

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO EMISOR DE TDT CON GAPFILLERS PARA EL DISTRITO DE LA MOLINA, CIUDAD DE LIMA

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que presenta el
bachiller:

Dante Orlando Casanova Silva

ASESOR: Ing. Alan Ramírez García

Lima, Agosto de 2014

Resumen

El presente trabajo consiste en el estudio e implementación de un centro emisor de Televisión Digital Terrestre (en adelante TDT) con *gapfillers* para una zona particular del distrito de La Molina en la ciudad de Lima. La justificación del trabajo realizado cobra sentido frente a una problemática originada en la orografía de dicha zona; que provoca que ésta carezca de una cobertura adecuada para la señal de TDT, este conjunto de problemas encuentra una solución a través del despliegue de reemisores digitales de frecuencia única, también denominados *gapfillers*.

El proceso de implementación del *gapfiller* consta principalmente de dos fases, en la primera de ellas se realiza un estudio teórico con la finalidad de obtener aproximaciones de áreas de cobertura a través de herramientas de software propietario y gratuito; la segunda fase consiste en el despliegue e implementación del sistema en la zona específica del distrito de La Molina y de la observación y análisis de su puesta en marcha.

Los resultados más resaltantes son: (i) la confirmación empírica de que a pesar de las desventajas topográficas de la zona en cuestión, es posible ampliar la cobertura de la señal de TDT con un *gapfiller* de baja potencia y, consecuentemente, (ii) la reducción significativa del impacto ambiental del sistema. Respecto a este último punto, se pretende esbozar una introducción que sirva como referencia para futuros estudios de impacto ambiental.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES

Título : Estudio diseño e implementación de un centro emisor de TDT con "gapfillers" para el distrito de La Molina, ciudad de Lima.

Área : Televisión digital # 170

Asesor : Ing. Alan Ramírez García

Alumno : Dante Casanova Silva

Código : 20022224

Fecha : 15/07/11



Descripción y Objetivos:

Se describe la problemática de carencia de cobertura de TDT en una zona específica del distrito de La Molina. Para la solución, se plantea el despliegue de una red de repetidores de baja potencia, *gapfiller*, (i) simulando las posibles áreas de cobertura en software, (ii) llevando a cabo una implementación básica en el distrito mencionado, y (iii) comparando los resultados de las simulaciones con los obtenidos a través de las pruebas de campo de la instalación. Los objetivos son:

- Simular el área de cobertura del centro emisor en el distrito mencionado a través del uso de software propietario y libre, interpretando sus resultados de acuerdo a las peculiaridades geográficas.
- Implementar y documentar el procedimiento de despliegue de un centro emisor de TDT bajo el estándar ISDB-T.
- Realizar un análisis comparativo entre los resultados de la simulación y las pruebas de campo realizadas posteriores a la puesta en marcha del centro emisor.
- Proponer algunas pautas iniciales que favorezcan el acondicionamiento de un escenario adecuado para futuros estudios sobre los impactos que genera un nuevo centro emisor de TDT en el medio ambiente.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES

Título : Estudio, diseño e implementación de un centro emisor de TDT con *gapfillers* para el distrito de La Molina, ciudad de Lima.

Índice:

Introducción

1. La televisión digital terrestre en Perú y sus características técnicas.
2. Aproximación del área de coberturas a través de cálculos y simulaciones por software.
3. Instalación y despliegue del centro emisor.
4. Aspectos Ambientales.

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Máximo: 100 páginas

Índice general

Introducción	1
1. La TDT en Perú y sus características técnicas	3
1.1. Estándares de televisión digital mundiales	3
1.1.1. ISDB-T Internacional	3
1.1.2. Apagón Analógico	4
1.2. Características técnicas de la señal TDT	4
1.2.1. Estructura ISDB-T	4
1.2.2. One-seg	12
1.3. Gapfiller	12
1.3.1. Definición	12
1.3.2. Cancelador de ecos	13
1.3.3. Sugerencias para su instalación	14
2. Aproximación de área de coberturas	15
2.1. Problemática	15
2.2. Primera simulación: Radio Mobile	16
2.2.1. Sistema radiante	17
2.2.2. Características del <i>gapfiller</i>	17
2.2.3. Mapa de la zona y cobertura obtenida	20
2.3. Segunda Simulación: Software propietario de Egatel	22
3. Instalación y despliegue del gapfiller	24
3.1. Consideraciones previas	24

3.1.1. Ubicación de la caseta y torre	27
3.2. Equipos a instalar	28
3.2.1. Sistema receptor	29
3.2.2. Gapfiller	30
3.2.3. Cables y conectores	32
3.3. Instalación de los equipos	33
3.4. Pruebas de cobertura	34
3.5. Pruebas técnicas de INICTEL	34
3.5.1. Selección de los puntos de evaluación	34
3.5.2. Pruebas de campo	36
3.5.3. Comparación con simulaciones	36
4. Aspectos Ambientales	37
4.1. Radiaciones no ionizantes	37
4.1.1. Radiación de las estaciones fijas	37
4.1.2. Radiación de estaciones portátiles	38
4.2. Efectos biológicos	38
4.3. Impacto ambiental de la instalación	38
Conclusiones	40
Bibliografía	41

Índice de Tablas

1.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ESTÁNDAR	5
1.2. RESTRICCIONES DETERMINADAS POR EL NIVEL DE CODIFICACIÓN	7
1.3. PRINCIPALES PARÁMETROS DEL SISTEMA DE CODIFICACION DE AUDIO	8
1.4. TIPOLOGÍAS DE RED	13
1.5. DIFERENCIAS ENTRE GAPFILLER Y REEMISOR	14
2.1. UBICACIÓN DEL GAPFILLER	17
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE DE EGATEL	22
3.1. EVALUACIÓN SUBJETIVA DE LA IMAGEN Y SONIDO	26
3.2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN Y PRUEBAS DE COBERTURA PREVIAS	26
3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA YAGUI	29
3.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS PANEL	32
3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES Y CONECTORES	33
3.6. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN Y PRUEBAS DE COBERTURA PREVIAS Y POSTERIORES	34
3.7. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN - INICTEL	35
3.8. PRUEBAS DE CAMPO PREVIAS Y POSTERIORES - INICTEL	36
4.1. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	39

Índice de figuras

1.1. SUBSISTEMA DE VIDEO	6
1.2. SUBSISTEMA DE AUDIO	8
1.3. ESTRUCTURA DE PAQUETE TS Y SUS SECCIONES	9
1.4. SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y MULTIPLEXAJE	10
1.5. TRANSMISOR ISDB-T	11
1.6. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL RECEPTOR	12
1.7. ESQUEMA/ DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CANCELADOR DE ECO	14
2.1. ZONA DE INTERÉS	16
2.2. PATRONES DE RADIACIÓN DE LAS ANTENAS	17
2.3. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE PROPAGACIÓN	18
2.4. TOPOLOGÍA DEL GAPFILLER	19
2.5. PARÁMETROS DEL GAPFILLER	20
2.6. MAPA DE LA ZONA EN GOOGLE EARTH	21
2.7. MAPA DE COBERTURA DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL GAPFILLER EN GOOGLE EARTH	21
2.8. PARÁMETROS DEL GAPFILLER EN SOFTWARE PROPIETARIO EGATEL	22
2.9. COBERTURA ESTIMADA MEDIANTE SOFTWARE PROPIETARIO EGATEL	23
3.1. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDAS	25
3.2. UBICACIÓN DEL TRANSMISOR PRINCIPAL	27
3.3. UBICACIÓN DE LA CASETA Y LA TORRE DEL GAPFILLER	28
3.4. DIAGRAMA DE LOS EQUIPOS QUE COMPONEN EL GAPFILLER	29
3.5. ANTENA YAGI PARA FRECUENCIAS DE UHF	30

3.6. VISTA FRONTAL DEL GAPFILLER	30
3.7. CONEXIÓN ENTRE EL CANCELADOR DE ECOS Y EL AMPLIFICADOR	31
3.8. CANCELADOR DE ECOS	31
3.9. AMPLIFICADOR	31
3.10. ANTENAS PANEL	32
3.11. TORRE Y CASETA DEL GAPFILLER	33
3.12. PUNTOS DE MEDICIÓN DE LA SEÑAL DE TDT	35



Introducción

La televisión es un servicio de radiodifusión y constituye un medio de comunicación masivo de gran impacto en la sociedad, su estándar digital permite mejorar sustancialmente la calidad de la señal recibida, obteniendo una mayor eficiencia en la utilización del espectro radioeléctrico y una mayor cobertura, permitiendo acceder a nuevos servicios y prestaciones, constituyéndose en una herramienta que contribuye a reducir la brecha digital.

En el presente trabajo de tesis se plantea el despliegue de una red de repetidores de baja potencia o *gapfillers*, (i) simulando las posibles áreas de cobertura en software, (ii) llevando a cabo una implementación básica en el distrito de La Molina y (iii) mediante estos realizar comparaciones entre los resultados de las simulaciones contrastados con los obtenidos a través de las pruebas de campo de la instalación.

Las metas que se pretenden lograr con este trabajo son: (a) mostrar de forma práctica la implementación de un gapfiller en la urbanización Rinconada del Lago del distrito de La Molina, ergo (b) desarrollar un procedimiento que permita solucionar los problemas de cobertura de difusión televisiva en zonas con similares limitaciones geográficas.

El primer capítulo se centra en describir la situación actual del Perú en la implementación de la Televisión Digital Terrestre (TDT) con respecto a otros países y los problemas que se presentan en su área de cobertura, además de una breve descripción técnica de las características de la señal de TDT usada en el país. El segundo capítulo presenta un resultado teórico del cálculo de la cobertura del gapfiller basado en simulaciones realizadas tanto a través de software propietario como libre. El tercer capítulo abarca el procedimiento de instalación y puesta en marcha del gapfiller, que incluye pruebas de coberturas previas y posteriores a su despliegue. El cuarto capítulo está enfocado a la consecución

de recomendaciones para un futuro estudio del impacto ambiental que genera la instalación y empleo de un nuevo gapfiller de TDT. Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, además de proponer algunos trabajos futuros que permitan continuar con el desarrollo y difusión de la TDT en Perú.



Capítulo 1

La televisión digital terrestre en Perú y sus características técnicas

1.1. Estándares de televisión digital mundiales

En las últimas décadas, se ha dado una revolución en las tecnologías aplicadas para transmitir video y audio a los usuarios, habiéndose definido así en la última década diferentes estándares digitales para cada región. La diferencia de estos estándares se encuentra sobre todo en los sistemas de transmisión utilizados: mientras que los Estados Unidos con ATSC¹ y Europa con DVB-T² fueron los primeros en lanzar la transmisión terrestre de programación digital, otras naciones están siguiendo su ejemplo, entre ellas el Perú con el estándar ISDB-T³ [1].

1.1.1. ISDB-T Internacional

El sistema ISDB-T fue estandarizado en Japón por ARIB⁴, al ser desarrollado posteriormente a los estándares ATSC y DVB posee muchas nuevas características. La transmisión por banda segmentada OFDM⁵ (BST-ODFM) es capaz de proveer servicios simultáneos para recepción de alta definición y móvil dividiendo un canal de 6 MHz en trece segmentos para la transmisión de señal.

Brasil adoptó el ISDB-T como un sistema de radiodifusión terrestre en junio de 2006, a partir de este momento, ISDB-T se convirtió en ISDB-T Internacional. El sistema brasileño no es completamente igual que el sistema japonés. El estándar brasileño adopta nuevas tecnologías, tales como MPEG-4

¹ Advanced Television System Committee, Comité de Sistemas de Televisión Avanzada

² Digital Video Broadcasting - Terrestrial, Difusión de Video Digital - Terrestre

³ Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial, Servicios Integrados de Difusión Digital - Terrestre

⁴ Association of Radio Industries and Businesses, Asociación de Industrias y Negocios de Radiodifusión

⁵ Orthogonal Division Frequency Multiplexing - Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales

AVC⁶ (H.264) para SDTV⁷ y HDTV⁸ en la codificación, y otras tecnologías para el *middleware*. Sin embargo; la estructura del sistema de transmisión digital terrestre y el sistema de transmisión son iguales que el sistema japonés. Por lo tanto, el estándar brasileño ISDB-T pertenece a la familia ISDB-T y tiene las mismas características del estándar japonés ISDB-T[1].

