



**Pontificia Universidad Católica de Chile**  
**Escuela de Ingeniería**  
**Dirección de Investigaciones Científicas**  
**y Tecnológicas de la Universidad Católica**



# **ANALISIS DE LOS ESTANDARES DE TRANSMISION DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE Y SU APLICABILIDAD AL MEDIO NACIONAL:**

## **ADDENDUM**

**19 DE JUNIO DE 2007**

---

**SUBSECRETARÍA DE TELECOMUNICACIONES**  
**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES**

1 de 31

***DICTUC, Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile***

Vicuña Mackenna 4860, Correo 22, Macul, Santiago - Chile / Fono: (56-2) 686 4281 • 686 4284 • 686 4274 686 4293  
Fax: (56-2) 552 2563 / [www.ing.puc.cl](http://www.ing.puc.cl) • [www.dictuc.cl](http://www.dictuc.cl)



<b>1. Tipo Informe</b> Estudio Técnico	<b>2. Cuerpo del Informe</b> 31hojas (incluye portada)
<b>3. Título del Proyecto</b> Análisis de los Estándares de Transmisión de Televisión Digital Terrestre y su Aplicabilidad al Medio Nacional: Addendum	<b>4. Fecha Informe</b> 19 de Junio de 2007
<b>5. Autores</b> Vladimir Marianov, Christian Oberli, Miguel Ríos	<b>6. Contrato</b>
<b>7. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora</b> DICTUC; Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N° 4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul – Santiago	<b>8. Período de Investigación</b> Mayo-Junio de 2007
<b>9. Antecedentes de la Institución Mandante</b> Nombre: Subsecretaría de Telecomunicaciones del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones Dirección: Amunátegui 139 RUT: 60.513.000-3 Teléfono: 421-3000 Fax: 421-3131	<b>10. Contraparte Técnica</b> Sr. Cristián Núñez  Jefe División Política Regulatoria y Estudios
<b>11. Resumen</b> Se incluyen comentarios e información complementaria, con relación a informaciones de prensa, discusiones sostenidas con diferentes actores y documentos recibidos, relacionadas con el tema del estudio original.	

---

**Vladimir Marianov**  
**Coordinador de Proyecto**

---

**DICTUC**

Nota: La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de Dictuc S.A.



## Contenido

---

<b>1. RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>3. TASA DE DATOS Y TRANSMISIÓN DE PROGRAMAS EN ALTA DEFINICIÓN .....</b>	<b>6</b>
3.1.    TASAS ALCANZABLES POR DISEÑO CON LOS ESTÁNDARES DVB-T E ISDB-T .....	6
3.2.    PARÁMETROS DE “ROBUSTEZ AL RUIDO” .....	11
3.3.    ROBUSTEZ AL ECO, OPERACIÓN EN FRECUENCIA ÚNICA Y MOVILIDAD.....	15
3.4.    CONCLUSIÓN: FACTIBILIDAD TÉCNICA DE TRANSMISIÓN DE PROGRAMAS EN ALTA DEFINICIÓN CON DVB-T E ISDB-T.....	17
3.5.    EXPERIENCIA PRÁCTICA CON DVB-T.....	17
<b>4. POTENCIA DE TRANSMISIÓN NECESARIA EN LOS ESTÁNDARES DVB-T Y ATSC.....</b>	<b>20</b>
4.1.    COMPARACIÓN DE AMBOS ESTÁNDARES EN IGUALDAD DE CONDICIONES. ....	21
4.2.    DIFERENCIAS EN LA PRÁCTICA. ....	24
4.2.1. <i>Pruebas de Campo</i> .....	24
4.2.2. <i>Ensayos de laboratorio de decodificadores ATSC</i> .....	27
4.3.    CONCLUSIONES RESPECTO DE LA DIFERENCIA DE POTENCIAS NECESARIAS EN ATSC Y DVB-T. ...	29
<b>5. OTROS ASPECTOS.....</b>	<b>30</b>
5.1.    MÚLTIPLES ECOS DE LA SEÑAL (MULTITRAYECTORIAS, OPERACIÓN EN FRECUENCIA ÚNICA) Y ECUALIZACIÓN. ....	30
5.2.    MOVILIDAD.....	31



## 1. Resumen Ejecutivo

Este documento complementa el estudio denominado ANALISIS DE LOS ESTANDARES DE TRANSMISION DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE Y SU APLICABILIDAD AL MEDIO NACIONAL, en referencia a algunos conceptos que se han hecho públicos en los últimos meses.

En particular, se demuestra cómo la flexibilidad del estándar DVB-T le permite transmitir programas en alta definición, a través de la adecuada selección de los parámetros de robustez al ruido, de los parámetros de protección ante ecos de la señal y de la potencia de transmisión. Se muestra que la experiencia de los países en los cuales se utiliza este estándar, así como las recomendaciones de la EBU, no permiten conclusiones negativas respecto de esta capacidad de DVB-T de transmitir en alta definición. Se concluye, respecto de este aspecto, que es claramente posible transmitir vídeo en alta definición utilizando el estándar DVB-T.

Asimismo, se compara el balance energético (potencias necesarias de transmisión) de las transmisiones en estándar ATSC y en estándar DVB-T, concluyéndose que, excluyendo las pérdidas de implementación del ecualizador en ATSC, desconocidas pero que podrían fluctuar entre 1 y 3 dB, la diferencia teórica de potencias requeridas es del orden de 2,6 dB. En la práctica, las pruebas de las cuales se conocen los resultados, realizadas transmitiendo con igual potencia en ambos estándares, no han confirmado una mejor cobertura de ATSC, lo que es consistente con el rango indicado para la pérdida de implementación del ecualizador ATSC.

Finalmente y en forma breve, se entrega alguna información adicional a la comparación entre los estándares ATSC y DVB-T que se hiciese en el documento base *ANALISIS DE LOS ESTANDARES DE TRANSMISION DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE Y SU APLICABILIDAD AL MEDIO NACIONAL*, respecto de cómo ambos estándares abordan los aspectos de la robustez a las multitrayectorias y de la movilidad.



## 2. Introducción

Durante el mes de Octubre de 2006, Dictuc S.A. hizo entrega a la Subsecretaría de Telecomunicaciones del informe ANALISIS DE LOS ESTANDARES DE TRANSMISION DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE Y SU APLICABILIDAD AL MEDIO NACIONAL, de los mismos autores del presente documento, en el cual se hace una descripción y análisis comparativo de los distintos estándares de transmisión de televisión digital terrestre disponibles a mediados del año 2006. En dicho informe, se recomienda la adopción para Chile del estándar DVB-T, correspondiente al escogido (y en uso) por todos los países europeos, prácticamente todos los países del África<sup>1</sup> y varios del Asia<sup>2</sup>.

Con posterioridad a esa fecha, los autores del informe han sostenido diversas reuniones con representantes y técnicos de los operadores de radiodifusión televisiva, medios de prensa, etc. Adicionalmente, han recibido documentación elaborada por terceros respecto de las ventajas y desventajas de los distintos estándares, particularmente, ATSC y DVB-T.

