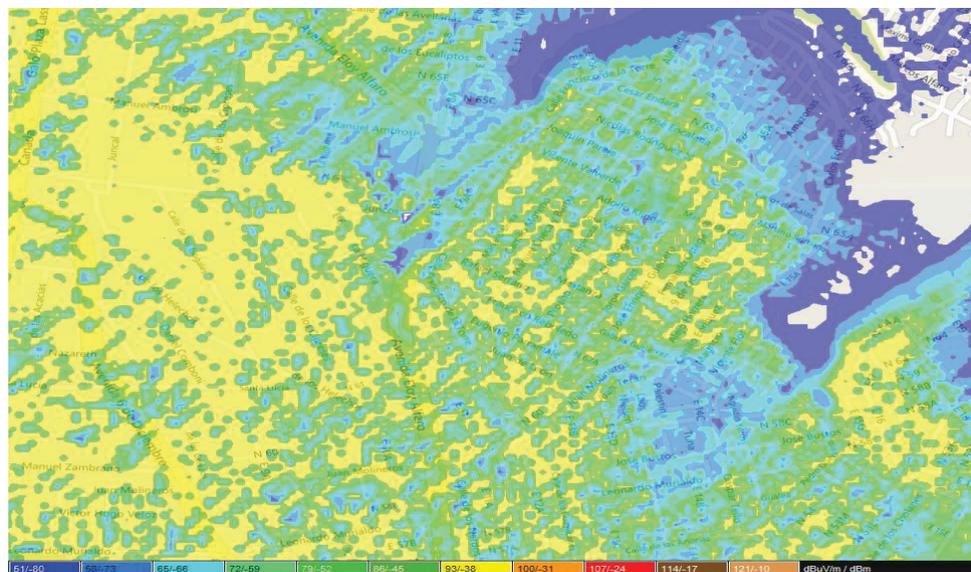
<sup>46</sup> Enlace Punto a zona: Se presenta cuando un solo transmisor da servicio a receptores distribuidos al azar [1].

### 3.6.4 SIMULACIÓN DE COBERTURA CON EL SOFTWARE ICS TELECOM VS INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS DE INTENSIDAD DE CAMPO [41] [43]

En las Figuras 3.29 y 3.30 se ilustran las simulaciones de cobertura realizadas en el software ICS TELECOM y obtenidas en base a la aplicación de los modelos de propagación UIT-R P.1546 y UIT-1812, respectivamente.

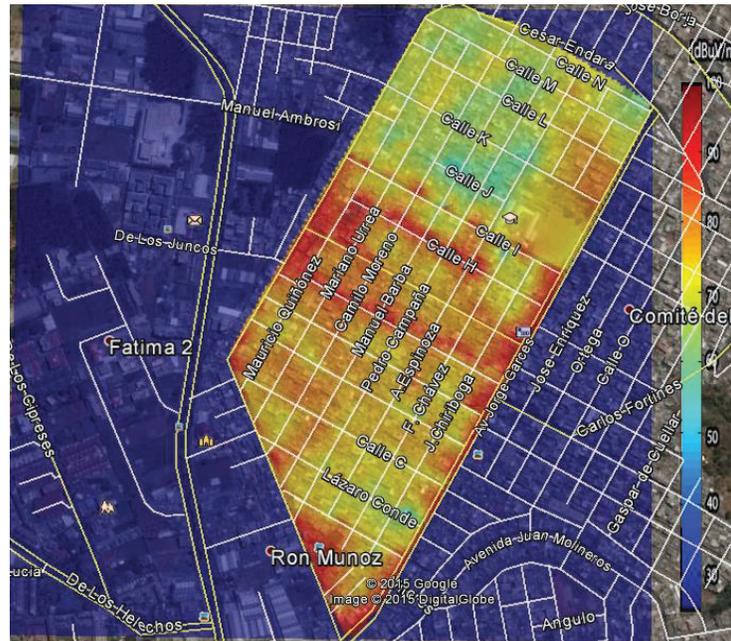


**Figura 3.29** Simulación de Cobertura aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1546 en el software ICS TELECOM de ARCOTEL



**Figura 3.30** Simulación de Cobertura aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1812 en el software ICS TELECOM de ARCOTEL

Con el propósito de comparar gráficamente con la simulación de cobertura obtenida mediante la interpolación de puntos de intensidad de campo, la misma que se indica en la Figura 3.31. Cabe recalcar que cada gráfica especifica su paleta de colores para la interpretación de medidas de intensidad de campo.



**Figura 3.31** Simulación de Cobertura TDT con Algoritmo de Interpolación *Natural* sobre el mapa de *Google Earth*, Canal 26

Analizando las gráficas se aprecia que la Figura 3.30, la cual corresponde a la simulación de cobertura realizada con el modelo de propagación UIT-R P.1546 en el ICS TELECOM, proporciona información errónea, ya que sobre el terreno se tiene un color uniforme que se interpreta como si las medidas de intensidad de campo no varían de un punto a otro. Por el contrario, la simulación de cobertura en base al modelo de propagación UIT-R P.1812, que se indica en la Figura 3.31, presenta diferentes tonalidades de colores, esto quiere decir que existen valores diferentes de intensidad de campo en la zona de medición y este resultado coincide en gran parte con la simulación de cobertura efectuada en base a la interpolación de los puntos medidos.

En los anexos D y E se detalla el procedimiento que se realiza para la configuración de un transmisor orientado al servicio de TDT y el procedimiento para efectuar la simulación de cobertura en el software ICS TELECOM, respectivamente.

### **3.6.5 CORRELACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SOFTWARE ICS TELECOM [43] [44]**

La herramienta Correlación del software ICS TELECOM, permite calcular el error medio y la desviación estándar de las simulaciones respecto a las medidas reales.

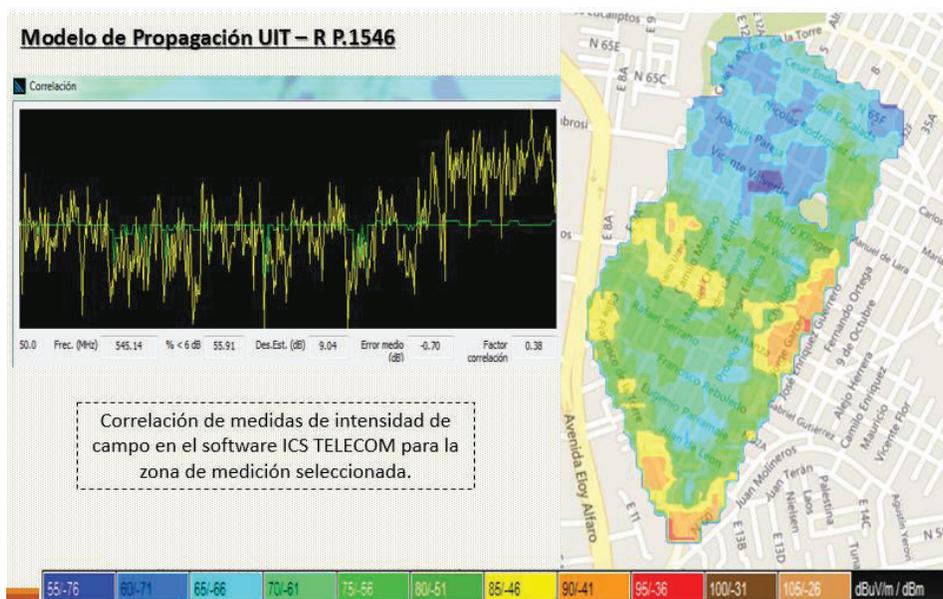
Las mediciones reales se ingresan en un archivo de Excel guardadas como .csv; en el presente proyecto, corresponde a las mediciones de drive test efectuadas con la estación móvil del SACER de ARCOTEL.

Las mediciones reales ingresan en el software ICS TELECOM para ser expuestas gráficamente en el mapa del mencionado software y de esta manera comparar dichos puntos con aquellos obtenidos mediante la predicción de cobertura en base al modelo de propagación seleccionado, obteniendo como resultado el factor de error y la desviación estándar de la predicción respecto a las mediciones reales.

En la Figura 3.32 se ha seleccionado al modelo de propagación UIT-R P.1546, mientras que en la Figura 3.33 se ha seleccionado al modelo de propagación UIT-R P.1218.

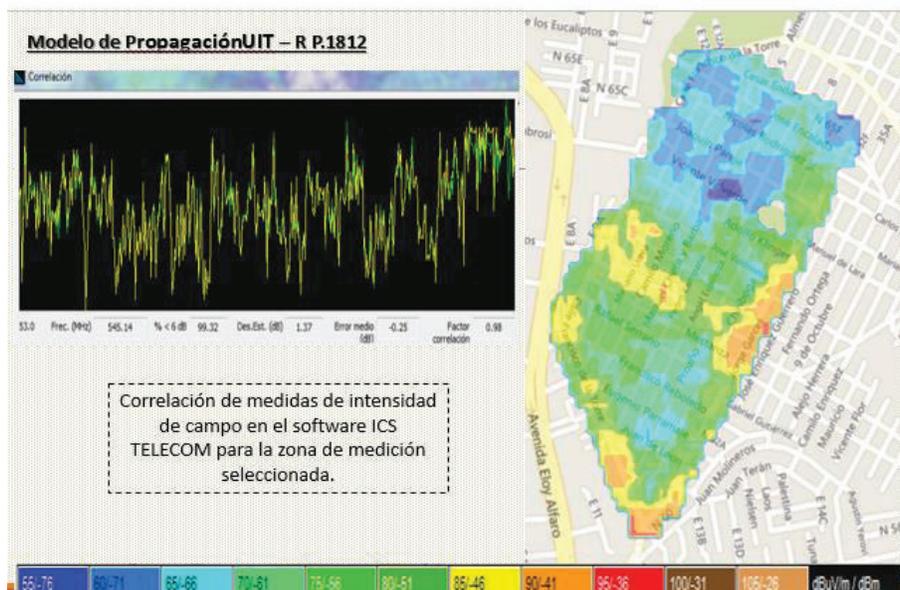
En la ventana 'Correlación' se aprecia visualmente la diferencia entre los valores reales y los estimados. Sin embargo, este tipo de correlación permite realizar un ajuste o Tuning y de este modo ajustar a nuevos valores de clutter y reducir los porcentajes de error.