Mediante la adopción por Brasil, se espera ampliar el mercado de ISDB-T a 300 millones de personas, esto implicaría que los costos de los receptores disminuyan significativamente.

El 24 de abril de 2009 el Perú adoptó este estándar aprobado por la Resolución Suprema No-019-2009-MTC [Anexo 1].

1.1.2. Apagón Analógico

El apagón de la radiodifusión analógica varía según el país de implementación. Berlín-Brandeburgo (Alemania) se convirtió en la primera región en el mundo en desactivar sus señales analógicas terrestres en agosto de 2003. En diciembre de 2006, los Países Bajos fueron el primer país en hacerlo. En los Estados Unidos, el apagón analógico estaba previsto para febrero de 2009, sin embargo, se prorrogó hasta junio de ese mismo año sólo para transmisiones de alta potencia. El apagón de la radiodifusión analógica en Japón, encomendadas por la Ley de Radio, estuvo prevista para el 2011. Para el Perú el apagón analógico comenzará el año 2020[1].

1.2. Características técnicas de la señal TDT

La mayoría de las características técnicas de ISDB-T están basadas en su estructura. A continuación se describirán sucintamente estas características.

1.2.1. Estructura ISDB-T

El estándar ISDB-T está compuesto por cinco sub-sistemas:

- a) Sub-sistema de vídeo,
- b) sub-sistema de audio,

⁶ Moving Picture Expert Group-4 Advanced Video Coding, Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento-4 Códec de Video Avanzado

⁷ Standard Definition Television, Televisión de Definición Estándar

⁸ High Definition Television, Televisión de Alta Definición

- c) sub-sistema de transporte y multiplexaje,
- d) sub-sistema de transmisión,
- e) sub-sistema de recepción.

En la tabla 1.1 se muestra, en resumen, las especificaciones técnicas del estándar.

Tabla 1.1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ESTÁNDAR

Fuente: Kemper(2008)

Referencia	Latitud
Modulación	64QAM-OFDM 16QAM-OFDM QPSK-OFDM DQPSK-OFDM (transmisión jerárquica)
Codificación de corrección de errores	Inner coding Convolution 7/8,3/4,2/3,1/2 Outer coding :RS(204,188)
Intervalo de guarda	1/16,1/8,1/4,1/32
Interleaving	Tiempo, frecuencia, bit y byte
Multiplexaje en el dominio de la frecuencia	BST-OFDM (Band Segment Transmission OFDM)
Información de Servicio	ARIB STD B-10
Multiplexaje	Sistemas MPEG-2
Codificación de audio	MPEG-2 Audio (HE-AAC)
Codificación de video	MPEG-4 AVC /H.264*

Debido a que ISDB-T cuenta con la opción de transmisión jerárquica de información, es capaz de transmitir varios programas y servicios con distintos niveles de prioridad. Otra característica esencial de este estándar es la utilización de la multiplexación BST-OFDM⁹, que es básicamente una versión mejorada de OFDM en la que el espectro es dividido en sub-bandas de frecuencia[11].

A) Sub-sistema de vídeo

“La herramienta de compresión de video del sistema de televisión digital terrestre brasileño debe estar de acuerdo obligatoriamente con la ITU-T Recommendation H.264”[4]. Debido a la alta correlación que existe tanto entre cuadros sucesivos como entre los píxeles dentro de cada cuadro, la compresión de video logra representar con un número inferior de bits los datos originales. En el caso de la compresión de video se exploran las redundancias temporales y espaciales.

⁹ Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Transmisión por Banda Segmentada - Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales

Para esto se utilizan dos tipos de codificación: intra e inter.

La codificación del tipo intra se basa en la reducción de las redundancias espaciales por medio de la codificación por transformadas o sub-bandas. Por otro lado, la codificación del tipo inter se basa en la reducción de redundancias temporales, utilizando las diferencias entre cuadros sucesivos de la secuencia de video. En conclusión, para codificar video se puede unir la codificación del tipo intra con la del tipo inter para reducir las redundancias espaciales y temporales. El perfil de codificación establece la complejidad de la codificación de video, asimismo, el nivel establece los valores permitidos de algunos parámetros de codificación para cada perfil, como puede apreciarse en la tabla 1.2 ¹⁰ [4].

En la figura 1.1 puede apreciarse el esquema de codificación de video usual.

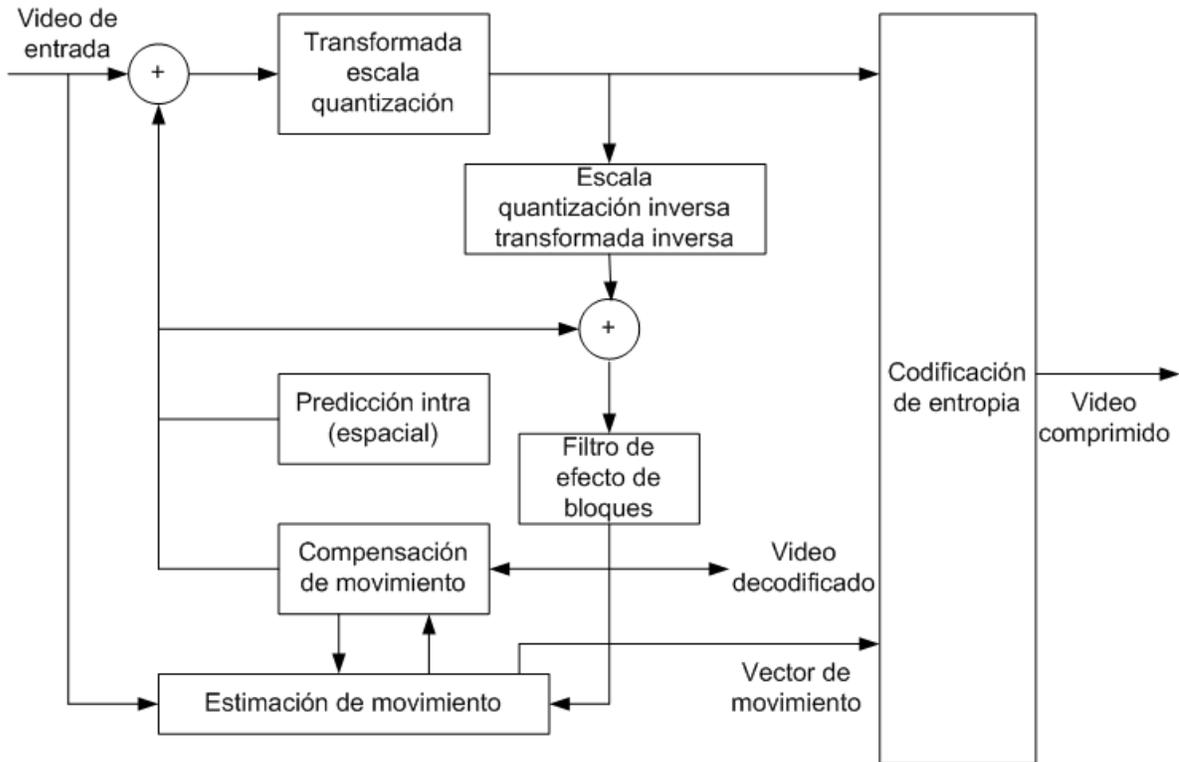


Figura 1.1: SUBSISTEMA DE VIDEO

Fuente: ABNT NBR 15601

¹⁰ MaxDPB (1024 bytes para 4:2:0); MaxBR (1 000 bps, 1 200 bps, cpbBrVclFactor bps, o cpbBrNalFactor bps)

Tabla 1.2: RESTRICCIONES DETERMINADAS POR EL NIVEL DE CODIFICACIÓN

Fuente: ABNT NBR 15601

Número de nivel	MaxMBPS MBps	MaxFS MB	MaxDPB	MaxBR	CPB	MV VmvR	Max	MinCR	MaxMvsPer2Mb
1	1 485	99	148,5	64	175	[- 64; + 63,75]	2	-	
1b	1 485	99	148,5	128	350	[- 64; + 63,75]	2	-	
1.1	3 000	396	337,5	192	500	[- 128; + 127,75]	2	-	
1.2	6 000	396	891,0	384	1 000	[- 128; + 127,75]	2	-	
1.3	11 880	396	891,0	768	2 000	[- 128; + 127,75]	2	-	
2	11 880	396	891,0	2 000	2 000	[- 128; + 127,75]	2	-	
2.1	19 800	792	1 782,0	4 000	4 000	[- 256; + 255,75]	2	-	
2.2	20 250	1 620	3 037,5	4 000	4 000	[- 256; + 255,75]	2	-	
3	40 500	1 620	3 037,5	10 000	10 000	[- 256; + 255,75]	2	32	
3.1	108 000	3 600	6 750,0	14 000	14 000	[- 512; + 511,75]	4	16	
3.2	216 000	5 120	7 680,0	20 000	20 000	[- 512; + 511,75]	4	16	
4	245 760	8 192	12 288,0	20 000	25 000	[- 512; + 511,75]	4	16	
4.1	245 760	8 192	12 288,0	50 000	62 500	[- 512; + 511,75]	2	16	
4.2	522 240	8 704	13 056,0	50 000	62 500	[- 512; + 511,75]	2	16	
5	589 824	22 080	41 400,0	135 000	135 000	[- 512; + 511,75]	2	16	
5.1	983 040	36 864	69 120,0	240 000	240 000	[- 512; + 511,75]	2	16	

B) Sub-sistema de audio

El codificador de audio adoptado por el ISDB-T es el MPEG-2- Audio - AAC¹¹ , especificado en la norma ISO/IEC 13818-7 - Audio. El AAC constituye una evolución de la norma MPEG-2 Audio. También se le conoce como codificador MPEG-2 NBC¹² , es decir, sistema sin compatibilidad regresiva con MPEG-1-Audio [11]. Los principales parámetros del sistema de codificación de audio deben cumplir obligatoriamente con lo expuesto en la tabla 1.3.

Dentro de los servicios de audio se pueden incluir la transmisión de programas de audio adicionales al principal a través de la asignación de canales de audio auxiliares adicionales en programas de audio (PID¹³) distintos, o en el mismo flujo de bits de un mismo PID teniendo en cuenta las restricciones de canales permitidos en el flujo de bits por el perfil/nivel de codificación. La codificación de audio debe

¹¹ Advanced Audio Codification, Codificación de Audio Avanzada

¹² Non - Backward - Compatible

¹³ Packet Identification, Identificador de Paquete

Tabla 1.3: PRINCIPALES PARÁMETROS DEL SISTEMA DE CODIFICACION DE AUDIO

Fuente: Kemper(2008)

Parámetro	Restricción
Mecanismos de transporte permitidos	LATM/LOAS (conforme ISO/IEC 14496-3)
Números de canales recomendados	Mono (1.0), 2 canales (estéreo o 2.0), o multi-canal (5.1)
Perfiles y niveles permitidos	Low complexity AAC: nivel 2 (LC-AAC@L2) para dos canales Low complexity AAC: nivel 4 (LC-AAC@L4) para multicanal High Efficiency (HE): nivel 2 (HE-AAC v1@L2) para dos canales High Efficiency (HE): nivel 4 (HE-AAC v1@L4) para multicanal
Tasa máxima de bits permitida	Conforme ISO/IEC 14496-3
Muestras por cuadro	frameLengthFlag en GASpecificConfig() debe tener valor 0, indicando que la extensión del cuadro debe ser de 1024 muestras para AAC y 2048 al usar SBR. 960 muestras para AAC (o 1 920 al usar SBR) no pueden ser utilizadas

realizarse obligatoriamente utilizando una combinación de codificación transformada en frecuencia y en tiempo. Para la transformada en frecuencia la señal de entrada debe ser descompuesta en sus componentes de frecuencia empleando la transformada discreta del coseno.