Como conclusión de las reuniones, así como de la lectura de la documentación recibida, se puede apreciar que hay aún ciertos aspectos técnicos sobre los cuales persisten apreciaciones que, en parecer de los autores, requieren de aclaración. El presente documento tiene por objeto analizar algunos de estos aspectos, entregando información adicional o reforzando algunos de los argumentos entregados en el estudio base.

---

<sup>1</sup> [http://www.paradiso-design.net/ATSC\\_DVB-T\\_ISDB-T\\_en.html](http://www.paradiso-design.net/ATSC_DVB-T_ISDB-T_en.html)

<sup>2</sup> <http://www.rtb.gov.bn/ADB/index.htm>. Actualmente, está siendo respaldado por la asociación de radiodifusores televisivos de los países del grupo ASEAN (10 países del sudeste asiático, con unos 500 millones de habitantes) para sus integrantes (respaldo otorgado durante la 4ª reunión de radiodifusores digitales del grupo ASEAN, el 29 Marzo 2007, Kuala-Lumpur, Malasia). Los Ministros responsables de la Información de estos países, en su novena conferencia el día 24 de mayo del 2007, respaldaron también el estándar DVB-T, indicando que es el estándar más comúnmente adoptado, además de ofrecer las máximas ventajas desde el punto de vista de economías de escala, facilidad de adopción y versatilidad para plataformas múltiples.



### *3. Tasa de datos y transmisión de programas en alta definición*

---

Quizás el aspecto técnico más importante sobre el cual se debe aportar información adicional, es el relativo a la capacidad de los estándares basados en OFDM, y particularmente por DVB-T, de transmitir señales de alta definición en un ancho de banda de 6 MHz. A pesar que en el documento base<sup>3</sup> se ha hecho un análisis general de este aspecto, el cual concluye con una respuesta positiva a esta duda, se ha considerado importante ampliar aquí dicho análisis.

#### *3.1. Tasas alcanzables por diseño con los estándares DVB-T e ISDB-T*

---

La Tabla 1<sup>4</sup> muestra las tasas de datos *sin compresión* necesarias para la transmisión de videos de distinta definición. En la tabla, HD significa Alta Definición (High Definition)<sup>5</sup>, ED es Definición Mejorada (Enhanced Definition) y SD es Definición Estándar (Standard Definition). Las letras “p” e “i” en la columna de formato se refieren a tramas progresivas o entrelazadas, respectivamente. Se observa en dicha tabla que una señal 720p requiere, sin compresión, una tasa de datos de 885 Mbps, mientras una señal 1080i requiere 1.393 Mbps.

---

<sup>3</sup> Ver el documento base, Sub-sección 6.2 – *Tasas de Datos y Cobertura*

<sup>4</sup> Antonio Claudio França Pessoa et al, *Report On Integrated Technical And Market Issues Of Digital Television, Appendices*, ANATEL, PD.33.SV.E5A.0005A/RT-02-AB, 2001, 85 páginas.

<sup>5</sup> Una imagen de alta definición contiene al menos 720 líneas horizontales.



**Tabla 1:** Tasas de datos sin compresión requeridas para distintos formatos. Se resaltan los formatos HD.

Formato	Definición	Líneas x pixeles x tramas	Tasa requerida (Mbps)
240p	LD	240 x 320 x 30p	37
480i	SD	480 x 720 x 60i	232
480p	ED	480 x 720 x 60p	332
<b>720p</b>	<b>HD</b>	<b>720 x 1280 x 60p</b>	<b>885</b>
<b>1080i</b>	<b>HD</b>	<b>1080 x 1920 x 60i</b>	<b>1.393</b>

Fuente: Report On Integrated Technical And Market Issues Of Digital Television, Appendices, pp.12

Por otra parte, la Tabla 2<sup>6</sup> muestra las tasas de datos *con compresión MPEG-2*, mínimas necesarias para la transmisión de distintos formatos de televisión digital, en función de la calidad perceptiva. En las columnas segunda y tercera, se muestran estas tasas para razones de compresión mínima y máxima, así como promedio (entre paréntesis) para lograr cierta calidad subjetiva.

La compresión a utilizar depende de la calidad subjetiva esperada del vídeo resultante. Así, si se requiere que al menos un 80% de los espectadores no puedan hacer una diferencia entre el vídeo comprimido y el vídeo original sin compresión, este último debiera ser comprimido utilizando el rango de razones de compresión indicadas en la columna correspondiente a la tercera columna, con el promedio estadístico indicado entre paréntesis. Esta tasa de compresión depende del contenido del vídeo; si el contenido es de alto movimiento, el vídeo se podrá comprimir menos, mientras que si hay poco movimiento, la misma calidad podrá obtenerse con mayor compresión.

---

<sup>6</sup> Antonio Claudio França Pessoa et al, *Report On Integrated Technical And Market Issues Of Digital Television, Appendices*, ANATEL, PD.33.SV.E5A.0005A/RT-02-AB, 2001, 85 pages.



**Tabla 2:** Tasas comprimidas MPEG-2 (Mbps) estimadas para distintos formatos, en dos niveles de calidad<sup>7</sup>. Se resaltan los formatos HD. Valores promedio en paréntesis.

Formato	Satisfacción 90%.	Satisfacción 80%.
<b>Razón de compresión</b>	<b>84 a 43 (56)</b>	<b>122 a 62 (84)</b>
240p	0,4 – 0,9 (0,7)	0,3 – 0,6 (0,4)
480i	2,8 – 5,4 (4,1)	1,9 – 3,8 (2,8)
480p	3,9 – 7,8 (5,9)	2,7 – 5,4 (4,0)
<b>720p</b>	<b>10,5 – 20,7 (15,7)</b>	<b>7,3 – 14,3 (10,6)</b>
<b>1080i</b>	<b>16,5 – 32,6 (24,7)</b>	<b>11,4 – 22,5 (16,6)</b>

Fuente: *Report On Integrated Technical And Market Issues Of Digital Television, Appendices, pp.13*

Por otro lado, el estándar MPEG-2 admite un sinnúmero de formas de representar una misma señal de video con compresión a una tasa de datos determinada, y queda en manos de los fabricantes diseñar algoritmos de compresión eficientes. Es por esta razón que a lo largo de los años, desde que la especificación de MPEG-2 fue finalizada, los niveles de compresión logrados han mejorado continuamente para lograr un mismo nivel de satisfacción subjetiva (como aquellos señalados anteriormente). Considerando que satisfacer al 80% de los espectadores es razonable, hoy en día una imagen de alta definición (1080i) con un contenido razonable de movimiento (o cambio en la imagen) se puede transmitir con buena calidad de percepción con alrededor de 16 Mbps. A esta tasa de datos se le debe agregar los contenidos de audio e información de programa, los que pueden implicar hasta unos 2 Mbps<sup>8</sup> en caso de incluir audio de alta fidelidad e información complementaria. Con ello, se alcanza una cifra de aproximadamente 18 Mbps, como tasa suficiente para la transmisión de un programa de alta definición en modo 1080i. Nótese que el modo super HD (1080p), codificado con MPEG-2, requiere tasas entre 24 y 30 Mbps (ver informe base, Tabla IV, p. 68). Estas tasas sólo pueden ser logradas actualmente con ciertas configuraciones de DVB-T operando con canalización de 8 MHz.

