

Estudio técnico de radiación de televisión digital terrestre para la estación de calatrava

Max Esteban Ramón Urueña

Universitaria Agustiniana

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones

Bogotá D.C.

2018

Estudio técnico de radiación de televisión digital terrestre para la estación de calatrava

Max Esteban Ramón Urueña

Director

Edgar Fabian Rodriguez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Universitaria Agustiniana

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones

Bogotá D.C.

2018

Dedicatoria

“A Dios , mis padres y hermanas con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta meta, quienes han sido mi motor y el pilar fundamental de mi vida, ya que sin ellos hubiese sido imposible culminar con tanta satisfacción este sueño que hoy se convierte en una realidad, gracias a todo el apoyo y la orientación que en esos momentos oportunos supieron brindarme, convirtiéndose en la voz de aliento que me lleva por el camino a lo que hoy con orgullo llamo ÉXITO”

Agradecimientos

A mi madre, a mi abuela y mis hermanas que siempre estuvieron presentes durante toda mi formación académica.

A mis compañeros por el apoyo durante todo este tiempo.

Resumen

En este proyecto se propone la comprobación de la calidad de la señal de televisión digital radiodifundida transmitida a través de la estación de Calatrava, teniendo en cuenta, estándares de dictados por el gobierno nacional a través del documento de regulación de infraestructura, simulaciones, mediciones realizadas por la agencia nacional en el año 2014 durante la puesta en marcha del estándar tdt-t2 en Colombia, en contraste con mediciones realizadas en la actualidad sobre los canales de transmisión en la banda de frecuencias desde los 473 Mhz hasta 557 Mhz, en ambientes exteriores, tomando en cuenta variables como tasa de error de bits, tasa de error de modulación, relación portadora a ruido y nivel de potencia en la señal, para con ellas concluir, si se cumple con los estándares propuestos, si las simulaciones corresponden con los datos concretos y la variación de las mediciones realizadas por la agencia nacional del espectro, respecto a las mediciones realizadas, para determinar posibles factores de atenuación sobre la señal que afecten a la población, así como aspectos de mejora, dada su necesidad.

Dados los estándares de calidad necesarios por la televisión digital para su funcionamiento, es necesario, su monitoreo y comprobación constante, dado el continuo crecimiento demográfico, por el cual está pasando la sabana cundiboyacense, el cual hace de este servicio un medio de información y entrenamiento de vital importancia para la ciudad de Bogotá y los municipios de Bojacá, Funza, Mosquera, Cota, Chía, Cajicá y Tabio sobre los cuales son cubiertos por la estación de Calatrava.

Para el desarrollo de esta actividad es necesario la identificación de la estación transmisora de Calatrava, así como sus características técnicas funcionalidades digitales, área de cobertura y frecuencias de transmisión, para el reconocimiento de los canales públicos a los que se tiene acceso a través de la estación. Teniendo en cuenta todas estas variables el equipo escogido para la medición e identificación de estas variables es el HD RANGER ULTRALITE de PROMAX.

Tabla de contenidos

Introducción.....	15
Tema de investigación.....	16
Planteamiento del problema.....	17
Objetivos.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	18
Justificación.....	19
Capítulo I - Marco Teórico.....	20
1.1 Generalidades Técnicas Dvb-T.....	21
1.2 Generalidades Técnicas Dvb-T2.....	24
1.2.1 Características de la capa física.....	25
1.2.2 Configuración de la red.....	25
1.3 Especificaciones Técnicas De La TDT En Colombia.....	30
1.3.1 Redes.....	30
1.3.2 Receptores.....	31
1.4 Estado De La Televisión En Colombia.....	32
1.5 Antecedentes.....	39
1.5.1 Ventajas Del Estándar Dvb-T2 Respecto A Su Antecesor Dvb-T.....	40
Capítulo II. - Parámetros De Medición.....	44
2.1 Recursos de espectro.....	44
2.1.1. Medición de la ocupación de un canal de frecuencia.....	44
2.1.2 Medición de la ocupación de una banda de frecuencias.....	45
2.1.3. Duración de la observación (TTI).....	45
2.1.4 Tiempo de medición de muestras (TM).....	45
2.1.5 Tiempo de observación (TObs).....	45
2.1.6 Tiempo de iteración (TR).....	45
2.1.7 Tiempo de ocupación (TO).....	45
Capítulo III.- Adquisición De Datos Mediante Hdranger Ultralite De Promax.....	47

3.1 Características.....	47
3.2 Canalización	47
3.2.1 Medidas A Realizar.....	48
3.2.2 Diagrama De Constelación	50
3.2.3 Modo Tv.....	52
Capítulo IV - Mediciones	55
4.1 características de la antena.....	55
4.2 Características Del Transmisor.....	56
4.3 Características de las mediciones	59
4.3.1 Ubicación de los puntos a medir	60
Conclusiones.....	133
Referencias	134

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de bloques de una red TDT. CRC (2012)	21
Figura 2. Adiciones al estándar DVB-T. Realizadas por el estándar DVB-H Fact Sheet.....	24
Figura 3. Diagrama de bloques de DVB-T2.....	27
Figura 4. DVB-T2 Estructura de trama y PLPs. Rohde&Schwarz (2011).....	28
Figura 5. Estaciones implementadas durante la fase 1. ANTV, 2018.....	34
Figura 6. Estaciones implementadas durante la fase 2. ANTV, 2018.....	35
Figura 7. Estaciones implementadas durante la fase 3. ANTV, 2018.....	36
Figura 8. Mapa de cobertura poblacional de TDT. ANTV, 2018.	37
Figura 9. Descripción de la pantalla de exploración de canalización. Promax (2017)	47
Figura 10. Pantalla de mediciones del equipo HD RANGER ULTRALITE.....	49
Figura 11. Pantalla diagrama de constelación HD RANGER ULTRALITE.....	51
Figura 12. Pantalla de analizador de espectro HDRANGE ULTRALITE.....	52
Figura 13. Pantalla modo tv HD Ranger Ultralite. Max Ramon (2018)	53
Figura 14. Antena digital terrestre y amplificadora marca. DAIRU.	55
Figura 15. Panorámica torre estación calatrava evaluación estructural estación calatrava 2011 ..	56
Figura 16. Características antenas torre calatrava, ANTV 2014.....	57
Figura 17. Patrón de radiación estación calatrava. RTVC, 2011.	57
Figura 18. Ubicación geográfica del transmisor. Max Ramón (2018).....	58
Figura 19. Simulación de cobertura de la estación Calatrava. RTVC, 2011.....	59
Figura 20. Captura de datos parque Principal Mosquera. Max Ramón (2018).....	60
Figura 21. Ubicación geográfica de los puntos de medición.	63
Figura 22. Puntos ubicados en los municipios de Bojacá, Mosquera y Funza.	64
Figura 23. Puntos ubicados en el municipio de Cota.	65
Figura 24. Puntos ubicados en el municipio de Chía.	66
Figura 25. Puntos ubicados en los municipios de Cajicá y Tabio.....	67
Figura 26. Puntos ubicados en los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tocancipá.....	68
Figura 27. Puntos ubicados en la ciudad de Bogotá.....	69
Figura 28. Puntos ubicados en el municipio de Soacha.	70
Figura 29. Intensidad de campo p1 ANTV	71

Figura 30. Intensidad de campo p1 propio	72
Figura 31. Captura de datos p1 ANTV	72
Figura 32. Captura de datos p1 propio	73
Figura 33. Diagrama de constelación y potencia p3 ANTV	74
Figura 34. Diagrama de constelación y potencia p3 propio	74
Figura 35. Captura de datos p3 ANTV	75
Figura 36. Captura de datos p3 propia	75
Figura 37. Diagrama de constelación Y potencia p4 ANTV	76
Figura 38. Diagrama de constelación y potencia p4 PROPIO	77
Figura 39. Captura de datos p4 ANTV	77
Figura 40. Captura de datos p4 propia.	78
Figura 41. Diagrama de constelación y potencia p7 ANTV.	79
Figura 42. Diagrama de constelación y potencia p7 propio.	79
Figura 43. Captura de datos p7 ANTV.	80
Figura 44. Captura de datos p7 propia.	80
Figura 45. Diagrama de constelación y potencia p8 ANTV.	81
Figura 46. Diagrama de constelación y potencia p8 propio.	82
Figura 47. Captura de datos p8 ANTV.	82
Figura 48. Captura de datos p8 propia.	83
Figura 49. Diagrama de constelación y potencia p9 ANTV.	84
Figura 50. Diagrama de constelación y potencia p9 propio.	84
Figura 51. Captura de datos p9 ANTV.	85
Figura 52. Captura de datos p9 propio.	85
Figura 53. Diagrama de constelación y potencia p10 ANTV	86
Figura 54. Diagrama de constelación y potencia p10 propio.	87
Figura 55. Captura de datos p10 ANTV	87
Figura 56. Captura de datos p10 propio.	88
Figura 57. Diagrama de constelación y potencia p11 ANTV.	89
Figura 58. Diagrama de constelación y potencia p11 propio.	89
Figura 59. Captura de datos p11 ANTV.	90

Figura 60. Adquisición de datos p11 propio.	90
Figura 61. Diagrama de constelación y potencia p13 ANTV	91
Figura 62. Diagrama de constelación y potencia p13 propio	92
Figura 63. Adquisición de datos p13 ANTV.....	92
Figura 64. Adquisición de datos p13 propio	93
Figura 65. Diagrama de constelación y potencia p14 ANTV.	94
Figura 66. Diagrama de constelación y potencia p14 propio.....	94
Figura 67. Adquisición de datos p14 ANTV.....	95
Figura 68. Adquisición de datos p14 propio.	95
Figura 69. Diagrama de constelación y potencia p16 ANTV.	96
Figura 70. Diagrama de constelación y potencia p16 propio.....	97
Figura 71. Adquisición de datos p16 ANTV.....	97
Figura 72. Adquisición de datos p16 propio.	98
Figura 73. Diagrama de constelación y potencia p17 ANTV.	99
Figura 74. Diagrama de constelación y potencia p17 propio.....	99
Figura 75. Adquisición de datos p17 ANTV.....	100
Figura 76. Adquisición de datos p17 propio.	100
Figura 77. Diagrama de constelación y potencia p18 ANTV.	101
Figura 78. Diagrama de constelación y potencia p18 propio.....	102
Figura 79. Adquisición de datos p18 ANTV.....	102
Figura 80. Adquisición de datos p18 propio.	103
Figura 81. Diagrama de constelación y potencia p19 ANTV.	104
Figura 82. Diagrama de constelación y potencia p19 propio.....	104
Figura 83. Adquisición de datos p19 ANTV.....	105
Figura 84. Adquisición de datos p19 propio.	105
Figura 85. Diagrama de constelación y potencia p26 ANTV.	106
Figura 86. Diagrama de constelación y potencia p26 propio.....	107
Figura 87. Adquisición de datos p26 ANTV.....	107
Figura 88. Adquisición de datos p26 propio.	108
Figura 89. Diagrama de constelación y potencia p27 ANTV.	109

Figura 90. Diagrama de constelación y potencia p27 propio.....	109
Figura 91. Adquisición de datos p27 ANTV.....	110
Figura 92. Adquisición de datos p27 propio.....	110
Figura 93. Diagrama de constelación y potencia p32 ANTV.....	111
Figura 94. Diagrama de constelación y potencia p32 propio.....	112
Figura 95. Adquisición de datos p32 ANTV.....	112
Figura 96. Adquisición de datos p32 propio.....	113
Figura 97. Diagrama de constelación y potencia p34 ANTV.....	114
Figura 98. Diagrama de constelación y potencia p34 propio.....	114
Figura 99. Adquisición de datos p34, ANTV.....	115
Figura 100. Adquisición de datos p34 propio.....	115
Figura 101. Diagrama de constelación y potencia p35 ANTV.....	116
Figura 102. Diagrama de constelación y potencia p35 propio.....	117
Figura 103. Adquisición de datos p35 ANTV.....	117
Figura 104. Adquisición de datos p35 propio.....	118
Figura 105 Diagrama de constelación y potencia p37 ANTV.....	119
Figura 106. Diagrama de constelación y potencia p37.....	119
Figura 107. Adquisición de datos p37 ANTV.....	120
Figura 108. Adquisición de datos p37 propio.....	120
Figura 109. Diagrama de constelación y potencia p40, ANTV.....	121
Figura 110. Diagrama de constelación y potencia p40 propio.....	122
Figura 111. Adquisición de datos p40, ANTV.....	122
Figura 112. Adquisición de datos p40, propio.....	123
Figura 113. Diagrama de constelación y potencia p41, ANTV.....	124
Figura 114. Diagrama de constelación y potencia p42, propio.....	124
Figura 115. Adquisición de datos p41, ANTV.....	125
Figura 116. Adquisición de datos p41, propio.....	125
Figura 117. Diagrama de constelación y potencia p42 ANTV.....	126
Figura 118. Diagrama de constelación y potencia p42 propio.....	127
Figura 119. Adquisición de datos p42 ANTV.....	127

Figura 120. Adquisición de datos p42 propio. 128

Lista de tablas

Tabla 1 Interfaces básicas del sistema.....	22
Tabla 2 Comparación entre los estándares DVB-T y DVB-T-2	29
Tabla 3 Escenarios de Recepción externa (Rooftop)	29
Tabla 4 Escenarios de recepción móvil y portátil	30
Tabla 5 Relación de estaciones fases y estudios de comprobación de cobertura.....	38
Tabla 6 Diferencia entre DVB-T VS. DVB-T2.	41
Tabla 7 Diferencia entre DVB-T VS. DVB-T2	43
Tabla 8 Identificación y ubicación de los puntos a medir.....	61
Tabla 9 Identificación de distancia y azimut entre los puntos y la estación.	64
Tabla 10 Identificación de los puntos distancia y azimut en el municipio de cota.	65
Tabla 11 Identificación de los puntos distancia y azimut en el municipio de Chía.	66
Tabla 12 Identificación de los puntos distancia y azimut para los municipios de Cajicá y Tabio	68
Tabla 13 Identificación de los puntos distancia y azimut para los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tocancipá.	69
Tabla 14 Identificación de los puntos distancia y azimut en la ciudad de Bogotá.....	70
Tabla 15 Identificación de los puntos distancia y azimut en la ciudad de Bogotá.....	71
Tabla 16 Captura de datos general de punto p1	73
Tabla 17 Captura general de datos p3.	76
Tabla 18 Captura general de datos p4.	78
Tabla 19 Captura general de datos p7	80
Tabla 20 Captura general de datos p8.	83
Tabla 21 Captura general de datos p9.	86
Tabla 22 Captura general de datos p10.	88
Tabla 23 Captura general de datos p11.	91
Tabla 24 Captura general de datos p13.	93
Tabla 25 Adquisición general de datos p14.	96
Tabla 26 Adquisición general de datos p16.	98
Tabla 27 Adquisición general de datos p17.	101
Tabla 28 Adquisición general de datos p18.	103

Tabla 29 Adquisición general de datos p19.	106
Tabla 30 Adquisición general de datos p26.	108
Tabla 31 Adquisición general de datos p27.	111
Tabla 32 Adquisición general de datos p32.	113
Tabla 33 Adquisición general de datos p34.	116
Tabla 34 Adquisición general de datos p35.	118
Tabla 35 Adquisición general de datos p37.	121
Tabla 36 Adquisición general de datos p40.	123
Tabla 37 Adquisición general de datos p41.	126
Tabla 38 Adquisición general de datos p42.	128
Tabla 39 Tabla de comparación de potencias	129

Introducción

Con el desarrollo de nuevas tecnologías de comunicación, y la digitalización de las mismas, la televisión ha evolucionado hasta convertirse en un medio interactivo, con mayores capacidades en relación a transmisión de señal, calidad de imagen y sonido, contenido disponible, accesibilidad a servicios y eficiencia respecto al uso del espectro electromagnético, dada la multiplexación de los servicios.

Actualmente en Colombia y el continente hay un sin fin de operadores con una oferta televisiva, amplia digital e interactiva, dadas las posibilidades técnicas disponibles en las regiones este puede variar entre Hfc, satelital, ftht, dsl con prevalencia de la televisión digital terrestre sobre el territorio nacional, dadas las políticas públicas de acceso a la información, la cual cuenta con cobertura sobre gran parte del territorio nacional.

Actualmente la red de estaciones de transmisión de televisión se encuentra en migración al estándar europeo Digital Video Broadcasting Second Generation Terrestrial Dvb-t2, cuyos estándares y especificaciones técnicas han sido definidas por el estado, más concreto, por la comisión de regulación de telecomunicaciones, para el estándar t2 desde el 2012 en su documento amarillo, las cuales deben ser tenidas en cuentas al momento de la evaluación y medición de los servicios ofrecidos en el portafolio tdt nacional.

Tema de investigación

Realizar un estudio sobre la radiación de la señal de TDT con relación a la estación de Calatrava en base a las mediciones de cobertura realizadas por la agencia nacional de televisión, que permita identificar las características de cobertura y el uso del espectro radioeléctrico, con el fin de tener conocimiento profundo de la temática y comprobar el cumplimiento de las regulaciones colombianas, sobre la red de TDT respecto a frecuencias y potencias aplicadas.

Planteamiento del problema

Las estaciones de transmisión TDT están cumpliendo con los estándares reglamentarios de potencia para la cobertura en la que fueron diseñadas e implementadas, para ello es necesario entender el comportamiento del uso de las frecuencias asignadas para dicha tecnología y el cumplimiento de las regulaciones, respecto a potencia y ubicación de los transmisores que permitan la identificación de las frecuencias y los espacios donde pueden ser utilizadas.

En este caso el transmisor que se analizar será la estación de calatrava, la cual dada su ubicación estratégica en la capital del país, representa una de las coberturas poblacionales más grandes de toda la red del país, ya que cubre gran parte de la ciudad más densamente poblada del país, y un área con una expansión constante como lo es la sabana cundiboyacense, y que no cuenta con auditorías recientes sobre su cobertura potencia y calidad.

Objetivos

Objetivo general

Realizar un estudio de cobertura para la tecnología TDT en base al estudio regulatorio, teórico y práctico sobre la estación Calatrava, para los municipios de Bojacá, Funza, Mosquera, Cota, Bogotá, Chía, Cajicá, y Tabio.

Objetivos específicos

- Estudio e identificación de las características normativas de la transmisión TDT en el PTT
- Realizar las mediciones de cobertura en campo teniendo en cuenta el nivel de señal a ruido, la tasa de error de modulación, la tasa de error de bits, en los canales transmitidos a través de la estación de calatrava.
- Evaluar los resultados obtenidos de acuerdo a los estándares definidos de implementación y en contraste con las mediciones en campo realizadas por la ANTV para comprobar su aplicación.

Justificación

El entendimiento del uso de las frecuencias utilizadas en televisión digital terrestre TDT, permitirá encontrar nuevos campos en los que puedan ser usados los espacios dejados por el apagón analógico, permitiendo el diseño y la implementación de nuevas tecnologías, sobre estas frecuencias, para obtener el mayor provecho de estas en múltiples campos, como lo es la implementación de tecnologías LTE gracias a la red SFN utilizada por el estándar DVB-T2.

Teniendo en cuenta el constante aumento poblacional del país y la implementación de nuevas fases de TDT en Colombia es de suma importancia mantener una constante auditoria sobre las principales estaciones para verificar que se conserve la calidad y la cobertura durante sus transmisiones para verificar el PTT sea implementado correctamente y generar datos que puedan usarse para el mejoramiento del sistema.

Capítulo I - Marco teórico

El DVB (Digital Video Broadcasting) es un consorcio constituido por más de 250 instituciones y empresas de todo el mundo conformado para diseñar estándares técnicos abiertos para la prestación de la televisión digital y los servicios de datos. El proyecto DVB tiene desarrollados más de 50 estándares, para sistemas de televisión por cable, televisión terrestre, sistemas digitales de televisión satélite, redes de televisión por microondas, y otras aplicaciones. Los estándares del DVB están clasificados principalmente, en cuatro tipos:

- DVB-S para redes satelitales
- DVB-C para redes de cable
- DVB-T para redes de radiodifusión terrestre
- DVB-H para equipos de usuario móviles

Adicionalmente, están especificados un amplio rango de estándares que soportan servicios suplementarios que pueden ser prestados a través de este sistema tales como las características de la señalización en el canal de retorno en sistemas de televisión interactiva, la estructura de transmisión de datos para el cifrado y descifrado de programas, las de acceso condicional, la transmisión de subtítulos, y la radiodifusión de datos (nuevos canales de teletexto) mediante sistemas digitales. Asimismo, con la convergencia de redes y servicios, se han desarrollado otros estándares que utilizan técnicas innovadoras que permiten la prestación de servicios DVB sobre redes de telecomunicaciones móviles (DVB-H y DVB-SH).

Todos los procedimientos de codificación de las fuentes de vídeo y audio están basados en los estándares definidos por MPEG. No obstante, los estándares MPEG sólo cubren los aspectos y metodologías utilizadas en la compresión de las señales de audio y vídeo y los procedimientos de multiplexación y sincronización de estas señales en tramas de programa o de transporte. Una vez definida la trama de transporte es necesario establecer los sistemas de modulación de señal que se utilizarán para los distintos tipos de radiodifusión (satélite, cable y terrena), los tipos de códigos de protección frente a errores y los mecanismos de acceso condicional a los servicios y programas.

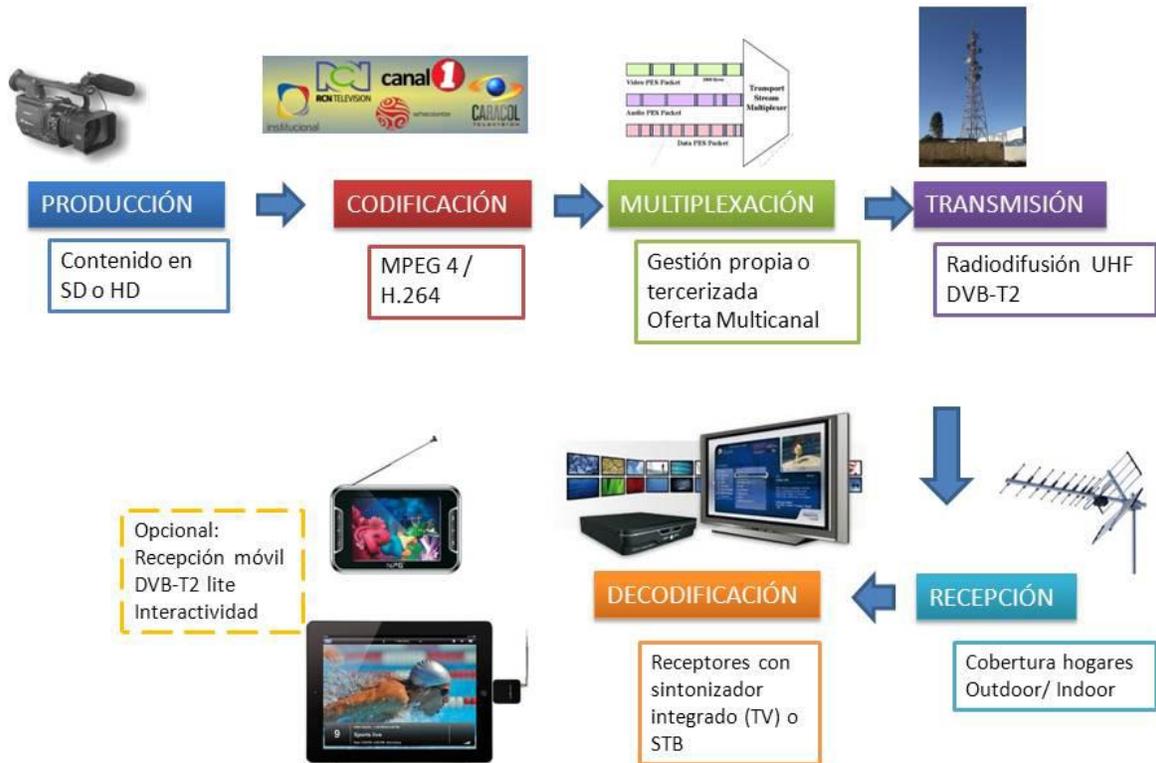


Figura 1. Diagrama de bloques de una red TDT. CRC (2012)

Para el caso de la TDT, a continuación, se ilustran las principales etapas en las que se puede descomponer el servicio, dentro de las cuales pueden definirse aspectos técnicos particulares enfocados a asegurar la interoperabilidad de los servicios ofrecidos al público en general.

Si bien se hace referencia al estándar DVB-T2, los bloques funcionales son iguales en el caso de DVB-T. A continuación, se hace una breve reseña de las características contenidas en los dos estándares de TDT utilizados en Colombia a la fecha.