Adicionalmente se emplean estimaciones psicoacústicas de la señal para transmitir solo las bandas de frecuencias perceptibles por el oído humano[4]. El proceso de compresión y transmisión de audio debe realizarse siguiendo el esquema de la figura 1.2

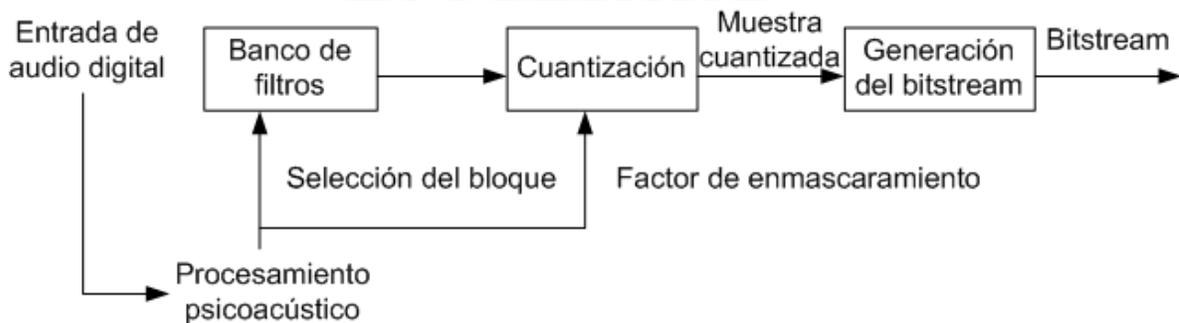


Figura 1.2: SUBSISTEMA DE AUDIO

Fuente: ABNT NBR 15602

C) Sub-sistema de transporte y multiplexaje

Las transmisiones de señales codificadas de audio y video, de señales de datos y otra información deben cumplir con lo siguiente [4]:

- Las señales codificadas se deben multiplexar a través de paquetes.
- Las señales codificadas se deben agrupar para una longitud arbitraria obedeciendo la estructura de paquetes PES o secciones.

Estructura del paquete PES

Los paquetes PES¹⁴ y las secciones deben ser transmitidos a través de paquetes TS¹⁵.

Estructura del paquete TS

Los paquetes TS de la señal multiplexada deben cumplir con lo expuesto en la figura 1.3

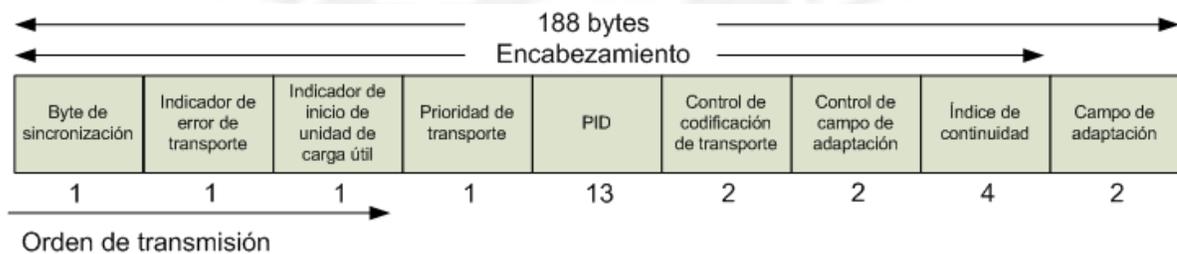


Figura 1.3: ESTRUCTURA DE PAQUETE TS Y SUS SECCIONES

Fuente: ABNT NBR 15603

A partir de los PIDs el re-multiplexor identifica separa y agrupa los paquetes en las tres capas. La re-multiplexación es realizada con el fin de facilitar más adelante el encaminamiento de un único tipo de servicio a través de cada segmento OFDM. Asimismo facilita la transmisión jerárquica de la información. Al final las tres capas son multiplexados junto con la información de control para transmisión jerárquica [11].

Adicionalmente a los paquetes que contienen información de control específica, se transmiten también paquetes de transporte que llevan en su cabecera el campo PCR¹⁶ que se utiliza para fines de

¹⁴ Packet Elementary Stream, Paquete de Flujo Elemental

¹⁵ Transport Stream, Flujo de Transporte

¹⁶ Program Clock Reference - Referencia de reloj de Programa

sincronización, conformado por un dato de 42 bits, esta información es utilizada para sincronizar los relojes del codificador y del decodificador. Este campo es de vital importancia al momento de trabajar con repetidoras o gapfillers, ya que permite evitar la decodificación de los paquetes que lleguen provenientes de dos transmisores distintos [4].

El diagrama de bloques del sub-sistema de transporte ISDB-T es mostrado en la figura 1.4.

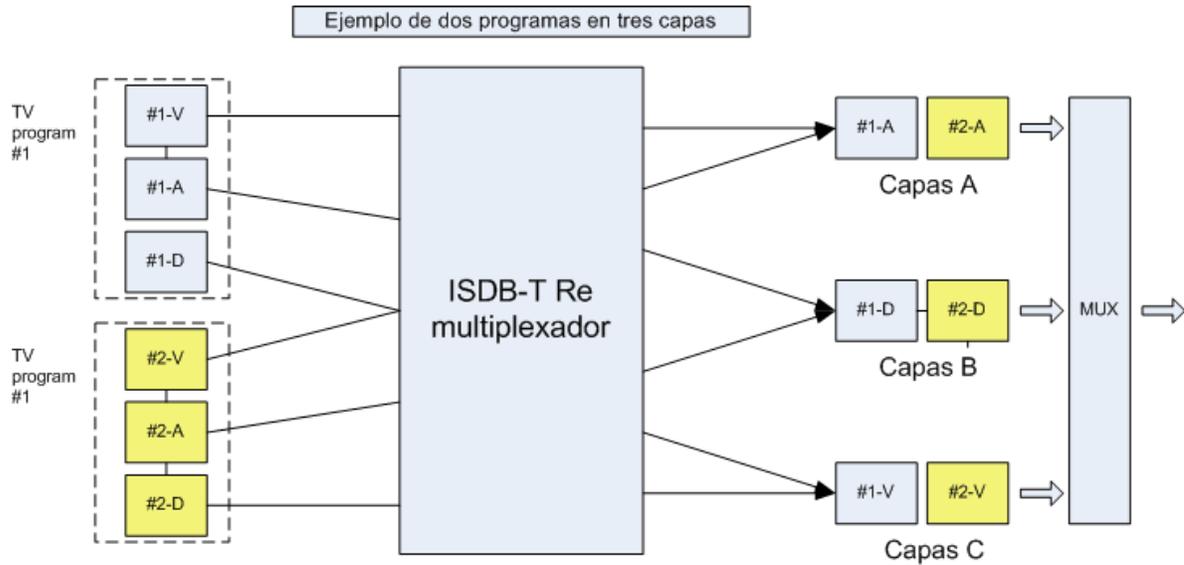


Figura 1.4: SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y MULTIPLEXAJE

Fuente: Kemper(2008)

D) Sub-sistema de transmisión

El sub-sistema de transmisión ISDB-T recibe los paquetes de transporte multiplexados y agrupados en capas múltiples. Los bytes de entrada 'son sometidos a las etapas de codificación de canal, inserción de información de sincronismo, modulación OFDM, conversión digital analógica y finalmente al modulador de radiofrecuencia para colocar la señal en la banda de transmisión requerida'[11]. La figura 1.5 muestra los bloques funcionales del sub-sistema de transmisión ISDB-T.

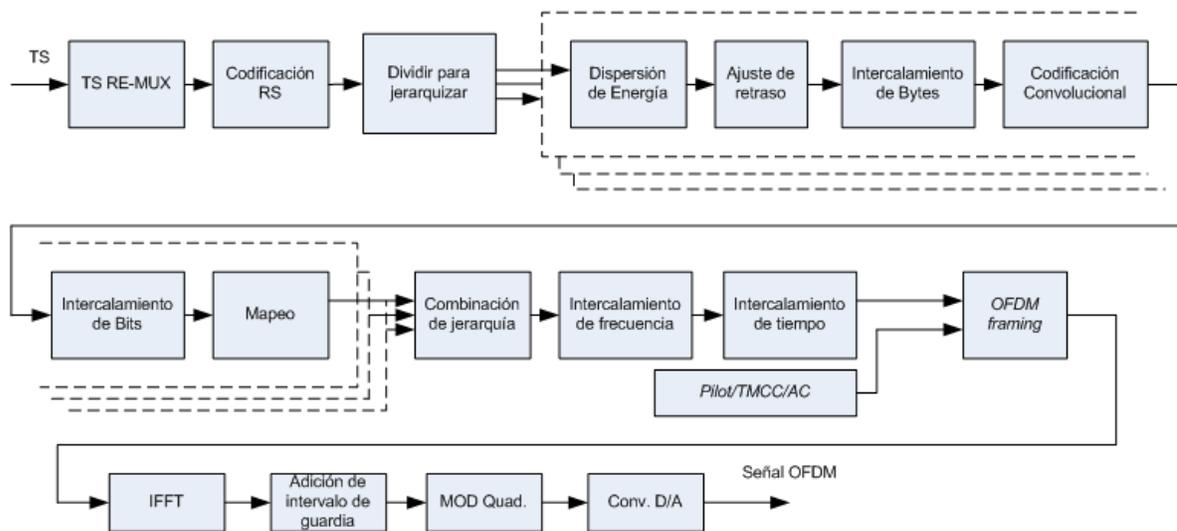


Figura 1.5: TRANSMISOR ISDB-T

Fuente: Kemper(2008)

E) Sub-sistema de recepción

El diagrama de la figura 1.6 muestra los bloques del receptor ISDB-T. En éste cada etapa del sub-sistema de transmisión tiene su respectiva etapa inversa para la decodificación. Asimismo, “en comparación a sus pares DVB-T y ATSC se observa que el receptor ISDB-T es más sofisticado” por la mayor complejidad en las técnicas de transmisión utilizadas; esto es justificado ya que “la señal es más robusta frente a la transmisión móvil”[11].

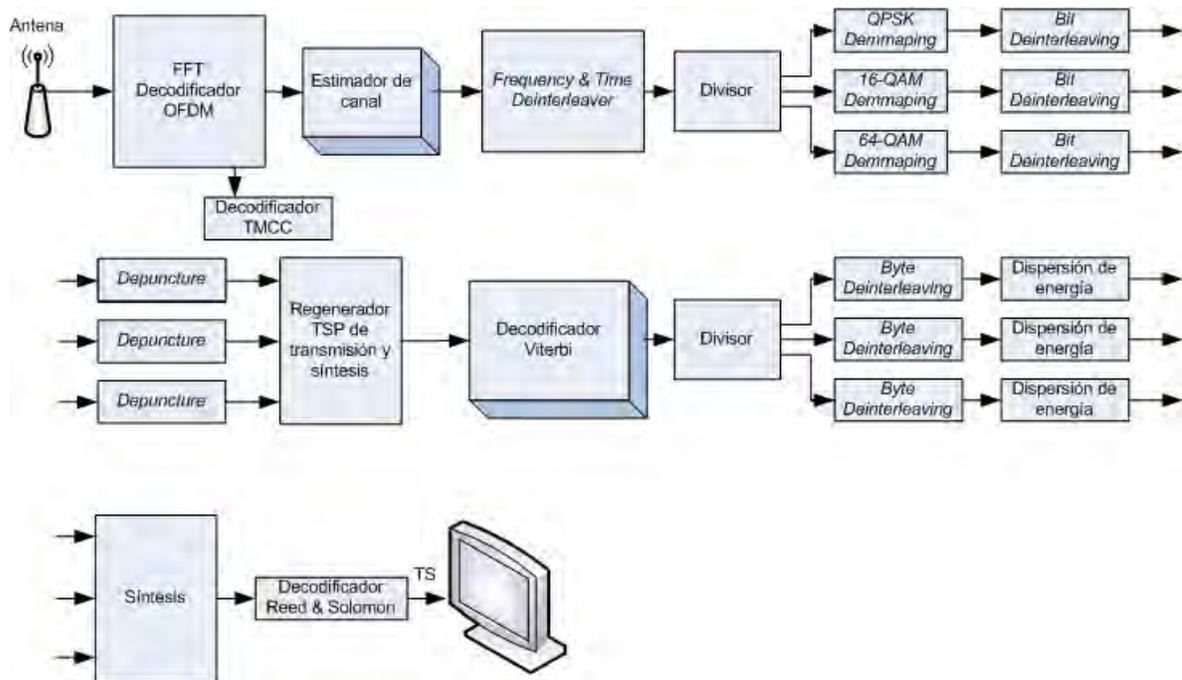


Figura 1.6: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL RECEPTOR

Fuente: Kemper(2008)

1.2.2. One-seg

One-seg es un servicio de transmisión de TDT diseñado para dispositivos móviles, el cual usa solo un segmento del ancho de banda de 6MHz, no necesitando otro canal, y por tanto no requiere otro transmisor y reduce el uso de espectro y costos de infraestructura para la compañía transmisora. Por otra parte, el receptor One-seg, opera con una recepción de banda muy estrecha, esta operación minimiza el consumo de energía y como resultado se obtiene un largo tiempo de recepción con las baterías de los dispositivos móviles[5].