<sup>7</sup> ITU-VQEG (Video Quality Experts Group), “Final report from the Video Quality Experts Group on the validation of objective models of video quality assessment”, December 1999. Actualizado en “Final Report from the Video Quality Experts Group on the Validation of Objective Models of Video Quality Assessment, Phase II”, August 25, 2003.

<sup>8</sup> En rigor, se requiere 0,384 Mbps para audio “surround” 5.1; 0,256 Mbps para estéreo normal; 0,1 Mbps para subtítulo; 0,3 Mbps para teletexto y unos 0,5 Mbps para transmisión de programación. En total, cerca de 1,6 Mbps.



En suma, cualquier estándar que permita transmitir tasas mayores que 18 Mbps, permitirá la transmisión de programas en alta definición, con las limitaciones mencionadas en el párrafo anterior. El estándar ATSC utiliza una tasa fija de 19,39 MBps, suficiente para transmitir HD. En el caso de los estándares que utilizan modulación OFDM, la tasa de datos depende de una serie de parámetros de configuración, pudiéndose transmitir con tasas de hasta 23,75 Mbps en el caso de DVB-T (Tabla 3), y 23,23 Mbps en el caso de ISDB-T (Tabla 4), ambos en un ancho de banda de 6 MHz. Debe notarse que el estándar DVB-T está también definido para canales de 7 MHz, en cuyo caso permite tasas de hasta 27,71 Mbps, y de 8 MHz, llegando la tasa posible en este caso a 31,67 Mbps. Para DVB-T, la Tabla 3<sup>9</sup> muestra las tasas de datos posibles con todas las configuraciones posibles y para un canal de 6 MHz de ancho de banda. La Tabla 4<sup>10</sup> muestra los valores correspondientes en el caso de ISDB-T, y se presenta con fines comparativos.

**Tabla 3:** Alternativas de operación del estándar DVB-T (sin transmisión jerárquica). Se resalta en naranja las tasas sobre 18 Mbps, y en rosado las tasas sobre 19,39 Mbps.

Constelación	Tasa de Codificación	Intervalo de Guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,732	4,147	4,391	4,524
QPSK	2/3	4,976	5,529	5,855	6,032
QPSK	3/4	5,599	6,221	6,587	6,786
QPSK	5/6	6,221	6,912	7,318	7,540
QPSK	7/8	6,532	7,257	7,684	7,917
16-QAM	1/2	7,465	8,294	8,782	9,048
16-QAM	2/3	9,953	11,059	11,709	12,064
16-QAM	3/4	11,197	12,441	13,173	13,572
16-QAM	5/6	12,441	13,824	14,637	15,080
16-QAM	7/8	13,063	14,515	15,369	15,834
64-QAM	1/2	11,197	12,441	13,173	13,572
64-QAM	2/3	14,929	16,588	17,564	<b>18,096</b>
64-QAM	3/4	16,796	<b>18,662</b>	<b>19,760</b>	<b>20,358</b>
64-QAM	5/6	<b>18,662</b>	<b>20,735</b>	<b>21,955</b>	<b>22,620</b>
64-QAM	7/8	<b>19,595</b>	<b>21,772</b>	<b>23,053</b>	<b>23,751</b>

Fuente: ETSI EN 300 744

<sup>9</sup> ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

<sup>10</sup> ARIB STD-B31, Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting.



**Tabla 4:** Alternativas de operación del estándar ISDB-T (13 segmentos). Se resalta en naranja, las tasas sobre 18 Mbps y en rosado las tasas sobre 19,39 Mbps.

Constelación	Tasa de Codificación	Intervalo de Guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3.651	4.056	4.295	4.425
QPSK	2/3	4.868	5.409	5.727	5.900
QPSK	3/4	5.476	6.085	6.443	6.638
QPSK	5/6	6.085	6.761	7.159	7.376
QPSK	7/8	6.389	7.099	7.517	7.744
16-QAM	1/2	7.302	8.113	8.590	8.851
16-QAM	2/3	9.736	10.818	11.454	11.801
16-QAM	3/4	10.953	12.170	12.886	13.276
16-QAM	5/6	12.170	13.522	14.318	14.752
16-QAM	7/8	12.779	14.198	15.034	15.489
64-QAM	1/2	10.953	12.170	12.886	13.276
64-QAM	2/3	14.604	16.227	17.181	<b>17.702</b>
64-QAM	3/4	16.430	<b>18.255</b>	<b>19.329</b>	<b>19.915</b>
64-QAM	5/6	<b>18.255</b>	<b>20.284</b>	<b>21.477</b>	<b>22.128</b>
64-QAM	7/8	<b>19.168</b>	<b>21.298</b>	<b>22.551</b>	<b>23.234</b>

Fuente: ARIB STD-B31

Las alternativas mostradas en las Tablas 3 y 4 corresponden a la combinación de las distintas opciones de tasa de codificación (desde 1/2 hasta 7/8), intervalo de guarda (desde 1/4 hasta 1/32) y constelación M-aria (número de bits por símbolo transmitido, desde QPSK hasta 64 QAM) consideradas por los estándares DVB-T e ISDB-T. Cabe destacar que la elección de estos parámetros es responsabilidad del operador, y que la combinación escogida depende de la potencia transmitida y de las propiedades de propagación en la zona de cobertura, lo que se analiza en detalle a continuación. No obstante, una primera conclusión de las Tablas anteriores es que, si se eligen los parámetros adecuados, tanto el estándar DVB-T como ISDB-T ciertamente permite transmisión de tasas mayores a los 18 Mbps requeridos para la transmisión de programas en alta definición, e incluso mayores a las del estándar ATSC y, por lo tanto, **permiten transmisión de programación de alta definición si los parámetros de transmisión son los correctos**. Téngase en cuenta, adicionalmente, que los receptores de televisión DVB-T e ISDB-T, así como los set-top boxes, pueden ajustarse automáticamente a estos parámetros de transmisión, sin necesidad de intervención del usuario. Es importante destacar que esta afirmación no se contradice con el hecho que existen decodificadores en el mercado que no tienen la capacidad para



decodificar señales HD. En efecto, la operación en los modos con tasas de datos sobre 18 Mbps no implica que el contenido transmitido sea HD; el contenido bien puede ser un multiplex de varias señales SD que en su conjunto requieren de una alta tasa de datos. Así, no es contradictorio que existan decodificadores capaces de demodular todos los modos de OFDM resumidos en las Tablas 3 y 4, y que a la vez no tengan la capacidad de decodificar contenido MPEG-2 de alta definición.