1.1 Generalidades técnicas Dvb-T

El sistema DVB-T se define como el bloque funcional de equipamiento (Terrestrial Channel Adapter) que convierte las señales de televisión codificadas MPEG-2/3 en señales para la radiodifusión digital terrestre.

El estándar DVB-T fue especificado por ETSI y su última versión es de enero de 2009 [ETSI-EN300 744 v1.6.1 - 2009].

Las interfaces definidas por el estándar para el sistema base son las siguientes (Tabla 1):

Tabla 1

Interfaces básicas del sistema

Ubicación	Interface	Tipo de Interface	Conexión
Estación Transmisora	Entrada	Flujo de Transporte Multiplexado MPEG-2	Desde el Multiplexor MPEG-2
	Salida	Señal RF	Hacia el Aire
Estación Receptora	Entrada	Señal RF	Desde Aire
	Salida	Flujo de Transporte Multiplexado MPEG-2	Hacia el Demultiplexor MPEG-2

Nota. ETSI - EN 300 744 v1.6.1 – 2009

El sistema DVB-T, al igual que los otros sistemas modernos de radiodifusión terrestre, utiliza la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) para la transmisión de las señales.

Las características técnicas de este estándar son las siguientes:

- Tres (3) opciones de modulación (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- Cinco (5) diferentes tasas de FEC (Forward Error Correction)
- Cuatro (4) opciones de intervalos de guarda (1/4, 1/8, 1/16, 1/32)
- Dos (2) modos de operación de portadoras: 2k u 8k
- Puede operar en canales con anchos de banda de 6, 7 u 8 MHz con video a 50 Hz o 60Hz

El sistema DVB-T es compatible con los protocolos de audio MPEG-1, MPEG-2 y AC-3. Posteriormente se realizaron desarrollos no contemplados inicialmente en el estándar, para el soporte de MPEG-4.

La codificación del audio MPEG-1 y MPEG-2 puede realizarse en uno de los siguientes formatos:

1. ISO/IEC 11172-3 Mono Canal
2. ISO/IEC 11172-3 Estéreo Conjunto
3. ISO/IEC 11172-3 Estéreo
4. ISO/IEC 13818-3 Audio multicanal

La decodificación del audio MPEG-1 y MPEG-2 se realiza en uno de los siguientes formatos:

1. ISO/IEC 11172-3 Mono Canal
2. ISO/IEC 11172-3 Estéreo Conjunto
3. ISO/IEC 11172-3 Estéreo

Adicionalmente, la codificación MPEG permite la transmisión de datos auxiliares y sonido multicanal envolvente. Esta opción es una mejora respecto del sonido monofónico (1.0) o estereofónico (2.0) de los televisores análogos y ofrece mejoras en comparación con los sistemas que ofrecen sonido 5.1 (5 pistas de audio para igual número de altavoces más una pista para sonido de bajos profundos - surround). Con el protocolo MPEG-4 (H.264) es posible utilizar el protocolo de audio EAC-3 (Dolby Digital Plus) y lograr calidad de sonido de 7.1 canales.

En el año 2004, la ETSI publicó el estándar ETSI - EN 203 204 - 2004, conocido como DVB-H, que permite la transmisión de la televisión digital a receptores móviles tales como los teléfonos celulares y PDA. Este estándar es una especificación de la capa física, diseñada para transmisión eficiente de datos IP empaquetados sobre redes terrestres.

El DVB-H es una extensión del DVB-T y permite compartir la misma multiplexación con el DVB-T. El DVB-H utiliza un mecanismo denominado encapsulación multiprotocolo (MPE), que

hace posible la transmisión de protocolos de redes de datos sobre las capas superiores de los flujos de transporte MPEG-2.

El estándar DVB-H añade un modo de operación de portadora 4k, adicional a los definidos en el DVB-T, que permite aumentar la flexibilidad en el diseño de las redes.

Este estándar también utiliza la técnica Time Slicing por medio de la cual se obtienen ahorros de energía en las baterías de los receptores móviles.

Es de resaltar que la versión actual contempla desarrollos técnicos específicos para canalización de 6 MHz utilizada en la región de América (Colombia y Panamá), Filipinas, Taiwán y Trinidad y Tobago.

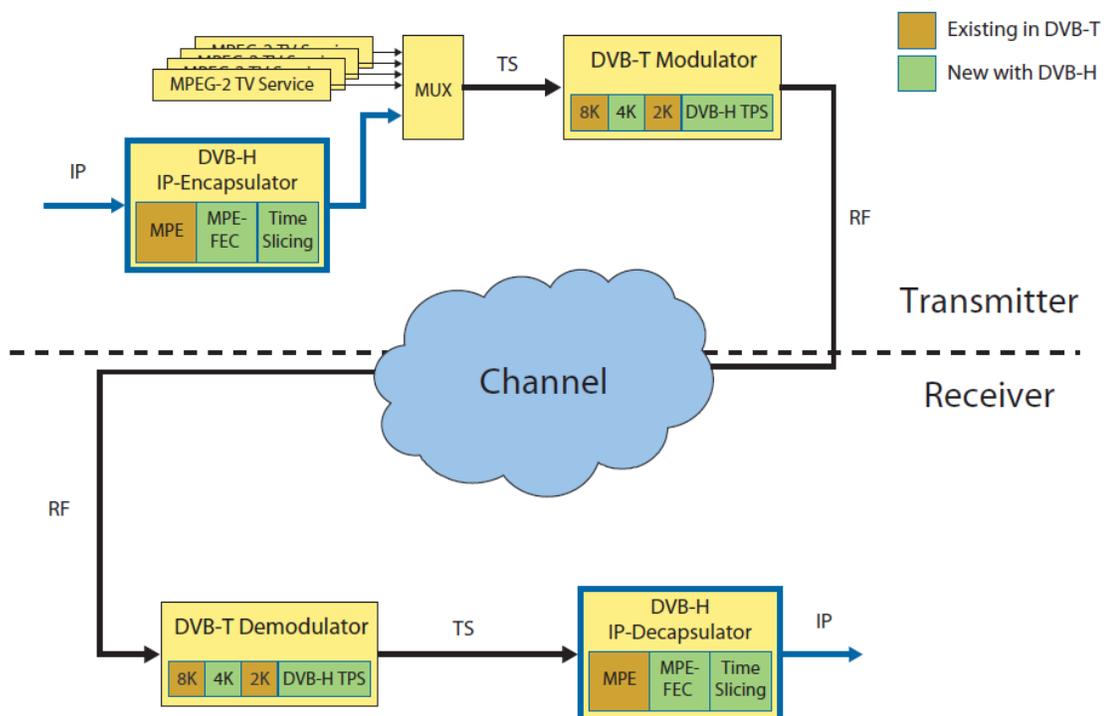


Figura 2. Adiciones al estándar DVB-T. Realizadas por el estándar DVB-H Fact Sheet. 2019

1.2 Generalidades técnicas Dvb-T2

El estándar DVB-T2 es una adaptación del estándar DVB-T que responde a la creciente escasez de espectro radioeléctrico –ERE- con aumento en la eficiencia espectral de entre 30% y 50%. Fue

adoptado por la ETSI en el 2009 y su última actualización fue en abril del año 2012 (ETSI - EN 302755 v 1.3.1 – 2012).

Como evolución del estándar DVB-T, introduce las últimas técnicas de modulación y codificación para permitir un uso eficiente del espectro para la transmisión de servicios de audio, video y datos tanto para redes fijas como móviles.

Este sistema también utiliza la modulación OFDM que contiene varias sub-portadoras y combina las técnicas de codificación LDPC (Low Density Parity Check) y BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham), permitiendo el transporte de señales de alta calidad en presencia de altos niveles de ruido e interferencia.

1.2.1 Características de la capa física.

Al igual que el estándar DVB-T, la especificación DVB-T2 utiliza modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). La disponibilidad de un gran número de modos permite el mismo grado de flexibilidad para adaptarse al tipo específico de aplicación como con el estándar DVB-T. Sin embargo, la adición del modo QAM 256 en el DVB-T2 permite aumentar el número de bits llevados por celda de datos y se beneficia de la mejora FEC (Forward Error Correction) lo que aumenta la capacidad disponible.

La especificación DVB-T2 ofrece una selección de varios niveles de robustez y protección para cada servicio por separado dentro de un flujo de transporte (TransportStream) transmitido por una señal en un canal. Esto permite que cada servicio tenga un modo de modulación único dependiendo de la robustez de la señal requerida a través del uso de Physical Layer Pipes-PLP.

1.2.2 Configuración de la red.

La especificación DVB-T2 permite la posibilidad de maximizar el rendimiento individual en frecuencia. En comparación con el estándar DVB-T, se han añadido nuevos modos de transporte para mejorar el rendimiento de las redes de frecuencia única (SFN) y aumentar el periodo del símbolo.

Este aumento en el periodo permite una reducción en el tamaño del intervalo de guarda sin dejar de manejar reflexiones multitrayecto. La codificación Alamouti también está disponible para SFN simples, en la cual un receptor puede recibir varias señales de forma simultánea de más de un transmisor.

Utilizando estas características, se ha estimado que el uso de una SFN podría permitir un aumento de la capacidad potencial de hasta el 67% en comparación con el modo DVB-T de similar robustez.

En comparación con el estándar DVB-T, la especificación DVB-T2 permite una reducción del pico a potencia media (PAPR) utilizada en la estación emisora en un 25%, lo que puede reducir significativamente la cantidad total de energía que debe estar disponible para el funcionamiento de estaciones de transmisión de alta potencia. Esto se logra mediante el uso de técnicas como Tone Reservation y ACE (extensión activa de constelación). Las constelaciones rotadas mejoran la robustez frente a pérdida de datos.

El uso de SFN nacional puede permitir una mayor eficiencia del espectro, sin embargo, SFN nacionales limitan la capacidad de los operadores de radiodifusión para ofrecer servicios de nivel regional y local.

En resumen, las principales tecnologías que incorpora el nuevo estándar DVB-T2 son:

- Constelaciones rotadas, lo cual mejora la recepción respecto de constelaciones de orden inferior.
- Múltiples Physical Layer Pipes- PLPs, que permite un ajuste independiente de las Características de cada servicio prestado dentro del canal.
- Codificación de Alamoutique al permitir la diversidad de transmisor, mejora la cobertura en redes de frecuencia única (SFN) de pequeña escala.
- Interleaving extendido que incluye bit, celda, tiempo y frecuencia de interleaving⁴².

En mayor detalle, el diagrama de bloques para la generación de señales en DVB-T2 se ilustra en la Figura 2.

Las entradas del sistema pueden ser uno o más flujos de transporte MPEG-2 y/o uno o más flujos genéricos (Generic Stream). El pre-procesamiento de entrada no forma parte del estándar y consiste en la creación del tubo de la capa física ó PPL (Physical Layer Pipe).

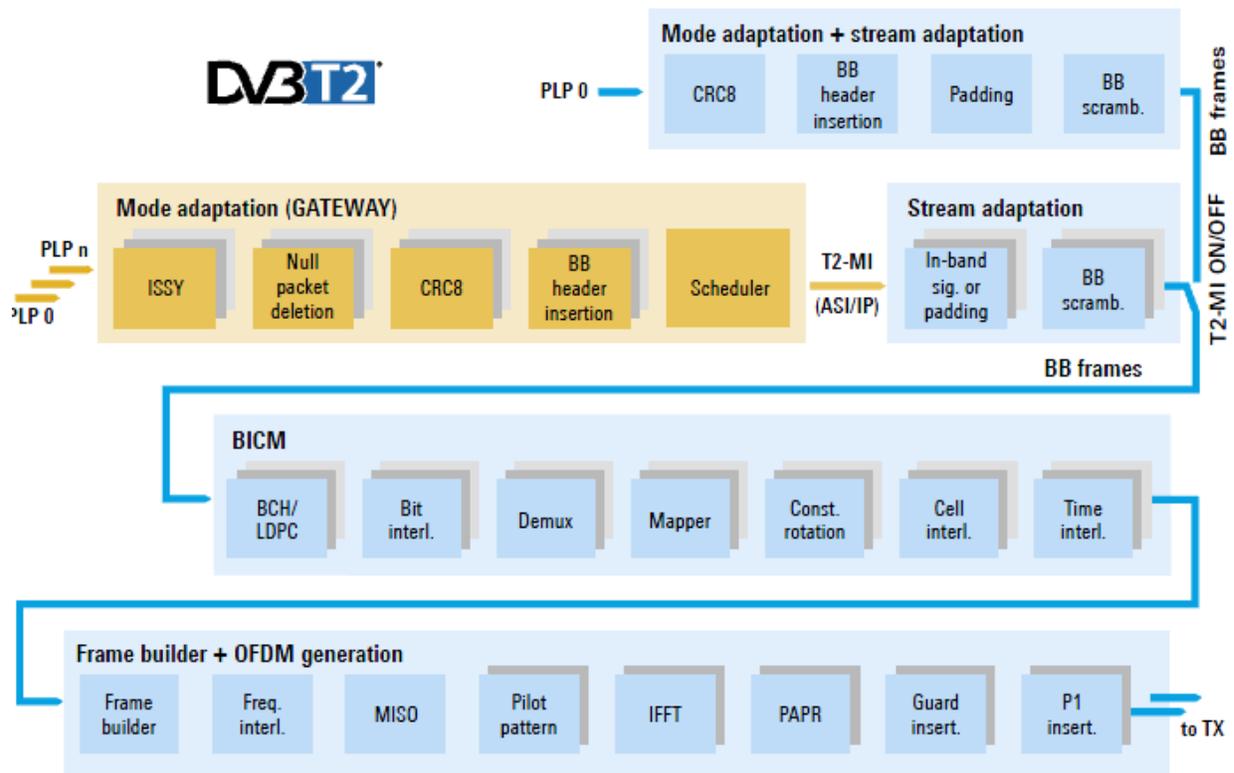


Figura 3. Diagrama de bloques de DVB-T2. Fuente: Rohde&Schwarz (2011) basado en ETSI - EN 302 755 (2019)

Luego el módulo de procesamiento de entrada (input processing) ensambla los datos de conformidad con los parámetros de modulación y codificación. De ahí, el módulo de intercalado de bits, codificación & modulación (Bit Interleaved Coding & Modulation) se encarga de la codificación FEC, el intercalado de bits y el mapeo de cellwords a constelaciones.

Después el módulo de construcción de trama (Framebuilder) organiza los datos en supertramas y finalmente el módulo de generación OFDM (OFDM generation) crea una señal análoga con codificación OFDM a una tasa de muestreo que depende de la canalización del ancho de banda.

Para mayor detalle de cómo se conforman los frames de DVB-T2 se incluye la siguiente figura.

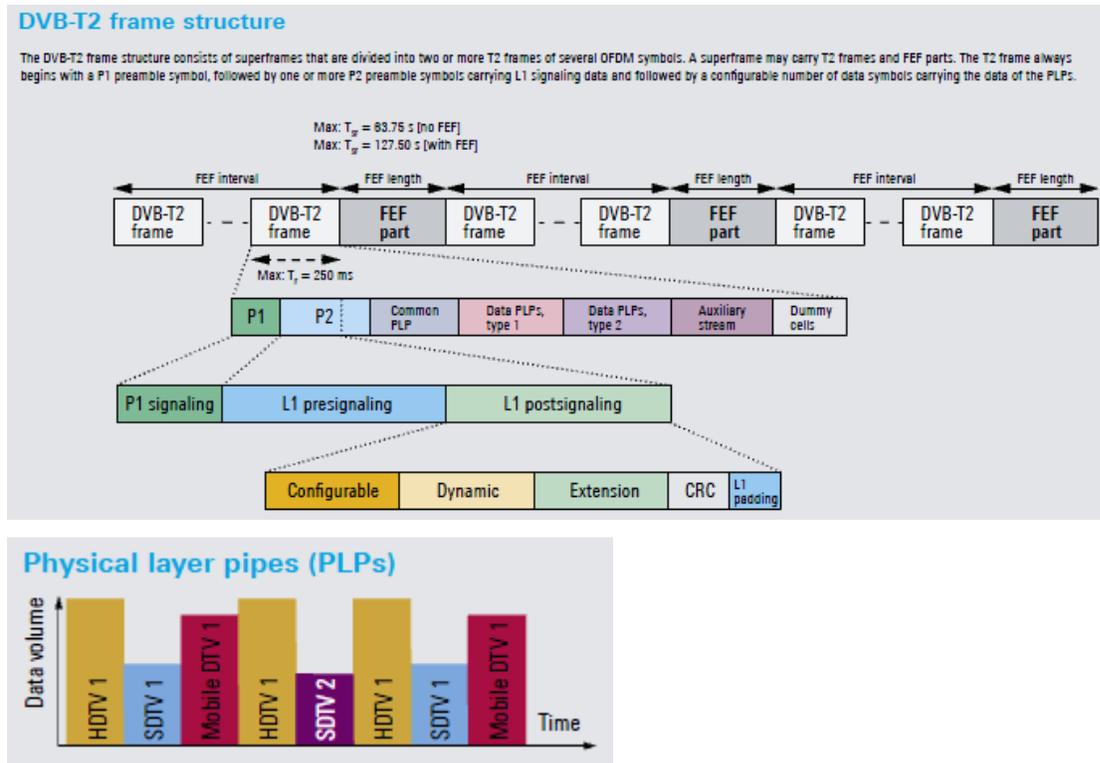


Figura 4. DVB-T2 Estructura de trama y PLPs. Rohde&Schwarz (2011)

Las diferencias principales con el estándar antecesor DVB-T, se muestran en la Tabla 7.

Si bien en DVB-T2 se aceptan múltiples canalizaciones, a la fecha las disposiciones técnicas detalladas del estándar se encuentran desarrolladas por la ETSI y por la European Broadcasters Union (EBU), para las canalizaciones de 1.7MHz, 7 MHz y 8 MHz. Específicamente la EBU indica que las especificaciones técnicas para canalizaciones de 5 y 6 MHz, también podrían ser incluidas en el Plan GE06, sin embargo, para dichas variantes todavía no se han definido los límites para spectrumshaping en el estándar ETSI EN 302 755 o en la Recomendación UIT-R Rec.BT.1877.

Tabla 2

Comparación entre los estándares DVB-T y DVB-T-2

	DVB-T	DVB-T2 (new/improved options in bold)
FEC	Convolutional Coding+Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5 , 2/3, 3/4, 4/5 , 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128 , 1/8, 19/256 , 1/16, 1/32, 1/128
FFT Size	2k, 8k	1k , 2k, 4k , 8k, 16k , 32k
Scattered Pilots	8% of total	1% , 2% , 4% , 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total
Bandwidth	6, 7, 8 MHz	1.7 , 5 , 6, 7, 8, 10 MHz
Typical data rate (UK)	24 Mbit/s	40 Mbit/s
Max. data rate (@20 dB C/N)	29 Mbit/s	47.8 Mbit/s
Required C/N ratio (@22 Mbit/s)	16,7 dB	8,9 dB

Nota. DVB-H Fact Sheet (2019)

En el documento técnico EBU Tech 3348 de mayo 2012, sección 5, se plantean diferentes escenarios de uso del DVB-T2 para migración desde DVB-T o para su uso en diferentes modalidades de recepción (externa en redes MFN y SFN, móvil y portátil) detalladas para 8Mhzy 1.7MHZ (móvil), por lo que para el caso colombiano pueden servir de indicativo de cómo varían las condiciones generales entre escenarios.

Tabla 3

Escenarios de Recepción externa (Rooftop)

Implementation	Fixed rooftop reception MFN (UK mode)	Fixed rooftop reception (maximum coverage area extension)	Fixed rooftop reception Limited area SFN (GE06 Allotment)	Fixed rooftop reception Large area SFN
Scenario	1	2	3a	3b
Bandwidth	8 MHz	8 MHz	8 MHz	8 MHz
FFT mode	32k	32k	32k	32k
Carrier mode	Extended	Extended	Extended	Extended
Scattered Pilot Pattern	PP7	PP2	PP4	PP2
Guard interval	1/128 (28 μs)	1/8 (448 μs)	1/16 (224 μs)	1/8 (448 μs)
Modulation	256-QAM	16-QAM	256-QAM	256-QAM
Code rate	2/3	2/3	2/3	2/3
C/N	20.0 dB	11.6 dB	20.8 dB	21.2 dB
Data rate	40.2 Mbit/s	16.7 Mbit/s	37.0 Mbit/s	33.4 Mbit/s

Nota: Fuente EBU Tech 3348 (2019)

Tabla 4

Escenarios de recepción móvil y portátil

Implementation Scenario	portable reception (maximum date rate)	portable reception (maximum date rate, alternative)	portable reception (maximum coverage area extension)	portable reception (optimum spectrum usage)	mobile reception Band III	mobile reception Band III (alternative)	portable and mobile reception (common usage of MUX by different services)	
	4a	4b	5	6	7a	7b	high data rate	8 low data rate
Bandwidth	8 MHz	8 MHz	8 MHz	8 MHz	1.7 MHz	1.7 MHz	8 MHz	
FFT mode	16k	32k	16k	16k	4k	4k	8k	
Carrier mode	Extended	Extended	Extended	Extended	Normal	Normal	Extended	
Scattered Pilot Pattern	PP3	PP4	PP3	PP1	PP2	PP1	PP1	
Guard interval	1/8 (224 μ s)	1/16 (224 μ s)	1/8 (224 μ s)	1/4 (448 μ s)	1/8 (278 μ s)	1/4 (555 μ s)	1/4 (224 μ s)	
Modulation	64-QAM	64-QAM	16-QAM	64-QAM	16-QAM	16-QAM	64-QAM	16-QAM
Code rate	2/3	2/3	1/2	2/3	1/2	1/2	2/3	1/2
C/I1	17.9 dB	17.9 dB	9.8 dB	18.3 dB	10.2 dB	10.2 dB	18.3 dB	10.2 dB
Data rate	26.2 Mbit/s	27.7 Mbit/s	13.1 Mbit/s	22.6 Mbit/s	2.5 Mbit/s	2.2 Mbit/s	22.4 Mbit/s (max)	11.2 Mbit/s (max)

Nota. Fuente EBU Tech 3348 (2019)

1.3 Especificaciones técnicas de la TDT en Colombia

En relación con los requerimientos técnicos de la televisión digital terrestre el Colombia, en primer lugar, es importante señalar que el Acuerdo CNTV 02 de 2012 de la CNTV, estableció las condiciones generales de configuración de cada Múltiplex Digital (Art. 6), la explotación del mismo que incluye un tope para servicios diferentes a televisión del 15% (Art. 12) y condiciones de gestión del múltiplex para operadores locales sin ánimo de lucro (Art. 13), además del plan de cobertura de la TDT abierta.

1.3.1 Redes.

La Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM, en su calidad de Cuerpo Técnico Consultivo del Gobierno Nacional presentó a la CNTV en julio de 2010 las recomendaciones acerca de los parámetros técnicos que se deberían regular en transmisión y en recepción, así como coexistencia de redes, lo cual fue un insumo para el estudio y posterior expedición del Acuerdo CNTV 08 de 2010, el cual definía el estándar DVB-T para ser adoptado en Colombia. La mencionada Asociación presentó a la CNTV, en marzo de 2012, la tabla actualizada de parámetros técnicos para el estándar DVB-T2, la cual se presenta en el Anexo 1, la cual se incluyen parámetros globales, de transmisión, de receptores y decodificadores.

En la tabla presentada por la ACIEM se propone incorporar las Bandas III, IV y V hasta 860 MHz. Esto no es posible dado el esquema de atribución de canales para TDT, que llega hasta el canal 69(806 MHz); además, a partir de 850 MHz se tienen atribuidas frecuencias para el uso de telefonía móvil. Específicamente, el gobierno (Resolución MINTIC 2329 de 2009) atribuyó el segmento de espectro comprendido entre 698MHz y 806 MHz (canales 52 a 69) para servicios radioeléctricos fijo y móvil terrestre que incluye IMT (Dividendo Digital); adicionalmente, fue expedida la Resolución 37 de 2012 de la ANE, que define las regiones y plazos para liberación de espectro contemplando una atribución primaria temporal para servicios de TV así:

- Hasta Diciembre 31 de 2012, todo el país exceptuando Bogotá y Cali,
- Hasta Diciembre 31 de 2014, Bogotá en canales 52-59 y 63-69, y en Cali canales 52 al 69.
- Hasta Agosto 30 de 2015, Medellín, Envigado, Bello, Copacabana, así como Bogotá canales 60, 61 y 62 y restantes.

Esto implica que para el año 2015 ya se podrá usar la banda del Dividendo Digital, una vez se libere todo el espectro destinado para servicios móviles.