1.3. Gapfiller

1.3.1. Definición

Para ampliar las zonas de cobertura del servicio de televisión digital terrestre y redistribuir la señal en las zonas de sombra es posible utilizar reemisores digitales de frecuencia única (SFN), conocidos

también como gapfillers. En la tabla 1.4 puede apreciarse las diferencias entre las distintas tipologías de red: SFN¹⁷ y MFN¹⁸ [12].

Tabla 1.4: TIPOLOGÍAS DE RED

Fuente: EGATEL

SFN	MFN
Distintos transmisores emiten la misma señal utilizando el mismo canal de frecuencia	Distintas frecuencias son utilizadas para transmitir la misma señal

Debido a que los gapfillers comparten el canal de emisión del transmisor principal, interactúan con la red principal condicionando su desempeño. Asimismo, deben considerarse los mismos requerimientos técnicos y planificación que los de la red principal.

Los gapfillers representan una solución muy viable en condiciones geográficas irregulares debido a que no requieren de un equipo adicional ya que toman la señal directamente del aire, pero debe tenerse en cuenta que la señal retransmitida no interfiera con la señal original del transmisor principal [12].

1.3.2. Cancelador de ecos

El utilizar el mismo canal para reemitir una señal implica que habrá una cierta realimentación entre las antenas receptora y transmisora. “Debido a las propiedades directivas de las antenas, como ganancias y geometrías en sus diagramas de radiación, lo que hace que en función de la ubicación y orientación, la antena receptora capte más o menos señal de la transmitida” [12], esta señal es conocida como eco.

A mayor realimentación, menor relación SEÑAL a ECO, y por lo tanto, mayor degradación en la señal, ocasionando una disminución de la MER (Modulation Error Ratio) lo cual conlleva a una mayor tasa de bits erróneos. Debido a esto, los gapfillers profesionales pueden incluir en su diseño un “cancelador de ecos”, para el caso práctico del modelo utilizado en el presente proyecto se muestra el proceso del cancelador de ecos de EGATEL en la figura 1.7.

¹⁷ Single Frequency Network - Rede de Frecuencia Única

¹⁸ Multiple Frequency Network - Red de Frecuencia Múltiple

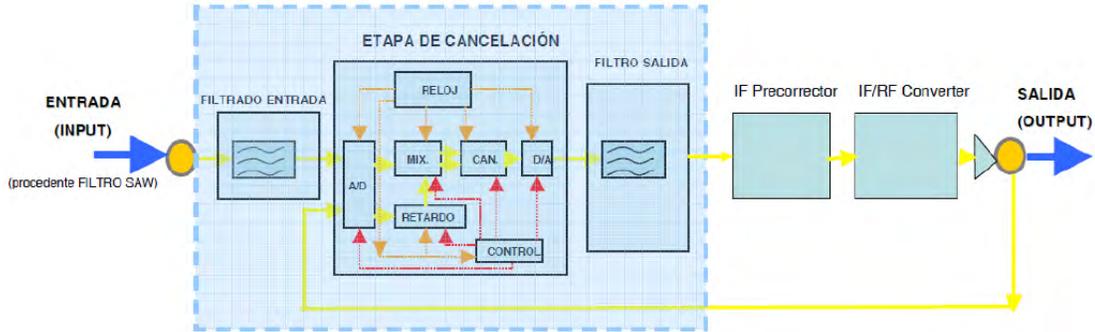


Figura 1.7: ESQUEMA/ DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CANCELADOR DE ECO

Fuente: EGATEL (2012)

Con lo mencionado anteriormente, en la tabla 1.5 pueden apreciarse las diferencias entre un reemisor típico y un gapfiller.

Tabla 1.5: DIFERENCIAS ENTRE GAPFILLER Y REEMISOR

Fuente: EGATEL

Gapfiller	Reemisor
Actúa en redes SFN	Actua en redes MFN
Utiliza cancelador de ecos	No dispone de cancelador de eco

1.3.3. Sugerencias para su instalación

- Caracterizar señal de entrada (nivel y espectro)
- Medir respuesta impulsiva
- Caracterizar el eco
- Monitorear salida a carga
- Monitorear salida a antena
- Medir sistema completo (entrada-salida)

Capítulo 2

Aproximación de área de coberturas

Para el cálculo del área de las coberturas se realizaron dos simulaciones previas por computadora, la primera utilizando un programa de licencia libre: Radio Mobile y la segunda con el programa propietario de Egatel.

Además se demostrará que las dos simulaciones efectuadas en este capítulo permiten estimar una adecuada solución al problema de cobertura de la zona, la cual será tratada de manera práctica con pruebas reales en el siguiente capítulo.

A continuación se describe la problemática del proyecto.

2.1. Problemática

La antena principal de radiotransmisión se posiciona en el cerro Marcavilca, ubicado en el distrito de Chorrillos y, principalmente, por las condiciones geográficas y orográficas de La Molina, sus señales no se reciben adecuadamente en gran parte de dicho distrito.

En la mayor parte de la urbanización Rinconada del Lago, distrito de La Molina, Lima (ver imagen 2.1) no se dispone de una recepción idónea de señal de TDT, para este caso particular no se cuenta con niveles de señal mínimos para el canal 24 UHF (530 MHz) correspondientes a una televisora local.



Figura 2.1: ZONA DE INTERÉS

Fuente: Elaboración propia

2.2. Primera simulación: Radio Mobile

Entre las aplicaciones más conocidas para el cálculo de coberturas se encuentra Radio Mobile, la cual implementa el modelo de propagación Lonley-Rice, utilizado en este trabajo. [8] Para la obtención de dicha área de cobertura es necesario configurar los diferentes parámetros que caracterizan al *gapfiller*. Además, de cargar el modelado digital del terreno y la imagen del mapa.

Las coordenadas del *gapfiller* se aprecian en la tabla 2.1:

Tabla 2.1: UBICACIÓN DEL GAPFILLER

Fuente: Elaboración propia

Latitud	12°4'30.44"S
Longitud	76°55'13.68"O

2.2.1. Sistema radiante

Primero se definirá el patrón de radiación del sistema radiante de ambas antenas, así como la ganancia, el *azimut*, y la elevación, tal como se puede apreciar en la figura 2.2 (2.2a y 2.2b). Se caracteriza según la configuración en el *gapfiller* en La Molina.

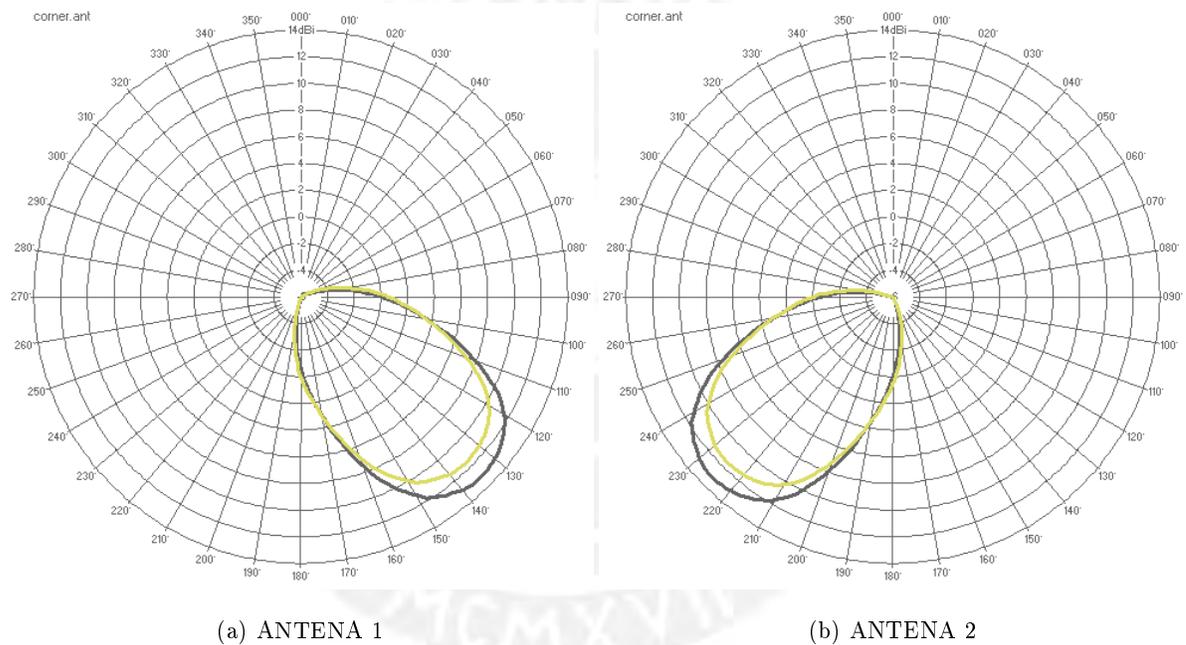


Figura 2.2: PATRONES DE RADIACIÓN DE LAS ANTENAS

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Características del *gapfiller*

Se crea el *gapfiller* con los parámetros deseados. En este caso es necesario introducir la Frecuencia de trabajo (530-536 MHz), Polarización (horizontal), Modo estadístico (difusión) y el Clima (Continental sub-tropical), como se observa en la figura 2.3.

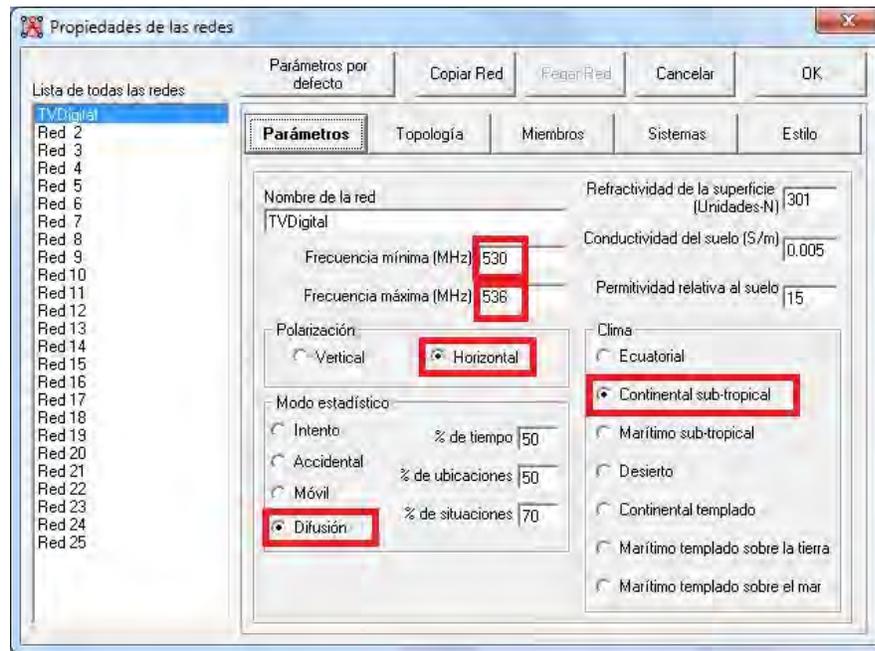


Figura 2.3: CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

Fuente: Elaboración propia

Una vez se han configurado los parámetros de la red, se pasa al apartado Topología, donde se elige el tipo Red de datos, Topología estrella (Master/Esclavo), ver 2.4.