En la Figura 3.32 el valor de desviación estándar obtenido es 9.04 dB, la línea de color verde hace referencia a las mediciones estimadas y la línea amarilla corresponde a las mediciones reales.



**Figura 3.32** Correlación de medidas aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1546 en el software ICE TELECOM

En la Figura 3.33 la desviación estándar es 1.37 dB, lo que indica una alta similitud entre valores reales y valores simulados; apreciando una mejora con respecto a la aplicación de la recomendación UIT-R P.1546.



**Figura 3.33** Correlación de medidas aplicando el modelo de propagación UIT-R P.1812 en el software ICE TELECOM

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos en base a la interpolación de medidas estáticas de intensidad de campo y tasa de error de modulación, representadas sobre el mapa de Google Earth, mediante el cual se pretende determinar la existencia de posibles zonas de sombra en el área de medición seleccionada, resultados que se indican por medio de interfaces gráficas en el GUI de MATLAB.

#### 4.1 IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES ZONAS DE SOMBRA DENTRO DE LA ZONA DE MEDICIÓN

La ex SUPERTEL realizó varias pruebas técnicas en las ciudades de Quito y Guayaquil para la identificación de posibles zonas de sombra, mediante las cuales se determina que el valor de intensidad de campo eléctrico a proteger, en promedio oscila entre los 50 y 60 dBuV/m. Al respecto, en el apartado 1.2.4.1, se establece que el límite definido de intensidad de campo eléctrico es de 51 dBuV/m, de acuerdo a la Norma Técnica para el servicio de TDT. Sin embargo, en el presente proyecto de titulación se tiene en cuenta a las medidas de intensidad de campo y tasa de error de modulación. Por tanto, para la identificación de posibles zonas de sombra se efectúa un análisis de tipo espectral y digital. El primero se basa en la interpolación de medidas estáticas de intensidad de campo y el segundo, en la interpolación de medidas estáticas de tasa de error de modulación.

Además de realizar la medición de intensidad de campo eléctrico en el área determinada, es necesario realizar el análisis de calidad y desempeño de la televisión digital, como la, la tasa de error de bit y los valores de tasa de error de modulación. Los valores de MER son mejores y más completos, que en una relación portadora ruido (C/N), debido a que combinan los efectos del ruido (CNR), retardo de grupo (*Group Delay*), efectos de no linealidad (Intermodulaciones de segundo y tercer orden). Principalmente los valores de MER están basados en los vectores que componen la constelación de señales.

El análisis del MER proporciona la siguiente información:

- Medida directa de la calidad de modulación.
- Relación directa con el VER<sup>47</sup>.
- Medida óptima para verificar el desempeño de la televisión digital, pudiendo detectar posibles causas de deterioro de la señal.
- Puede ser usado en conjunto con señales adyacentes para estimar distorsiones lineales y no lineales.

Se puede clasificar a los análisis de la interpolación de mediciones de intensidad de campo eléctrico y Tasa de Error de Modulación obtenidas en la etapa de recepción, en dos categorías, como son:

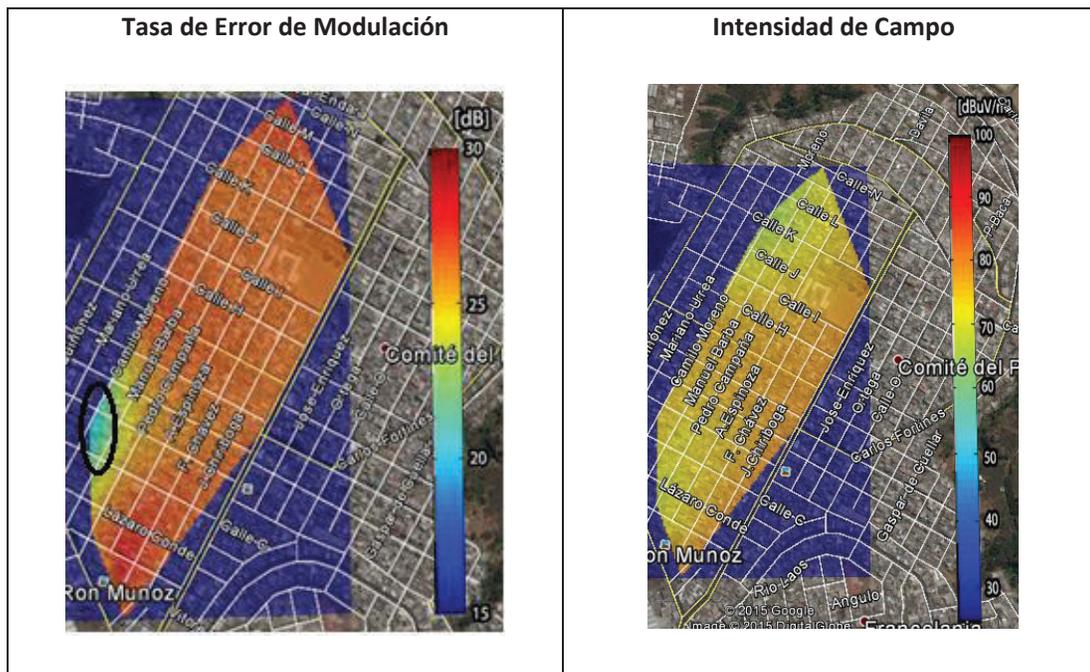
- Análisis Espectral: se evalúa que el nivel de intensidad de campo eléctrico definido, no sea inferior que el umbral establecido como mínimo a proteger (51 dBuV/m); para ello, se utiliza los mapas a color de puntos de intensidad de campo eléctrico interpolados, análisis que se efectúa para los nueve canales de Televisión Digital Terrestre que operan en la ciudad de Quito.
- Análisis Digital: evalúa que los valores de tasa de error de modulación receptados, no sean inferior al umbral (20-30 dB) establecido para este parámetro, mediante la apreciación gráfica de los mapas a calor, efectuado para los nueve canales de Televisión Digital Terrestre que operan en la ciudad de Quito.

A continuación se presenta los mapas a color para cada canal TDT, resultado de aplicar el algoritmo de interpolación Natural a las medidas estáticas de intensidad de campo eléctrico y MER, para la determinación de zonas de sombra en el sector de medición seleccionado (sector Comité del Pueblo, Av. Garcés).

---

<sup>47</sup> VER: Visualización de los programas de televisión, es decir, relación directa de apreciación que tiene el televidente respecto a los programas de televisión.

#### 4.1.1 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 26



**Figura 4.1** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 26

#### Análisis de Resultados:

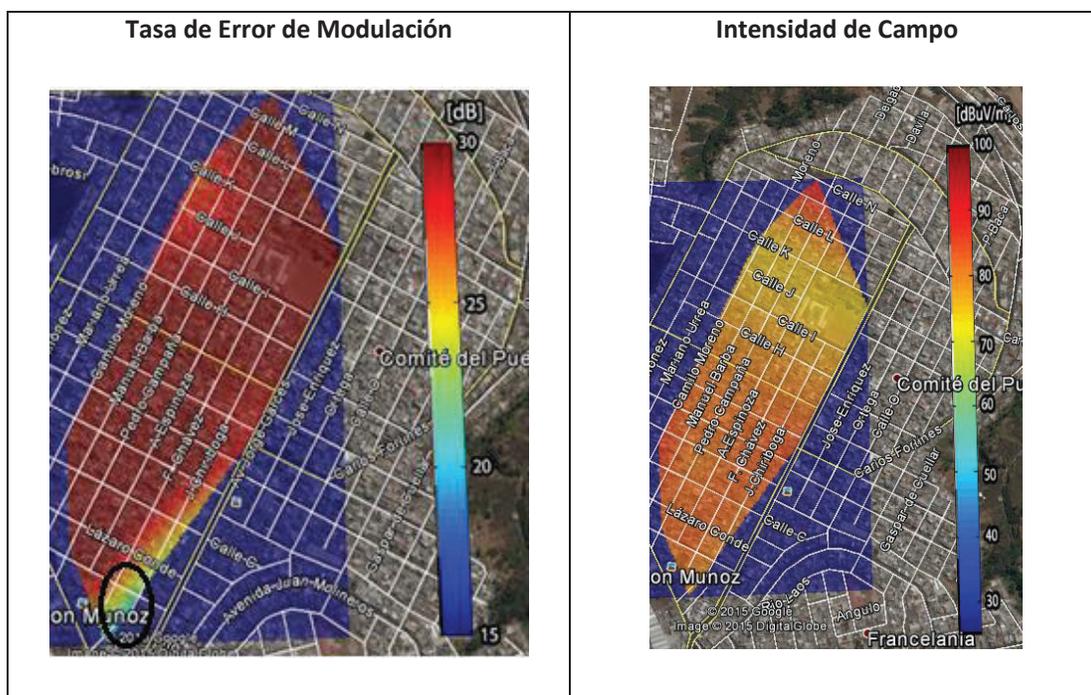
Los mapas a color presentados en la Figura 4.1 correspondiente al canal 26, indica que para la zona de medición seleccionada, los valores de MER e intensidad de campo superan los umbrales establecidos para cada caso. Sin embargo, en la parte inferior izquierda del gráfico de Interpolación de Puntos de MER (señalada mediante un círculo), se aprecia gráficamente una ligera disminución de los valores de MER, a pesar de que los valores de intensidad de campo no varíen drásticamente en ese sector, al respecto, en la Tabla 4.1, se muestra algunos puntos que hacen referencia al sector mencionado.