### 3.2. *Parámetros de “robustez al ruido”*

---

Como se ha dicho antes, los parámetros indicados en las Tablas 3 y 4 anteriores controlan las características de la transmisión. Una característica deseable de la transmisión es que ella sea robusta a los efectos del ruido radioeléctrico, que afecta la calidad de la imagen, pudiendo producir pixelación, congelamiento o incluso haciendo que no sea posible ver nada. Estos efectos aparecen cuando el receptor (el aparato de televisión o set-top box) recibe la señal débil, cuya energía que no es suficientemente mayor a la del ruido presente en el sitio del receptor. Se dice en este caso que la *razón señal a ruido*,  $S/N$ , es más baja que el valor mínimo conocido como *umbral de visibilidad*.

La tasa de codificación y el número de bits por símbolo (número M-ario) tienen influencia sobre el valor umbral requerido de la  $S/N$  y por ello se dice que controlan la robustez de la transmisión ante el ruido. En *igualdad de condiciones*, o para *iguales valores de los restantes parámetros*, a menor número M-ario (menos bits por símbolo), menor es la razón  $S/N$  requerida en el umbral de visibilidad: QPSK requiere menor  $S/N$  que 64-QAM. Asimismo, a menor valor de la fracción que representa la codificación, menor es la  $S/N$  requerida, es decir, una codificación  $1/2$  requiere menor  $S/N$  que una codificación  $7/8$ .

La relación entre estos parámetros puede apreciarse en la Tabla 5 siguiente, que entrega valores obtenidos mediante de simulación para canales Gaussiano, Rayleigh y Rice. Para entender la tabla en detalle, es conveniente aclarar cuidadosamente el significado de cada tipo de canal:

- Se dice que una comunicación ocurre a través de un **canal Gaussiano** cuando la señal transmitida llega al receptor a través de una *única* trayectoria de propagación, la que típicamente es la trayectoria de *línea de vista*. La ausencia de ecos en la transmisión implica que la señal recibida solamente es degradada por el ruido térmico existente en los componentes electrónicos del receptor (asumiendo que el



receptor es ideal y no tiene pérdidas de implementación, discutidas en la Sección 4.1, y que tampoco hay interferencia causada por otras fuentes). Este tipo de canal recibe su nombre debido a que las propiedades estadísticas del ruido térmico son gaussianas (de distribución normal). El canal Gaussiano representa las condiciones de propagación más benignas posibles, y es un buen modelo de propagación para espacio libre o grandes planicies, pero no para ambientes con edificios, montañas y, en general, elementos que reflejan la señal y causan “ecos” o multitrayectorias en la propagación.

- El **canal Rayleigh**, por otra parte, representa el extremo opuesto: la propagación ocurre a través de un gran número de trayectorias, ninguna de las cuales es por línea de vista. Al llegar a la antena receptora, las réplicas de señal provenientes de las múltiples trayectorias se suman, pudiendo resultar una suma de ondas constructiva o destructiva. El fenómeno es técnicamente conocido como *desvanecimiento*. La señal resultante inducida en la antena tiene una amplitud cuya distribución estadística es Rayleigh. Es importante entender que la suma resulta constructiva o destructiva en función de las fases y magnitudes de cada trayectoria (más precisamente, de las fases y magnitudes de las ondas electromagnéticas de cada trayectoria). Por ello, el desvanecimiento típicamente cambia completamente si la antena receptora se mueve en media longitud de onda desde su ubicación inicial. Esto corresponde a distancias de menos de medio metro en frecuencias de la banda UHF. No es raro observar fluctuaciones de la intensidad de la señal hasta en un factor de cien mil con reposicionamientos de media longitud de onda. El desvanecimiento también cambia completamente si uno o varios objetos en las inmediaciones de la antena receptora se mueven por media longitud de onda, como cuando hay gente caminando, una puerta que se cierra, autos en una autopista, etc. A menudo es este tipo de señal, con desvanecimiento Rayleigh, la que debe procesar un receptor de TV digital ubicado en un dormitorio sin línea de vista hacia la antena transmisora.
- El **canal Rice** es un modelo intermedio a los dos anteriores, y resulta de combinar las propiedades de los canales Gaussiano y Rayleigh. El canal Rice considera una trayectoria principal, típicamente de línea de vista, y una multitud de trayectorias secundarias (más débiles) debido a propagación de multitrayectoria. El canal Rice es un modelo adecuado para situaciones en que un receptor de TV digital está en un entorno geográfico montañoso o urbano edificado, pero a línea de vista de la estación transmisora, ya sea a través de una ventana o bien a casi-línea de vista a través de una pared de material ligero.



**Tabla 5:** S/N requerida por DVB-T e ISDB-T, para distintos valores de los parámetros de transmisión y distintos tipos de canal.

Constelación	Tasa de Codificación	DVB-T <sup>11</sup>			ISDB-T <sup>12</sup>
		Gaussiano	Rice	Rayleigh	Gaussiano <sup>13</sup>
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	6,2 (DQPSK) <sup>14</sup>
QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	7,7 (DQPSK)
QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	8,7 (DQPSK)
QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	9,6 (DQPSK)
QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3	10,4 (DQPSK)
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	11,5
16-QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,5
16-QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,6
16-QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	15,6
16-QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	16,2
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	16,5
64-QAM	2/3	16,5	<b>17,1</b>	19,3	18,7
64-QAM	3/4	18,0	<b>18,6</b>	21,7	20,1
64-QAM	5/6	19,3	<b>20,0</b>	25,3	21,3
64-QAM	7/8	20,1	<b>21,0</b>	27,9	22,0

Fuente: ETSI EN 300 744 y ARIB STD-B31

Se aprecia en la Tabla que, por ejemplo, para recibir adecuadamente una transmisión en 16-QAM, codificación 1/2 en un entorno de propagación (canal) con estadísticas tipo Rice (una trayectoria principal en línea de vista más una serie de ecos por multitrayectoria), se requiere una S/N de 9,6 dB mientras que, para la recepción adecuada de una transmisión en 64-QAM, codificación 3/4 en el mismo tipo de canal, se requiere una S/N de 18,6 dB (decibeles). Utilizando estos últimos parámetros, se puede transmitir a tasas de hasta 20,358 Mbps, dependiendo del intervalo de guarda seleccionado (el análisis del intervalo de guarda se presenta más adelante).

<sup>11</sup> ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.

<sup>12</sup> ARIB STD-B31, Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting.

<sup>13</sup> La fuente no indica el tipo de canal explícitamente, pero por el contexto deducimos que se trata del canal Gaussiano.

<sup>14</sup> La fuente no indica valores para QPSK. No obstante, es bien sabido que la S/N requerida por DQPSK es 3 dB mayor que la de QPSK, por lo que basta restar 3 dB a los valores indicados en la tabla para comparar con el caso DVB-T Gaussiano.