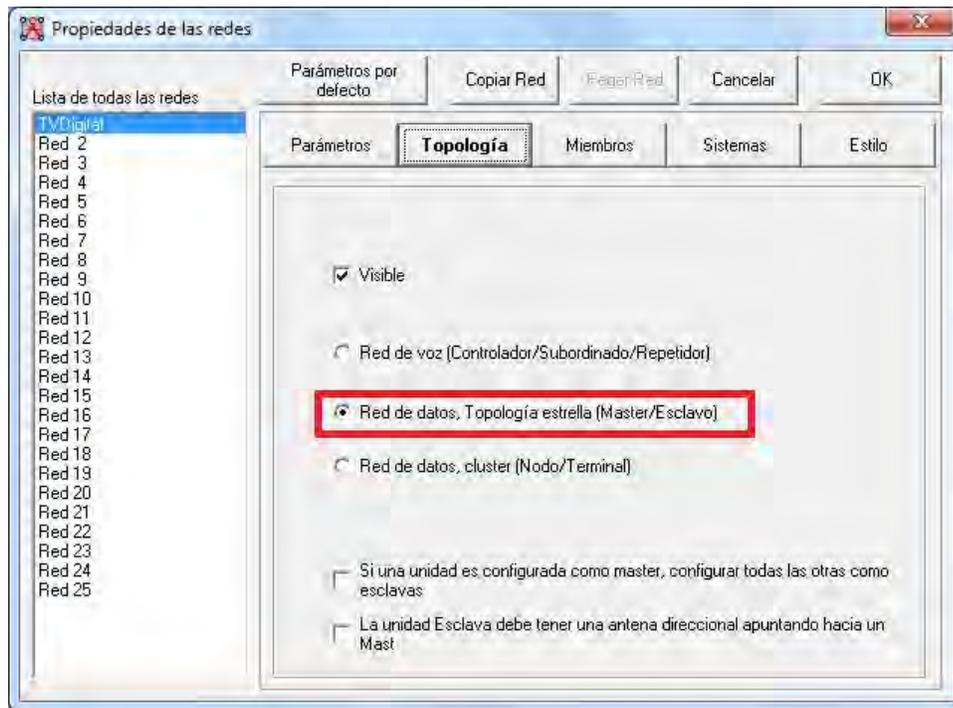


Figura 2.4: TOPOLOGÍA DEL GAPFILLER

Fuente: Elaboración propia

Luego en el apartado Sistemas, se introduce la Potencia del Transmisor (50 W), la Ganancia de las Antenas Transmisoras (13.5 dBi), la Pérdida de la línea (3.27 dB) y la Altura de las Antenas (9 m), como se puede apreciar en la figura 2.5.

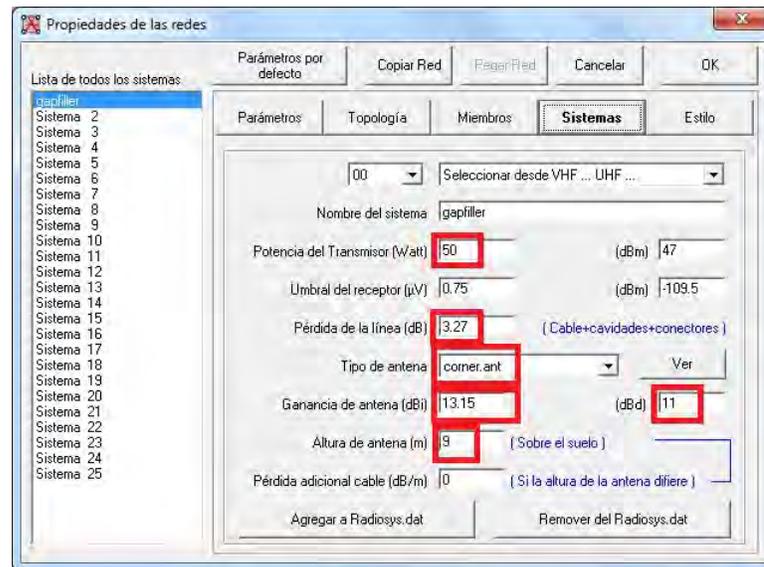


Figura 2.5: PARÁMETROS DEL GAPFILLER

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Mapa de la zona y cobertura obtenida

En la figura 2.6 se puede observar la ubicación de las antenas transmisoras en un mapa de la zona a simular.

Como se aprecia, hay una amplia zona que debido a las restricciones propias de su composición geográfica, no tiene cobertura. La zona anteriormente sin cobertura queda ya cubierta con el nuevo *gapfiller* tal y como se observa en la figura 2.7.

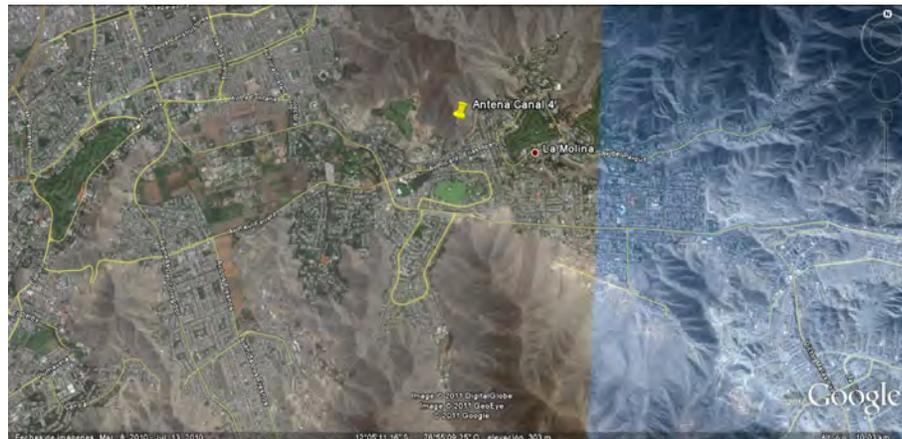


Figura 2.6: MAPA DE LA ZONA EN GOOGLE EARTH

Fuente: Elaboración propia

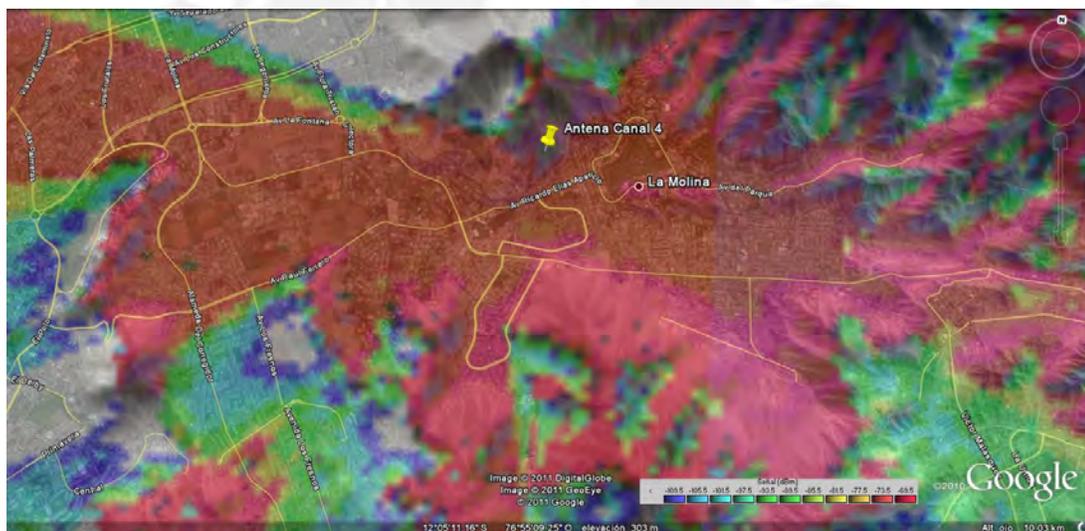


Figura 2.7: MAPA DE COBERTURA DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL GAPFILLER EN GOOGLE EARTH

Fuente: Elaboración propia

2.3. Segunda Simulación: Software propietario de Egatel

Para la simulación en este software se utilizaron las siguientes características (ver tabla 2.2 y figura 2.8):

Tabla 2.2: CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE DE EGATEL

Fuente: Egatel

Parámetro	Valor
Potencia nominal	100 W
Ganancia de la antena de transmisión	13.15 dB
Pérdida por cables y conectores	3.27 dB
Frecuencia	533 MHz
Altura de la antena	9 m
Ancho de banda de transmisión	6 MHz

Por las limitaciones del software, el diagrama de radiación utilizado para la simulación se compone de dos paneles separados 90° en un azimut de 180°, punto intermedio de los referidos a 135° y 225°. El resultado obtenido es el que se muestra a continuación:

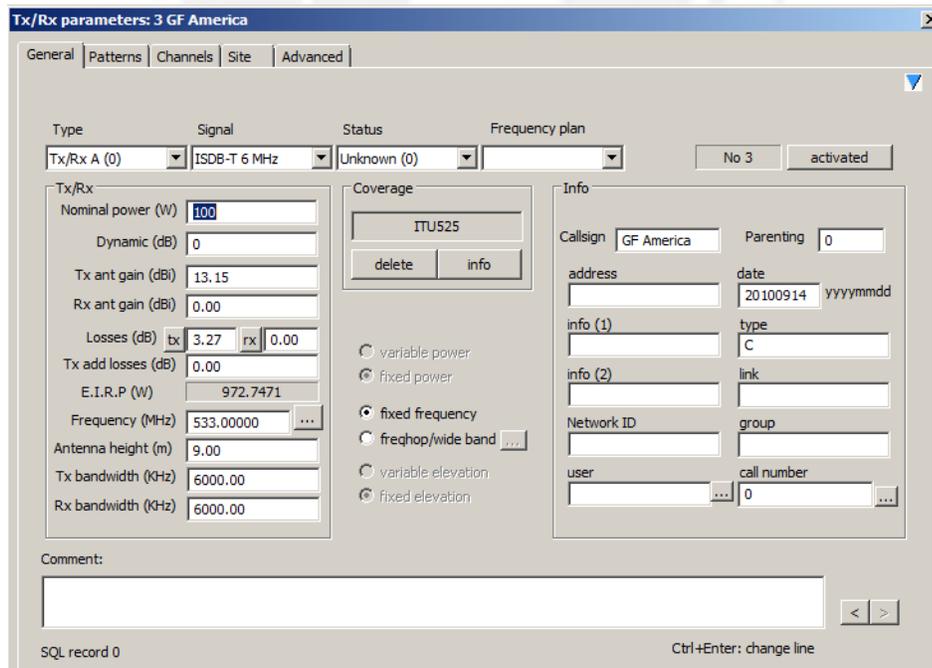


Figura 2.8: PARÁMETROS DEL GAPFILLER EN SOFTWARE PROPIETARIO EGATEL

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura 2.9, se ha seleccionado un umbral mínimo de 90 dBuV/m que garantiza una favorable cobertura a nivel de suelo para el 95 % de las ubicaciones (área de color azul oscuro) [7].