**Tabla 4.1** Puntos interpolados del canal 26

Longitud [°]	Latitud [°]	MER [dB]	Intensidad Campo [dBuV/m]
-78,4699566	-0,12375434	20,8402559	73,48722746
-78,4699566	-0,12388993	21,3890906	73,05292431
-78,4699566	-0,12379953	21,0232008	73,34245974
-78,4698668	-0,12343796	21,0293676	74,17319991

El programa realizado en MATLAB permite calcular el porcentaje de zona de sombra que existe respecto a la intensidad de campo y respecto al MER. Así pues, aplicando el algoritmo de interpolación *Natural*, con resolución = 5m, se obtuvo el siguiente resultado: el porcentaje de zona de sombra respecto a la intensidad de campo es 0%, mientras que el porcentaje de zona de sombra respecto al MER 0,037%. Esto significa que aunque la variación entre los dos resultados no es muy drástica, existen puntos donde la señal digital se pierde y los usuarios no disponen del servicio de TDT.

#### 4.1.2 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 30



**Figura 4.2** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 30

#### Análisis de Resultados:

Los mapas a color presentados en la figura 4.2, resultados de la interpolación de valores de MER e intensidad de campo para el canal 30, indica que para la zona de medición seleccionada no existe problema de calidad de señal digital ni de nivel de señal recibida, ya que los dos superan los valores de umbral establecido en cada caso.

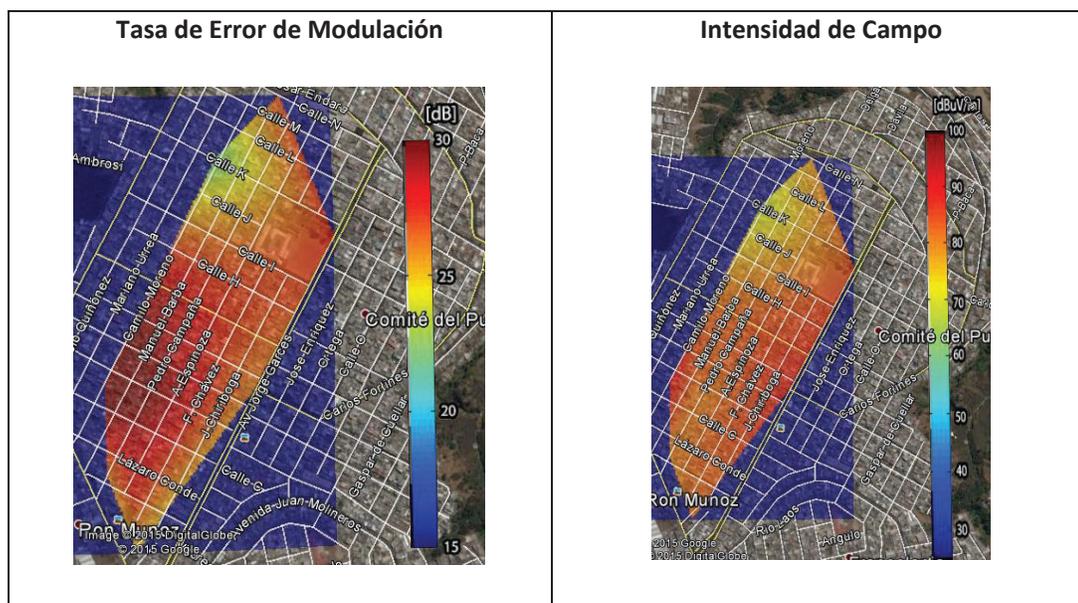
Se puede apreciar mediante los mapas a color que en la parte inferior derecha del gráfico de interpolación de puntos de MER (señalado en un círculo), existe una ligera disminución de los valores de MER a pesar que los valores de intensidad de campo se encuentren por encima del umbral (51 dBuV/m), como se indica en la muestra de puntos escogidos aleatoriamente en ese sector, citados en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Puntos interpolados del canal 30

Longitud [°]	Latitud [°]	MER [dB]	Intensidad Campo [dBuV/m]
-78,4693731	-0,12637574	20,9423459	80,02390363
-78,4694628	-0,12655653	19,9796328	79,35102605
-78,4694179	-0,12642094	20,8914379	79,96738676
-78,4692833	-0,12628535	21,0441618	80,13693738

En este caso, el porcentaje de zona de sombra respecto a la intensidad de campo es 0%, mientras que respecto al MER es 0,049%. Al igual que en el apartado anterior, existen puntos donde la calidad de la señal digital es mala, a pesar que en dichos puntos se mida un valor de intensidad de campo superior al umbral de 51 dBuV/m.

#### 4.1.3 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 32

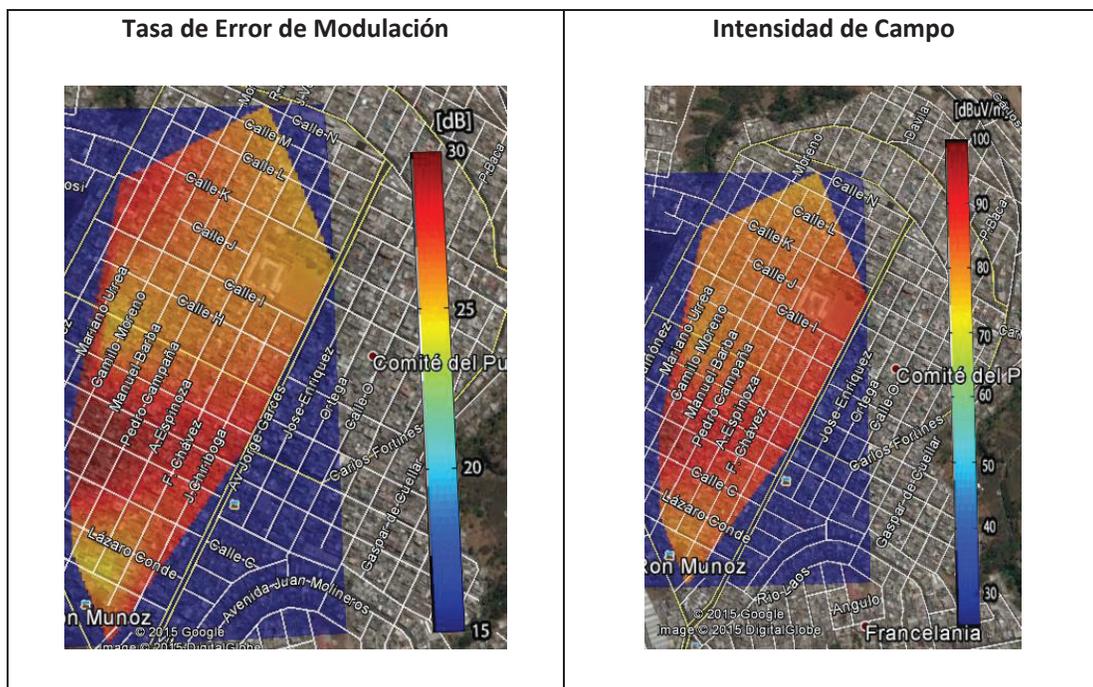


**Figura 4.3** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 32

### Análisis de Resultados:

En los mapas a color presentados en la figura 4.3, se aprecia que no existen valores por debajo del umbral establecido para la intensidad de campo y MER, dentro de la zona de medición. Por tanto, dado que los valores se encuentran en un rango aceptable, se considera que la recepción de señal recibida es óptima y no presenta inconvenientes.