Finalmente, la S/N y por lo tanto la cobertura, pueden mejorarse aumentando la potencia de transmisión: a mayor potencia, proporcionalmente mayor es la S/N. Ello lleva a una segunda conclusión, en el sentido que **una vez seleccionados los parámetros deseados de tasa de codificación y constelación M-QAM, hay una S/N que hace que la recepción sea adecuada y una potencia del transmisor que hace posible esa S/N.**

Por otra parte, para todos los estándares, la S/N en el receptor disminuye en la medida que éste se aleja del transmisor (puesto que la intensidad de señal decae con la distancia). Alcanzada una cierta distancia, la S/N se hace menor que el valor umbral (para los parámetros seleccionados) y no permite una adecuada decodificación de la imagen. Esta disminución con la distancia determina la distancia máxima, medida desde el transmisor, a la cual hay recepción adecuada. En otras palabras, determina la cobertura.

Entonces, una tercera conclusión es que, **conociendo la zona de cobertura deseada, ella se puede obtener para cualquier valor de los parámetros de robustez al ruido, siempre que se transmita con la potencia necesaria para producir la S/N requerida, en toda la zona de cobertura**, incluyendo sus extremos más alejados.

Resulta claro que la robustez de la transmisión, entendida como la posibilidad de decodificar una transmisión dentro de un área de cobertura dada, es intercambiable por potencia de transmisión: se puede seleccionar parámetros “menos robustos” si se transmite con mayor potencia, posibilitando una mayor tasa de datos en la misma zona de cobertura, determinada por el umbral de visibilidad. La única limitación está dada por la interferencia que las transmisiones puedan producir a otras emisiones.

En la Sección 4 de este documento se analiza el aspecto de potencia de transmisión y el así llamado “balance energético” de las transmisiones.



### 3.3. Robustez al eco, operación en frecuencia única y movilidad

El intervalo de guarda tiene relación con la protección de la transmisión ante interferencia intersimbólica (ISI). En términos simples, es la protección ante el efecto de ecos (producidos por propagación de multitrayectoria), o emisiones de otros transmisores operando concertadamente en frecuencia única. Los ecos son producidos por accidentes geográficos (montañas, por ejemplo) o estructuras como edificios, en los cuales se refleja la señal transmitida, llegando al receptor desde direcciones distintas y en tiempos retrasados a los de la transmisión directa desde la antena transmisora. El intervalo de guarda se selecciona de modo que su duración iguale o exceda el tiempo transcurrido entre la señal directa (o el primer eco, en caso de no haber línea de vista) y el retardo de los ecos relevantes, en cualquier receptor de la zona de cobertura. Es importante señalar que OFDM permite cualquier relación entre la energía del primer eco (o señal directa) y los demás ecos, siempre que todos se encuentren dentro del intervalo de guarda.

De lo anterior se desprende que la duración del intervalo de guarda debe ser configurada de acuerdo a las condiciones de propagación. La duración del intervalo también depende del número de portadoras de la transmisión. Este último parámetro se elige dependiendo de la movilidad que tendrán los receptores. Para permitir una mayor movilidad, se utilizan menos portadoras (modo 2k). Por el contrario, mientras más portadoras se utilicen, mayor es la protección que se puede lograr a multitrayectorias, y mejor la operación en frecuencia única. La Tabla 6 muestra las duraciones de los intervalos de guarda para las configuraciones 2k y 8k (dos y ocho mil portadoras, respectivamente). De estas duraciones se puede deducir los retardos máximos soportables (sin afectar la recepción) entre la señal principal y sus ecos, o la diferencia en tiempo entre la señal de dos transmisores en un sistema de frecuencia única.

**Tabla 6:** Duración de los intervalos de guarda para cada modo, modos 2k y 8k de DVB-T.

Modo	8k				2k			
Intervalo de guarda	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duración ( $\mu$ s)	298,667	149,333	74,667	37,333	74,667	37,333	18,667	9,333

Fuente: ETSI EN 300 744



Un ejemplo simple para entender el funcionamiento del intervalo de guarda, es el siguiente. Si se transmite usando modalidad 8k e intervalo de guarda 1/16, un receptor podrá decodificar perfectamente<sup>15</sup> la señal de televisión digital si los ecos que recibe no están más retardados respecto de la señal principal que 74,667  $\mu$ s. Como la velocidad de la señal es cercana a la de la luz, eso significa que los ecos pueden recorrer una distancia de hasta 22,4 Km adicionales a la distancia recorrida por la señal principal o directa desde el transmisor, **sin degradar la recepción.**

Nótese, sin embargo que esto no significa que ecos o señales de otros transmisores que sobrepasen los retardos determinados por el intervalo de guarda (en nuestro ejemplo, 74,667  $\mu$ s o 22,4 Km) corrompan del todo la recepción. En efecto, mientras mayor el retardo, mayor es la atenuación de espacio libre que el eco ha debido sufrir y, por lo tanto, menor su efecto interferente con la señal principal.

Finalmente, un intervalo de guarda mayor provee mayor robustez a la propagación de multitrayectoria, y amplía el área de cobertura dentro del cual la transmisión OFDM es inmune a la multitrayectoria. Esto se logra sin hacer un sacrificio en términos de la potencia de transmisión, pero sí sacrificando tasa de datos. Comparando una transmisión en un canal Gaussiano (hay una única trayectoria de transmisor a receptor, no es necesario utilizar un intervalo de guarda) con una transmisión en la que el intervalo de guarda tiene duración  $x$ , donde  $x$  puede ser  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{16}$  o  $\frac{1}{32}$ , la tasa de datos en el segundo caso es una fracción  $\frac{1}{1+x}$  de la tasa de datos del caso ideal. Es claro que el mayor sacrificio de tasa de datos es de un 20%, y ocurre con el intervalo de guarda que entrega la mejor protección a multitrayectoria, con  $x=\frac{1}{4}$ .

En resumen, el intervalo de guarda y la posibilidad de transmitir utilizando 8 mil portadoras (características que ya están contenidas en el estándar y que, por lo tanto, es posible conocer objetivamente), le dan a las transmisiones en estándar DVB-T una gran robustez a las multitrayectorias y una buena capacidad de operar en redes de frecuencia única. Por el contrario, en el estándar ATSC no se especifica el mecanismo de protección ante múltiples ecos de la señal. Esto, en conjunto con el hecho que el diseño de los ecualizadores ha ido variando en el tiempo, no conociéndose detalles acerca de la sexta generación (actual), hace que no se pueda conocer a ciencia cierta su robustez a las multitrayectorias.

---

<sup>15</sup> Suponiendo que no hay otros elementos que disminuyan el rendimiento del receptor.



### *3.4. Conclusión: factibilidad técnica de transmisión de programas en alta definición con DVB-T e ISDB-T*

---

En conclusión, el estándar DVB-T permite transmisión de programación de alta definición, si los parámetros de transmisión son escogidos correctamente. Una vez seleccionados dichos parámetros, hay una S/N mínima requerida que permite decodificar exitosamente la señal DVB-T. Dicha S/N mínima puede ser satisfecha en la zona de cobertura deseada con una potencia de transmisión adecuada. Estas conclusiones también son válidas para ISDB-T.