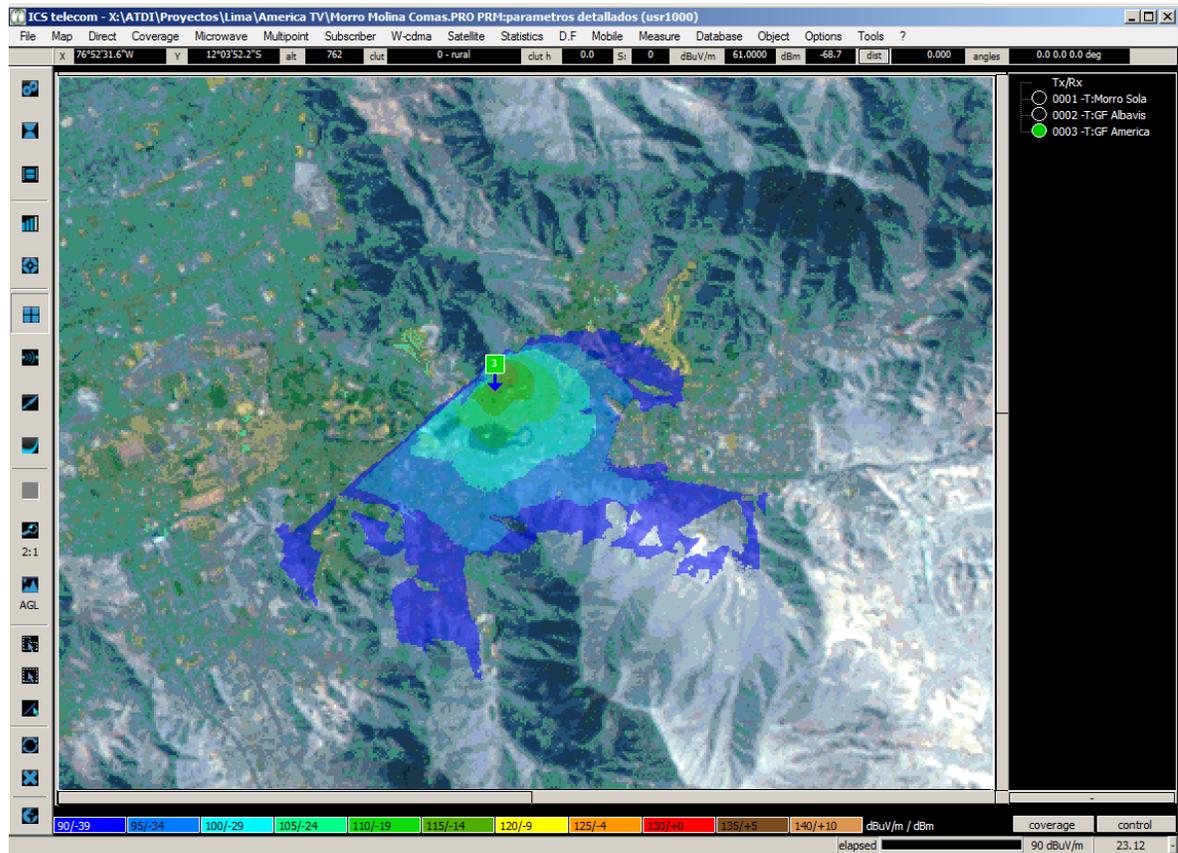


Figura 2.9: COBERTURA ESTIMADA MEDIANTE SOFTWARE PROPIETARIO EGATEL

Fuente: EGATEL (2012)

Capítulo 3

Instalación y despliegue del gapfiller

El motivo principal de instalar un gapfiller de TDT, es cubrir la ausencia de cobertura en algunas zonas. Para este caso específico se ha decidido instalar un gapfiller de TDT en el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima, ya que en esta zona se detectaron urbanizaciones habitadas sin cobertura, donde el canal 24 UHF no cuenta con recepción de ninguno de sus servicios digitales (HD, SD y One-seg).

3.1. Consideraciones previas

A través de la localización y recorrido de puntos geográficos en La Molina, los cuales fueron previamente considerados por la televisora local como representativos para la muestra de cobertura, (figura 3.1), y con la ayuda de un monitor LCD portátil conectado a un decodificador de ISDB-T sintonizado a la frecuencia de 530 MHz (canal 24), se determinó en cuáles de ellos es necesario mejorar la cobertura.

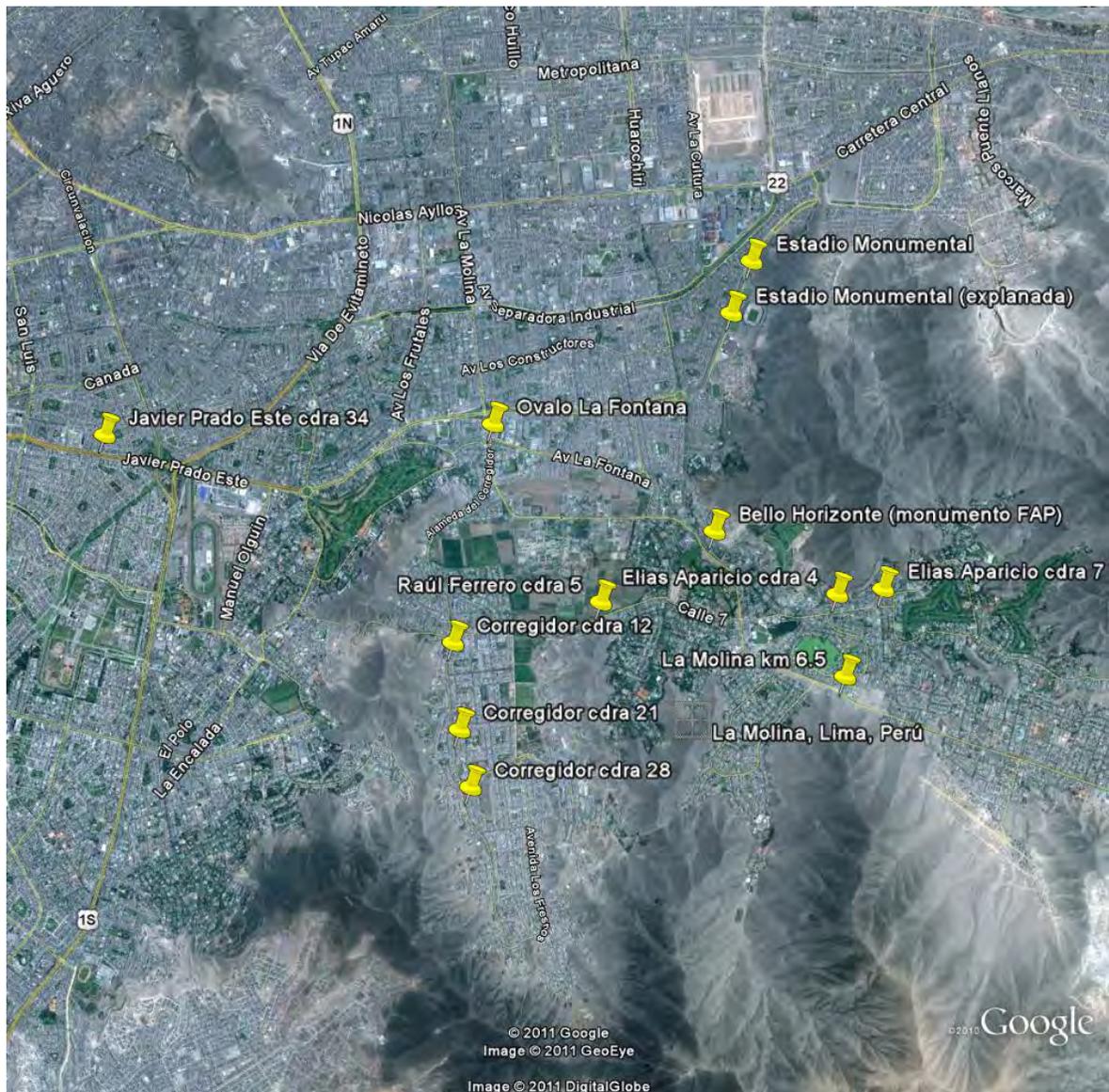


Figura 3.1: LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDAS

Fuente: Elaboración propia

El resultado de este estudio se aprecia en la tabla 3.2, donde se fijan los parámetros de calidad de la señal visualizada para cada punto, mediante apreciaciones realizadas por dos especialistas de la televisora local (los cuales cuentan con varios de años de experiencia). Los valores asignados a los niveles de calidad de la señal TDT se describen en la tabla 3.1, basado en la escala de cinco grados de

la UIT-R, BT.500.

Tabla 3.1: EVALUACIÓN SUBJETIVA DE LA IMAGEN Y SONIDO

Fuente: Elaboración propia

Valor	Calidad	Deterioro
5	Excelente	Imperceptible
4	Bueno	Perceptible, pero no molesto
3	Regular	Ligeramente molesto
2	Pobre	Molesto
1	Malo	Muy molesto

Tabla 3.2: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN Y PRUEBAS DE COBERTURA PRE-VIAS

Fuente: Elaboración propia

Referencia	Posición		Calidad de la señal ant.	
	Latitud	Longitud	HD	Oneseg
Alameda del Corregidor cdra. 12	12°5'37.98" S	76°57'9.72" O	1	1
Alameda del Corregidor cdra. 21	12°6'4.21" S	76°56'58.57" O	1	1
Alameda del Corregidor cdra. 28	12°6'20.83" S	76°56'49.10" O	1	1
Av. Raúl Ferrero cdra. 5	12°5'10.32" S	76°56'27.39" O	1	1
Av. La Molina km 6.5	12°5'8.40" S	76°55'2.98" O	1	1
Av. La Molina cdra. 36	12°5'4.12" S	76°52'44.79" O	1	1
Av. Bello Horizonte cdra. 2	12°4'37.01" S	76°55'59.07" O	1	1
Av. Elías Aparicio cdra. 7	12°4'37.56" S	76°55'0.27" O	1	1
Av. Elías Aparicio cdra. 4	12°4'43.90" S	76°55'13.93" O	1	1
Óvalo La Fontana	12°4'26.39" S	76°57'20.00" O	1	1
Explanada del Estadio Monumental	12°3'28.18" S	76°56'16.53" O	1	1
Entrada del Estadio Monumental	12°3'10.12" S	76°56'15.57" O	1	1
Av. Javier Prado cdra. 34	12°5'9.43" S	76°59'22.09" O	1	1

Como se puede apreciar en los resultados, la zona en cuestión no cuenta con cobertura en la frecuencia indicada debido a su complicada geografía y a la distancia que hay entre el transmisor principal ubicado en el distrito de Chorrillos y el distrito de La Molina (aproximadamente 14 Km), como se puede apreciar en la figura 3.2.

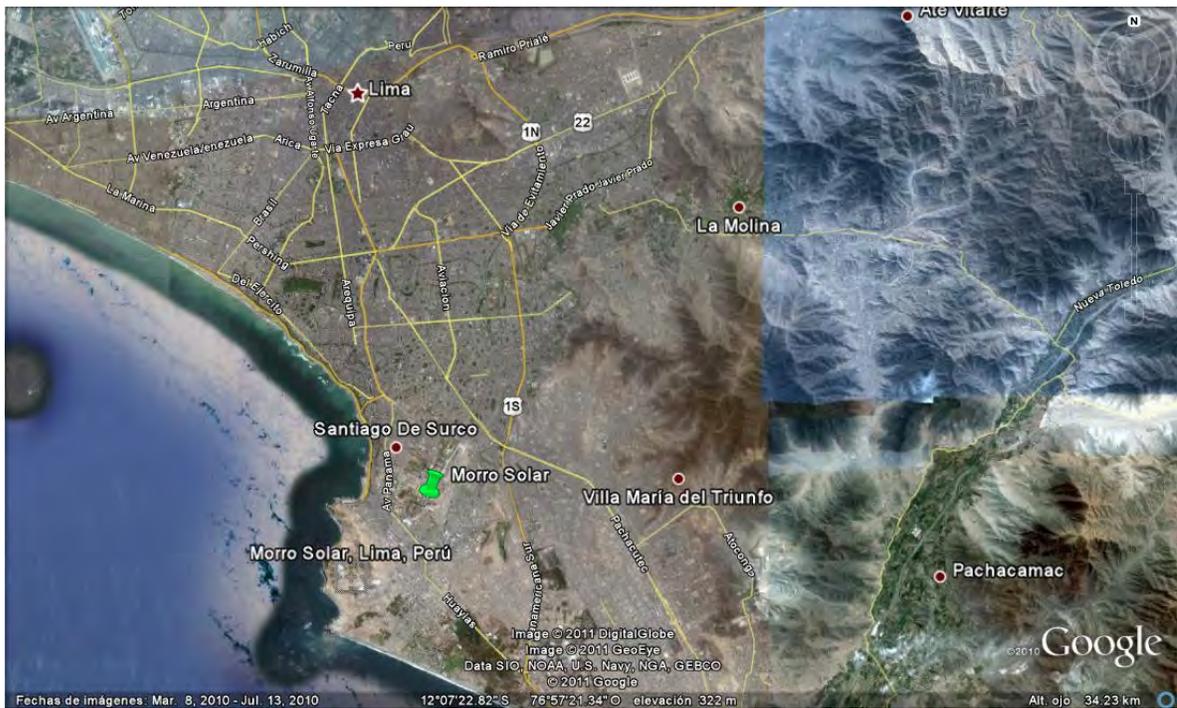


Figura 3.2: UBICACIÓN DEL TRANSMISOR PRINCIPAL

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Ubicación de la caseta y torre

Para fines prácticos se ha escogido como ubicación del gapfiller de TDT, la misma caseta y torre donde se encuentran ubicados los retransmisores analógicos del canal radiodifusor, como se observa en la figura 3.3, cuyas coordenadas han sido previamente descritas en la tabla 2.1. Esto permite ahorro en costos de mantenimiento y alquiler de espacios.