1.3.2 Receptores.

En relación con las especificaciones técnicas de los equipos receptores para la televisión digital terrestre en Colombia, la Junta Directiva de la Comisión Nacional de Televisión, mediante Acta número 1542 del 17 de septiembre de 2009 aprobó el documento “Requerimientos Técnicos Mínimos de los Receptores de Televisión Digital Terrestre en Colombia” 48, en el cual se establecen los requisitos mínimos que garantizan la compatibilidad de televisores y set top boxes (cajas de codificadoras) con la señal radiodifundida de televisión digital DVB-T que se emite en Colombia, los cuales se relacionan a continuación:

Televisores: Obligatorios

- Sintonizador de televisión digital terrestre estándar DVB-T.
- Canalización en 6 MHz.
- Sistema de vídeo digital MPEG-4 (parte 10) / H.264.
- Sintonizador de televisión analógica estándar NTSC-M.
- Bandas de operación (para sistema analógico y digital).
 - ❖ VHF: 54 - 72 MHz. 76 - 88 MHz.

❖ 174 - 216 MHz. 174 UHF: 470 - 806 MHz.

Video: El equipo debe tener la capacidad de recibir las señales con las diferentes resoluciones emitidas por los operadores de televisión (incluida la resolución 1080i30fps 60Hz) y desplegarlas con la resolución propia de la pantalla.

- Ajustables a la pantalla propia del televisor las relaciones de aspecto 4:3 y 16:9.

Audio: Capacidad de decodificar MPEG-1 y/o MPEG-2 Backward Compatible, layer I y II en los siguientes modos:

- ISO/IEC 11172-3[9] single channel.
- ISO/IEC 11172-3[9] joint stereo.
- ISO/IEC 11172-3[9] stereo.
- Capacidad de realizar Downmix a par estéreo de audio en formato AC-3 (ETSI TS 102366).
- Soportar Guía Electrónica de programación (EPG) (ETSI TR 101 211 y EN 300 468).
- Entrada RF: conector tipo F de 75Ω.
- Función de Subtitulación (ETSI EN 300 743).
- Capacidad para actualizar el software del sistema OAD (On Air Download). DVB-SSU (ETSITS 102 006).
- Alimentación 120V - 60Hz.

Opcionales:

- Common Interface (Acceso condicional).
- Decodificación de audio: Enhanced AC-3, MPEG-4 AAC, MPEG-4 HE-AAC.
- Pass-Through para el formato de audio AC-3.
- Interactividad MHP.

1.4 Estado de la televisión en Colombia

1.4.1 Estado de implementación de la TDT en Colombia.

Según el Informe Sectorial de Televisión 2011 publicado por la antigua CNTV, los canales nacionales privados RCN y CARACOL iniciaron operaciones en diciembre de 2010 con dos estaciones de TDT bajo el estándar DVB-T: Calatrava (cubre Bogotá, Soacha, Chía, Cajicá,

Facatativá, Madrid, Funza, Mosquera) y Estación La Palma (cubre Medellín, Copacabana Envigado y Bello). Por otra parte, en 2011 se asignó a RTVC la cifra de \$52.320,8 millones para trece estaciones de TDT (Manjuí, Calatrava, Sur de Bogotá, Cerro Kennedy, Nogales, Padre Amaya, Bello, Itagüí, La Azalea, Cristo Rey, Terrón Colorado, La Popa, Lebrija), y en cada estación se incluirá el canal regional respectivo.

De acuerdo con las asignaciones definidas por la CNTV, a continuación, se describe la distribución de canales según proveedores, para emitir sus señales de TDT en buena parte de los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Boyacá, Antioquia, Caldas, Valle del Cauca, Cauca, Guajira Atlántico, Magdalena y Bolívar:

- Canal Caracol: 14.
- Canal RCN: 15.
- RTVC (Canales Uno, Institucional y Señal Colombia): 16.
- Tercer canal privado: 17.
- Cuarto canal privado (eventual): 20.

Los canales regionales serán emitidos en sus respectivos departamentos, de la siguiente manera:

- Teveandina: 18.
- Capital: 19.
- Teleantioquia: 18.
- Telecaribe: 18.
- Telepacífico: 18

En cuanto a Bogotá, la CNTV asignó el canal 40, al operador local Citytv; los canales 41, 42 y 46, a los locales sin ánimo de lucro, multiplexado para cinco operadores cada uno; el 47, para un canal local con ánimo de lucro; los canales 43, 44 y 45, para ser utilizadas en tecnología digital móvil; el 49, para un operador local privado zonas norte y centro, y el 51 para un operador local privado zona sur, los dos últimos en tecnología analógica.

Para la implementación del estándar DVB-t2 en Colombia fueron contempladas 3 fases de implementación a través de las cuales se brindó cobertura a gran parte de la población del país a

continuación, en las siguientes imágenes se pueden ver las estaciones principales y en qué fase fueron implementadas.



Figura 5. Estaciones implementadas durante la fase 1. ANTV, 2018.



Figura 6. Estaciones implementadas durante la fase 2. ANTV, 2018.

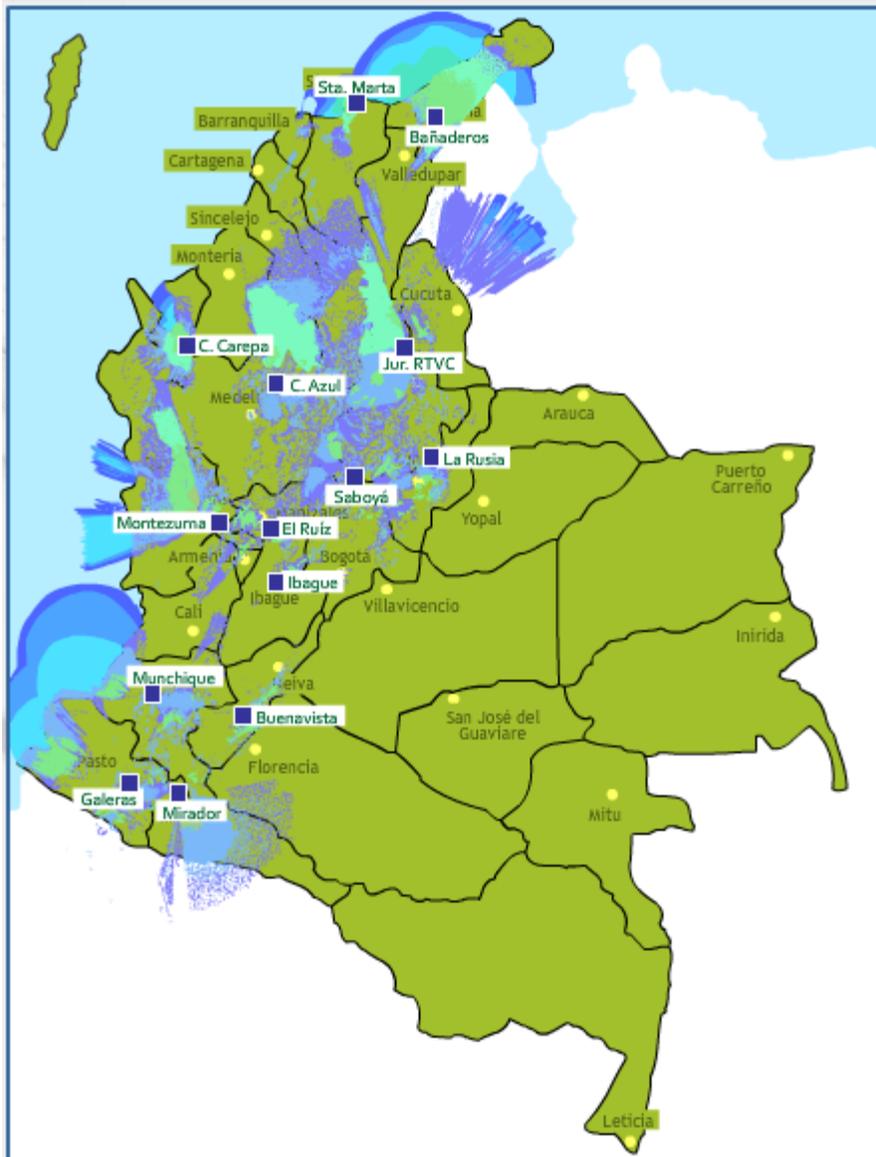


Figura 7. Estaciones implementadas durante la fase 3. ANTV, 2018.



Figura 8. Mapa de cobertura poblacional de TDT. ANTV, 2018.

Tabla 5

Relación de estaciones fases y estudios de comprobación de cobertura.

FASE	ESTACION	Estudio de cobertura
1	Alto el tigre	Si
1	Bello	Si
1	Calatrava	Si
1	Cerro kennedy	Si
1	Cruz verde	Si
1	El alguacil	Si
1	El cable	Si
1	El nudo	Si
1	Itagüí	Si
1	La azalea la popa	Si
1	Lebrija	Si
1	Los nogales	Si
1	Manjui	Si
1	Padre Amaya	Si
1	Tasajero	Si
1	Tres cruces	Si
2	Cerro Neiva	Si
2	Gabinete	Si
2	La pita	Si
2	Montería	Si
2	Planadas	Si
2	Simón Bolívar	Si
3	Bañaderos	No
3	Buenavista	No
3	Cerro azul	No

3	Cerro Carepa	No
3	El Ruiz	No
3	Galeras	No
3	Jurisdicciones	No
3	La Rusia	No
3	Leticia	No
3	Martinica	No
3	Mirador	No
3	Montezuma	No
3	Munchique	No
3	Saboya	No

Nota: Estaciones y fases de implementación. Max Ramón (2018)

1.5 Antecedentes

Durante esta parte del documento analizaremos los aspectos que llevaron a la digitalización de la televisión en Colombia, sus estándares los beneficios de la desconexión gradual analógica, las condiciones de implementación del primer estándar de televisión digital terrestre en Colombia dvb-t, las razones por las cuales se realizó la migración al estándar dvb-t2 sus beneficios con respecto al anterior DVB-T2 (Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2nd generation) es el estándar de segunda generación para la radiodifusión de Televisión Digital Terrestre (TDT) más avanzado en el mundo, ya que ofrece velocidades de transmisión de hasta un 50% superior respecto a su antecesor DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial 1st generation), para un mismo ancho de banda [1]. DVB-T2 brinda la posibilidad de transmitir diferentes tipos de servicios (TV en calidad estándar (SDTV), TV en alta definición (HDTV), TV tridimensional (3DTV)) en un mismo múltiplex (frecuencia), con diferentes parámetros de transmisión.

Si comparamos el estándar de segunda generación frente a su antecesor, DVB-T2 incorpora los últimos avances tecnológicos en modulación y codificación del canal. Asimismo, ofrece un alto grado de eficiencia, flexibilidad y robustez. Esta robustez de la señal se puede traducir en un aumento de la cobertura o un ahorro de energía si se establece el mismo porcentaje de cobertura objetivo.

Colombia adoptó en 2008 el estándar DVB-T para la provisión de la TDT. No obstante, teniendo en cuenta que la red del operador Radio Televisión Pública de Colombia (RTVC) aún no estaba desplegada, se decidió en el año 2011 actualizar el estándar de TDT a DVB-T2, debido principalmente a las ventajas técnicas que ofrece y por ende la oportunidad de nuevos modelos de negoci.

RTVC había diseñado la red en topología MFN (*Multi-Frequency Network*) utilizando dos frecuencias y la posibilidad de asignar una tercera frecuencia para transmisores fronterizos que puedan generar interferencia con otros países. El objetivo de cobertura poblacional aproximadamente era del 65% para diciembre del 2014 cubriendo las principales ciudades del país y alcanzar hasta el 92,2% para el año 2019, fecha en la que se proyecta el apagón analógico. Sin embargo, RTVC ha tenido que adaptar su diseño inicial de red por la adopción de DVB-T2. Su estrategia inicial era mantener la topología de red ofreciendo la misma cobertura poblacional, pero maximizando la capacidad de transmisión. Esta solución ya había sido adoptada en países como Reino Unido y Suecia, pero con la diferencia que sus redes ya habían sido desplegadas en DVB-T. Sin embargo, para cambiar el diseño de red de RTVC nuevas estrategias pueden plantearse para aprovechar las ventajas de DVB-T2, considerando que su red aún no está desplegada.

DVB-T2 implementa tamaños grandes de FFT e intervalos de guarda permitiendo desplegar redes SFN (*Single Frecuencia Network*) de gran tamaño y por lo tanto aumentar el área de cobertura. En consecuencia, podría implementarse una red SFN nacional reduciendo el número de frecuencias necesarias para cubrir el país. Así, Colombia podría ser el primer país en desplegar la red DVB-T2 más grande del mundo en topología SFN con canalización 6 MHz respecto a la canalización 8 MHz utilizada en Europa. La canalización 6 MHz permite una separación máxima entre transmisores de 212 km en vez de 179 km a 8 MHz.

1.5.1 Ventajas del estándar Dvb-T2 respecto a su antecesor Dvb-T.

DVB-T2 ofrece un amplio rango de modos de transmisión convirtiéndolo en un estándar muy flexible. DVB-T2 incluye importantes innovaciones en los parámetros de configuración técnicos: mecanismos nuevos de corrección de errores (FEC), altos órdenes de modulación (256QAM), tamaños nuevos de FFT (16K y 32K) permitiendo utilizar el modo extendido, fracciones nuevas de intervalos de guarda (GI) y diferentes opciones de patrones de portadoras piloto (PP) optimizados en función del GI. Adicionalmente, se añaden nuevas funcionalidades, tales como,

tuberías de capa física (PLPs), constelaciones rotadas, entrelazado temporal, mecanismos de reducción de relación de potencia pico a nivel medio (PAPR), tramas de extensión futura (FEFs), y el perfil para servicios móviles conocido como T2-Lite [7]. La TABLA I resume sus principales diferencias.

Los PLPs permiten la provisión de diferentes tipos de servicios en un mismo multiplex de forma más flexible, al poder utilizar una modulación y codificación diferente para cada servicio. Por ejemplo, los servicios en movilidad requieren modos de transmisión más robustos frente a ruido e interferencias que los servicios fijos. Las constelaciones rotadas consiguen obtener una señal transmitida más robusta que es útil para canales con desvanecimientos selectivos en tiempo y frecuencia. Esto se implementa agregando un giro a todos los puntos de la constelación. El entrelazado temporal se basa en transmitir los datos en diferentes instantes de tiempo, de manera que, si se produce una perturbación de la señal OFDM, esta afecte a bits que no son consecutivos, con el objetivo de detectar y corregir los errores con mayor facilidad. La técnica de PAPR es utilizada para la reducción en los picos de potencia del amplificador de RF, permitiendo un menor consumo de energía y por ende una disminución en el costo de operación de una red [8]. El perfil T2-Lite permite transmitir nuevos servicios para recepción en movilidad en un modo de configuración totalmente independiente sobre las tramas DVB-T2 base.

Tabla 6

Diferencia entre DVB-T VS. DVB-T2.

PARÁMETRO	DVB-T	DVB-T2
FEC y Tasa de Codificación	CC+RS 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC+BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulaciones	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (opcional rotado)
Tamaño FFT	2K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K
Intervalo de Guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128
Overhead por PP_s	8% del total	1%, 2%, 4%, 8% del total
Capacidad Máxima @ 6MHz	23.8 Mbps	37.0 Mbps

Nota: DVB-H Fact sheet (2019)

Las principales ventajas del estándar DVB-t2 sobre el DVB-t se ven representadas en ganancia de cobertura, ganancia de capacidad y ganancia respecto a SFN a continuación explicados.

Ganancia en cobertura. Los códigos FEC se encuentran en el límite de las tecnologías de codificación. La información se protege por dos nuevos códigos FEC introducidos: el LPDC (Low-Density Parity-Check) y el BCH (Bose-Chaudhuri-Hochquenghem). El rendimiento conjunto de estos dos mecanismos FEC está a tan solo 1 dB por debajo del límite de Shannon en canales gaussianos. Comparado con los Códigos Convolutivo (CC) y Reed-Salomon (RS) utilizados en DVB-T, se obtienen ganancias desde 2.3 dB de Relación Portadora a Ruido (CNR) para servicios de baja tasas de transmisión hasta 3.2 dB para servicios de altas tasas transmisión en canales estacionarios [8]. Dependiendo de la topología de red y las condiciones geográficas del escenario, esto puede equivaler al doble de área cubierta.

Las constelaciones rotadas también proporcionan una robustez adicional a la señal, especialmente para órdenes bajos de modulación y tasas altas de codificación. La ganancia depende del canal, oscilan de 0.5 a 2 dB, pero para órdenes altos de modulación (64QAM, 256QAM) la ganancia es casi despreciable. La ganancia SFN ofrecida por la técnica de Alamouti al utilizar diversidad en transmisión MISO (Multiple Input Single Output) puede alcanzar hasta 2.5 dB, dependiendo de los tiempos de retardo entre las señales y de los niveles de potencia de cada una de ellas.

Ganancia en capacidad. DVB-T2 puede alcanzar hasta 50% más en capacidad respecto a su antecesor DVB-T [9]. Altos órdenes de modulación (256QAM) poseen una mayor eficiencia espectral y son decodificados con umbrales similares de CNR a los requeridos en DVB-T para modulaciones más robustas. Esto es debido principalmente a la eficiencia de los códigos FEC.

Por otra parte, los tamaños de FFT 16K y 32K, tienen largas duraciones de símbolo OFDM que significa menor porcentaje de la capacidad de transmisión dedicada a protección, para un mismo intervalo de guarda, si utilizáramos una FFT de 8K del estándar DVB-T. Asimismo, los tamaños más altos de FFT permiten la implementación de modos extendidos, este modo extendido permite aumentar el número de portadoras, con una ganancia de aproximadamente del 2% en la capacidad de transmisión [9].

DVB-T2 define 8 patrones de portadoras piloto con el fin de minimizar el overhead (entre 1% al 8,3%), en función del tipo de recepción al que este orientado el servicio, en comparación con DVB-T que solo permite un único patrón de portadoras, el cual representa un 8,3 % de overhead.

Tabla 7

Diferencia entre DVB-T VS. DVB-T2

TAMAÑO FFT	INTERVALO DE GUARDA (GI)						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	11,2	44,8	89,6	106,4	179,2	212,8	N/A
16K	5,6	22,4	44,8	53,2	89,6	106,4	179,2
8K	2,8	11,2	22,4	26,6	44,8	53,2	89,6
4K	N/A	5,6	11,2	N/A	22,4	N/A	44,8
2K	N/A	2,8	5,6	N/A	11,2	N/A	22,4
1K	N/A	N/A	2,8	N/A	5,6	N/A	11,2

Nota: Máxima distancia entre transmisores a 6Mhz. (ANTV, 2018.)

Ganancia SFN. Los parámetros que definen el tamaño de una red SFN son el tiempo del intervalo de guarda del sistema (T_g), que depende de la combinación del tamaño de la FFT y la fracción del intervalo de guarda. Las señales que llegan al receptor con un retardo menor que la duración del intervalo de guarda, contribuye constructivamente en recepción, de lo contrario presentarán un efecto de interferencia entre símbolos (ISI). La duración máxima del intervalo de guarda en DVB-T con canalización 6 MHz es 298 μ s, para el modo FFT 8K GI 1/4 [10], lo que corresponde a una distancia entre transmisores de 89 km. DVB-T2 permite alcanzar una separación máxima entre transmisores de 212 km para el modo (FFT 32K, GI 19/128, T_g 709 μ s) con canalización 6 MHz. La Tabla II resume las máximas distancias permitidas en un sistema DVB-T2 con canalización 6 MHz en función del tamaño de FFT y del intervalo de guarda.

Capítulo II. - Parámetros de medición

Dada la miniaturización de los dispositivos actualmente es posible tener con nosotros todo el tiempo, receptores de televisión, teléfonos celulares, computadores, radios, etc... y todos estos dispositivos hacen uso del espectro para funcionar ya sea, en transmisión como en recepción, lo que hace que el espectro sea utilizado como nunca antes en la historia.

La medición y evaluación de la ocupación del espectro en el entorno de RF modernos se está convirtiendo en una tarea cada vez más compleja y difícil para los servicios de comprobación técnica debido al aumento de la densidad de sistemas digitales y de bandas de frecuencia compartidas por diferentes servicios de radiocomunicaciones. Basado en las Recomendaciones UIT-R SM.1880 y UIT-R SM.1809, así como en la información facilitada en la edición de 2011 del Manual de la UIT sobre comprobación técnica del espectro, en el presente proyecto de nuevo Informe se analiza con mayor detalle las diferentes formas de enfocar la medición de la ocupación del espectro, los problemas que pueden surgir y sus soluciones.

Teniendo en cuenta esto, a continuación, se detallará de una forma más clara, las variables que intervienen en las mediciones y la gestión del espectro.

2.1 Recursos de espectro

Por recursos de espectro se entiende la disponibilidad de espectro en cuanto a espacio (por ejemplo, ubicación, zona de servicio), tiempo y número de canales (en una banda dividida en canales) al que tienen acceso todos los usuarios de cierto territorio. En relación con una asignación de una sola frecuencia, el recurso de espectro puede ser un solo canal de frecuencia única. En el caso de las redes de selección automática de frecuencia, como las redes de concentración de enlaces o los sistemas celulares, el recurso de espectro puede consistir en todos los canales de frecuencia de una determinada banda, aunque puede limitarse en el tiempo, por ejemplo un intervalo de tiempo en un sistema TDMA. Por consiguiente, lo que se entiende por recurso de espectro depende sobremanera del servicio de radiocomunicaciones y del aspecto concreto que se esté considerando.

2.1.1. Medición de la ocupación de un canal de frecuencia.

Medición de canales individuales, ya sea con la misma anchura del canal o con una anchura diferente, que posiblemente se extienda a varias bandas de frecuencia distintas, para determinar el grado (porcentaje) de ocupación de estos canales.

2.1.2 Medición de la ocupación de una banda de frecuencias.

Medición de una banda de frecuencias, especificada por las frecuencias inicial y final, con una anchura de paso (o resolución en frecuencia) que normalmente es más pequeña que la separación de canales, con el fin de determinar el grado de ocupación de toda la banda.

2.1.3. Duración de la observación (TTI).

La duración normal de la observación puede ser 24 h, las horas laborables o cualquier otro periodo de tiempo que se estime adecuado. La duración óptima de la observación depende de para qué se mide la ocupación y del conocimiento a priori que se tenga del funcionamiento del sistema de radiocomunicaciones que utiliza el recurso de espectro. Si, por ejemplo, la banda que se desea medir contiene exclusivamente estaciones de radiodifusión, bastaría con medir los canales o las bandas de frecuencia una sola vez, siempre y cuando todas las estaciones transmitan las 24 h del día. Otro caso sería la necesidad de medir una red móvil privada que se utiliza muy poco, en cuyo caso sería necesario medir durante toda una semana.

Optimizando la duración de la observación mediante toda la información disponible se puede ahorrar considerablemente en mano de obra y costes sin reducir la exactitud de los resultados.

2.1.4 Tiempo de medición de muestras (TM).

Es el tiempo de medición real (neto) de un canal o una frecuencia.

2.1.5 Tiempo de observación (TObs).

Es el tiempo que necesita el sistema para realizar las mediciones del caso en un canal, comprendido todo el procesamiento general, como el almacenamiento de los resultados en memoria/disco y la sintonización del receptor a la frecuencia deseada. (TObs = TM + tiempo de procesamiento.)

2.1.6 Tiempo de iteración (TR).

El tiempo de iteración TR es el tiempo necesario para barrer todos los canales que se han de medir (estén o no ocupados) y volver al primer canal. Si sólo se mide un canal, el tiempo de iteración es igual al tiempo de observación.

2.1.7 Tiempo de ocupación (TO).

Tiempo durante un determinado «periodo de integración» en el que el nivel medido de un determinado canal es superior al umbral. Cuando se miden varios canales, no es posible observar

continuamente un mismo canal. Si, transcurrido el tiempo de iteración, el canal sigue estando ocupado, se supondrá que también ha estado ocupado durante el intervalo transcurrido entre dos mediciones consecutivas de dicho canal.

$$T_0 = N_0 \cdot TR$$

Siendo:

N_0 : Número de mediciones cuyo nivel es superior al umbral

TR: Tiempo de iteración.

El caso más común, en el que la medición se efectúa tomando muestras repetidamente («valores instantáneos») de un determinado canal, el valor calculado mediante la fórmula anterior quizá no represente la ocupación real, porque no se detectan los cambios producidos en la señal entre dos muestras consecutivas

En el caso de sistemas digitales que emplean métodos TDMA o sistemas de pequeño ciclo de trabajo, el grado de la ocupación medido debería responder en teoría al porcentaje del tiempo que un determinado sistema utiliza el recurso.

Ejemplo: Si una estación GSM que ocupa uno de los ocho posibles intervalos de tiempo está transmitiendo todo el tiempo, el valor de la ocupación será del 12,5% (1/8), aunque el canal no puede ser utilizado por otro sistema el 100% del tiempo.