Finalmente, las transmisiones en estándar DVB-T e ISDB-T poseen una gran robustez a las multitrayectorias y, por lo mismo, una buena capacidad de operar en redes de frecuencia única. Por el contrario, en el estándar ATSC los detalles de diseño y desempeño de los ecualizadores no se ajustan a estándar, dependen de cada fabricante y han ido cambiando en el tiempo, por lo que la robustez de ATSC a las multitrayectorias es difícil de determinar

### *3.5. Experiencia práctica con DVB-T*

---

Algunos operadores en Europa donde se usa una canalización de 8 MHz, operan con tasas de datos que, traducidas a una operación con canalización de 6 MHz, no serían suficientes para la transmisión de programas de HD. Este hecho ha sido incorrectamente utilizado como prueba de una presunta incapacidad de DVB-T para lograr las tasas de datos necesarias para alta definición en 6 MHz. Al respecto, consideramos lo siguiente.

La modalidad comercial que los europeos han escogido para las actuales transmisiones no es la de alta definición, sino que la de agregar varios programas de definición estándar (SD) en un múltiplex, el cual se transmite a través de un canal de 8 MHz. Por ejemplo, en Suecia se transmite un múltiplex de seis canales de definición estándar, con constelación 64-QAM, codificación 2/3 e intervalo de guarda 1/8. La tasa resultante de estos parámetros es de 16,58 Mbps, suficiente para los 6 canales SD que se desea transmitir (ver Tabla 2). No tiene sentido utilizar una tasa más alta, pues habría que aumentar la potencia de transmisión para obtener la misma cobertura (como hemos visto antes). Entonces, una interpretación alternativa de la transmisión en tasas más bajas es **que se transmite a tasas menores no**



**por falta de capacidad del estándar, sino que, al contrario, porque el estándar permite ahorrar potencia si la tasa transmitida es menor, gracias a la menor S/N requerida en tal caso.** Además debe mencionarse que, en algunos casos, la potencia de transmisión ha sido estrictamente limitada por la regulación, como por ejemplo en el caso del Reino Unido<sup>16</sup>, obligando a elegir modalidades de transmisión más robustas.

En segundo lugar, algunas de las transmisiones en Europa sí se hacen a tasas que permiten alta definición, lo cual demuestra la factibilidad de transmitir tales programas. Es el caso, por ejemplo, del Reino Unido<sup>17</sup>, Italia y Francia, donde se transmite a tasas que, reflejadas a un ancho de banda de 6 MHz, son de entre 18,09 y 20,35 Mbps.

El caso particular del Reino Unido tiende a ser usado fuera de contexto para argumentar la presunta inadecuación de DVB-T para transmitir a tasas que permiten alta definición. La quiebra del operador ONDigital (y luego ITV) en el año 2002, lo llevó a cambiar su modelo de negocio y su selección de parámetros. A pesar que a menudo se sugiere que esta quiebra se debería a razones técnicas, lo cierto es que las razones fundamentales no fueron técnicas (aunque sí hubo problemas de esta índole, como se explica a continuación), sino que principalmente que el modelo utilizado antes de la quiebra era uno de pago, en directa competencia con Sky, sistema satelital que proveía un servicio mucho mejor, ofreciendo cerca de 200 canales, antena satelital gratis e instalación gratis del set-top box, por el mismo precio de ONDigital, que daba un mal servicio, principalmente desde el punto de vista comercial y de prestaciones<sup>18</sup>. Además, había desinformación acerca de quiénes eran clientes, lo cual hacía imposible cobrar en muchos casos. Posteriormente a la quiebra, el operador renació, con una fuerte campaña y en condiciones que permitieron un rápido crecimiento: servicio gratis; set-top boxes a precios de 29 libras y televisores digitales a 350 libras; fuerte promoción por parte de la BBC; atractivos programas, etc<sup>19</sup>.

Respecto de los problemas técnicos, si bien es cierto que las transmisiones a 64-QAM previas a la quiebra de ITV tuvieron problemas de recepción en localidades apartadas, ello

---

<sup>16</sup> <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2006/01/12104731/6>

<sup>17</sup> Cabe mencionar que en el reino Unido se están actualmente utilizando transmisiones en 16QAM y en 64QAM. OFCOM espera que todas las transmisiones sean de 64QAM.

<sup>18</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/ITV\\_Digital](http://en.wikipedia.org/wiki/ITV_Digital),  
<http://www.transdiffusion.org/emc/insidetv/future/merger.php>,  
<http://news.bbc.co.uk/1/hi/business/1897316.stm>

<sup>19</sup> <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2006/01/12104731/6>



se debió a que la potencia de transmisión utilizada por ITV era relativamente pequeña, debido a una excesiva limitación regulatoria, la cual pretendía evitar posibles interferencias con otros países, en las transmisiones realizadas en la costa sur de Inglaterra<sup>20,21</sup>. Como hemos visto, la potencia debe ser adecuada a los parámetros y la cobertura deseada, cosa que no sucedía en este caso. Para corregir este defecto, en vez de aumentar la potencia, se cambió el modo a 16-QAM, que requiere S/N más bajas y, por consiguiente, potencias menores.

Finalmente, debe agregarse que en el Reino Unido, a la fecha<sup>22</sup>, se anticipa que los seis múltiplex transmitan en 64-QAM, modo 8k, codificación 2/3 posteriormente al apagón analógico. Ello muestra que, en ese país, no se considera que los modos con alto número de bits por símbolo tengan restricciones técnicas de calidad.

En los casos de Italia y Francia, no ha habido problemas con los parámetros seleccionados ni con la tasa resultante (equivalente a tasas de 18,09 y 20,35 Mbps en Italia y 18,09 en Francia (en este caso, televisión libre de pago con MPEG-2 y de pago con MPEG-4), si se considera 6 MHz de ancho de banda), al menos de acuerdo a un completo reporte sobre el tema realizado por la empresa consultora Analysys, en octubre del año 2005<sup>23</sup>. Como es natural, en estos países, como en la mayoría de los países de Europa, no se espera cubrir con el servicio al 100% de la población, sino que un porcentaje alto, considerando que cubrir un 100% no es costo-eficiente y debido al hecho que transmisiones satelitales permiten la cobertura adicional. Ello no se debe a que el sistema de televisión digital terrestre no sea capaz de proveer esta cobertura, sino que simplemente a que hay localidades donde es posible lograr cobertura a menor costo con otras tecnologías. Excepciones pueden ser países como Suecia y Finlandia (ambos transmitiendo, por cierto, a 64-QAM, con tasas de 22,12 Mbps en 8 MHz, pues no transmiten programas en alta definición), en donde se requiere mayor cobertura del sistema terrestre pues los satélites no son capaces de alcanzar latitudes muy boreales.