Figura 3.3: UBICACIÓN DE LA CASETA Y LA TORRE DEL GAPFILLER

Fuente: Elaboración propia

La ubicación de la torre se escogió teniendo en cuenta la necesidad de cubrir las zonas con deficiencias de cobertura de la señal analógica, se mantiene el mismo criterio para la señal digital. Todas estas zonas tienen visión directa a la posición de la torre.

3.2. Equipos a instalar

Para la implementación del gapfiller, fue necesario instalar los siguientes equipos, tal como se observa en la figura 3.4.

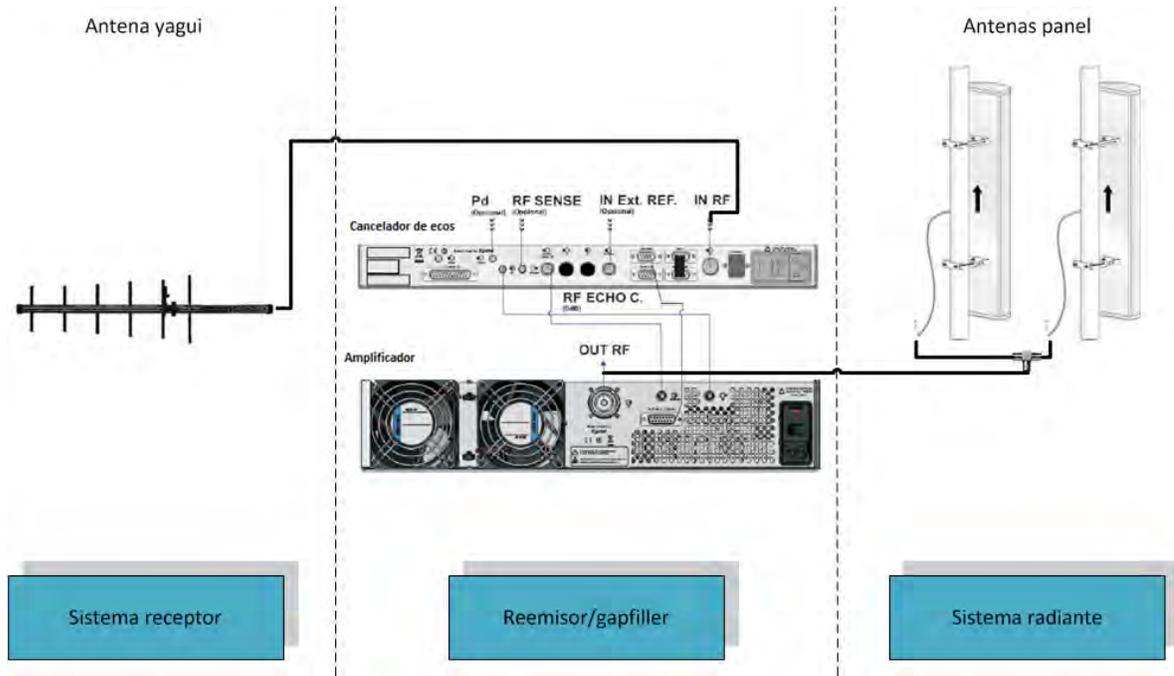


Figura 3.4: DIAGRAMA DE LOS EQUIPOS QUE COMPONEN EL GAPFILLER

Fuente: Elaboración propia

Se describen las funcionalidades de los equipos:

3.2.1. Sistema receptor

El sistema receptor se compone de una antena yagi genérica que, al ser directiva, tiene gran ganancia incrementando así el nivel de potencia en recepción. Por su directividad, las antenas yagui deben siempre apuntar en dirección de la antena de transmisión [13]. La antena escogida en el presente proyecto estaba preparada para trabajar en la frecuencia que opera la TDT en el Perú, lo cual la hacía idónea para las pruebas de campo. Sus características se encuentran descritas en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA YAGUI

Fuente: Laprotel

Tipo	Ganancia	Frecuencia de Trabajo
Yagui	15 dB	470 - 862 Mhz

La función de la antena yagi es la de percibir la señal original proveniente del morro solar en

Chorrillos, para ser retransmitida por los paneles radiantes (ver figura 3.5).



Figura 3.5: ANTENA YAGI PARA FRECUENCIAS DE UHF

Fuente: Imagen propia

3.2.2. Gapfiller

El gapfiller (una vista frontal de él se puede ver en la figura 3.6, encargado de retransmitir la señal, está compuesto por dos equipos, un cancelador de ecos y un amplificador, conectados como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.6: VISTA FRONTAL DEL GAPFILLER

Fuente: Imagen propia

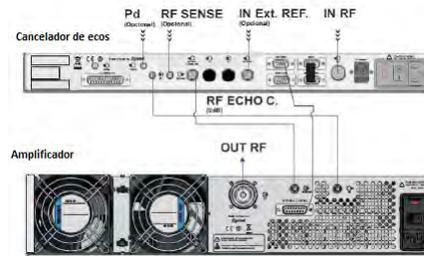


Figura 3.7: CONEXIÓN ENTRE EL CANCELADOR DE ECOS Y EL AMPLIFICADOR

Fuente: EGATEL (2012)

Cancelador de ecos

El cancelador de ecos es un filtro adaptativo digital, cuya misión principal es compensar el déficit de aislamiento entre antenas (ver figura 3.8).



Figura 3.8: CANCELADOR DE ECOS

Fuente: Imagen propia

Amplificador

La función principal del amplificador de salida es amplificar y mantener la potencia de salida constante (ver figura 3.9).



Figura 3.9: AMPLIFICADOR

Fuente: Imagen propia

Sistema Radiante

Los sistemas radiantes están compuestos por dos paneles de cuatro dipolos (ver figura 3.10) con polarización horizontal, debido a contar con un haz de cobertura más ancho y la posibilidad de generar polarización circular lo cuál hace que las señales puedan ser recibidas por el receptor sin importar su orientación [13]. Sus características están descritas en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS PANEL

Fuente: Laprotel

Tipo	Ganancia	Frecuencia de Trabajo	Polarización
Panel	11 dB	470 - 862 Mhz	Horizontal

Ambos paneles cuentan con una ganancia de 11 dB lo que permite tener una cobertura óptima a la frecuencia deseada de 530 MHz, la gráfica del patrón de radiación de los paneles se puede observar en el Anexo 2.



Figura 3.10: ANTENAS PANEL

Fuente: Imagen propia

3.2.3. Cables y conectores

Para la conexión del gapfiller con los paneles radiantes se utilizaron tres cables y un conector que inducen una pérdida total de 3.27 dB. El detalle de esto se puede apreciar en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES Y CONECTORES

Fuente: Elaboración propia

Elemento	Atenuación
2 x Pigtail	2 dB
Cable 7/8 x 11 m	0.77 dB
Conector	0.5 dB

3.3. Instalación de los equipos

La instalación de los equipos se realizó siguiendo el esquema de conectividad descrito en la figura 3.11, durante ésta se detectó un problema de retroalimentación de la señal retransmitida, que sucede cuando la señal retransmitida es tomada como señal de entrada, lo cual generaba un bucle infinito haciendo que el gapfiller retransmita su propia señal, esto se solucionó disminuyendo la potencia del amplificador de 100 W a 50 W.



Figura 3.11: TORRE Y CASETA DEL GAPFILLER

Fuente: Imagen propia

3.4. Pruebas de cobertura

Una vez instalado el gapfiller se procedió a realizar las pruebas de cobertura para determinar el correcto funcionamiento de éste, realizando el mismo recorrido de las pruebas previas a la instalación y puesta en servicio del gapfiller. Los resultados son mostrados en la tabla 3.6, siguiendo los valores de calidad establecidos en la tabla 3.1.

Tabla 3.6: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN Y PRUEBAS DE COBERTURA PREVIAS Y POSTERIORES

Fuente: Elaboración propia

Referencia	Posición		Calidad de la señal ant.		Calidad de la señal post.	
	Latitud	Longitud	HD	Oneseg	HD	Oneseg
Alameda del Corregidor cdra. 12	12°5'37.98" S	76°57'9.72" O	1	1	4	5
Alameda del Corregidor cdra. 21	12°6'4.21" S	76°56'58.57" O	1	1	5	5
Alameda del Corregidor cdra. 28	12°6'20.83" S	76°56'49.10" O	1	1	3	5
Av. Raúl Ferrero cdra. 5	12°5'10.32" S	76°56'27.39" O	1	1	4	5
Av. La Molina km 6.5	12°5'8.40" S	76°55'2.98" O	1	1	4	5
Av. La Molina cdra. 36	12°5'4.12" S	76°52'44.79" O	1	1	5	5
Av. Bello Horizonte cdra. 2	12°4'37.01" S	76°55'59.07" O	1	1	4	5
Av. Elías Aparicio cdra. 7	12°4'37.56" S	76°55'0.27" O	1	1	5	5
Av. Elías Aparicio cdra. 4	12°4'43.90" S	76°55'13.93" O	1	1	5	5
Óvalo La Fontana	12°4'26.39" S	76°57'20.00" O	1	1	5	5
Explanada del Estadio Monumental	12°3'28.18" S	76°56'16.53" O	1	1	4	5
Entrada del Estadio Monumental	12°3'10.12" S	76°56'15.57" O	1	1	3	5
Av. Javier Prado cdra. 34	12°5'9.43" S	76°59'22.09" O	1	1	2	4

3.5. Pruebas técnicas de INICTEL

Durante la primera semana de agosto del 2011 el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones llevó a cabo una serie de mediciones paralelas correspondientes al estudio de cobertura de TDT sobre el mismo caso mencionado en el presente trabajo de tesis, dicho estudio se puede encontrar en el Anexo 3: "Evaluación de cobertura y servicio de sistema retransmisor de TDT" y consistió en la medición de la potencia, intensidad de campo y MER. Estas pruebas sirven como una referencia importante para con los resultados de la televisora local.

3.5.1. Selección de los puntos de evaluación

INICTEL utilizó como estrategia el muestreo de puntos aleatorios dentro de la posible área de cobertura, estos puntos, si bien difieren de los previamente listados permiten tener una muestra más completa sobre la eficiencia del gapfiller. En la figura 3.12 se muestran los dieciséis puntos seleccionados

y se listan las ubicaciones de los mismos en la tabla 3.7.