Capítulo III.- Adquisición de datos mediante Hdranger Ultralite de Promax

3.1 Características

Este equipo es un medidor de campo y analizador de tv, compacto tipo Tablet que cubre estándares de televisión digital terrestre y satelital, este equipo ha sido diseñado, específicamente para los estándares de televisión digital europeos, los cuales fueron adoptados en Colombia, por lo tanto, es el equipo ideal para su medición y caracterización.

Cuenta con un rango de medición de frecuencias en su modo de analizador de espectro de 5 KHz a 1000 Mhz para televisión digital terrestre y de 950 a 2150 Mhz para televisión satelital, adicional a esto cuenta con las funciones necesarias para la completa caracterización de un sistema tdt como Diagrama de constelación, Ecos dinámicos, Test de Atenuación, Adquisición de medidas, Selección de código PLS, Filtrado ISI, Tecla para captura de pantallas e Intensidad de campo

3.2 Canalización

El mediante el ingreso de las características básicas de la TDT para Colombia, y en específico de la estación de calatrava la cual es el objeto de nuestro estudio como estándar de canalización que utilizaremos, se realizara una exploración de canalización en la cual se identificaran los canales disponibles, en este caso dado que la estación de calatrava transmite 2 canales multiplexados el 16 que corresponde a la frecuencia 485 Mhz y el 17 correspondiente a la frecuencia de 491 Mhz.

Exploración de Canalización a continuación, se identificará la exploración de canalización realizada por el equipo.



Figura 9. Descripción de la pantalla de exploración de canalización. Promax (2017)

La ventana se divide en tres campos:

Espectro y medidas. Muestra el espectro desplazándose por cada uno de los canales de la canalización. En la parte inferior aparece el canal y frecuencia junto a la medida de potencia/nivel y la relación portadora/ruido.

Barra de progreso. Muestra en tiempo real el tipo de señal detectada y el progreso de la exploración. Al terminar aparece un mensaje informando de la finalización del proceso de exploración.

Tabla de canales. Al final el proceso muestra un listado con los canales que se han detectado durante la exploración de la canalización. Entre paréntesis aparece el número de canales detectado respecto al total de canales de la canalización. Al mover el cursor por los canales, las ventanas de espectro y medidas se actualizan dinámicamente según el canal seleccionado.

3.2.1 Medidas a realizar.

Las medidas realizadas dependen de las características de transmisión de la televisión digital terrestre, y el equipo con el cual se realizan, por lo tanto, adoptaremos las siguientes para nuestro análisis:

Potencia del canal. Potencia medida en todo el ancho de banda del canal.

C/N. Relación Portadora/Ruido (Carrier/Noise) donde C es la potencia recibida de la señal portadora modulada y N es la potencia de ruido recibida. Para medirla correctamente se debe sintonizar el canal en su frecuencia central.

PLP id. Es el identificador del PLP. En el caso del PLP en modo Single identifica el stream de entrada (0-255). En el caso del PLP en modo Múltiple el cliente puede escoger qué PLP ID quiere ver.

MER. Relación de error de la modulación con indicación del margen de ruido (Link Margin/LM). El margen de ruido indica un margen de seguridad respecto al nivel del MER medido para la degradación de la señal hasta llegar al valor del QEF (Quasi-Error-Free). El MER representa la relación entre la potencia media de la señal DVB y la potencia media de ruido presente en la constelación de las señales.

BER (CBER/LBER). Es la tasa de error. Se presentan dos medidas relacionadas con BER:

CBER (Channel Bit Error Rate): Medida del BER de la señal después de su paso por el demodulador COFDM y antes de aplicar la corrección de errores o FEC (Forward Error Correction).

LBER (LDPC Bit Error Rate): Medida del BER después de aplicar la corrección de errores.

LDPC (Low-density parity-check o Comprobación de paridad de baja densidad).

En un sistema de recepción de señal digital (DVB-T2), tras el decodificador de señal COFDM se aplican dos métodos de corrección de errores. En DVB-T2 se hace uso de dos códigos para la corrección de errores que son el LDPC (Low Density Parity Check) en combinación con los códigos BCH (Bose-Chaudhuri - Hocquengham) para proteger la señal contra altos niveles de ruido e interferencias junto a la medida del LBER, aparece el número de iteraciones LDPC, es decir, el número de veces que el decodificador para corrección de errores LDPC ha de pasar por la señal y el ESR (Errored Second Ratio) sobre 20 segundos después del decodificador BCH. Esta medida indica el porcentaje de tiempo con errores después del BCH. La corrección de errores es interna con BCH o externa con LDPC. La interna proporciona corrección de errores básica con mínima carga mientras que la corrección de errores externa es una corrección adicional con carga.

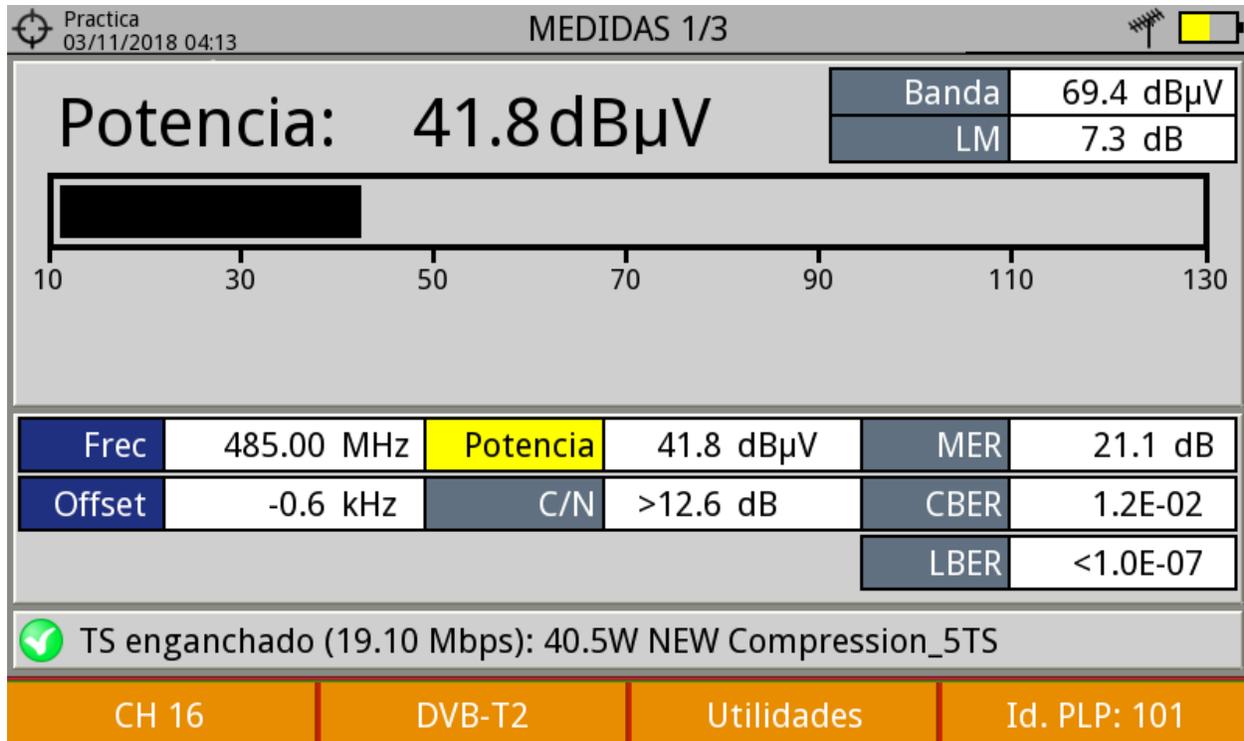


Figura 10. Pantalla de mediciones del equipo HD RANGER ULTRALITE. Max Ramón (2018)

En la imagen anterior encontramos la pantalla de mediciones del equipo, en donde podemos visualizar todas las variables anteriormente descritas, y adicionalmente con cada captura de pantalla que se realiza en el equipo, se crea un archivo XML.

3.2.2 Diagrama de constelación.

El diagrama de la constelación es una representación gráfica de los símbolos digitales recibidos en un periodo de tiempo. Existen distintos tipos de diagramas de constelación según el tipo de modulación.

En el caso de un canal de transmisión ideal, sin ruido ni interferencias, todos los símbolos son reconocidos por el demodulador sin errores. En este caso, son representados en el diagrama de constelación como puntos bien definidos que impactan en la misma zona formando un punto muy concentrado.

El ruido y las interferencias provocan que el demodulador no siempre lea los símbolos de forma correcta. En este caso los impactos se dispersan y crean diferentes formas que permiten determinar visualmente el tipo de problema en la señal.

Cada tipo de modulación se representa de forma diferente. Una señal 16-QAM se representa en pantalla por un total de 16 zonas diferentes y una 64-QAM se representa mediante un diagrama de 64 zonas diferentes y así sucesivamente.

El diagrama de constelación muestra en colores diferentes la densidad de los impactos e incluye funciones para ampliar, desplazar y borrar la visualización de la pantalla.

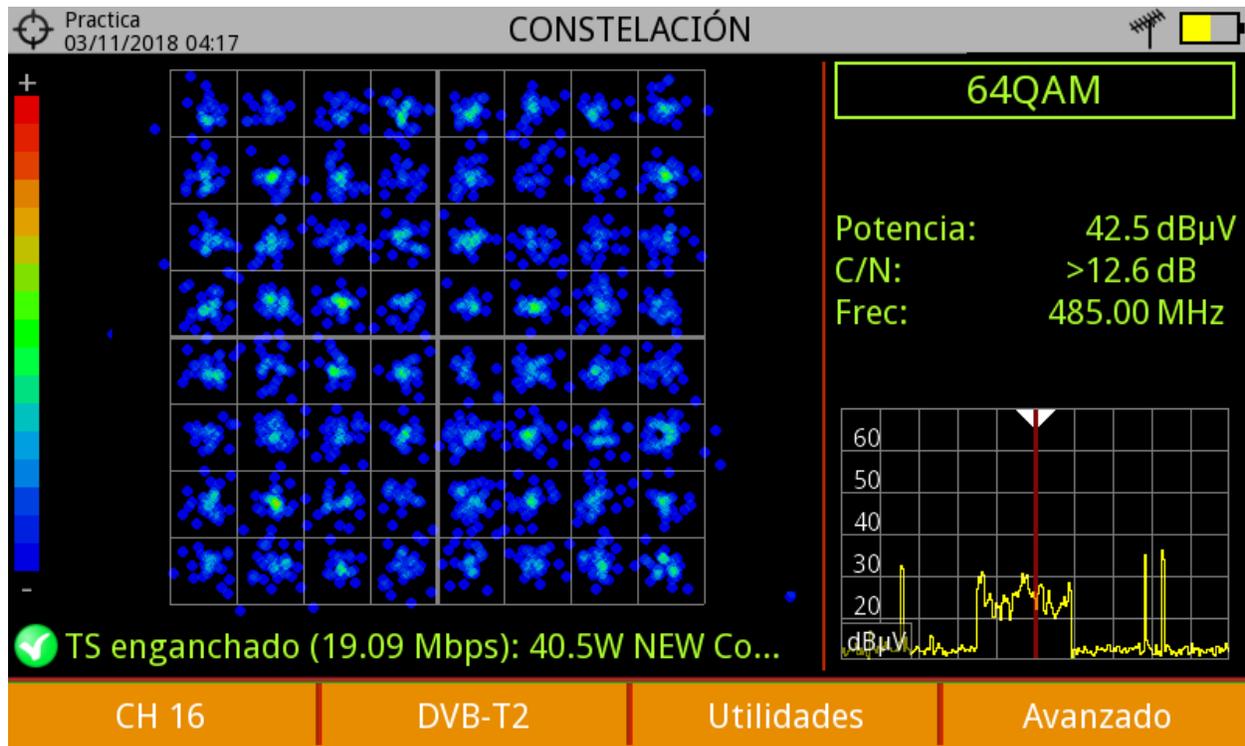


Figura 11. Pantalla diagrama de constelación HD RANGER ULTRALITE. Max Ramón (2018)

En esta imagen de la pantalla del diagrama de modulación aparece el tipo de modulación en la cual se transmite el canal que se está midiendo, la potencia, la relación a señal a ruido, la frecuencia, el canal, en este caso de 16 y el estándar de televisión en el que esta sintonizado.

Analizador De Espectro .El modo Analizador de Espectro permite comprobar las señales presentes en la banda de frecuencias, identificar de forma visual cualquier anomalía, medir el nivel y visualizar la imagen sintonizada.

Gracias a la función de auto-identificación o Stealth ID, el sistema está constantemente identificando la señal que recibe. Cuando detecta el tipo de señal, la engancha y muestra la información.

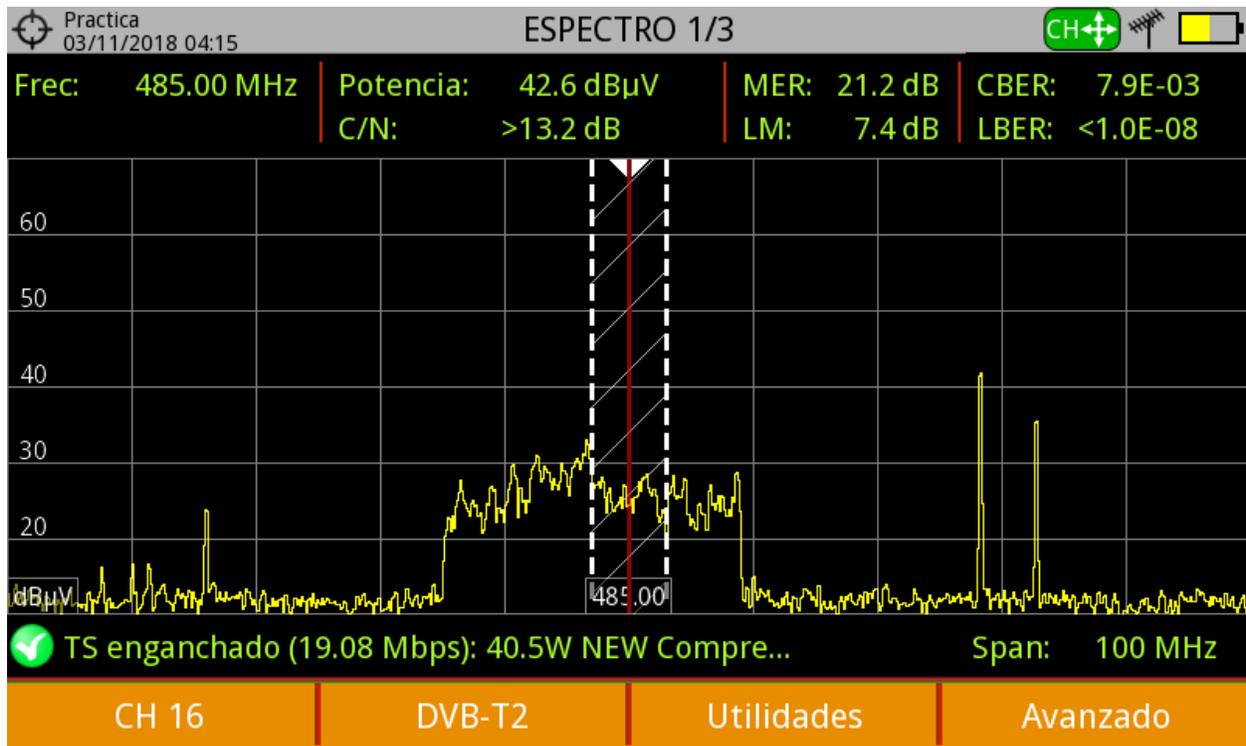


Figura 12. Pantalla de analizador de espectro HDRANGE ULTRALITE. Max Ramón (2018)

Las punteadas verticales identifican la frecuencia central y el ancho de banda del canal que se encuentra enganchado actualmente y muestran los valores de medición de la señal en frecuencia y canal.

El segmento total de banda representado en la pantalla se llama span y en este equipo puede modificarse para mostrar secciones mayores o menores del espectro, el cual en este equipo puede ser modificado en valores de 1 Mhz desde 10 Mhz hasta 995 Mhz.

3.2.3 Modo Tv.

En esta pantalla se pueden visualizar la señal de video transmitida por el canal que se sintoniza e identificar las características de la transmisión.

Practica 03/11/2018 04:16 TV 3/3

VIDEO



Tipo	MPEG-4 AVC	6456 kbps
Formato	1920x1080i 16:9	29.97 Hz
Perfil	HP@L4.1	PID 2011

SERVICIO

Red	NEW Compression_5...		
Proveedor	RTVC		
NID	12291	ONID	1 LIBRE
TSID	30	SID	41 DTV
LCN		v. NIT	7 +Info
Tipo Aplic.			

AUDIO

Tipo	MPEG-1Capa II	191 kbps
Formato	16bit 48 kHz	Stereo
Idioma	spa	PID 2012

✓ TS enganchado (19.10 Mbps): 40.5W NEW Compression... SEÑALCOLOMBIA

CH: 16
DVB-T2
Utilidades
Avanzado

Figura 13. Pantalla modo tv HD Ranger Ultralite. Max Ramon (2018)

Como se observa en la imagen se muestra información sobre el video como:

- **TIPO:** Tipo de codificación y velocidad de transmisión de vídeo.
- **FORMATO:** Resolución (horizontal x vertical), relación de aspecto y frecuencia.
- **PERFIL:** Nivel de perfil.
- **PID:** Identificador del programa de vídeo.

Información del servicio sintonizado:

- **RED:** Red de distribución de televisión (Terrestre). Posición orbital (Satélite).
- **PROVEEDOR:** Nombre del proveedor del programa.
- **NID:** Identificador de la red en la que se distribuye la señal.
- **ONID:** Identificador de la red original donde se origina la señal.
- **TSID:** Identificador de la trama de transporte.
- **SID:** Identificador del servicio.

- **Tipo aplicación:** Tipo de servicio interactivo detectado tal como HbbTV, MHP, MHEG. La URL asociada al servicio interactivo si está disponible.
- **LCN:** Número de Canal Lógico. Es el número lógico de canal inicial asignado al primer canal del receptor.
- **+Info:** Información adicional del servicio.
- **v.NIT:** Versión de la tabla de información de la red (NIT).
- **LIBRE/ CODIFICADA:** Emisión libre/encriptada.
- **DTV/DS:** Tipo de estándar de transmisión.

Información del audio sintonizado:

- **TIPO:** Tipo de codificación de audio y velocidad de transmisión.
- **FORMATO:** Formato de audio del servicio. Cuantificación lineal, frecuencia de muestreo, tipo de reproducción.
- **IDIOMA:** Idioma de emisión.
- **PID:** Identificador del programa de audio.

Capítulo IV - Mediciones

Es de suma importancia conocer las características de los equipos que serán utilizados para realizar las mediciones, antes de iniciar su uso, en este caso el equipo para realizar las mediciones como se ha mencionado y caracterizado anteriormente es el HD Ranger ultralite de Promax, en conjunto con una antena yagi.

4.1 características de la antena

Dado que es probable que no haya línea de vista directa entre el punto de la medición y el transmisor es importante que la antena este apuntada en dirección al transmisor, para poder aprovechar sus características al máximo, pero no todo depende de la construcción de la antena, hay factores de atenuación, adicionales que afectan la recepción de la señal como, zonas de alto ruido, malas prácticas de cableado, conexiones y/o conectores defectuosos que intervienen directamente en la recepción del decodificador.

Para estas mediciones usamos una antena marca DAIRU con las siguientes características:

- **Modelo:** AV-26UVA
- **Rango de frecuencias:** VHF 174Mhz-230Mhz/ UHF 470Mhz-862 Mhz
- **Ganancia de la antena:** VHF 4Dbi-6Dbi/ UHF 7Dbi-10Dbi
- **Impedancia:** 75 Ω
- **Longitud de la antena:** 646 mm



Figura 14. Antena digital terrestre y amplificadora marca. DAIRU. (ANTV,2018)

4.2 Características del transmisor

Para la toma de estas mediciones fue escogida la estación de calatrava, ubicada al noroccidente de Bogotá, la cual cuenta con una torre auto soportada cuadrada de sección variable, con una altura de 60m.



Figura 15. Panorámica torre estación calatrava evaluación estructural estación calatrava 2011. RTVC, 2011

Esta torre se encuentra a una altura de 2704 msnm y cuenta con un arreglo de antenas irradiando en un patrón de 360° y ubicadas a una altura de 58m sobre la antena en la siguiente figura se representan las características del arreglo de antenas y la potencia de transmisión de cada uno de los canales multiplexados.

Transmisor	Potencia ¹ (W)	Configuración SSRR	Acimut SSRR (°)	Ganancia del Arreglo	Altura Centro de radiación (m.s.n.t)
MUX 1	2000	(4:4:4:4)	(0:90:180:270)	10.2	58
MUX 2	2000	(4:4:4:4)	(0:90:180:270)	10.2	58
MUX 3	2000	(4:4:4:4)	(0:90:180:270)	10.2	58

Figura 16. Características antenas torre calatrava, ANTV 2014.

Teniendo en cuenta las características del arreglo de antenas en la siguiente figura se representa gráficamente su patrón de radiación, de la estación.

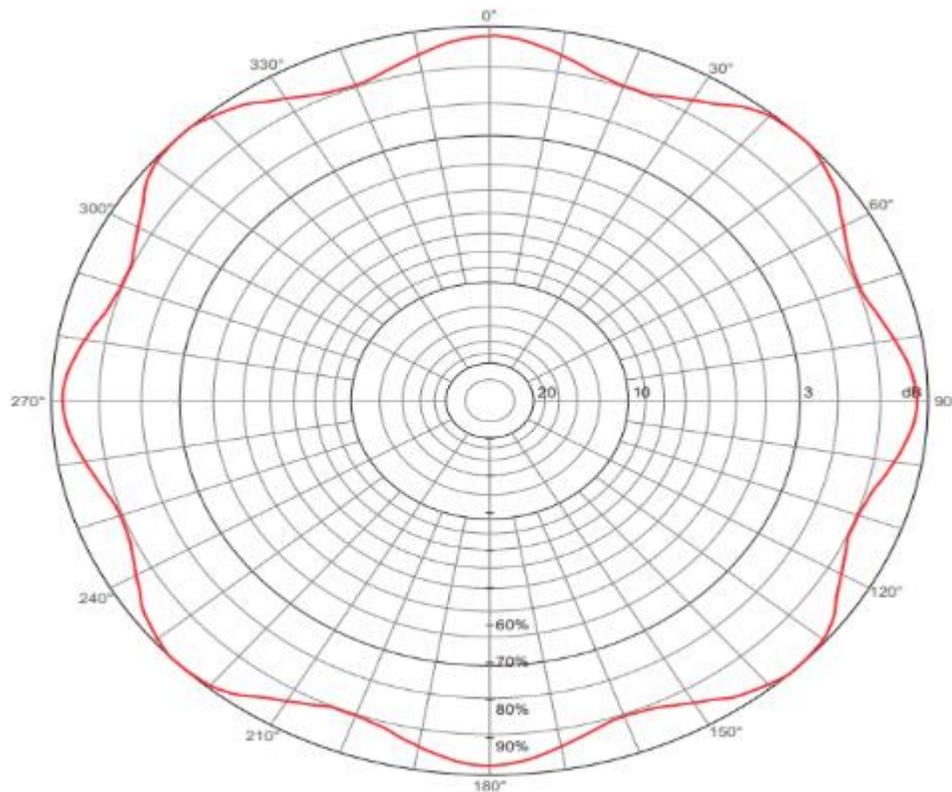


Figura 17. Patrón de radiación estación calatrava. RTVC, 2011.

Por su ubicación en un punto estratégico en la capital del país, y la cobertura que ofrece sobre varios municipios de la sabana cundiboyacense, esta estación ofrece una patrón de radiación de 360°, sobre los cuales se transmite con una potencia de 2000 Watts por cada canal multiplexado, a diferencia de otras estaciones en el país cuyo patrón de radiación es mucho menor.

A en las siguientes figuras ubicaremos geográficamente, la ubicación del transmisor y su cobertura.