#### 4.1.4 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 34

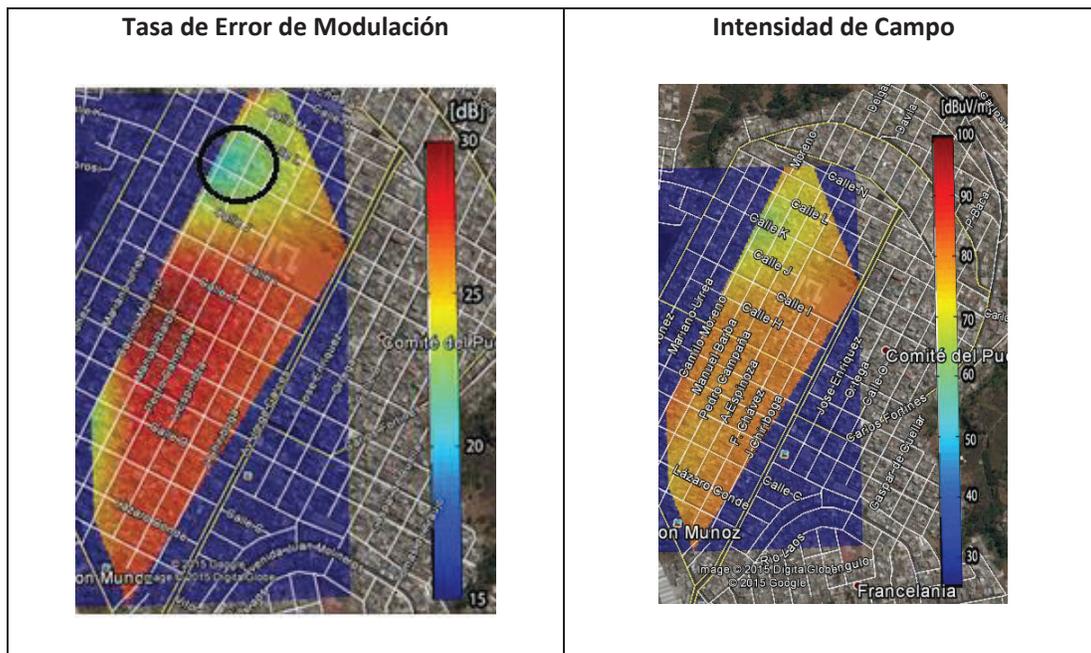


**Figura 4.4** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 34

### Análisis de Resultados:

Los mapas a color presentados en la Figura 4.4, resultados de la interpolación de valores de MER e intensidad de campo para el canal 34, indica que para la zona de medición seleccionada no existe problema de calidad de señal digital recibida, ya que presentan valores altos de MER e intensidad de campo. Por tanto, en el presente canal TDT, no existe problemas de cobertura y su recepción de señal digital se recibe de manera adecuada.

#### 4.1.5 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 36



**Figura 4.5** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 36

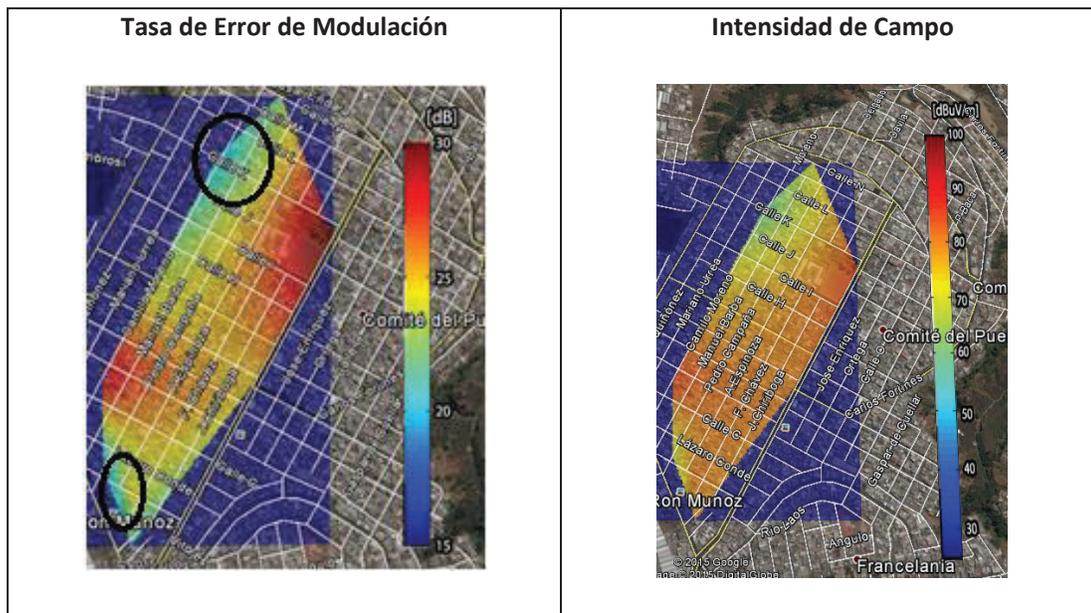
#### **Análisis de Resultados:**

En los mapas a color presentados en la Figura 4.5, se aprecia en la parte superior izquierda (señalada un círculo) que los valores de MER se encuentran en límite del umbral, como se indica en la Tabla 4.3, a pesar que los valores de intensidad de campo representados en el mapa a color superan el límite de su respectivo parámetro, es decir, 51 dBuV/m.

**Tabla 4.3** Puntos interpolados del canal 36

Longitud [°]	Latitud [°]	MER [dB]	Intensidad Campo [dBuV/m]
-78,4679367	-0,11977706	21,4684763	65,73972963
-78,4677572	-0,11946068	21,0497207	65,44669156
-78,4676225	-0,11946068	21,4473546	66,64102341

#### 4.1.6 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 39



**Figura 4.6** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 39

#### Análisis de Resultados:

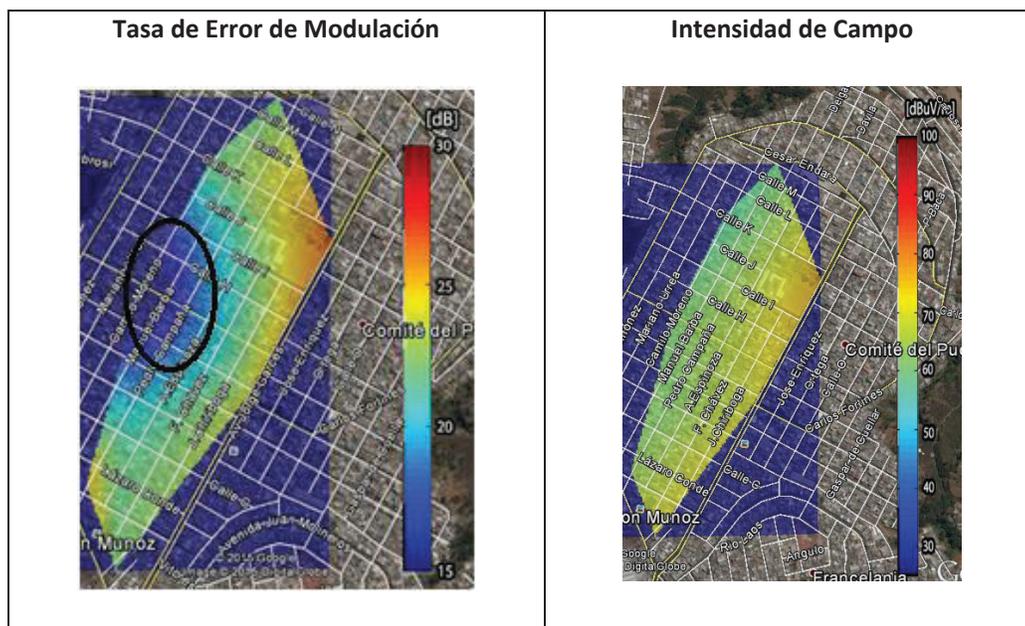
Los mapas a color presentados en la Figura 4.6, resultado de la interpolación de valores de MER e intensidad de campo para el canal 39, indican que en los bordes de la zona de medición existen valores de MER que se encuentran al límite de su respectivo umbral. Sin embargo, en el mapa a color de puntos interpolados de Intensidad de Campo Eléctrico, la estimación de valores si supera su correspondiente límite, como se indica numéricamente en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Puntos interpolados del canal 39

Longitud [°]	Latitud [°]	MER [dB]	Intensidad Campo [dBuV/m]
-78,467443	-0,1192347	21,446456	67,91653586
-78,4676225	-0,11937029	20,9665435	67,11114404
-78,4676674	-0,11946068	20,9470464	66,98632032
-78,4679367	-0,11991265	21,1889661	67,87406821
-78,4680714	-0,12027422	21,9174483	69,74595861
-78,4697321	-0,12592377	20,9318471	74,57128702
-78,4694628	-0,12646613	21,8801877	79,24412037
-78,4695526	-0,12624015	22,3184794	77,22869168

El porcentaje de zona de sombra respecto al MER es 0,25% y respecto a la intensidad de campo es 0%.

#### 4.1.7 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 41



**Figura 4.7** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 41

#### Análisis de Resultados:

En el mapa a color respecto a puntos de MER interpolados, representados en la Figura 4.7, se distingue que existe afectación en la calidad de señal digital ya que en el sector señalado mediante un círculo, los puntos estimados se encuentran por debajo del umbral establecido para MER. Sin embargo, en el mapa a color referente a puntos de intensidad de campo eléctrico interpolados, los valores superan el umbral para mencionado parámetro. Lo cual implica que en determinado sector no existe cobertura ya que la recepción de la señal digital es mala y no permite una correcta visualización del programa de televisión transmitido.