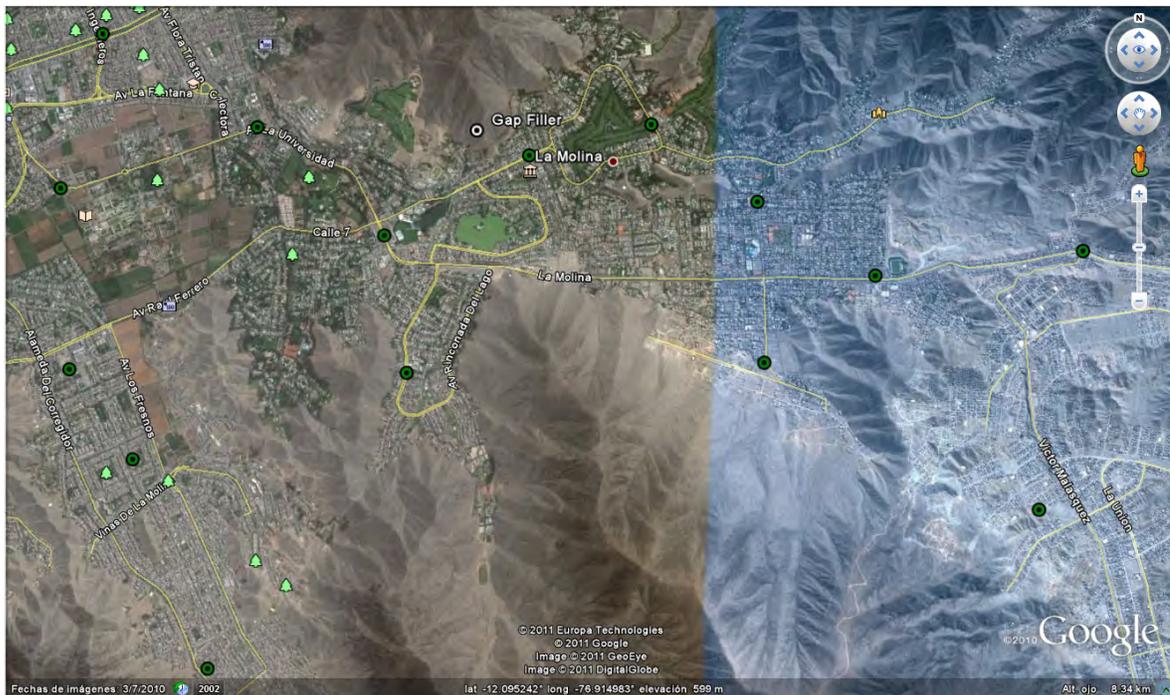


Figura 3.12: PUNTOS DE MEDICIÓN DE LA SEÑAL DE TDT

Fuente: INICTEL

Tabla 3.7: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN - INICTEL

Fuente: INICTEL

Punto	Dirección Referencial	Latitud	Longitud
1	A una cuadra del cruce de las avenidas La Universidad con Ricardo Elías Aparicio	-12.08293	-76.92776
2	Cruce Av. Los Ingenieros con Av. Javier Prado	-12.06848	-76.94839
3	Av. La Molina en el Oasis	-12.08419	-76.87745
4	Cruce de la avenida La Molina con calle Punta Pejerrey	-12.08587	-76.89214
5	Puerta principal de la UNALM	-12.0795	-76.95156
6	Cruce de las calles Los Bambúes y Calle 7	-12.09249	-76.95093
7	Calle la Rinconada	-12.09894	-76.94625
8	Cruce calles El Grifo con calle Campoverde	-12.07516	-76.93707
9	Cruce de la Avenida Ricardo Elías Aparicio con calle la Chalana	-12.07725	-76.91716
10	Calle Misuri entre las calles Orión y Sagitario. Paralela a Alameda del Corregidor	-12.11374	-76.94051
11	Entre las calles San Vicente de Paul y Sandy(Colegio Reina del Mundo)	-12.09274	-76.92609
12	Av. Cieneguilla cerca de Paul Poblet	-12.0871	-76.86745
13	Cruce de las calles Hawai y La Punta	-12.08063	-76.90062
14	Calle la Punta en los Huertos de la Molina	-12.09201	-76.90012
15	Huertos de Manchay sector V Villa Hermosa	-12.10233	-76.88049
16	Cruce de la avenida Planicie con la calle Los Médanos	-12.07511	-76.90828

3.5.2. Pruebas de campo

Para las mediciones de cobertura se utilizó el analizador de espectros en dos modos: modo ISBD-T y modo SFN, para fines prácticos del presente trabajo se ha escogido presentar sólo el modo ISDB-T. En la tabla 3.8 se muestran los resultados previos y posteriores a la instalación y puesta en marcha del gapfiller.

Tabla 3.8: PRUEBAS DE CAMPO PREVIAS Y POSTERIORES - INICTEL

Fuente: INICTEL

Punto ID	Valores previos			Valores posteriores		
	MER total (dB)	Potencia de canal (dBm)	Intensidad de campo (dBuV/m)	MER total (dB)	Potencia de canal (dBm)	Intensidad de campo (dBuV/m)
1	16.9	-72.9	53.2	29.3	-40.4	86.2
2	21.1	-70.1	57	17.6	-68.6	57.8
3	5.1	-86.7	39.8	26.6	-66.1	60.3
4	0.8	-88	38.8	26.8	-67	58.3
5	23	-71.9	52.5	25.4	-61.5	66.6
6	10.6	-74.8	50.7	28.1	-59.7	65.5
7	5.3	-85	40	4.3	-84	41.3
8	-3.1	-77	47.7	10.6	-75.2	50.2
9	17	-81.3	45.5	30.2	-49	77.2
10	9.4	-80	45	14.9	-75.9	50.2
11	19.6	-74	51.1	30	-42.8	83.3
12	12.5	-86.4	39.3	11.9	-64.7	61.1
13	-10	-91.9	34.8	14.2	-79	47.5
14	-10.1	-88.1	38.4	29.6	-58.3	67.7
15	-13.4	-95.2	30.9	4.1	-89	35.4
16	6.5	-81.7	44.4	29.2	-57.3	68.1

3.5.3. Comparación con simulaciones

Como se puede apreciar en las pruebas de cobertura la zona queda totalmente cubierta lo que corrobora el resultado teórico (figuras 2.7 y 2.9).

A parte, debe tenerse en cuenta que el hecho de trabajar con gapfillers puede condicionar la calidad de la recepción. Si en el gapfiller llega una señal de menor calidad que otra, a la salida pasará lo mismo. El nivel de potencia de entrada puede afectar al desacoplo entre antenas, a menor nivel de recepción más margen de ganancia se necesita [6].

Capítulo 4

Aspectos Ambientales

Algunos estudios demuestran que la exposición a los CEM podría producir efectos adversos a la salud, como cáncer y cambios en el comportamiento de las personas. Aunque hasta el presente no se ha demostrado que la exposición a CEM de baja intensidad provoque estos efectos, se trabaja por lograr un consenso científico al respecto y por establecer normas de seguridad adecuadas. La responsabilidad de desarrollar y promover los estándares de seguridad ha recaído fundamentalmente en organizaciones y agencias especializadas reconocidas internacionalmente; sin embargo, las autoridades sanitarias nacionales deben participar activamente en ese proceso. [9]

4.1. Radiaciones no ionizantes

La exposición externa a radiaciones no ionizantes de las estaciones de telecomunicaciones, se mide en términos del campo eléctrico (V/m), campo magnético (A/m o Teslas) y densidad de potencia (W/m²), que para campos de radiofrecuencia para regiones de campo lejano están completamente relacionados. La exposición interna para las radiofrecuencias se mide en términos de la tasa de absorción específica (SAR) (W/kg). La relación entre el campo y la tasa de absorción específica no es directa y se calcula mediante modelamiento matemático[9]. Las fuentes principales básicamente toman dos formas:

4.1.1. Radiación de las estaciones fijas

La radiación de las estaciones fijas que provocan exposición de cuerpo entero, que generalmente provocan niveles de exposición relativamente pequeños. En el caso de las estaciones base, las radiaciones no ionizantes normalmente están muy por debajo de los límites permisibles y generalmente la exposición

es involuntaria [9].

4.1.2. Radiación de estaciones portátiles

La radiación de estaciones portátiles, que provocan una exposición localizada en alguna zona del cuerpo. Para distancias menores que 1 cm puede ser cientos de V/m [9].

4.2. Efectos biológicos

Se ha demostrado que los efectos en la salud se dan como consecuencia del efecto térmico de las radiaciones no ionizantes que se producen cuando la tasa de absorción específica (SAR) es mayor a 4W/ kg produciendo un incremento de temperatura mayor a 1 °C.

El indicador más sensible que puede ser definido como efecto nocivo para la salud durante la exposición a campos electromagnéticos es el comportamiento que puede ser alterado mucho antes que aparezcan lesiones anatómicas debido a exposiciones fuertes.

De esta manera, se infiere que la instalación del *gapfiller* no representa ninguna amenaza contra la salud de las personas ya que los niveles de exposición que provoca el amplificador operando a 50 W son relativamente pequeñas y se encuentran por debajo de los límites permisibles. En cuanto a los receptores, los decodificadores tampoco representan peligro alguno ya que suelen encontrarse ubicados a varios centímetros de distancia de los usuarios, lo cual hace que los niveles de exposición sean pequeños.

Las emisiones electromagnéticas se reducen al mínimo mediante el blindaje o apantallado de los equipos instalados. Las líneas de cables se aíslan, y se comprueban junto a los conectores, que su radiación sea mínima o nula. Los bastidores, racks armarios y equipos similares, también están dotados de su correspondiente protección o blindaje electromagnético [10].

4.3. Impacto ambiental de la instalación

El análisis del impacto ambiental de la instalación respecto a los medios físicos, biológicos y socioeconómicos (ver tabla 4.1) no concluye que existan impactos negativos relevantes.

Tabla 4.1: DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Fuente: Elaboración propia

Identificación de Impactos y Variables Ambientales	Frecuencia						Intensidad				
	S	N	B	M	A	S.I.	B	M	A	S.I.	
Medio Físico											
¿Es posible que se genere contaminación por desechos domésticos?		N									
¿Es posible la contaminación del suelo por revertimiento de material residual durante las actividades de reparación y/o mantenimiento de la infraestructura?		N									
Medio Biológico											
¿Se disminuirá la biodiversidad de flora y fauna por el emplazamiento de obras?		N									
Medio Socioeconómico y Cultural											
¿El paisaje quedará estropeado a causa de las obras?		N									
¿La presencia de infraestructura modifica las acciones y/o actividades culturales, comerciales y recreativas relacionadas con la vía pública?		N									

Conclusiones

Se ha comprobado que una expansión planificada de *gapfillers* solucionaría la carencia de cobertura de TDT en parte de la Urbanización Rinconada del Lago del distrito de La Molina en Lima, tomando en cuenta que el transmisor principal se encuentra en el cerro Marcona (distrito de Chorrillos).

Una correcta simulación por software previa a la instalación real permite estimar adecuadamente el éxito del proyecto, en ambos casos, tanto para las simulaciones con software libre y propietario se consigue un resultado muy similar al obtenido en las pruebas posteriores a la instalación.

La ventaja principal de los *gapfillers* con respecto a los transmisores convencionales es que permiten el ahorro de espacio radio eléctrico y, por ende, se evitan problemas de interferencia co canal. De esta forma se consigue la recepción de una señal de calidad en los receptores beneficiados.

Las radiaciones no ionizantes emitidas por el centro en cuestión se encuentran por debajo de los límites permisibles y se considera que no representan peligro para la salud. También se consigue minimizar el impacto visual al utilizar una caseta y torre ya existentes.

Bibliografía

- [1] Cugini, Aldo. *World TV standards. Broadcast Engineering. New York, volumen 49, número 10, pp. 20-26.* 2007.
- [2] Godger, Alan y Jame Redford. *Encyclopedia of Imaging Science & Technology. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.* 2002.
- [3] Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. *Resolución Suprema 019-2009-MTC. Adoptan estándar de televisión digital terrestre para el Perú.* 23 de abril de 2009.
- [4] Asociación Brasileña de Normas Técnicas. *Normas Brasileñas de TV digital ABNT NBR 15601-15604* Noviembre, 2007.
- [5] The Digital Broadcasting Experts Group. *SDB-T Official Web Site* . Consulta: 2014.
- [6] Barreda, Víctor. *Estudio, diseño e instalación de un centro emisor de TDT con gapfillers. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona* 2009.
- [7] Egatel. *Consulta WEB: EGATEL* . 2011.
- [8] Radio Mobile. *Consulta WEB: Radio Mobile WEB Site* . 2012.
- [9] Cruz, Víctor. *Riesgo para la salud por radiaciones no ionizantes de las Redes de Telecomunicaciones en el Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. Lima, volumen 26, número 1, pp. 94-103.* 2009.
- [10] Skvarca, Jorge *Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. Revista Panamericana de Salud Pública. Buenos Aires, volumen 20, número 2/3, pp. 205-212.* 2006.

- [11] Kemper, Guillermo y Antonio Morán *Descripción y Análisis Comparativo Técnico de los Estándares de la TDT. UPC. Lima.* 2008.
- [12] Egatel *Instalación de Gapfillers. Documentación Técnica. Ourense.* 2012.
- [13] Cardama, Ángel *Antenas. UPC. Barcelona.* 2002.