Figura 18. Ubicación geográfica del transmisor. Max Ramón (2018)

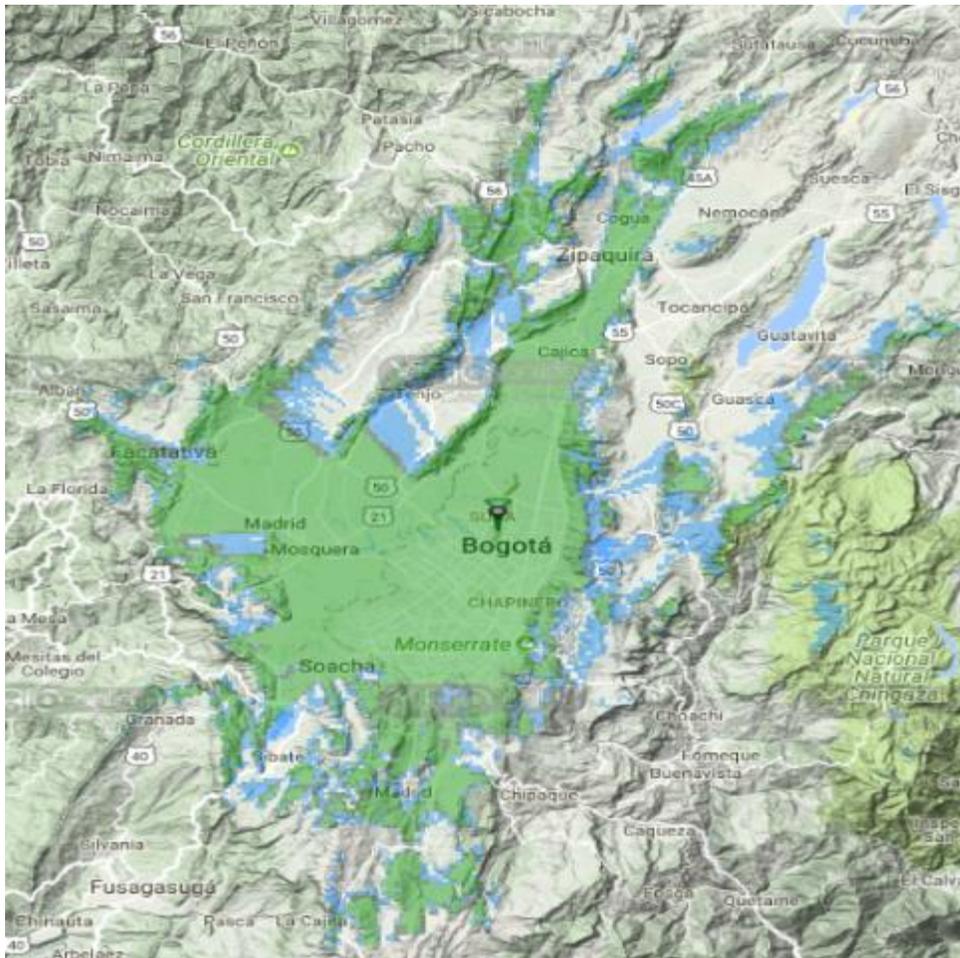


Figura 19. Simulación de cobertura de la estación Calatrava. RTVC, 2011.

4.3 Características de las mediciones

Las mediciones realizadas por ANTV, contra las cuales se realizara la comparación de los datos obtenidos se realizaron a una altura de 5m en su gran mayoría, los datos aquí consignados se obtuvieron a una altura de 4.5 m ganando la altura suficiente mediante la utilización de un tubo galvanizado de 3m simulando los más fiel posible lo que sería una correcta instalación de una antena , en horas de la noche y con cielo despejado, con la antena apuntada hacia el transmisor, en la siguiente imagen se ilustra la manera en la que se realizaron las capturas de los datos.



Figura 20. Captura de datos parque Principal Mosquera. Max Ramón (2018)

4.3.1 Ubicación de los puntos a medir.

Estos puntos fueron escogidos en base a diferentes estudios realizados, por entidades estatales como la ANTV, la cual realizó un estudio, para caracterizar la cobertura de la estación de 48 puntos en su área de cobertura y un estudio técnico de radiación realizado por Winston Barrios y Fernanda Chacón, a través de simulaciones de las estaciones a nivel nacional, del cual se sustrajo el patrón de radiación de la estación calatrava y una simulación de su cobertura en Bogotá y sus municipios aledaños, los cuales se utilizarán como referencia de la cobertura y para su comparación con los datos obtenidos en campo.

La ANTV realizó el estudio sobre 48 puntos específicos sobre la ciudad de Bogotá y los municipios de Bojacá, Mosquera, Funza, Cota, Chía, Cajicá, Tabio, Zipaquirá, Cogua y Tocancipá, de estos 48 puntos se encuentran publicados los resultados de 39, de estos 39 puntos fueron

excluidos de medición 8 puntos por motivos de seguridad y 1 adicional por inconvenientes con una compañía de seguridad privada, lo que significa que se realizó la medición de 30 puntos en total lo que significa que se realizó la comprobación del de 76.92 % de la cantidad total de puntos realizada por la agencia, cantidad que nos permite realizar una correcta caracterización de la cobertura de la estación.

En el siguiente diagrama se realizara la caracterización de los 39 puntos de medición, se le asignara un número que lo identificara desde este punto.

Tabla 8

Identificación y ubicación de los puntos a medir.

PUNTO	LATITUD	LONGITUD	NOMBRE DE SITIO
1	4.7325	-74.3418	PARQUE PRINCIPAL BOJACA
3	4.9133889	-74.02822222222223	CAJICA
4	4.9211667	-74.02094444444444	CAJICA
5	4.9209167	-74.03152777777778	CAJICA
6	4.7648056	-74.02580555555555	CAJICA
7	4.8611111	-74.06055555555555	PARQUE PRINCIPAL CHIA
8	4.8629444	-74.05575	COLISEO CHIA
9	4.852	-74.05405555555555	CHIA
10	4.861	-74.07102777777777	Chia occidente, vía alto de la cruz
11	5.0614722	-73.97622222222222	COGUA
12	5.0651667	-73.97811111111112	COGUA
13	4.8097222	-74.10180555555554	PARQUE PRINCIPAL COTA
14	4.8023333	-74.09697222222222	Romboy CHIA SUBA FUNZA
15	4.8206667	-74.09905555555555	VDA. Villa Rosa
16	4.8038056	-74.10697222222221	COTA
17	4.7126944	-74.21691666666666	FUNZA

18	4.7076944	-74.21002777777778	FUNZA
19	4.7048333	-74.23008333333334	PARQUE PRINCIPAL MOSQUERA
20	4.5825	-74.21983333333334	PARQUE PRINCIPAL SOACHA
21	4.5738889	-74.21541666666667	PARQUE DEPORTIVO SOACHA
22	4.5859167	-74.21027777777778	SOACHA
23	4.5829722	-74.20680555555556	SOACHA
24	4.5729167	-74.24191666666667	SOACHA
25	4.5956667	-74.20572222222222	SOACHA
26	4.9161389	-74.09891666666667	PARQUE PRINCIPAL TABIO
27	5.0260556	-74.00180555555555	ZIPAQUIRA
28	5.0242778	-74.00644444444444	ZIPAQUIRA
29	5.0375	-74.00725	ZIPAQUIRA
30	5.0270278	-73.99472222222222	ZIPAQUIRA
31	5.0220278	-74.00094444444444	ZIPAQUIRA
32	4.9659722	-73.91319444444446	TOCANCIPA
34	4.7641944	-74.063	BOGOTA
35	4.7411389	-74.06052777777778	BOGOTA
36	4.75875	-74.03619444444445	BOGOTA
37	4.7215	-74.06083333333333	BOGOTA
38	4.7133889	-74.03241666666666	BOGOTA
40	4.6790833	-74.06211111111111	BOGOTA
41	4.6975	-74.08869444444444	BOGOTA
42	4.6645	-74.09188888888889	BOGOTA

Nota: Ubicación geográfica de los puntos a medir. Max Ramón (2018)

Los puntos resaltados en color naranja, fueron excluidos de la medición, como se mencionó anteriormente por motivos de seguridad, mientras que el punto resaltado en color gris fue excluido por causa de una compañía de seguridad.

Adicional a esto en la siguiente imagen se representara geográficamente la totalidad de los puntos y posteriormente se realizara, una caracterización geográfica municipio a municipio para brindar una visión más amplia de las características del terreno y las distancias entre cada uno de los puntos y la estación de transmisión.

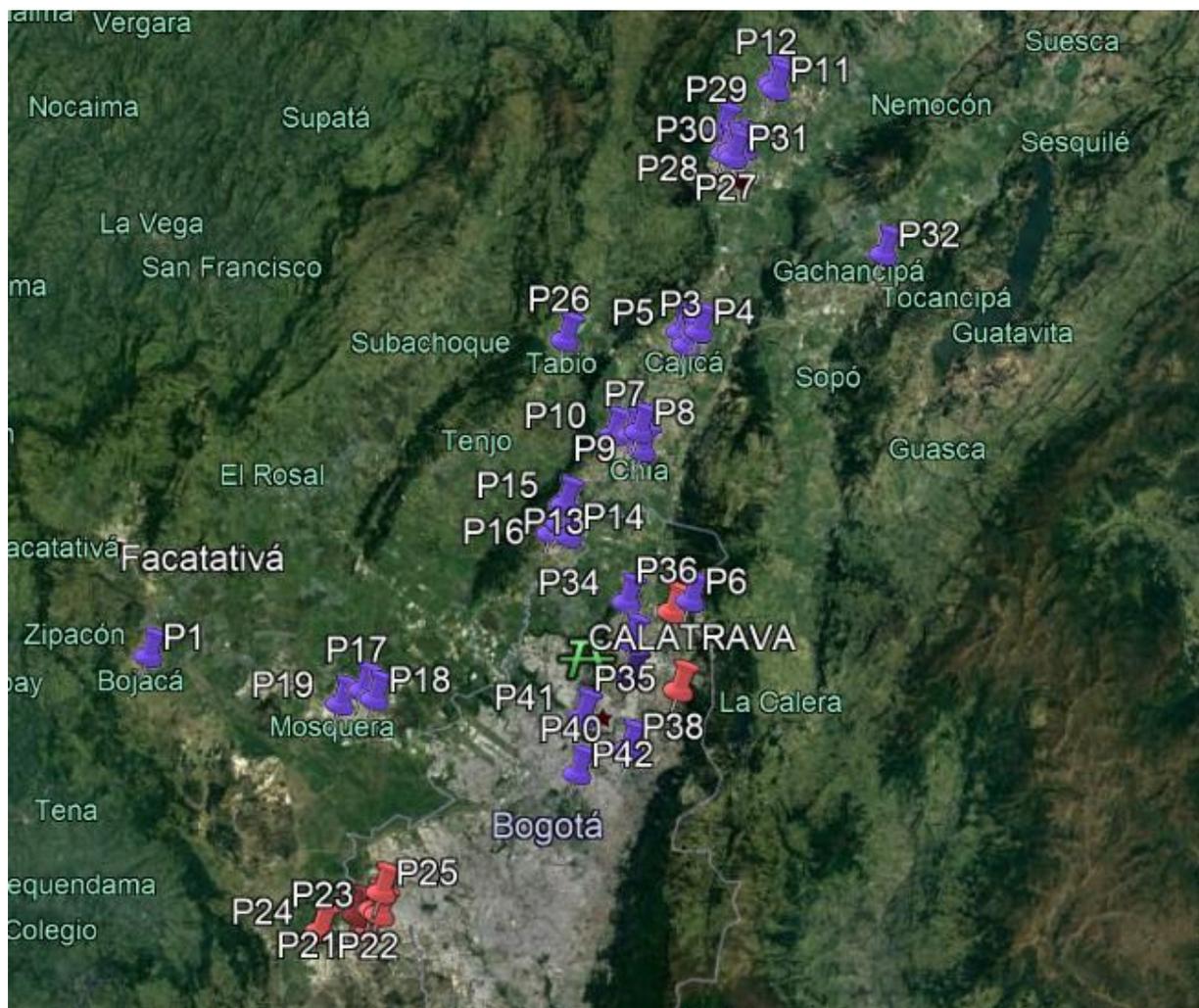


Figura 21. Ubicación geográfica de los puntos de medición. RTVC, 2011.



Figura 22. Puntos ubicados en los municipios de Bojacá, Mosquera y Funza. RTVC, 2011.

Tabla 9

Identificación de distancia y azimut entre los puntos y la estación.

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA KM
1	330	29
17	307	15.21
18	251	14.51
19	270	16.77

Nota: Distancia de los puntos de medicion. Max Ramon (2018)



Figura 23. Puntos ubicados en el municipio de Cota. RTVC, 2011.

Tabla 10

Identificación de los puntos distancia y azimut en el municipio de cota.

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA KM
13	165	9.47
14	167	8.3
15	168	10.78
16	161	8.99

Nota: Distancia de los puntos de medicion. Max Ramon (2018)

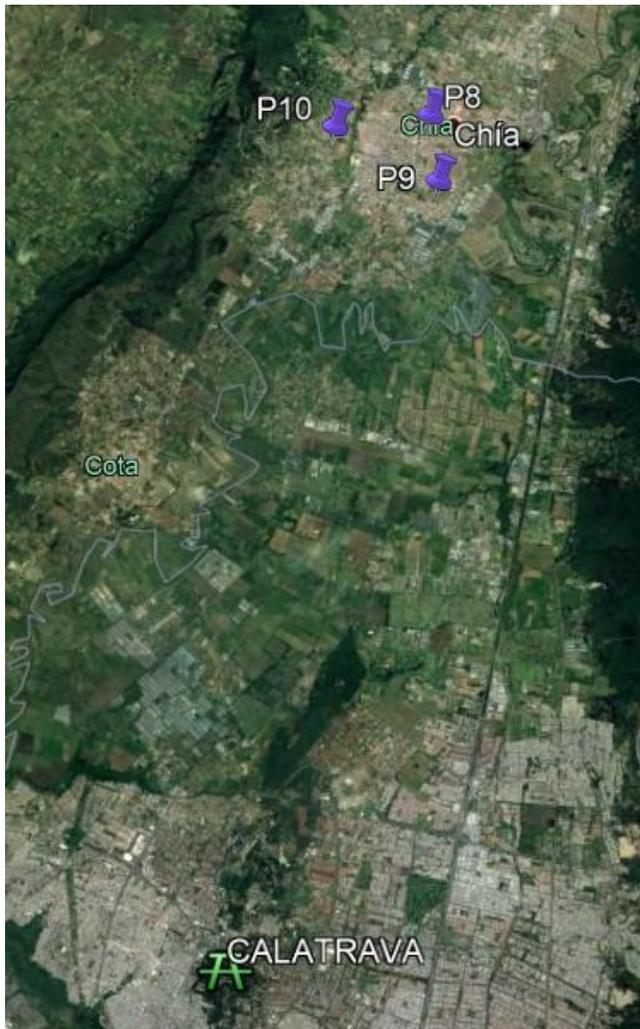


Figura 24. Puntos ubicados en el municipio de Chía. RTVC, 2011.

Tabla 11

Identificación de los puntos distancia y azimut en el municipio de Chía.

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA KM
8	190.37	15.08
9	191.93	14.1
10	184	14.88

Nota: Distancia de los puntos de medicion. Max Ramon (2018)

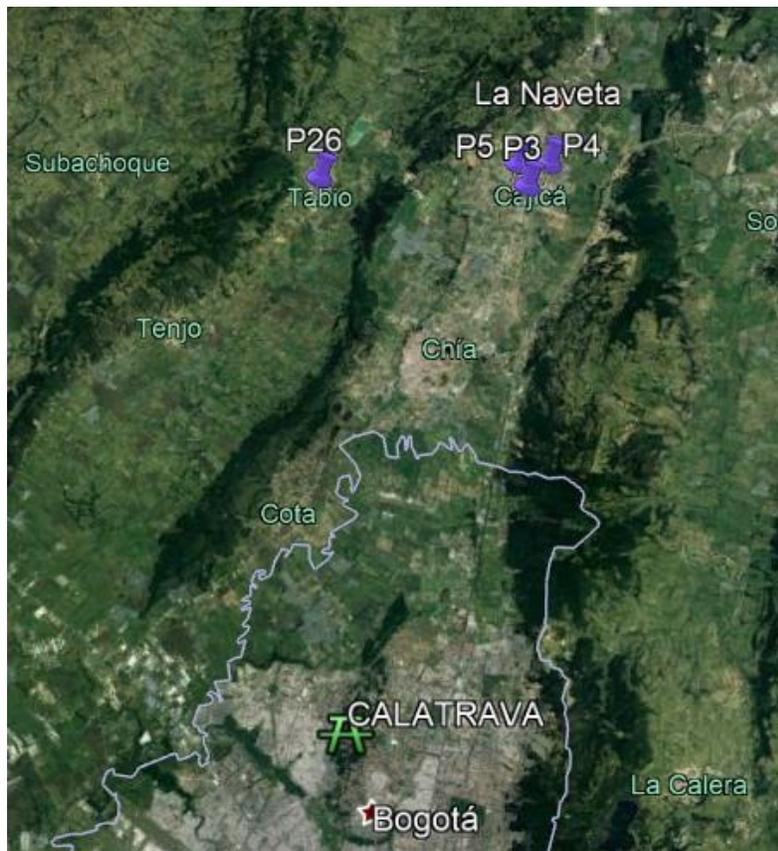


Figura 25. Puntos ubicados en los municipios de Cajicá y Tabio. RTVC, 2011.

Tabla 12

Identificación de los puntos distancia y azimut para los municipios de Cajicá y Tabio.

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA KM
3	195.88	21.17
4	197	22.15
5	194	21.76
26	174	21

Nota: (Max Ramón, 2018)

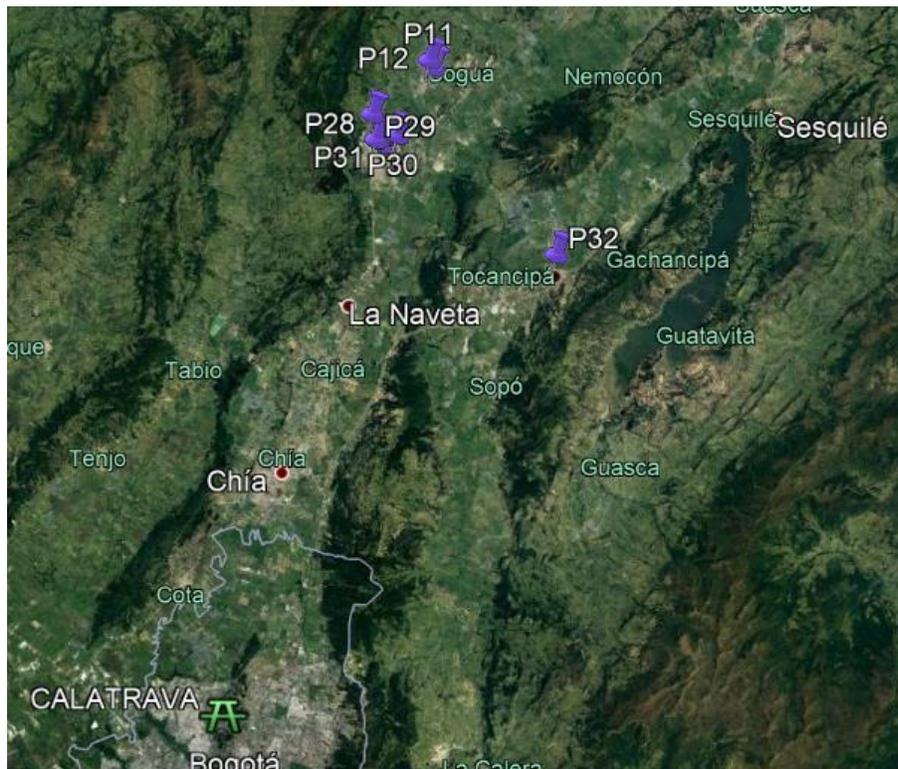


Figura 26. Puntos ubicados en los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tocancipá. RTVC, 2011.

Tabla 13

Identificación de los puntos distancia y azimut para los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tocancipá.

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA KM
11	197	38.8
12	196	39.12
28	193	34
29	193	33.4
30	195	34.5
31	195	33.8
32	214	32.5

Nota: Distancia de los puntos de medicion. Max Ramon (2018)

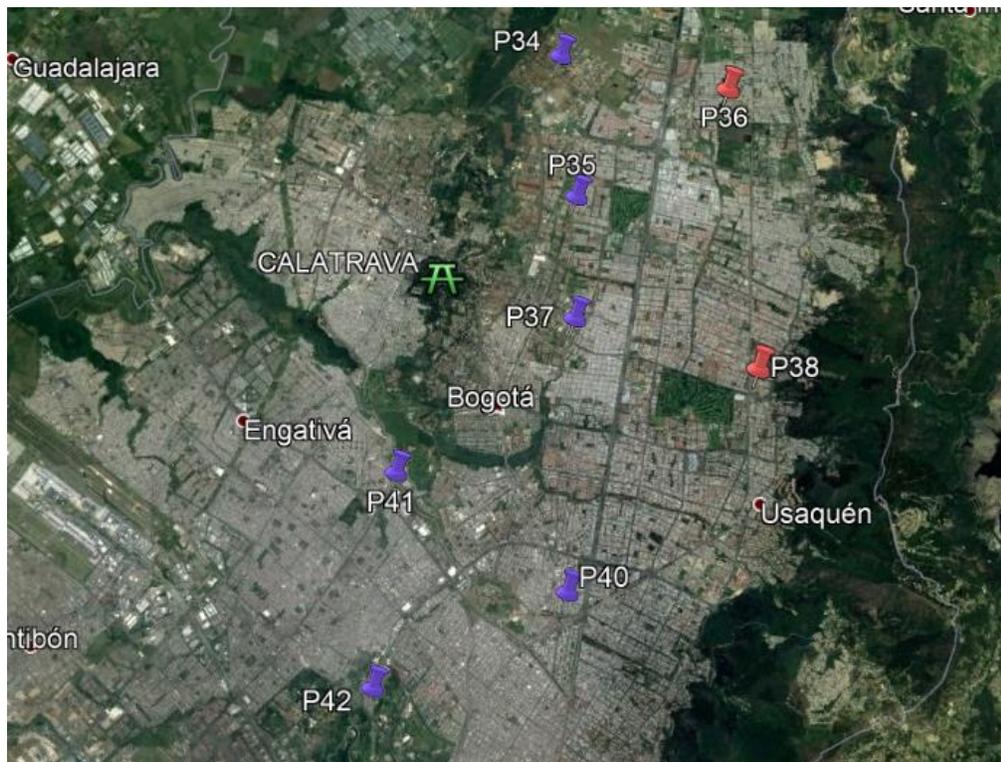


Figura 27. Puntos ubicados en la ciudad de Bogotá. RTVC, 2011.