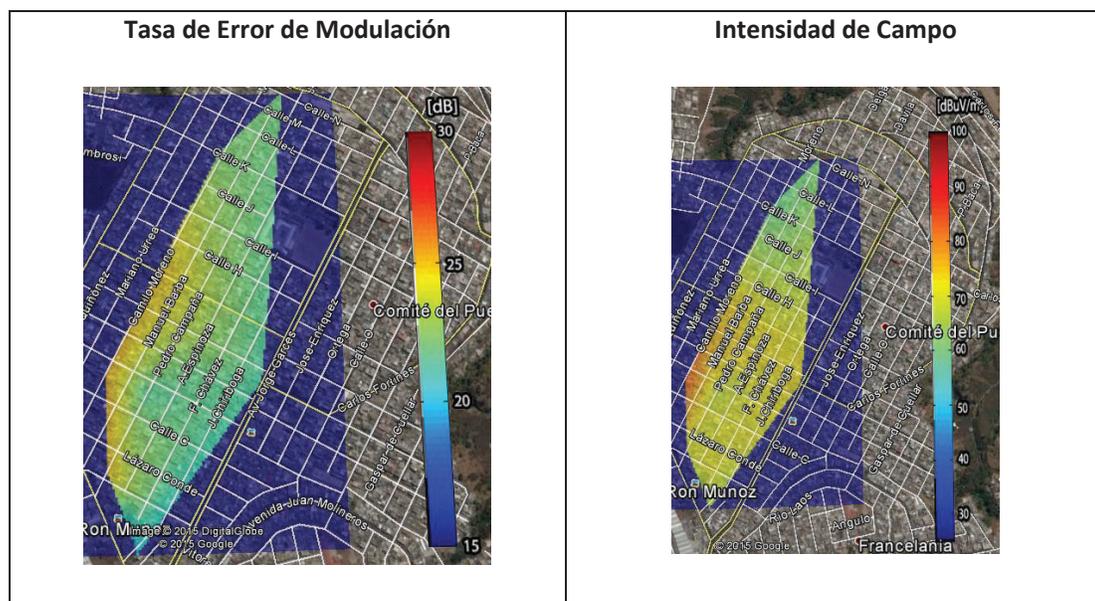
**Tabla 4.5** Puntos interpolados del canal 41

Longitud [°]	Latitud [°]	MER [dB]	Intensidad Campo [dBuV/m]
-78,4685202	-0,12149452	16,4382833	63,49520542
-78,4683407	-0,12230805	17,7166485	65,84623354
-78,46861	-0,12226285	16,4884805	64,73384392
-78,4687447	-0,12239844	16,3020097	64,87125386

-78,46861	-0,12266962	17,5330459	64,87125386
-78,4689691	-0,12266962	16,5886105	65,06085112
-78,4689691	-0,12280521	17,0819114	63,76931339
-78,4691037	-0,12280521	16,8102076	63,26532829
-78,4691037	-0,12303119	17,6323757	63,46979562
-78,4688793	-0,12303119	18,0852154	64,30977078
-78,4688793	-0,12212727	15,0421584	63,5480651
-78,4688793	-0,12266962	16,7841348	63,98722029
-78,4681611	-0,12117814	18,3711805	64,03723125
-78,4687447	-0,12185609	15,2376191	63,6118151

Los resultados obtenidos para el canal 41 reflejan un porcentaje de zona de sombra del 24,14%, mientras que respecto a la intensidad de campo 0%. Esto indica que en caso de tomar como referencia para la discriminación de zonas de sombra exclusivamente a la intensidad de campo, no se obtiene resultados que proporcionen información certera si el usuario recibe correctamente la señal digital. Por lo tanto, para tener una mejor referencia de recepción TDT, es adecuado realizar medidas de MER.

#### 4.1.8 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 43

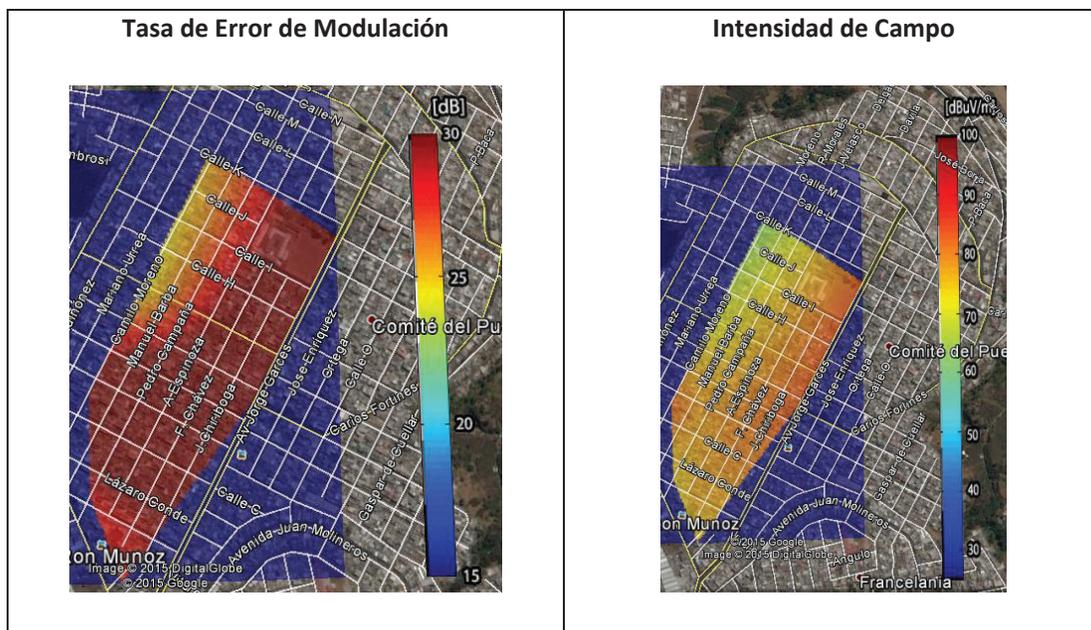


**Figura 4.8** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 43

### Análisis de Resultados:

Mediante la visualización de los mapas a color tanto para intensidad de campo eléctrico como para la tasa de error de modulación, se aprecia que no existen problemas para ninguno de los dos casos. Por tanto, no se profundiza el análisis.

#### 4.1.9 INTERPOLACIÓN DE MEDIDAS ESTÁTICAS DEL CANAL 45



**Figura 4.9** Representación gráfica de interpolación de puntos de Intensidad de Campo y MER del canal 45

### Análisis de Resultados:

Los mapas a color presentados en la figura 4.9, resultados de la interpolación de valores de MER e intensidad de campo para el canal 45, indica que para la zona de medición seleccionada no existe problema de calidad de señal digital ni de nivel de señal recibida, ya que los dos superan los valores de umbral establecido en cada caso.

## 4.2 FACTORES INTERFERENTES EN LA TRAYECTORIA DE PROPAGACIÓN [9]

La propagación de señales de TVD-T que se transmiten desde el transmisor al receptor, se exponen a diversos obstáculos al pasar por la trayectoria de

propagación, debido a fenómenos de interferencia ocasionados por distintas fuentes. Razón por la cual, se introducen esquemas de protección en el flujo de datos transmitidos como el denominado FEC (*Forward Error Correction*), que posteriormente se utilizan en el receptor para corregir errores producidos durante el trayecto. De esta manera, se contrarresta la interferencia y se logra una alta inmunidad al ruido que permite mayores alcances en el transporte de datos. Los principales factores interferentes que aparecen en la trayectoria de propagación son:

- Ruido térmico, se presenta debido al movimiento aleatorio de los electrones, es propia de los elementos de irradiación y de la electrónica de los sistemas.
- Ruido blanco, se lo conoce también como AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), el cual inevitablemente está presente en todo el espectro de frecuencias, es una señal cuyos valores no son determinísticos, son aleatorios. Este tipo de ruido es el causante de la “lluvia o nevado” en la televisión analógica y en televisión digital, ocasiona un aumento de probabilidad de error de bits en la recepción.
- Desvanecimiento de la señal, se refiere a las variaciones irregulares que sufre la señal, entre ellas, afectación de amplitud y fase; ocasionada por fluctuaciones de la señal recibida y se refleja en una pérdida de potencia en el terminal receptor.
- Efecto multitrayectoria, se manifiesta cuando la señal rebota a causa de un obstáculos cuyas dimensiones son muchos mayores que la longitud de onda incidente lo que se traduce en la llegada de múltiples señales y retrasadas en el punto de recepción.
- Efecto Doppler en sistemas móviles, dado que la velocidad de desplazamiento del receptor que se encuentra en movimiento, altera las frecuencias de las señales.

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Pese a la utilización de la técnica de multiplexación OFDM en el estándar ISDB-Tb para contrarrestar la interferencia intersímbolo proveniente de ecos e intentar aprovechar el efecto *multipath*, el efecto Doppler (ruido sobre portadoras) está presente en la recepción móvil afectando a símbolos OFDM consecutivos. Para ello, se aplican mecanismos como el entrelazado temporal y el entrelazado de frecuencia sobre símbolos OFDM consecutivos que permitan distribuir cadenas continuas de bits entre distintos símbolos OFDM separados en tiempo.
- Se emplea el formato UTM en la función TriScatteredInterp de MATLAB, debido a que en UTM las coordenadas de posición son representadas mediante un valor en x e y, con lo cual es posible manejar un sistema de coordenadas cartesiano simple que facilita el procesamiento de datos, específicamente posiciones geográficas.
- El *software* ARGUS de la Estación Móvil del SACER permite realizar drive test para varias frecuencias, al igual que el equipo R&S ETH. Sin embargo, sus metodologías de medición difieren debido a que el primero, permite ejecutar el drive test de manera simultánea para todo un grupo de frecuencias, mientras que con el equipo R&S ETH se debe configurar para cada frecuencia, es decir, de forma individual. Por tal razón, para realizar las mediciones dinámicas, se prefirió utilizar el software ARGUS de la Estación Móvil del SACER, acotando que los datos de interés era el nivel de señal en recepción y la posición geográfica en cada punto de medición para cada frecuencia central de las Estaciones de Televisión.
- La obtención de medidas dinámicas en varios puntos del área de medición, se realiza mediante el proceso de drive test a fin de simplificar el tiempo de recopilación de las medidas; la aplicación de este tipo de metodología con lleva una serie de aplicaciones incorporadas como mediciones de intensidad de campo, análisis de servicios de radiodifusión en receptores móviles, inclusión

del efecto Doppler en sus especificaciones de cobertura debido a que el equipo está incorporado en un vehículo en movimiento que es capaz de recibir las mediciones.