---

<sup>20</sup> <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2006/01/12104731/6>

<sup>21</sup> annexes\_to\_the\_final\_report\_on\_dtt\_for\_the\_ec\_as\_sent\_04\_10\_05, página 16.

<sup>22</sup> OFCOM: *Digital Switchover Transmitter Details, Border Region*. 5 de Abril de 2007, <http://www.ofcom.org.uk/tv/ifi/tech/dsodetails/>

<sup>23</sup> annexes\_to\_the\_final\_report\_on\_dtt\_for\_the\_ec\_as\_sent\_04\_10\_05



Es interesante mencionar, que una comparación de las coberturas de ATSC, ISDB-T y DVB-T fue realizada en la práctica en Brasil<sup>24</sup>, mostrando que ninguno de los estándares provee coberturas del 100%, concluyéndose en todo caso, que la de DVB-T es mejor. Más detalles, se entregan en la Sección 4.

Otra referencia que se ha utilizado incorrectamente para mostrar que, en transmisiones prácticas de DVB-T, se debería seleccionar parámetros que impliquen tasas de datos menores a 13,57 Mbps, han sido las recomendaciones de la European Broadcasters Union (EBU). Se ha mencionado que esta organización habría recomendado transmitir con “robustez moderada o alta, QPSK o 16-QAM, con tasas de codificación de 1/2, 2/3 o 3/4”. Lo cierto es que **esta recomendación específica** es parte de la Sección titulada “*What particular aspects have to be taken into account when aiming at DVB-T portable indoor reception?*” y se refiere a las condiciones que permiten **reducir la potencia manteniendo la recepción adecuada en equipos portátiles<sup>25</sup> en interiores**, condiciones que son más exigentes que las que necesarias para recepción fija<sup>26</sup>. Esta recomendación, por cierto, no se contradice con el recurso de aumentar la tasa de datos transmitida mediante un incremento de la potencia transmitida, como se ve en la siguiente Sección.

#### 4. *Potencia de transmisión necesaria en los estándares DVB-T y ATSC*

Se ha mencionado en repetidas oportunidades que el estándar ATSC tiene ventajas energéticas con relación al estándar DVB-T. Para ello se cita la documentación técnica correspondiente, incluyendo algunos trabajos que han evaluado teóricamente el comportamiento de los estándares.

---

<sup>24</sup> Antonio Claudio França Pessoa, Report on the Analysis of the Lab And Field Tests of Digital TV Systems Performed in Brazil, PD.33.PS.E1A.005A/RT-01-AA. Destacamos que la ecualización en ATSC ha evolucionado desde el momento en que estas pruebas fueron hechas.

<sup>25</sup> En el mismo documento se define portátil como un aparato que tiene una antena integrada. Ver nota al pie en página 9.

<sup>26</sup> *EBU Guidelines for the RRC-06*, EBU I37 – 2006, 65 pages



## 4.1. Comparación de ambos estándares en igualdad de condiciones.

El estándar ATSC, de parámetros y tasa de datos fijos, utiliza para definir la potencia mínima de señal que genera una imagen estable, el concepto derivado de mediciones subjetivas (esto es de apreciaciones de los usuarios) denominado Umbral de Visibilidad (*Threshold of Visibility*, TOV), que se puede asociar a una probabilidad de error en los bits de aproximadamente  $3 \times 10^{-6}$  a la salida del decodificador interno en el receptor. Este umbral de S/N, para un canal Gaussiano (**sin multitrayectoria**, ver Sección 3.2), ha sido determinado **teóricamente** en 14,9 dB (comparar con Tabla 5).

Por otra parte, el estándar DVB-T requiere la S/N correspondiente a los parámetros de transmisión seleccionados, como se ha indicado en la sección anterior. Una comparación en igualdad de condiciones indica que se debiese seleccionar parámetros que permitan una tasa de datos equivalente en ambas normas. Observando la Tabla 5, se puede ver que los modos de DVB-T que permiten dicha tasa y sus S/N asociados **simulados**, para canal Rice (**con multitrayectorias**, caso más realista, ver Sección 3.2) son los siguientes (ver Tabla 5):

**Tabla 7:** Modos de transmisión de DVB-T con tasa mayor a 19,39 Mbps y S/N necesarias.

Número de símbolos	Codificación	Intervalo(s) de guarda	Tasa (Mbps)	S/N (dB) Canal Rice
64-QAM	$\frac{3}{4}$	1/16	19,76	18,6
		1/32	20,35	
	$\frac{5}{6}$	1/8	20,735	20,0
		1/16	21,955	
		1/32	22,620	
	$\frac{7}{8}$	1/4	19,595	21,0
		1/8	21,772	
		1/16	23,053	
		1/32	23,751	

Fuente: extraído de Tabla 5

Para lograr una comparación de desempeño justa, estos valores de S/N deben ser compensados por las diferencias de contexto para el cual están calculados. En primer lugar, el estándar DVB-T (así como el ISDB-T), definen la razón señal a ruido mínima como



aquella que entrega una probabilidad de error de  $1 \times 10^{-11}$  a la salida del decodificador en el receptor, condición denominada Casi Libre de Errores (QEF). La operación QEF de DVB-T es más estricta (tolera menos errores) que el punto de operación TOV de ATSC. Para conocer la S/N que DVB-T requiere para operar en el TOV, se debe quitar (bonificar con) 1,3 dB a la S/N de DVB-T listadas en las Tablas 5 y 7<sup>27</sup>.

Por otra parte, existe la llamada pérdida de implementación, que se produce por los errores debidos a aproximaciones y cálculos usando punto fijo en el procesamiento matemático en los microchips de los receptores, y por la operación no ideal de algoritmos de sincronización (todos los estándares), ecualización (ATSC), etc. La pérdida de implementación total de DVB-T es de aproximadamente 2 dB<sup>28</sup>, mientras que en ATSC la pérdida *sin considerar el ecualizador* es de unos 0,5 dB<sup>29</sup>. La pérdida de implementación del ecualizador en ATSC no ha sido dimensionada, y es información que los fabricantes en general guardan confidencialmente.

Finalmente, puesto que la S/N en ATSC se reporta para un canal Gaussiano, se debe agregar 1,3 dB para llevarlo a un canal tipo Rice, lo cual asume un ecualizador ideal que no tiene la pérdida de implementación señalada anteriormente<sup>30</sup>. En el caso DVB-T, la S/N ya se reporta en un canal Rice, de modo que no es necesaria esta conversión.

En resumen, los valores de S/N son los siguientes, considerando para DVB-T la configuración generalmente aceptada como equivalente a ATSC en términos de codificación<sup>31</sup>:

---

<sup>27</sup> Yiyang Wu et al., 2000, "Comparison of Terrestrial DTV Transmission Systems", *IEEE Transactions on Broadcasting* **46** (2) 101 – 113. Pruebas prácticas realizadas por BBC dan para esta cifra valores más cercanos a los 2,2 dB. Ver documento base.