Tabla 14

Identificación de los puntos distancia y azimut en la ciudad de Bogotá

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA KM
34	205	4.6
35	234	2.76
36	232	6.15
37	285	2.3
38	283	5.5
40	338	5.7
41	15	3.44
42	10	7.4

Nota: Distancia de los puntos de medicion. Max Ramon (2018)

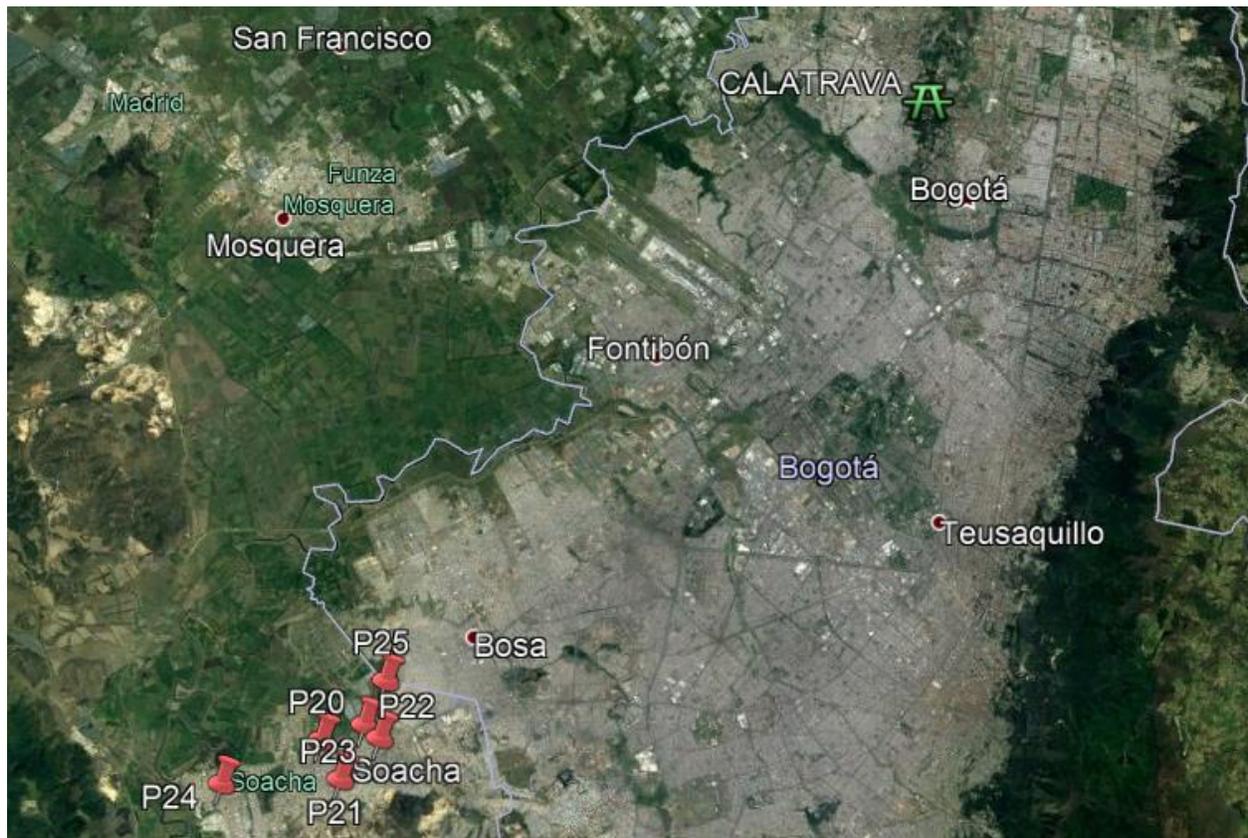


Figura 28. Puntos ubicados en el municipio de Soacha. RTVC, 2011

Tabla 15

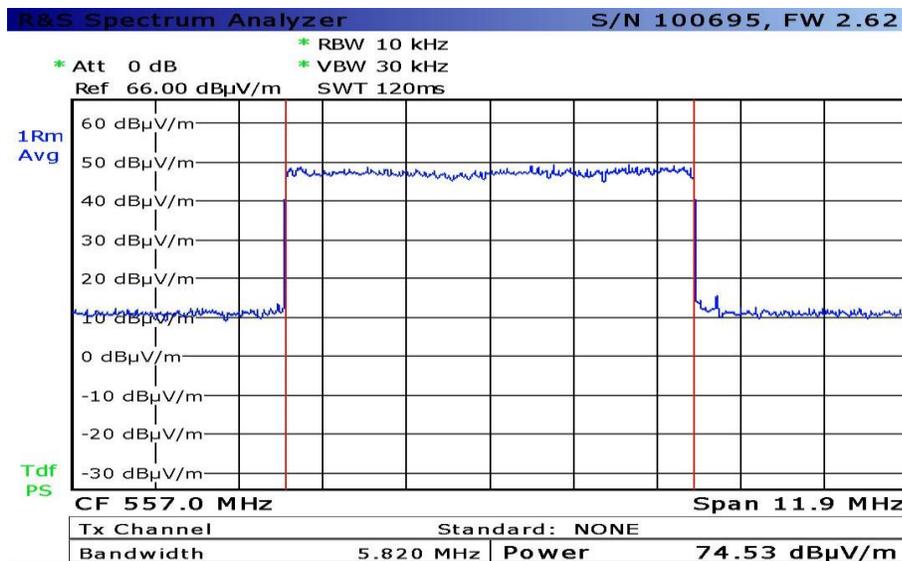
Identificación de los puntos distancia y azimut en la ciudad de Bogotá.

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA KM
20	43.6	22.25
21	40.38	22.66
22	42.64	21.1
23	39.88	21.43
24	46.6	24.59
25	41.15	20.02

Nota: Distancia de los puntos de medicion. Max Ramon (2018)

4.3.2 Resultados.

Punto 1. P1 parque principal Bojacá coordenadas: 4.7325, -74.3418



Date: 27.MAR.2014 16:21:33

Figura 29. Intensidad de campo p1 (ANTV, 2018)

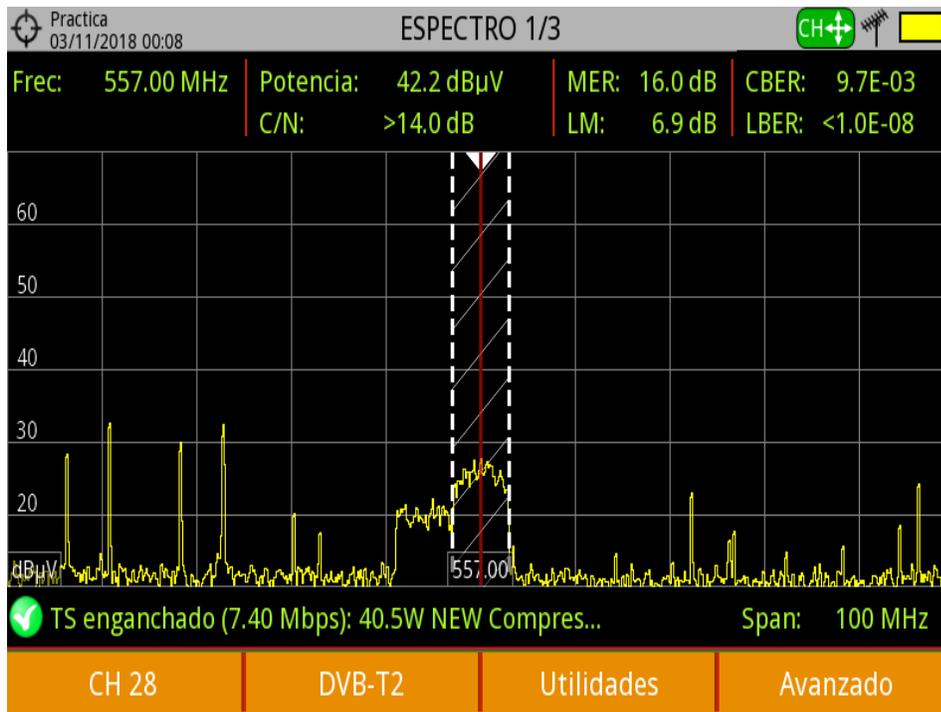


Figura 30. Intensidad de campo p1. Max Ramón (2018)

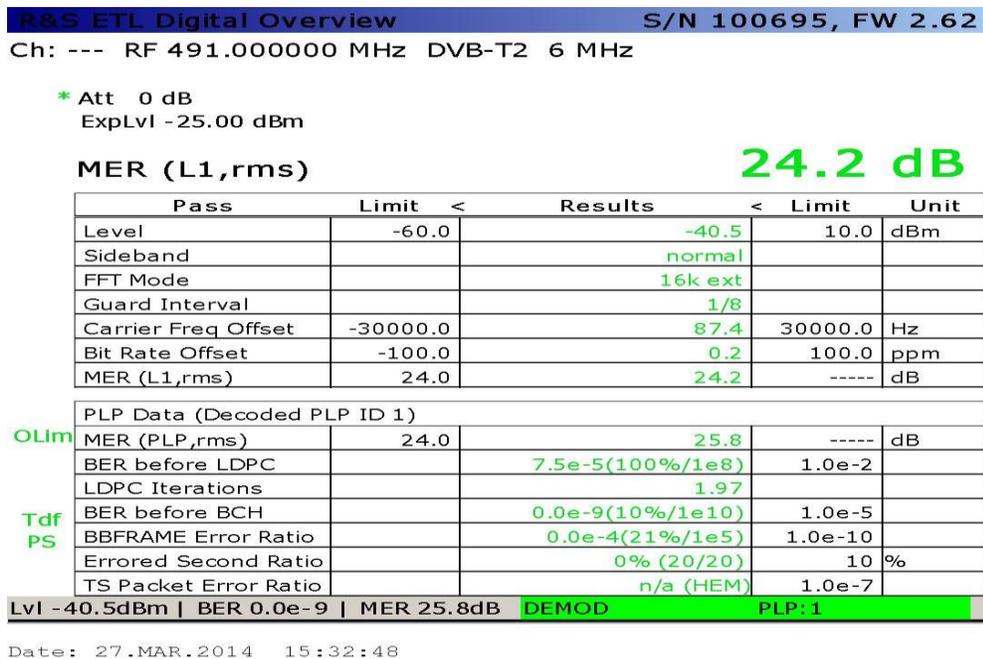


Figura 31. Captura de datos p1 (ANTV, 2018)

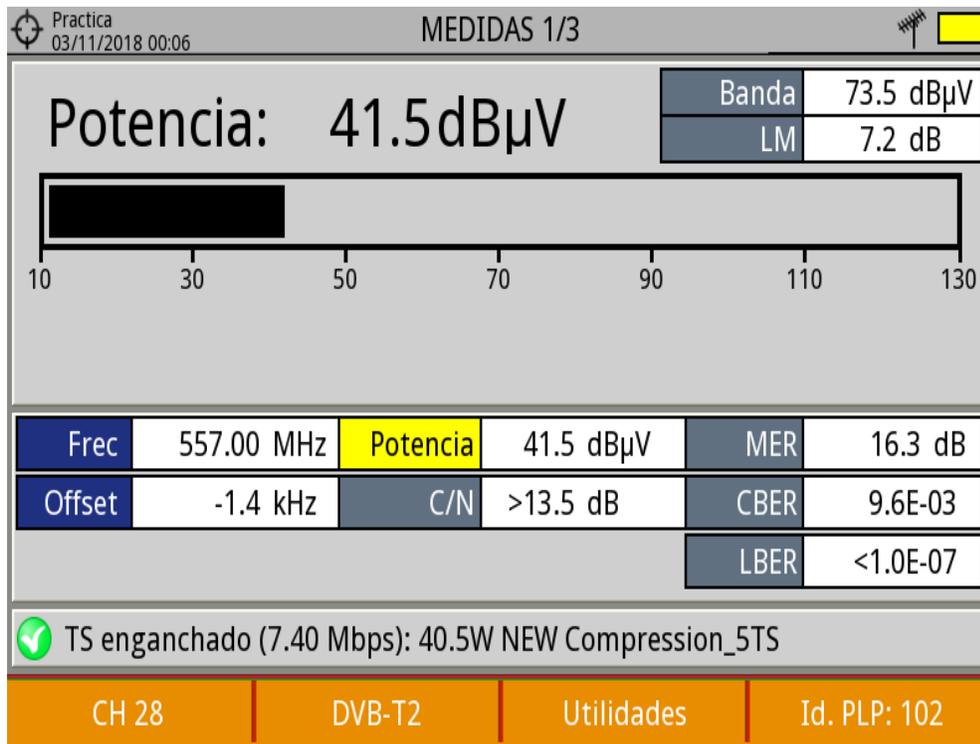


Figura 32. Captura de datos p1. Max Ramón (2018)

La siguiente tabla relaciona la información obtenida de la captura de datos realizada a todos los canales para el punto p1

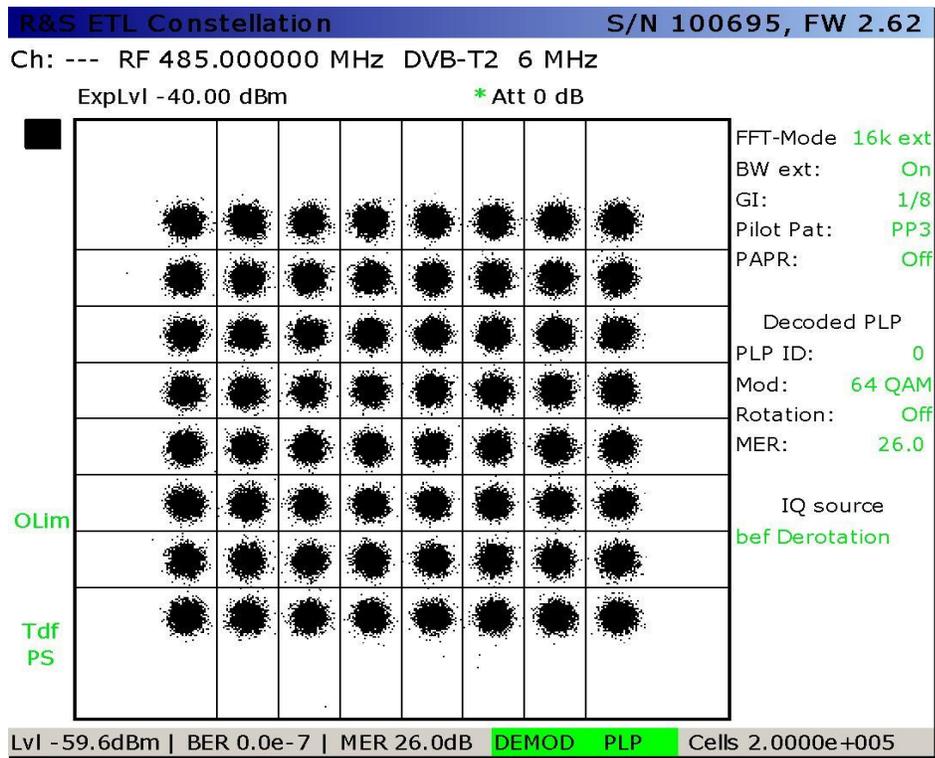
Tabla 16

Captura de datos general de punto p1

CANAL	FRECUENCIA	POTENCIA		C/N	MODULACION	MER	LBER
16	485 MHZ	47,1 dBuV	-61,65 dBm	11,7 dB	64QAM	15,3 dB	0,026
17	491 MHZ	53,6 dBuV	-55,15 dBm	>25,5 dB	16QAM	28,6 dB	5,5E-05
28	557 MHZ	41,6 dBuV	-67,15 dBm	>13,2 dB	16QAM	14,9 dB	0,017

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación .19 (Max Ramón, 2018)

Punto 3. P3 Cajicá coordenadas: 4.9133889, -74.02822222222223



Date: 28.MAR.2014 12:15:25

Figura 33. Diagrama de constelación y potencia p3 (ANTV, 2018)



Figura 34. Diagrama de constelación y potencia p3. Max Ramón (2018)

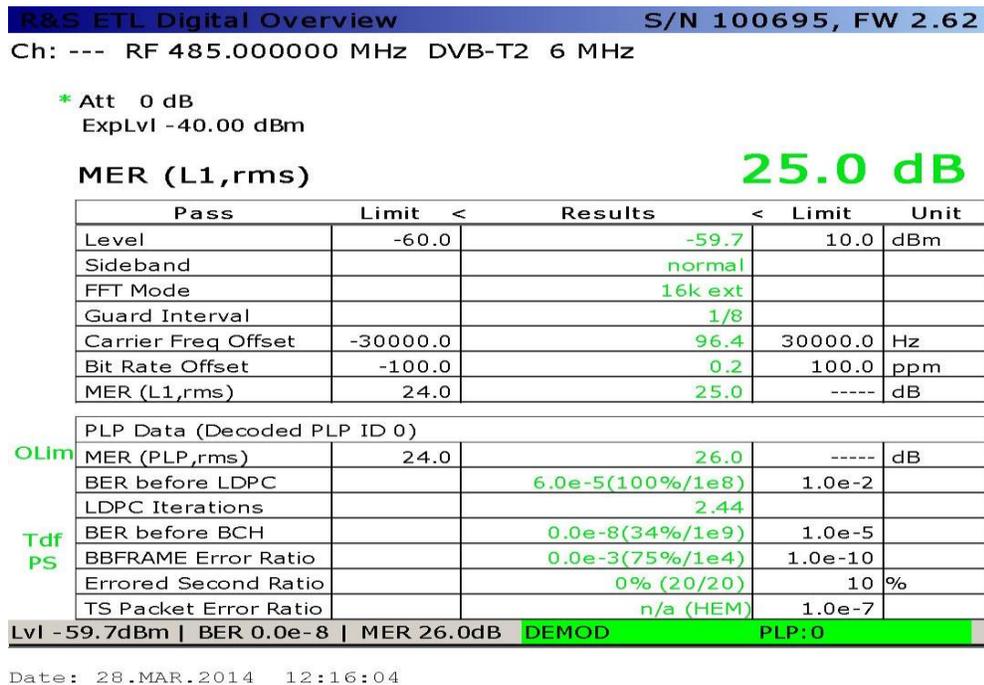


Figura 35. Captura de datos p3 (ANTV, 2018)

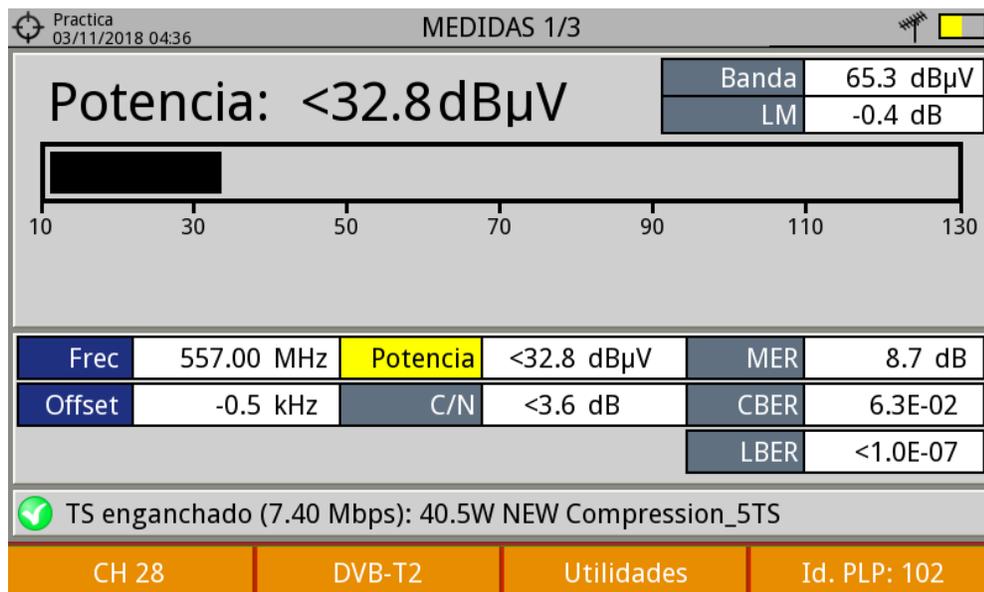


Figura 36. Captura de datos p3. Max Ramón (2018)

Tabla 17

Captura general de datos p3.

CANAL	FRECUENCIA	POTENCIA		C/N	ESTADO
16	485 MHz	<34,3 dBuV	-74,45 dBm	<4,7 dB	No signalreceived
17	491 MHz	<34,2 dBuV	-74,55 dBm	<2,9 dB	No signalreceived
28	557 MHz	<33,2 dBuV	-75,55 dBm	<4 dB	No signalreceived

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación .19 (Max Ramón, 2018)

Punto 4. P4 Cajicá Coordenadas: 4.9211667, -74.02094444444444

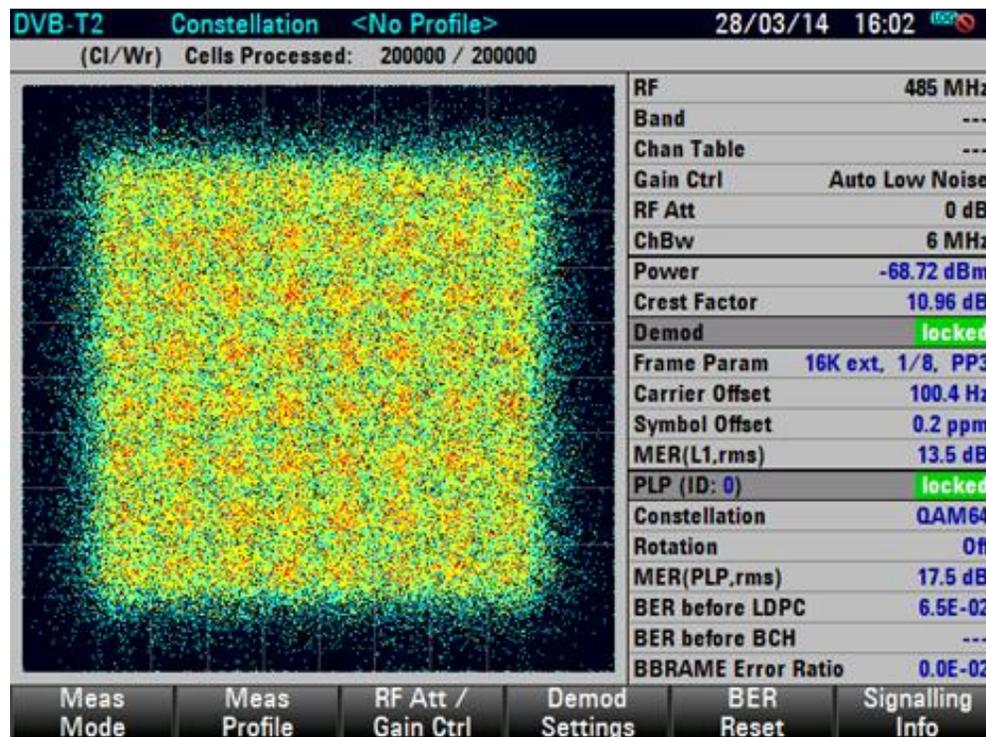


Figura 37. Diagrama de constelación Y potencia p4 (ANTV, 2018)

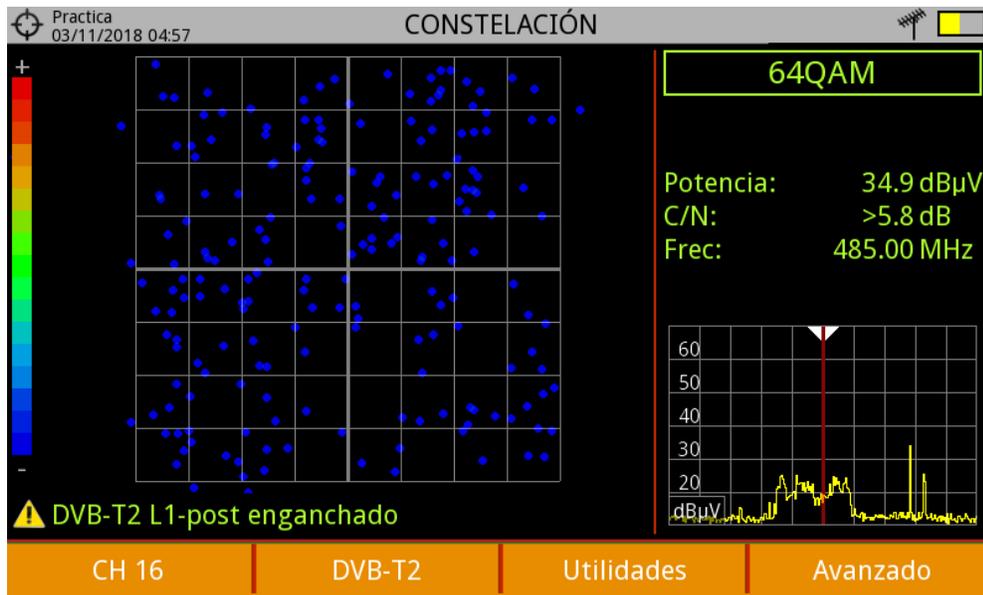


Figura 38. Diagrama de constelación y potencia p4. Max Ramón (2018)

DVB-T2		Meas List		<No Profile>		28/03/14 16:03	
RF				485 MHz			
Band				---			
Channel Table				---			
Gain Control / RF Attenuation				Auto Low Noise / 0 dB			
Channel Bw				6 MHz			
Measurement Parameter			Result				
Power			-68.30 dBm				
Crest Factor			11.05 dB				
Demodulator			locked				
Sideband Position			normal				
Frame Parameter			16Kext		1/8		PP3
Carrier Frequency Offset			100.9 Hz				
Symbol Rate Offset			0.2 ppm				
Modulation Error Ratio (L1)			rms: 13.9 dB		peak: -3.1 dB		
FEC Decoder			locked (PLP ID: 0)				
Modulation Error Ratio (PLP)			rms: 17.5 dB		peak: 2.1 dB		
Error Vector Magnitude (PLP)			rms: 8.71 %		peak: 51.33 %		
LDPC Iterations			14.5				
BER before LDPC / BCH			6.3E-02		0.0E-08		
BBFRAME / TSPER / ESR5			0.0E-03		n/a(HEM)		0%
Meas Mode	Meas Profile	RF Att / Gain Ctrl	Demod Settings	BER Reset	Signalling Info		

Figura 39. Captura de datos p4 (ANTV, 2018)

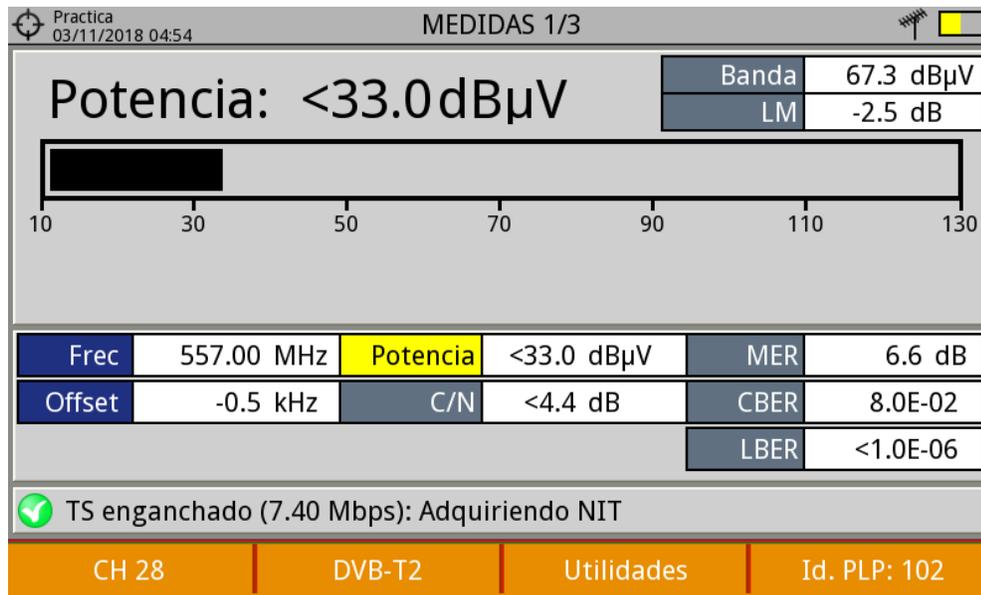


Figura 40. Captura de datos p4. Max Ramón (2018)

Tabla 18

Captura general de datos p4.