- La función `TriScatteredInterp` permite la ejecución de los algoritmos de interpolación estudiados (*Natural*, *Nearest*, *Linear*); Sin embargo, en MATLAB también existe la función `interp2` para realizar operaciones de interpolación, pero esta función requiere que las coordenadas de posición para los puntos medidos tengan el mismo formato (cuadrado), como si fueran producidos por `meshgrid`, es decir, las coordenadas de los puntos medidos deben formar una malla perfecta y no se admiten puntos esporádicos ubicados en cualquier posición, a diferencia de la función `TriScatteredInterp` que si lo permite. Debido a la inviabilidad de realizar mediciones exactamente en puntos que conforman una malla, la función `interp2` no fue utilizada para el desarrollo del presente proyecto.
- La facilidad que ofrece MATLAB para importar y exportar datos a un archivo Microsoft Excel, evita la necesidad de tener una base de datos dentro de MATLAB con la información de los puntos medidos, y de igual forma, se facilita el almacenamiento de los resultados en un archivo externo a MATLAB. De esta manera, MATLAB únicamente se utiliza para realizar las operaciones o cálculos matemáticos, dejando el almacenamiento de datos a otras herramientas como Microsoft Excel, mismas que ofrecen un mejor ambiente de trabajo para la manipulación de datos.
- La adecuada sincronización de las señales C-OFDM procedentes de diversos transmisores permite maximizar el porcentaje de ecos que contribuyen a la recuperación de la información enviada.
- En el apartado 1.6, se efectúa un estudio de las Redes de Frecuencia Única como alternativa para brindar cobertura del servicio de Televisión Digital Terrestre. Sin embargo, es posible trabajar con otro esquema de red, como son las Redes de Frecuencias Múltiples, las mismas que requieren el uso de varias frecuencias mediante una red formada por varios emisores, donde cada uno utiliza una frecuencia diferente, en el presente trabajo no se realizó un estudio a profundidad de este tipo de red debido a su uso ineficiente del espectro radioeléctrico. Por el contrario, las SFN amplían las áreas de cobertura

mediante el uso de la misma frecuencia de la emisora principal, lo cual implica un ahorro de espectro radioeléctrico.

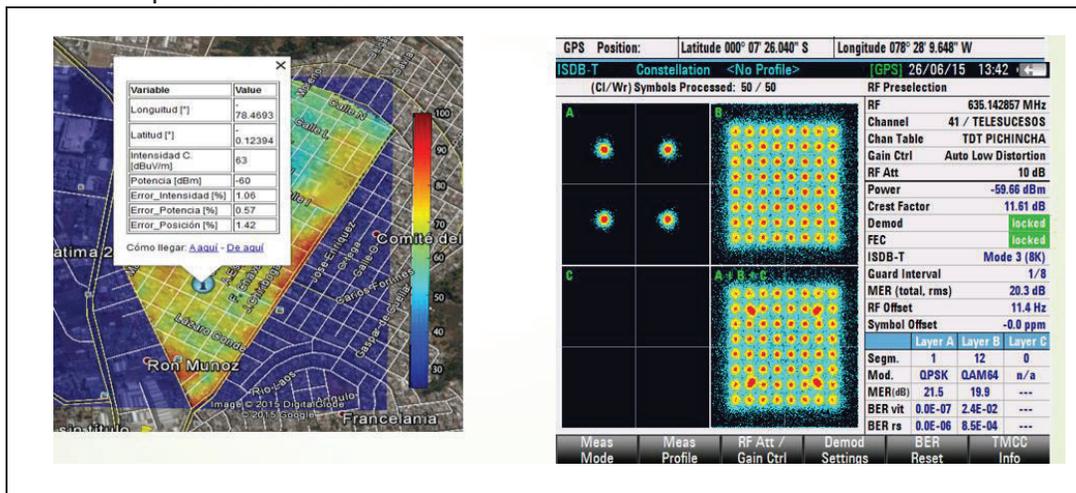
- El *toolbox* de Google Earth en MATLAB, es una herramienta que permite la visualización de los valores de intensidad de campo o MER (cada valor mapeado a un color determinado) en cada posición de la zona de medición, permitiendo observar las obstrucciones físicas que aparecen en la trayectoria de propagación, como montañas, edificios, depresiones del terreno o elevaciones.
- En la sección 1.5.1.4, se indica que la información a transmitir en ISDB-Tb, se organiza en capas jerárquicas. Esta jerarquía se aplica cuando varias señales son transmitidas dentro del mismo ancho de banda asignado al canal, a este proceso se confiere el nombre de multiprogramación. Además, la asignación de la jerarquía depende del tipo de contenido a transmitir y del dispositivo destinado en recepción, ya que las señales de mayor jerarquía tienen menor tasa de transmisión de datos, a costa de una mayor robustez; tomando en cuenta que una mayor jerarquía permite mejor penetración en el área de cobertura.
- Para medir la calidad de transmisión de una señal digital en TDT, existen técnicas que permiten verificar que los programas de televisión sean recibidos correctamente, para ello se utiliza equipos apropiados como el utilizado en el presente trabajo, denominado R&S ETH, el cual proporciona información de varios parámetros como la intensidad de campo, BER, y MER; el último parámetro provee una clara idea de las interferencias que afectan a la señal de TV digital permitiendo una evaluación cuantitativa de la calidad de la señal.
- En el Ecuador se han efectuado pruebas de cobertura de TDT, basando su análisis en la intensidad de campo. Para ello, la elección del modelo de propagación es fundamental, al respecto, en el documento de investigación [41] elaborado en la ciudad de Guayaquil, concluye que la recomendación UIT-R P.1546 es la más certera respecto al modelo de propagación Okumura-Hata, en la cual se obtuvieron datos de correlación de 0.96. Este resultado difiere del obtenido en la simulación realizada en el presente proyecto de 9.04 dB porque el desempeño del modelo de propagación UIT-R P.1546 de acuerdo a lo descrito

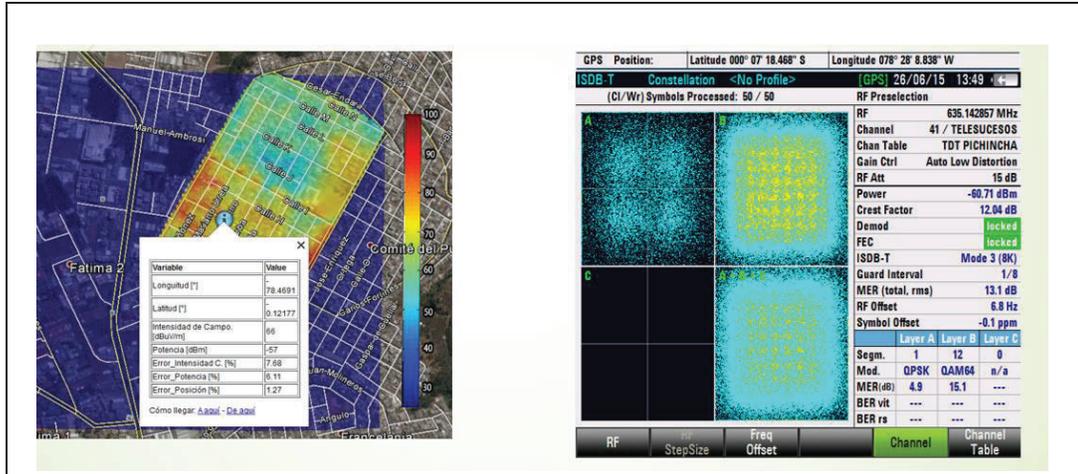
- en [42] no toma en cuenta los perfiles del terreno, por ende se desempeña mejor en un terreno plano como el que tiene la ciudad de Guayaquil.
- Una vez efectuadas las mediciones de cobertura o radiogoniometría utilizando las herramientas adecuadas del sistema SACER, es posible presentar los resultados de forma gráfica mediante el software MapView. El mismo que permite visualizar parámetros de medición en un mapa electrónico, en el que incluye resultados de marcación y ubicación, revelando si el transmisor de interés es conocido o desconocido. Además, la ubicación de transmisores licenciados se puede mostrar simultáneamente.
  - Mediante la Figura 2.28, presentada en la sección 2.3.1, se concluye que la aplicación del algoritmo de interpolación *Nearest Neighbor Interpolation* no obtiene una buena precisión en sus resultados y más aún en escenarios donde los valores de los puntos conocidos son muy diferentes y dichos puntos se encuentren muy alejados entre sí, lo cual inducirá a un porcentaje de mayor error. Sin embargo, si se aumenta el número de puntos conocidos, es posible llegar a tener una mejor eficiencia en cuanto a su estimación de valores. Además, mencionado algoritmo de interpolación es considerado el más simple de los tres que han sido estudiados en el presente trabajo, por ende requiere menor tiempo de procesamiento.
  - *Linear Interpolation* requiere mayor tiempo de procesamiento respecto a *Nearest Neighbor Interpolation*, como se observa en la Figura 2.30 correspondiente a la sección 2.3.2, no presenta cambios bruscos en la estimación de sus valores, lo cual implica que la aplicación de este algoritmo proporciona mejores resultados a medida que aumente el número de valores conocidos.
  - De acuerdo a los resultado indicados en la Tabla 3.5, el algoritmo de interpolación de menor porcentaje de error promedio es *Natural Neighbor Interpolation*, su eficiencia es mayor respecto los dos algoritmos de interpolación estudiados, debido a que toma en cuenta todos los puntos vecinos al punto a estimar, sin embargo, esa ventaja funciona a costa de un mayor tiempo de procesamiento.
  - Mediante los mapas a color obtenidos como resultado de la interpolación de medidas de MER e intensidad de campo para cada canal TDT, indicados en la

sección 4.1, se aprecia que en puntos donde el nivel de señal de recepción es alto, se dispone de valores MER bajos; concluyendo que no necesariamente tener valores de intensidad de campo superior al umbral de protección establecido de 51 dBuV/m, garantiza una adecuada calidad digital en recepción de los contenidos en programas de televisión. Por lo tanto, se prioriza el análisis digital efectuado en base a interpolación de mediciones de MER frente al análisis en base a mediciones de intensidad de campo.

- En la Tabla 5.1 se presenta una comparación de medidas de intensidad de campo y MER evaluados en los mismos puntos de medición para el canal 41. En la cual es posible distinguir que pese a que el valor de intensidad de campo se encuentre por encima del umbral establecido por la Norma Técnica para TDT en Ecuador de 51 dBuV/m para descartar que aquel punto corresponda a zona de sombra, efectuando la medición con el equipo ETH se aprecia en los dos últimos gráficos de la Figura 5.1, los valores de MER se sitúan por debajo del umbral definido como aceptable mencionado en el apartado 2.2.3.1.2, además se muestra una visualización difusa de los correspondientes diagrama de constelaciones.

**Figura 5.1** Comparación de medidas de intensidad de campo y MER en tres puntos de medición





## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tener conocimiento de la resolución definida para los mapas que son utilizados en aplicaciones de coberturas efectuadas en el software ICS TELECOM, de esta manera es posible saber la precisión de estimación que brindará la predicción de cobertura respecto a la ubicación que ha sido configurado el transmisor. Al respecto, como se mencionó en la sección 3.6.2, el mapa de Quito utilizado para en las simulaciones de cobertura en el presente trabajo, tiene una resolución de 5 m; Sin embargo, la Dirección del Espectro Radioeléctrico de ARCOTEL también tiene a disposición los mapas de Ecuador con resolución de 50m, pero se prefirió utilizar el mapa de Quito porque la zona de medición seleccionada se encuentra dentro de mencionada ciudad y la precisión de este mapa es mayor a los mapas de Ecuador disponibles.
- La capacidad de transmisión requerida depende del número de programas a emitir y tipo de resolución (*Full* HD, HD, SD), además se debe considerar la forma de recepción y la zona de cobertura a dar servicio para de esta manera establecer la configuración adecuada del transmisor que satisfaga con los requerimientos.
- La elaboración del proyecto de titulación presenta una posible solución de estimación de cobertura para determinar las zonas de sombra, fijando el escenario de medición; además, mediante la interfaz gráfica de usuario (GUI) facilita el uso del programa, el cual es útil para cualquier investigador interesado

en realizar análisis de campo y no necesita tener conocimiento de la programación utilizada, sino únicamente debe conocer los formatos adecuados de los datos de entrada para MATLAB.

- Es necesario dimensionar la zona de medición mediante el análisis efectuado en el apartado 3.3.2.3, dado que esto permitirá delimitar la zona sobre la cual se mostrará la interpolación de medidas a color, sobre el mapa de Google Earth. De esta manera, no existirá error en la ubicación geográfica de los puntos interpolados.
- Cuando no se tiene un modelo de propagación estandarizado en la aplicación de predicciones de cobertura de los servicios de telecomunicaciones, es posible que existan imprecisiones en los resultados adquiridos. Como se demostró en el estudio del apartado 3.6.4, los resultados simulados y las mediciones reales difieren dependiendo del modelo de propagación que se utilice. Por lo tanto, se sugiere efectuar una evaluación de los modelos de propagación adecuados para televisión digital, entre los que se tiene en cuenta a UIT-R P.1546 y a UIT-R P.1812 considerando el escenario de despliegue, la altura del transmisor, la información cartográfica disponible y el perfil del terreno del escenario de medición.
- La Norma Técnica para el desarrollo de la TDT en el Ecuador bajo es estándar ISDB-Tb, se basó en las especificaciones establecidas por la norma técnica brasileña ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas) NBR 15601. Sin embargo, es conveniente realizar un análisis de campo para las respectivas zonas de territorio ecuatoriano con el fin de solventar problemas de cobertura que se presentan en diferentes partes del país y además explotar los beneficios que trae consigo la aplicación de la tecnología digital como el desarrollo de aplicaciones interactivas en las cuales se incluye el uso del canal de retorno que actualmente no está siendo explotado.
- Para cubrir las áreas determinadas como zonas de sombra es recomendable utilizar *gap-fillers* y además tener en cuenta los parámetros de MER y VER, importantes para la evaluación de calidad de señal digital en recepción y no basarse exclusivamente en los valores de intensidad de campo.
- La Norma Técnica para TDT en el Ecuador, menciona en su artículo 10 que el nivel de intensidad de campo mínima a proteger es de 51dBuV/m, caso

contrario se puede presenciar zonas de sombra. Sin embargo, en algunos puntos de la zona donde se efectuaron las mediciones, a pesar de superar este valor, el diagrama de constelaciones se muestra borroso y valores de MER se encontraban por debajo del umbral (20 a 30 dB) o al límite del mismo, ocasionado debido a efectos de desvanecimiento y multitrayectoria que sufre la señal. Por tal motivo, se sugiere revisar lo citado en mencionado artículo y tener en cuenta a la tasa de error de modulación para definir la presencia de zonas de sombra.

- La determinación de zonas de sombra ayuda a brindar un mejor servicio de TDT a los televidentes. Es por ello, que la aplicación de este proyecto podría ser utilizado para evaluar la cobertura en varios sectores del país en base a mediciones reales; y de ese manera efectuar un análisis más detallado en cuanto a la determinación de lugares que no disponen de este servicio y con más razón cuando se pretende efectuar el apagón analógico, el cual está pronosticado llevarse a cabo para el año 2018.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iván R. Suárez F., “Determinación de cobertura de señal de los sistemas de transmisión de televisión abierta analógica que operan en la ciudad de Quito.” Proyecto de Titulación, QUITO/EPN/2012.
- [2] Fredy R. Poma L, “La Historia de la Televisión en Ecuador.” Disponible en: <http://megadigitalnews24.blogspot.com/2008/11/la-historia-de-la-television-en-ecuador.html>
- [3] CONATEL, “Resolución RTV-681-24-CONATEL-2012.” 2012. Disponible: [http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/RTV-681-24-CONATEL-2012-PLAN%20MAESTRO-ACTUAL.pdf](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/RTV-681-24-CONATEL-2012-PLAN%20MAESTRO-ACTUAL.pdf).
- [4] Telecomunicaciones Ecuador, “Proceso de Implementación de la Televisión Digital en el Ecuador.” Febrero 2015. Disponible en: [http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/PRESENTACION%CC%81N\\_TDT\\_MINT-EL-Febrero-2015.pdf](http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/PRESENTACION%CC%81N_TDT_MINT-EL-Febrero-2015.pdf)
- [5] Rodrigo A. Jarrín A y Carlos S. Morejón G., “Diseño de Red de Frecuencia Única para un Canal de Televisión en la banda UHF con la norma ISDB-Tb para la zona Geográfica P.” Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/browse?type=author&value=Morej%C3%B3n+Garc%C3%ADa%2C+Carlos+Santiago>.
- [6] Manuel Cubero, “La Televisión Digital Fundamentos y Teorías.”, 2009. [10] Mathuranathan Viswanathan . , “Constructing a rectangular constellation for 16-QAM.”, Octubre 2012. Disponible en: <http://www.gaussianwaves.com/2012/10/constructing-a-rectangular-constellation-for-16-qam/>.
- [7] “Codificación de Canal y Modulación (COFDM DVB-T).” Disponible en: [http://wikitel.info/wiki/COFDM\\_CODIFICACION\\_2PARTE](http://wikitel.info/wiki/COFDM_CODIFICACION_2PARTE)
- [8] “NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE CANALES.” Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>
- [9] Pisciotta Néstor O., Liendo Carlos G. y Lauro Roberto C., “Transmisión de Televisión Digital Terrestre en la Norma ISDB-Tb.” 2013.
- [10] Moncayo F. Tatiana J. y Pozo C. Mónica E., “Generación del Flujo único de Paquetes de Transporte TS de acuerdo a la Norma ISDB-Tb y desarrollo de una aplicación para su análisis.” Proyecto de Titulación, QUITO/EPN/2014.
- [11] Carrillo A. Jenny B. y Freire R. Diana D., “Determinación de Parámetros Técnicos para el Control de Calidad de la Señal de Televisión Digital Terrestre con la Norma ISDB-Tb.” Proyecto de Titulación, QUITO/EPN/2014.
- [12] Páez V. Xavier S., “Medición de Parámetros de Calidad de las Señales de Televisión Digital Terrestre (TDT) en Sitios Identificados como Zonas de Sombra Dentro del Distrito Metropolitano de Quito.” 2015.
- [13] ARCOTEL, “Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Digital Terrestre.”, aprobado por el Comité Técnico de Implementación de Televisión Digital Terrestre mediante Resolución N° CITDT-2015-01-056 de 30 de abril de 2015.