CANA L	FRECUEN CIA	POTENCIA		C/N	MODULACIO N	ME R	CBE R	LBER
16	485 MHz	35,6 dBuV	- 73,15 dBm	5,2 dB	64QAM	12 dB	0,086	<0,000000 1
17	491 MHz	36,5 dBuV	- 72,25 dBm	7,3 dB	16QAM	7,6 dB	0,035	<0,000001
28	557 MHz	>33,1 dBuV	- 75,65 dBm	3,9 dB	No signalreceived			

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación .4 (Max Ramón, 2018)

Punto 7. P5 parque principal Chia coordenadas: 4.8611111, -74.06055555555555.

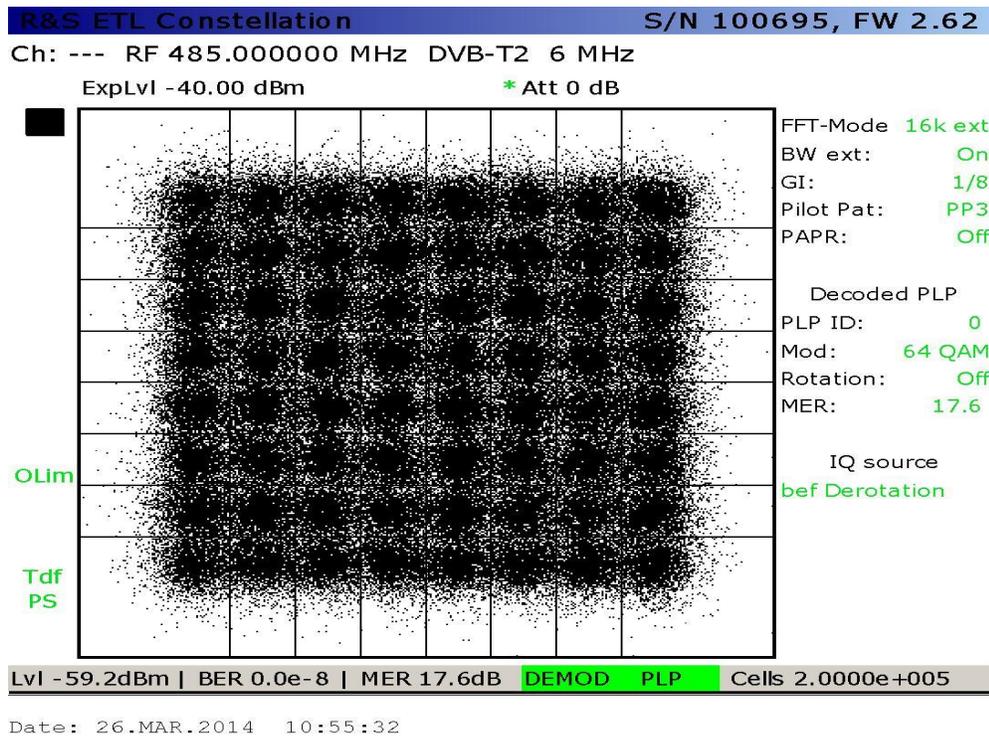


Figura 41. Diagrama de constelación y potencia p7 (ANTV,2018)

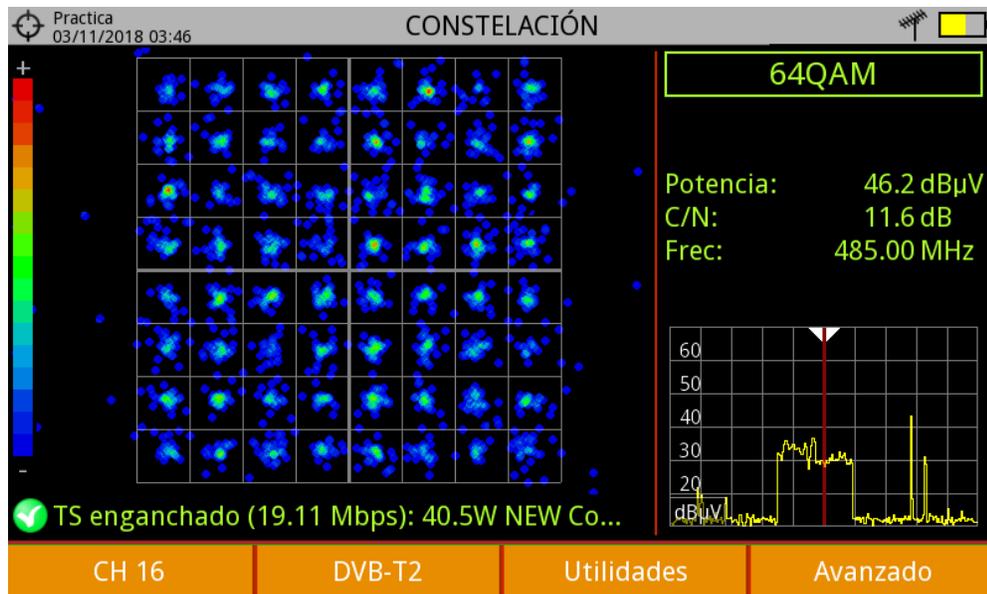
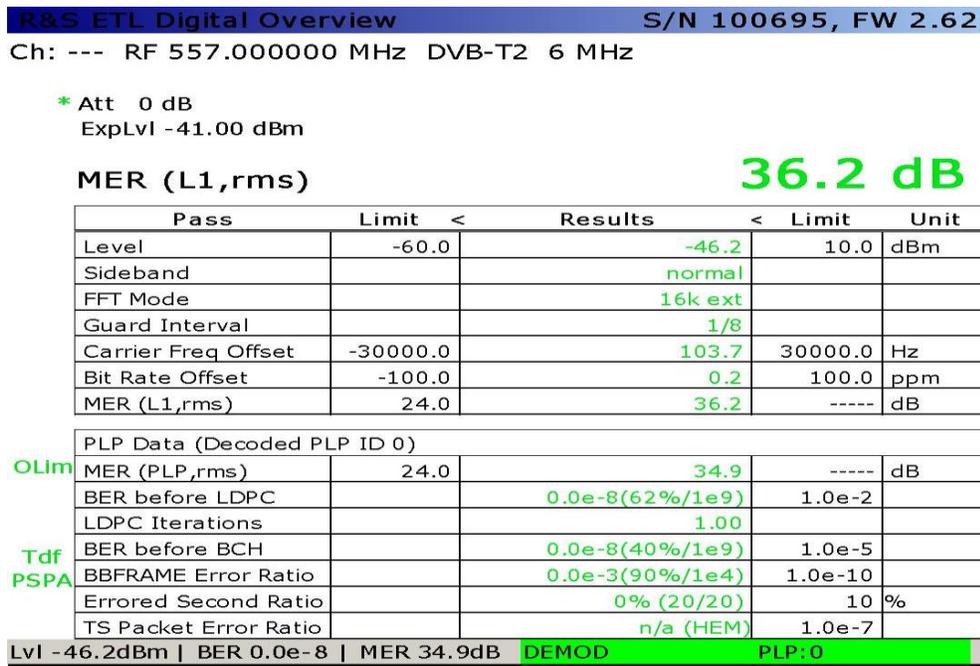


Figura 42. Diagrama de constelación y potencia p7. Max Ramón (2018)



Date: 26.MAR.2014 12:23:02

Figura 43. Captura de datos p7 (ANTV, 2018)

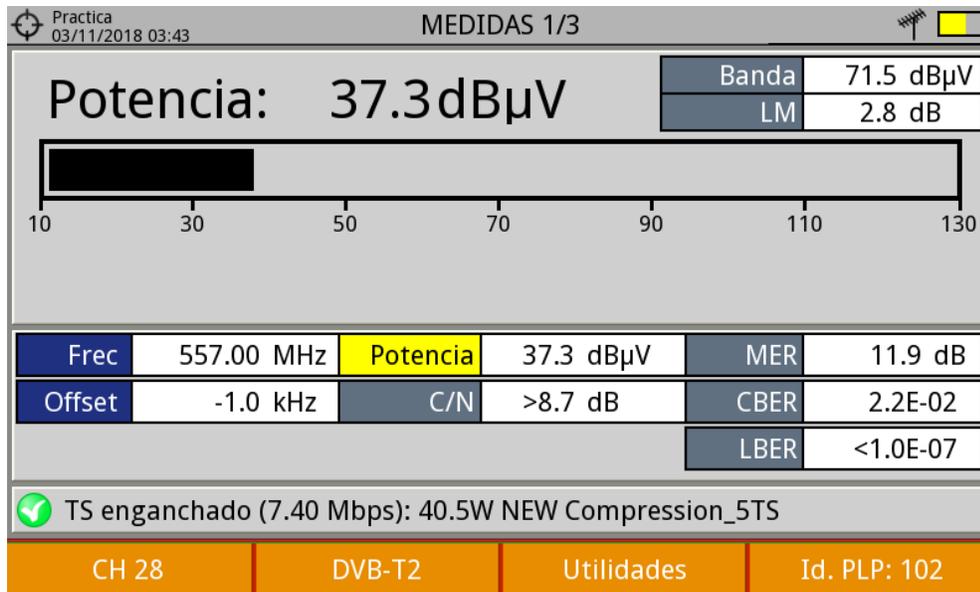


Figura 44. Captura de datos p7. Max Ramón (2018)

Tabla 19

Captura general de datos p7

CANAL	FRECUENCIA	POTENCIA	C/N	MODULACION	MER	CBER	LMER
-------	------------	----------	-----	------------	-----	------	------

16	485 MHz	45,5 dBuV	-63,25 dBm	14,3 dB	64QAM	18,8 Db	0,025	<0,000001
17	491 MHz	46,2 dBuV	-62,55 dBm	17 Db	16QAM	17,9 dB	0,0053	<0,000001
28	557 MHz	36,5 dBuV	-72,25 dBm	8,4 dB	16QAM	11,2 dB	0,023	<0,000001

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación .7 (Max Ramón, 2018)

Punto 8. P8 coliseo Chía coordenadas: 4.8629444, -74.05575

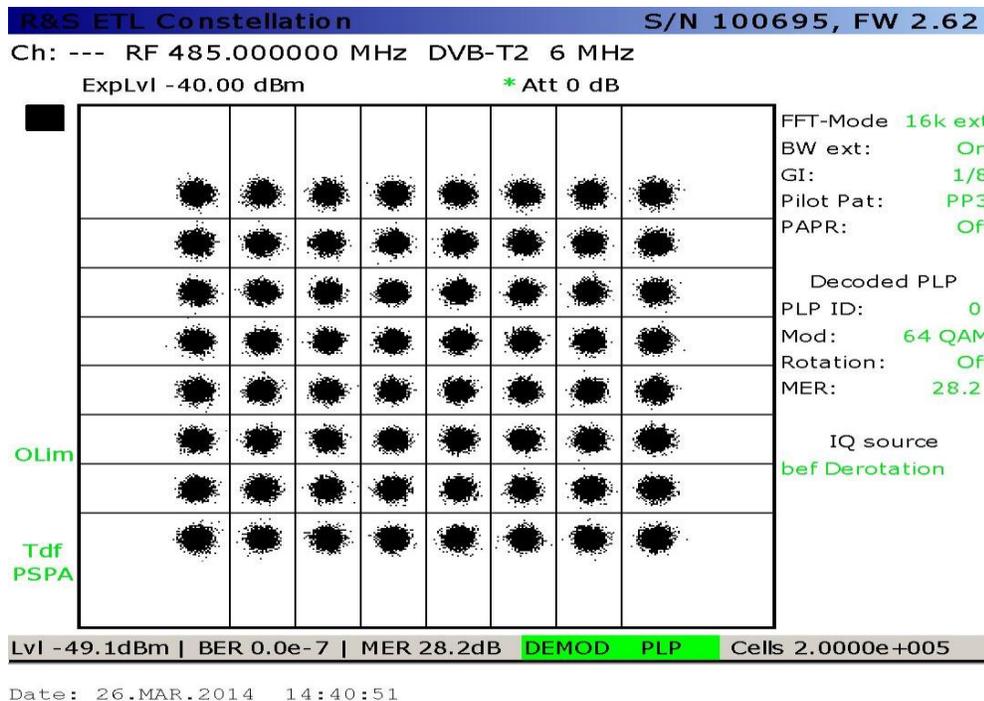


Figura 45. Diagrama de constelación y potencia p8 (ANTV, 2018)

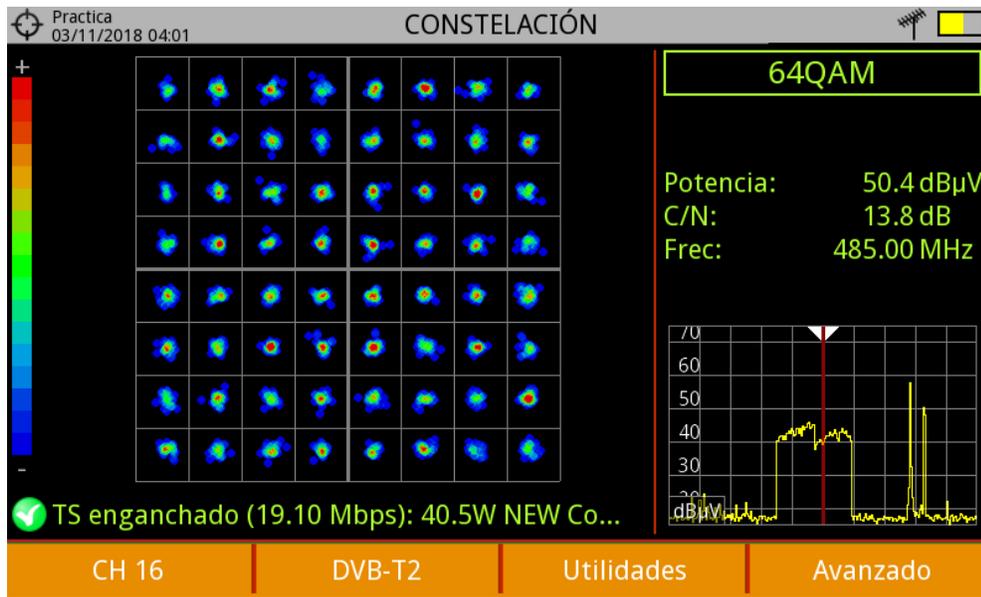
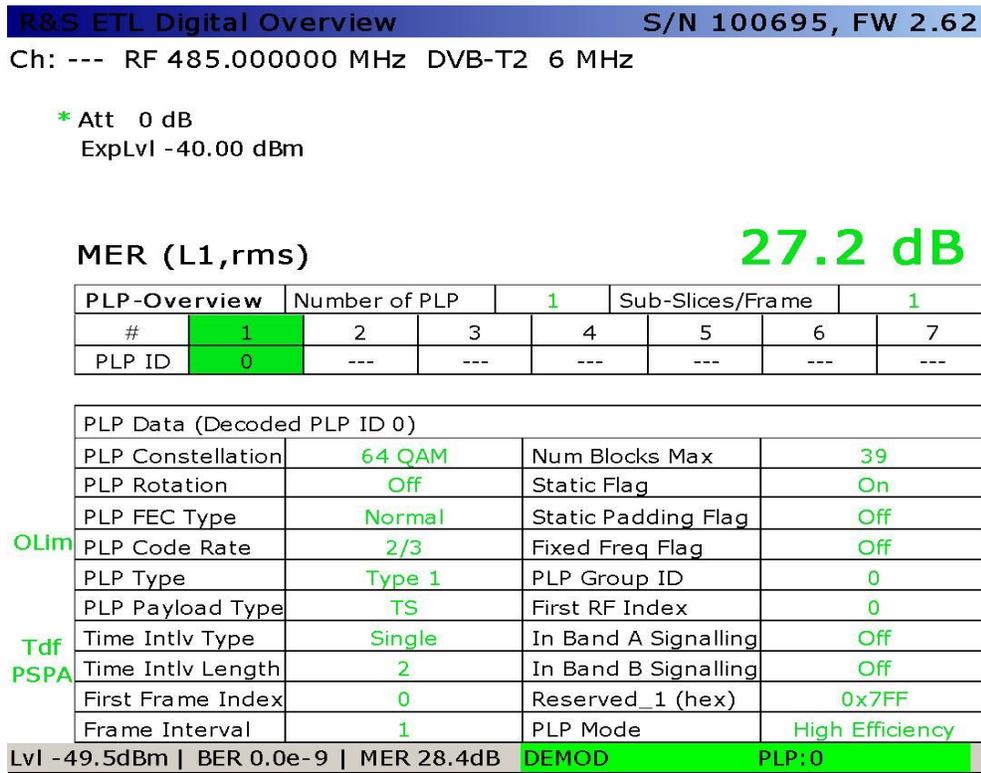


Figura 46. Diagrama de constelación y potencia p8. Max Ramón (2018)



Date: 26.MAR.2014 14:44:16

Figura 47. Captura de datos p8 (ANTV, 2018)

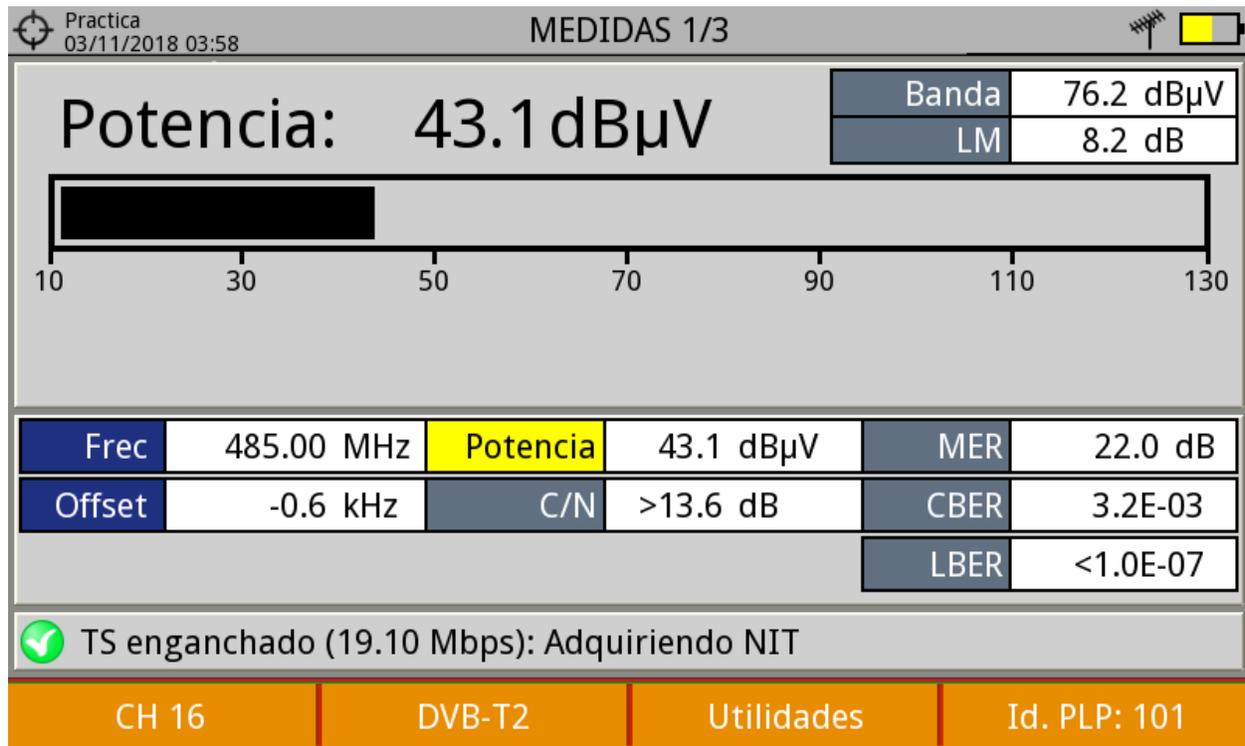


Figura 48. Captura de datos p8. Max Ramón (2018)

Tabla 20

Captura general de datos p8.

CANA L	FRECUENCI A	POTENCIA		C/ N	MODULACIO N	ME R	CBER	LMER
16	485 MHz	52,3 dBuV	- 56,4 5 dBm	13, 1 dB	64QAM	29,9 dB	0,000004 3	0,000000 1
17	491 MHz	55 dBuV	- 53,7 5 dBm	21, 2 dB	16QAM	32,9 dB	0,000001	0,000000 1
28	557 MHz	39,3 dBuV	- 69,4 5 dBm	10, 7 dB	16QAM	15 dB	0,02	0,000001

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación punto 8 (Max Ramón, 2018)

Punto 9. P9 Chía coordenadas: 4.852, -74.05405555555555

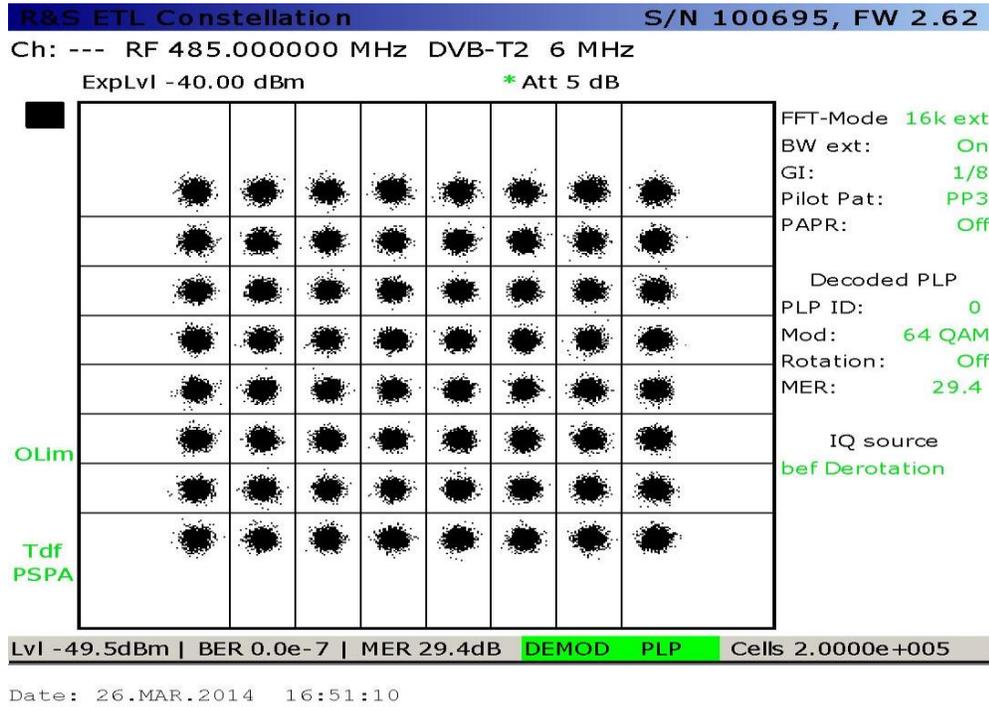


Figura 49. Diagrama de constelación y potencia p9 (ANTV, 2018)