- [14] Anónimo, “Sistemas de Modulación.” Disponible: <http://www.analfatecnicos.net/archivos/15.SistemasModulacionWikipedia.pdf>. Último Acceso: 11 de junio del 2015. Disponible: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tdt.pdf>.
- [15] Jiménez J. María S. “Comunicación Digital.” QUITO/EPN.
- [16] Anónimo, “Modulación Digital: FSK-PSK-QAM.” Disponible: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/MODULACION-DIGITAL-FSK-PSK-QAM.php>.
- [17] “Constructing a rectangular constellation for 16-QAM.” Disponible: <http://www.gaussianwaves.com/2012/10/constructing-a-rectangular-constellation-for-16-qam/>.
- [18] “TDT para todos,” CONCORTV Consejo Consultivo de Radio y Televisión – Perú. Disponible: <http://www.concortv.gob.pe/especiales/television-digital-terrestre.html>.
- [19] “Estándar de Televisión Digital Terrestre,” CONCORTV Consejo Consultivo de Radio y Televisión – Perú. Disponible: <http://www.concortv.gob.pe/index.php/tdt-informacion-avanzada/483-estandar-de-television-digital-terrestre.html>.
- [20] Filián N. Marcelo R., “Sistema Automático para el Control del Espectro Radioeléctrico (SACER).” Disponible en: [http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/cuadernillo\\_6.pdf](http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/cuadernillo_6.pdf).
- [21] López S. Marcelo J. y Villaruel A. Carlos E., “Diagnóstico de la situación actual de los servicios de radio y televisión en el sur del país mediante el análisis de información del sistema automático de control del espectro radioeléctrico (SACER) de la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL) y planteamiento de soluciones técnicas para las irregularidades de mayor incidencia,” Proyecto de Titulación, CUENCA/Universidad de Cuenca/ 2013.
- [22] López A. Luis D., “Medidas y análisis de ocupación del espectro e identificación de algoritmos de interpolación, para la búsqueda de White Spaces.” Proyecto de Titulación, ESPAÑA/Universidad Politécnica de Cataluña.
- [23] Moisés Ortiz, “La función EXTRAE en Excel.” Disponible en: <https://exceltotal.com/la-funcion-extrae-en-excel>.
- [24] Favela Mike., “Estudio sobre el Diagrama de Voronoi.” Disponible en: <https://favelapainting.wordpress.com/2012/06/04/estudio-sobre-el-diagrama-de-voronoi/>, 2012. Último Acceso: 25 de Mayo de 2015.
- [25] Anónimo., “Mediatriz.” Disponible en: <http://www.ditutor.com/geometria/mediatriz.html>.
- [26] Fernández C. Ignacio A., “Localizaciones Geográficas. Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM. (Universal Transversa Mercator). El DATUM.” Disponible en: <http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas-utm-datum.pdf>.
- [27] Anónimo, “Coordenadas Geográficas.” Disponible en: <http://www.profesorenlinea.cl/geografiagr/Coordenadasgeog.htm>.
- [28] Cabrera Ñ. Andrea M. “Análisis y verificación técnica de la calidad de la radiodifusión en frecuencia modulada en la ciudad de Riobamba;

- Recomendaciones para su mejoramiento.” Proyecto de Titulación, RIOBAMBA/Escuela Superior Politécnica de Chimborazo/2013.
- [29] Anónimo, “Some Commonly Asked Question About EMC Measurement Units.” Disponible en: <http://www.microvolt.com/table.html>
- [30] Anónimo, “Antenna Factor.” Disponible en: <http://www.antenna-theory.com/definitions/antennafactor.php>
- [31] Anónimo, “Antenna Factor.” Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna\\_factor](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_factor).
- [32] Rohde & Schwarz, “R&S® ADD295 V/UHF Broadband DF Antenna - Manual.”
- [33] Rohde & Schwarz, “Transmisor ISDB-T Mediciones para aceptación, puesta en servicio y mantenimiento.” 2013. Disponible en: [http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/7bm103/7BM\\_103\\_1ES.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/7bm103/7BM_103_1ES.pdf).
- [34] José., “Medir la señal DVB-T / Analizador Transport Stream (DVB-T).” Disponible en: <http://tdtdvb-t.blogspot.com/>.
- [35] Jordi Pallares., “Análisis del espectro el MER.” Disponible en: <http://es.slideshare.net/fingeroso/ber-y-mer>
- [36] Gómez-Caram Andrés, Labandera Agustin y Marín Gonzalo, “Mediciones y Modelo de Cobertura para Televisión Digital Terrestre.” 2014. Disponible en: <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2014/LGMR14a/GLM.pdf>.
- [37] Fernández H. Jorge R. “Estudio y propuesta de modelo de propagación para las señales de Tv Digital en Lima y su implementación en un software de estimación de cobertura desarrollado usando MATLAB.” 2012. Disponible en: [http://www.researchgate.net/publication/272564657\\_Estudio\\_y\\_propuesta\\_de\\_modelo\\_de\\_propagacin\\_para\\_TDT\\_en\\_Lima\\_y\\_su\\_implementacin\\_en\\_un\\_software\\_de\\_estimacin\\_de\\_cobertura](http://www.researchgate.net/publication/272564657_Estudio_y_propuesta_de_modelo_de_propagacin_para_TDT_en_Lima_y_su_implementacin_en_un_software_de_estimacin_de_cobertura).
- [38] Lanza D. Marta, “Desarrollo de Métodos de Análisis y Optimización para Redes de Frecuencia Única (SFN).” 2013. Disponible en: <http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4437/Tesis%20MLD.pdf.txt?sequence=6>.
- [39] “A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands.” ITU, Recommendation ITU-R P.1812-4 2015. Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-!!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-!!!PDF-S.pdf).
- [40] “Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz.” 2013. Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-5-201309-!!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-5-201309-!!!PDF-S.pdf).
- [41] Yépez F. César, Ponce P. Kelvin I. y Jarrín R. Thelmo G., “Análisis de las mejores prácticas y comparación con valores teóricos de los niveles de recepción RF de una señal de TDT.” Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/29773/1/An%C3%A1lisis%20de%20las%20mejores%20pr%C3%A1cticas%20y%20comparaci%C3%B3n%20con%20valores%20te%C3%B3ricos%20de%20los%20niveles%20de%20recepci%C3%B3n%20RF%20de%20una%20se%C3%B1al%20de%20TDT.pdf>.

- [42] Medina G. Fabiana B y Guía V. Madeleine V., “Modelo de predicción para la propagación de la señal de Televisión Digital en Venezuela.” Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7536.pdf>
- [43] Rodríguez Joel, “ATDI Manual de Capacitación.” ATDI, 2013.
- [44] Trainig Resources, “Correlation between measurements and prediction Model tuning.” ATDI, 2007.
- [45] Domínguez Docel José Antonio, Coordenadas geográficas: paralelos y meridianos, latitud y longitud. Noviembre 2014. <http://jadonceld.blogspot.com/2014/11/coordenadas-geograficas-paralelos-y.html>. Disponible al 28 de Diciembre de 2015.
- [46] Ibáñez Asensio Sara, Blanquer Juan Manuel, Moreno Ramón Hector, El Sistema de Coordenadas UTM. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10772/Coordenadas%20UTM.pdf>
- [47] Atlas Global de la Región de Murcia. Disponible en: <http://www.atlasdemurcia.com/index.php/secciones/3/cartografia-actual-topografica-ortofotos-satelite/>.
- [48] Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_coordenadas\\_universal\\_transversal\\_de\\_Mercator](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_coordenadas_universal_transversal_de_Mercator)
- [49] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/la-arcotel/>
- [50] Calvo Nestor, “INTERPOLACION”, 2011. Disponible en: [http://www.cimec.org.ar/~ncalvo/interpolacion\\_doc.pdf](http://www.cimec.org.ar/~ncalvo/interpolacion_doc.pdf)
- [51] DGGER-SENATEL, “Cambios Regulatorios en la banda 3600-3800 MHz”. Disponible es: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/Modificaciones-al-texto-del-Plan-Nacional-de-Frecuencias-20141.pdf>
- [52] Yépez Hugo, Escobar Verónica, “INFORME DE PRUEBAS TÉCNICAS DE MEDICIONES DE LAS SEÑALES DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN LAS CIUDADES DE QUITO Y GUAYAQUIL.”, QUITO/ARCOTEL/ ENERO 2015.

# ANEXOS

**ANEXO A:**

MEDICIONES ESTÁTICAS

**ANEXO B:**

MEDICIONES DINÁMICAS

**ANEXO C:**

INSTALACIÓN DEL TOOLBOX DE GOOGLE EARTH EN MATLAB

**ANEXO D:**

CONFIGURACIÓN DE UN TRANSMISOR DE TELEVISIÓN DIGITAL EN EL  
SOFTWARE ICS TELECOM

**ANEXO E:**

PROCEDIMIENTO PARA PREDICIÓN DE COBERTURA EN EL SOFTWARE ICS  
TELECOM

**ANEXO F:**

CONFIGURACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA CON EL  
SOFTWARE ANTIOS

LOS ANEXOS SE ENCUENTRAN EN EL CD ADJUNTO.