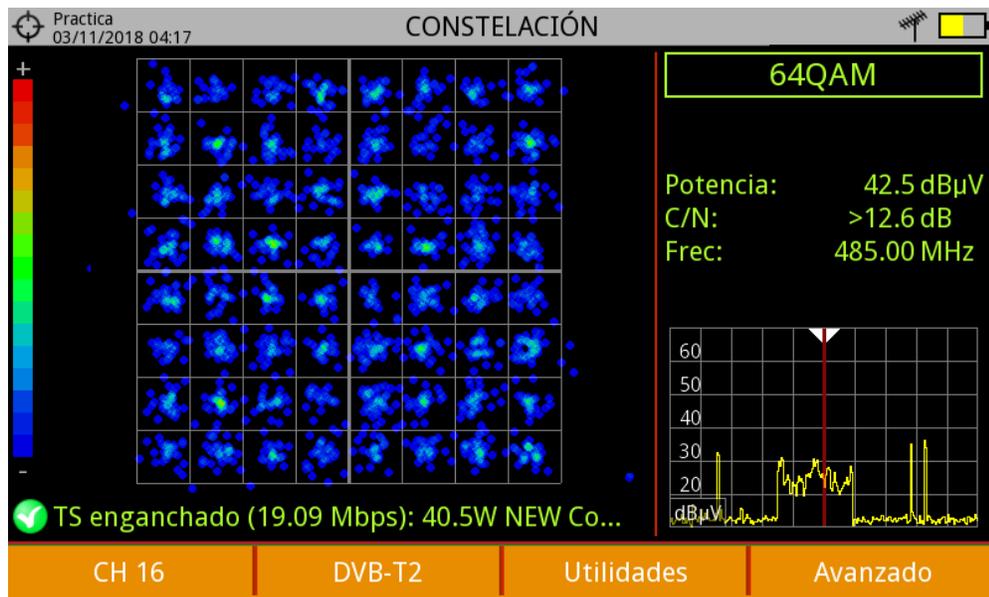
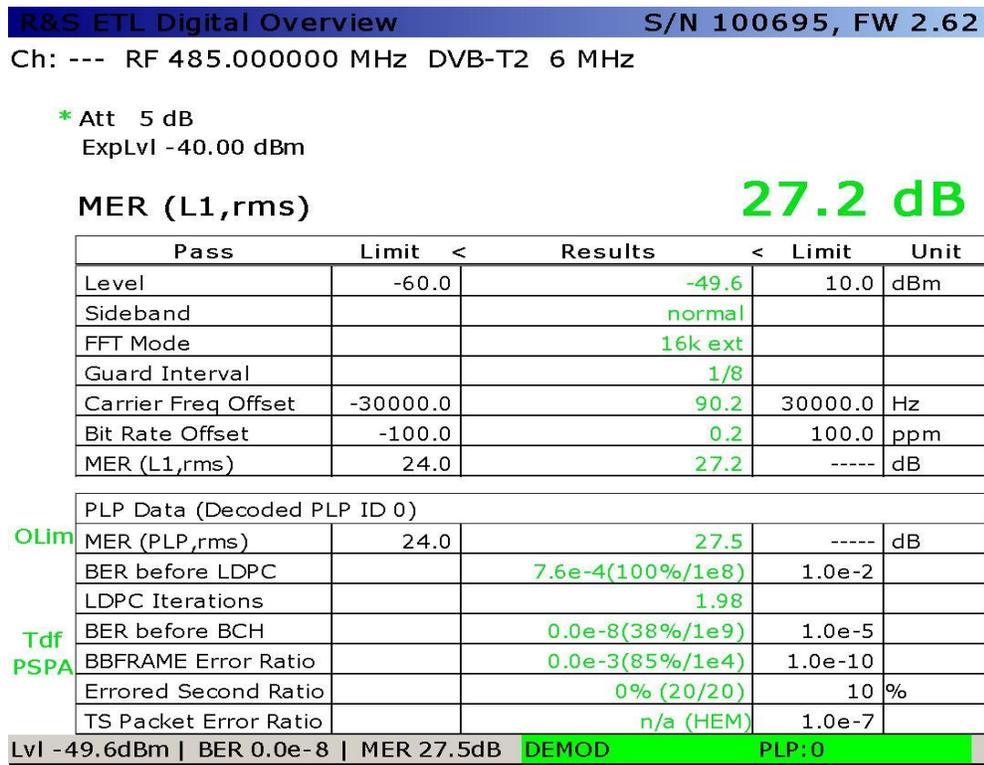


Figura 50. Diagrama de constelación y potencia p9. Max Ramón (2018)



Date: 26.MAR.2014 16:51:56

Figura 51. Captura de datos p9 (ANTV, 2018)

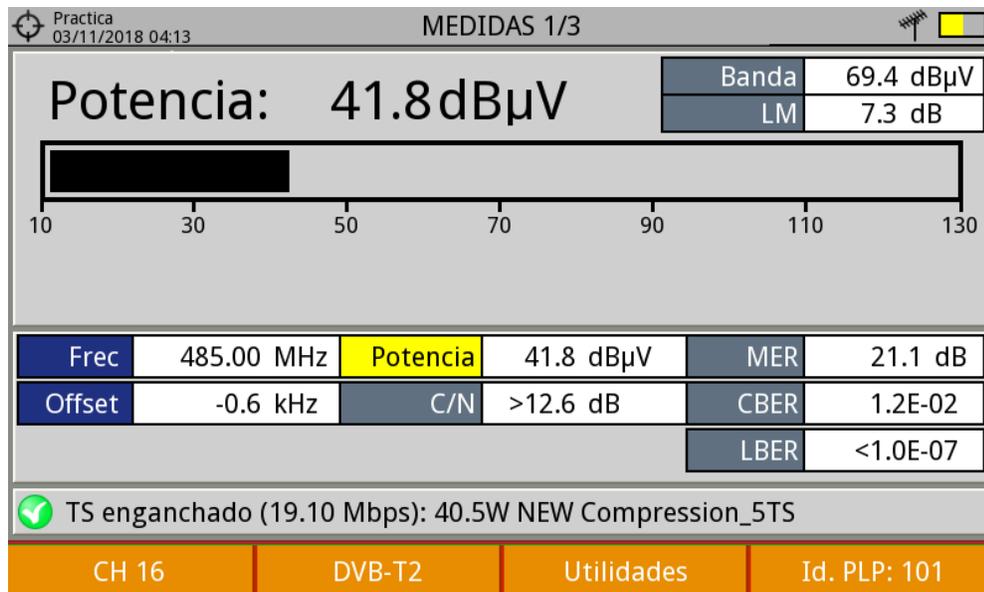


Figura 52. Captura de datos p9. Max Ramón (2018)

Tabla 21

Captura general de datos p9.

CANAL	FRECUENCIA	POTENCIA	C/N	MODULACION	MER	CBER	LMER
16	485 MHz	42,8 dBuV - 65,95 dBm	12,6 dB	64QAM	22,6 dB	0,0054	0,0000001
17	491 MHz	41,5 dBuV - 67,25 dBm	11,9 dB	16QAM	22,1 dB	0,0016	0,000001
28	557 MHz	39,4 dBuV - 69,35 dBm	10,7 dB	16QAM	13,5 dB	0,0021	0,000001

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación punto 9 (Max Ramón, 2018)

Punto 10. P10 Chía coordenadas: 4.861, -74.07102777777777

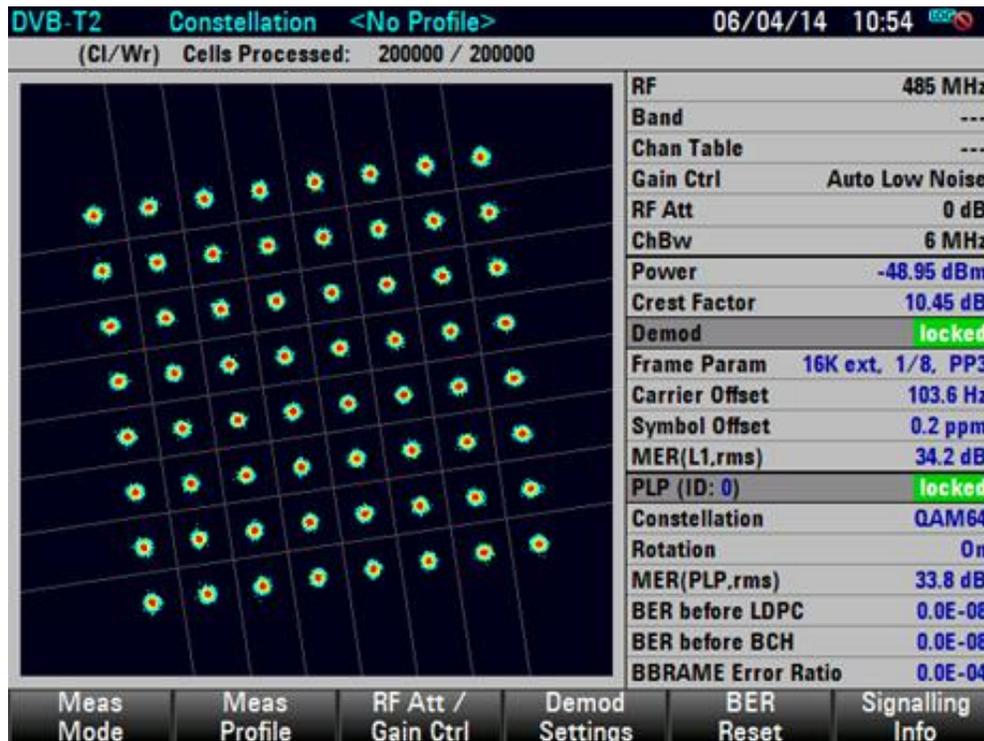


Figura 53. Diagrama de constelación y potencia p10 (ANTV, 2018)

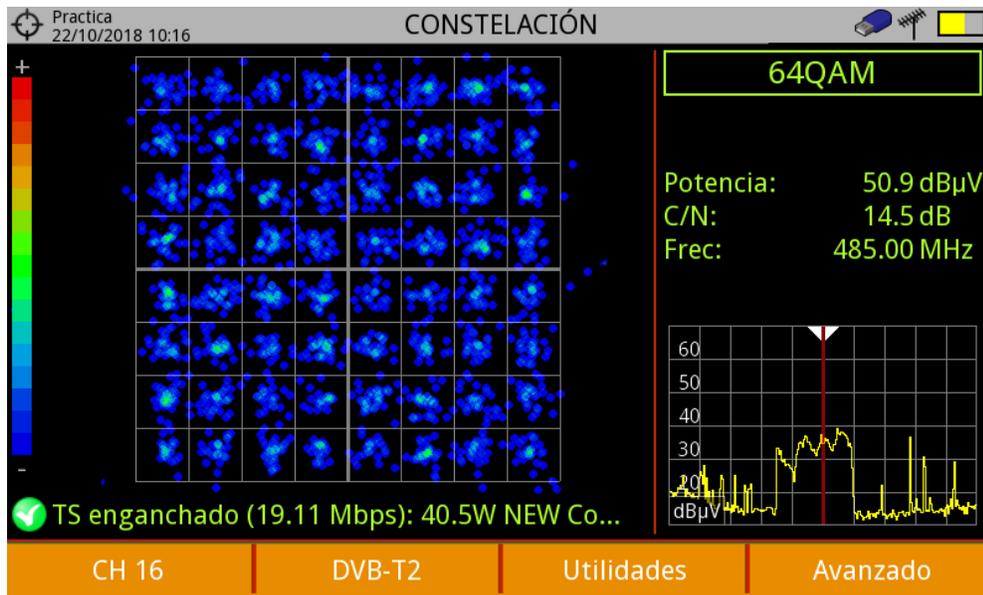


Figura 54. Diagrama de constelación y potencia p10. Max Ramón (2018)

DVB-T2		Meas List		<No Profile>		06/04/14 10:53	
RF				485 MHz			
Band				---			
Channel Table				---			
Gain Control / RF Attenuation				Auto Low Noise / 0 dB			
Channel Bw				6 MHz			
Measurement Parameter				Result			
Power				-48.93 dBm			
Crest Factor				10.75 dB			
Demodulator				locked			
Sideband Position				normal			
Frame Parameter		16Kext	1/8	PP3			
Carrier Frequency Offset				104.4 Hz			
Symbol Rate Offset				0.2 ppm			
Modulation Error Ratio (L1)				rms: 33.9 dB	peak: 23.5 dB		
FEC Decoder				locked (PLP ID: 0)			
Modulation Error Ratio (PLP)				rms: 33.7 dB	peak: 21.1 dB		
Error Vector Magnitude (PLP)				rms: 1.36 %	peak: 5.76 %		
LDPC Iterations				1.0			
BER before LDPC / BCH				0.0E-08	0.0E-07		
BBFRAME / TSPER / ESR5		0.0E-03	n/a(HEM)	0%			
Meas Mode	Meas Profile	RF Att / Gain Ctrl	Demod Settings	BER Reset	Signalling Info		

Figura 55. Captura de datos p10 (ANTV, 2018)

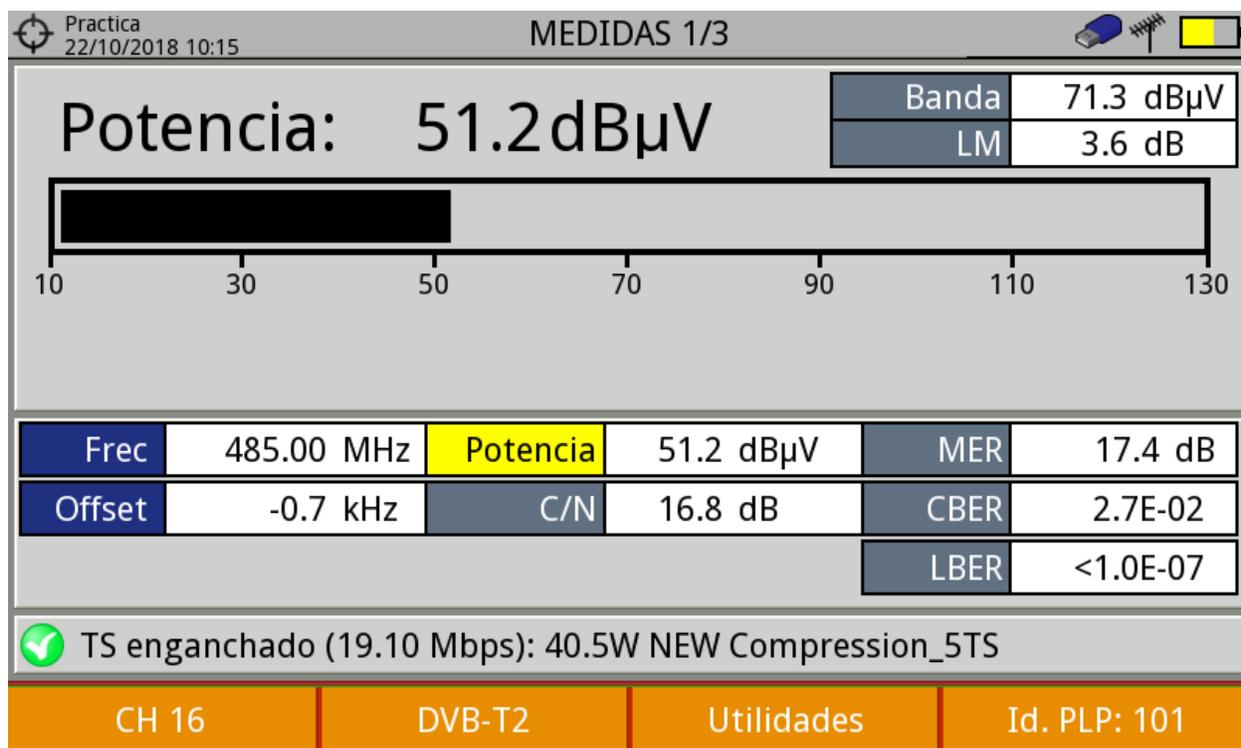


Figura 56. Captura de datos p10. Max Ramón (2018)

Tabla 22

Captura general de datos p10.

CANA L	FRECUENCI A	POTENCIA		C/N	MODULACIO N	ME R	CBE R	LME R
16	485 MHz	47,7 dBuV	-61,05 dBm	11,8 dB	64QAM	13 dB	0,07	0,000000 1
17	491 MHz	53,8 dBuV	-54,95 dBm	22,3 dB	16QAM	18,2 dB	0,006 5	0,000000 1
28	557 MHz	49,5 dBuV	-59,25 dBm	14,2 dB	16QAM	9,5 dB	0,048	0,000001

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación punto 10 (Max Ramón, 2018)

Puntos 11 y 12.

P11 Cogua coordenadas: 5.0614722, -73.97622222222222

P12Cogua coordenadas:5.0651667, -73.97811111111112

En el municipio de Cogua y sus dos puntos asignados para medición no fue encontrada cobertura de TDT, datos que contrastan con las mediciones de la ANTV.

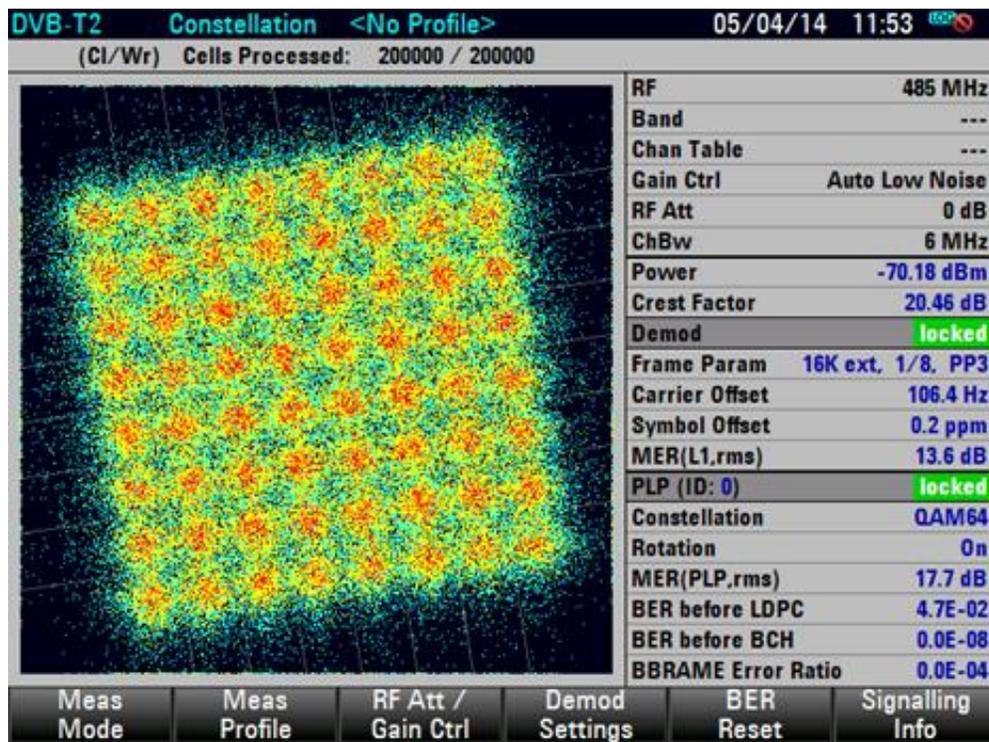


Figura 57. Diagrama de constelación y potencia p11 (ANTV, 2018)



Figura 58. Diagrama de constelación y potencia p11. Max Ramón (2018)

Measurement Parameter		Result	
Power		-68.94 dBm	
Crest Factor		22.29 dB	
Demodulator		locked	
Sideband Position		normal	
Frame Parameter		16Kext	1/8 PP3
Carrier Frequency Offset		106.0 Hz	
Symbol Rate Offset		0.2 ppm	
Modulation Error Ratio (L1)		rms: 13.7 dB	peak: -5.6 dB
FEC Decoder		locked (PLP ID: 0)	
Modulation Error Ratio (PLP)		rms: 18.0 dB	peak: 2.1 dB
Error Vector Magnitude (PLP)		rms: 8.25 %	peak: 51.33 %
LDPC Iterations		10.5	
BER before LDPC / BCH		3.9E-02	0.0E-07
BBFRAME / TSPER / ESR5		0.0E-03	n/a(HEM) 0%
Meas Mode	Meas Profile	RF Att / Gain Ctrl	Demod Settings
			BER Reset
			Signalling Info

Figura 59. Captura de datos p11 (ANTV, 2018)

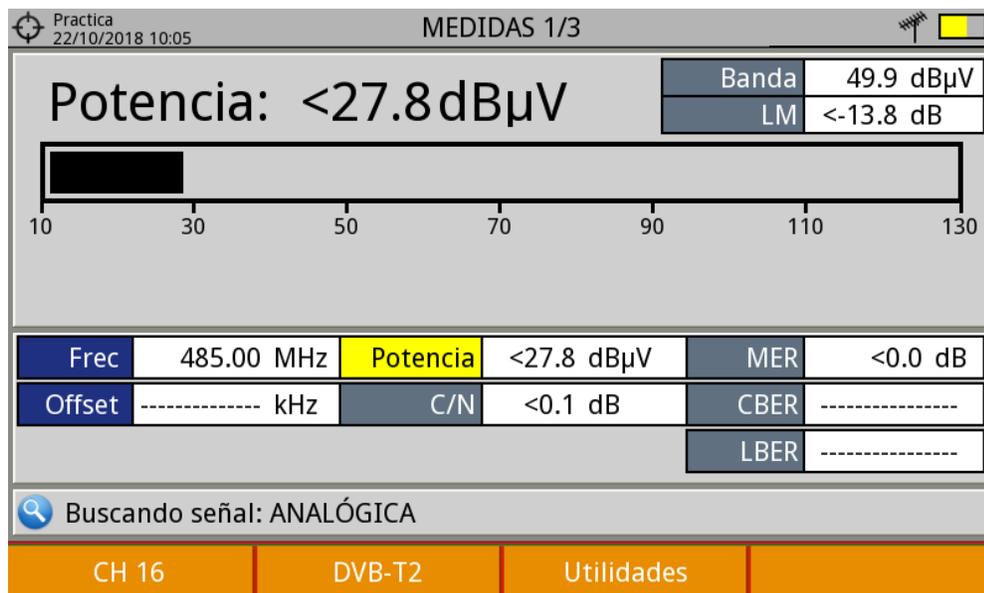


Figura 60. Adquisición de datos p11. Max Ramón (2018)

Tabla 23

Captura general de datos p11.

CANAL	FRECUENCIA	POTENCIA		C/N	MER
16	485 MHz	29,4 dBuV	-79,35 dBm	0,1 dB	No signalreceived
17	491 MHz	29,2 dBuV	-79,55 dBm	0,5 dB	No signalreceived
28	557 MHz	29,3 dBuV	-79,45 dBm	0,4 dB	No signalreceived

Nota: Canal, frecuencia, potencia y modulación punto 11 (Max Ramón, 2018)

Punto 13. P13 parque principal de Cota coordenadas: 4.8097222, -74.10180555555554

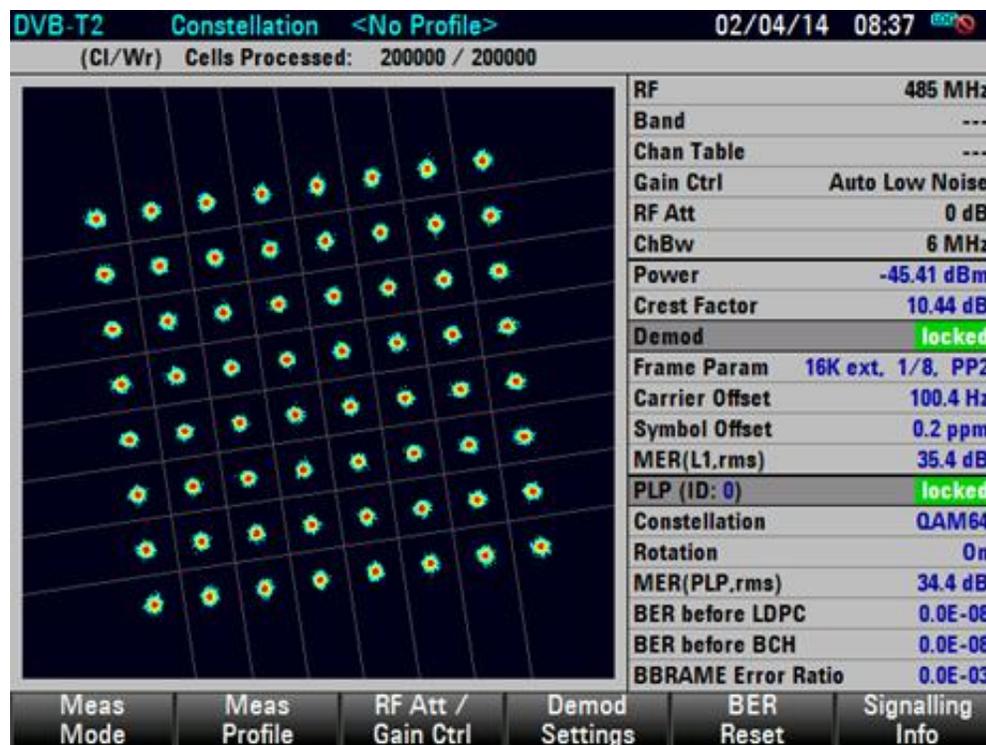


Figura 61. Diagrama de constelación y potencia p13 (ANTV, 2018)