<sup>28</sup> Citamos aquí el trabajo de Yiyang Wu y utilizamos el valor allí indicado. Sin embargo, debe mencionarse que este valor es una estimación y otras referencias sitúan la diferencia más cerca de 1,5 dB.

<sup>29</sup> Yiyang Wu et al., 2000, "Comparison of Terrestrial DTV Transmission Systems", *IEEE Transactions on Broadcasting* **46** (2) 101 – 113. Pruebas prácticas realizadas por BBC dan para esta cifra valores más cercanos a los 2,2 dB. Ver documento base.

<sup>30</sup> Ibid.

<sup>31</sup> Yiyang Wu et al., 2000, "Comparison of Terrestrial DTV Transmission Systems", *IEEE Transactions on Broadcasting* **46** (2) 101 – 113. Página 105.



<b>ATSC</b> (tasa=19,39 Mbps en 6 MHz):	
S/N base (TOV en canal Gaussiano)	14,9
Traducción tasa de error Gaussiano a Rice	+ 1,3
Pérdida de implementación (exceptuando ecualizador)	+ 0,5
<b>TOTAL</b>	<b>16,7</b>
<b>DVB-T</b> (tasa=19,76 Mbps en 6 MHz, 64QAM,3/4,1/16):	
S/N base (QEF en canal Rice)	18,6
Equivalencia QEF a TOV	- 1,3
Pérdida de implementación <sup>32</sup>	+ 2,0
<b>TOTAL</b>	<b>19,3</b>

Es decir, entre las S/N de ambos tipos de transmisión, **para iguales condiciones de robustez al ruido**, y asumiendo un receptor ATSC con un ecualizador ideal, hay una diferencia de de S/N requerida, en el umbral de visibilidad, de 2,6 dB. Esto es equivalente a **una razón teórica entre las potencias medias de transmisión necesarias de DVB-T y ATSC, de 1,81 veces**. En otras palabras, **teóricamente**, para cubrir con la misma tasa de datos una misma zona geográfica bajo propagación tipo Rice, una transmisión que en ATSC requiere 10 kW, en DVB-T requeriría 18,1 kW.

Por último, debe mencionarse que un error común es agregar al balance de S/N, la razón “peak-to-average ratio” (PAR) de las transmisiones de los distintos estándares. Esta razón corresponde al porcentaje en el cual la potencia de punta es mayor a la potencia media o promedio de una transmisión. Incluir el valor PAR al balance de S/N es un error, porque **la única potencia que tiene relación con la S/N es la potencia media**. La potencia de punta no tiene ninguna relación con la *calidad* de la transmisión<sup>33</sup>.

El valor PAR de las señales tiene relevancia, pero en otro contexto. Si comparamos el estándar DVB-T con ATSC en términos de razón potencia de punta a potencia media, para una misma potencia media transmitida, el transmisor DVB-T debe ser capaz de soportar una mayor potencia de punta. **Los únicos efectos de esta diferencia** tienen que ver con el diseño electrónico del transmisor y, eventualmente, con la eficiencia energética de éste. En efecto, para lograr la misma potencia media transmitida, un transmisor DVB-T debe estar

<sup>32</sup> Ibid.

<sup>33</sup> Yiyang Wu et al., 2000, “Comparison of Terrestrial DTV Transmission Systems”, *IEEE Transactions on Broadcasting* **46** (2) 101 – 113. Página 104.



diseñado para soportar peaks de potencia mayores que el transmisor ATSC. También, los filtros que atenúan las emisiones fuera de banda debieran ser mejores. Ello podría significar asimismo, que el amplificador de potencia deba ser más lineal (para no distorsionar dichos peaks) y, por consiguiente, menos eficiente. En consecuencia, el único efecto relevante que es consecuencia del mayor PAR de DVB-T (e ISDB-T) que ATSC, es el de aumentar el costo del transmisor y, eventualmente, aumentar el consumo de potencia en la estación transmisora<sup>34</sup>.

## 4.2. *Diferencias en la práctica.*

---

Los cálculos anteriores, que llevan a una diferencia de 2,6 dB entre los estándares, son resultado de consideraciones teóricas o de simulación. Además de la ya mencionada falta de cuantificación de la pérdida de implementación del ecualizador ATSC, tampoco se han considerado factores que pueden llegar a ser muy importantes, como las características del canal cuando la recepción es en interiores (canal Rayleigh), sin visibilidad directa entre las antenas transmisora y receptora y/o con rebotes múltiples. Estos aspectos son analizados en mayor detalle a continuación.

### 4.2.1. *Pruebas de Campo*

Una real estimación de las diferencias prácticas entre los estándares desde el punto de vista de las potencias y las coberturas, se puede obtener de las pruebas de campo realizadas en diversos lugares. Éstas, demuestran claramente el buen desempeño del estándar DVB-T, cuando se compara con ATSC en condiciones de funcionamiento similares, esto es con tasas de datos y potencias de transmisión equivalentes. Estas pruebas comparativas se citan aquí por ser las más recientes conocidas o de dominio público. Sin embargo, estas pruebas fueron realizadas en Febrero y Marzo de 2001 (Taiwán) y entre Octubre de 1999 y Abril del 2000 (Brasil). Ello significa que las conclusiones de estos estudios podrían ser distintas si las pruebas se hiciesen hoy en día, debido a la evolución que han tenido los distintos equipos receptores, principalmente los sistemas de ecualización de ATSC para tratamiento de multitrayectorias.

---

<sup>34</sup> Yiyang Wu et al., 2000, “Comparison of Terrestrial DTV Transmission Systems”, *IEEE Transactions on Broadcasting* **46** (2) 101 – 113.



Las pruebas realizadas en Taiwan<sup>35</sup>, compararon el desempeño de ATSC y DVB-T en tres tipos de ambientes: de recepción fija exterior (102 puntos), móvil (12 carreteras y calles) y en interiores (102 puntos). Los resultados en el primer ambiente indican que para ATSC la recepción es buena o muy buena (CCIR grado 3 o 4) en el 56,8% de los puntos, comparado con el 60,7% de DVB-T. La recepción falló (CCIR grado 0) en el 32,3% de los puntos en ATSC comparado con el 29,4% de DVB-T. Nótese que para ambos estándares se usó el mismo transmisor (de 5 KW). En el segundo ambiente (móvil), las mediciones indican la inhabilidad de ATSC para este tipo de recepción (CCIR grado 0 en la mayoría de las locaciones) frente a una recepción aceptable de DVB-T. Finalmente, en el tercer tipo de ambiente, el de interiores, ATSC consiguió una recepción buena (CCIR grado 3 o 4) en el 54,9 % de los puntos probados, comparado con el 85,3% de DVB-T.

En el caso de las pruebas realizadas en Brasil, estas se realizaron comparando los tres estándares. Para ATSC y DVB-T se utilizaron 5 receptores diferentes, mientras que para ISDB-T se utilizaron dos receptores<sup>36</sup>. Para los tres estándares se usó el mismo transmisor.

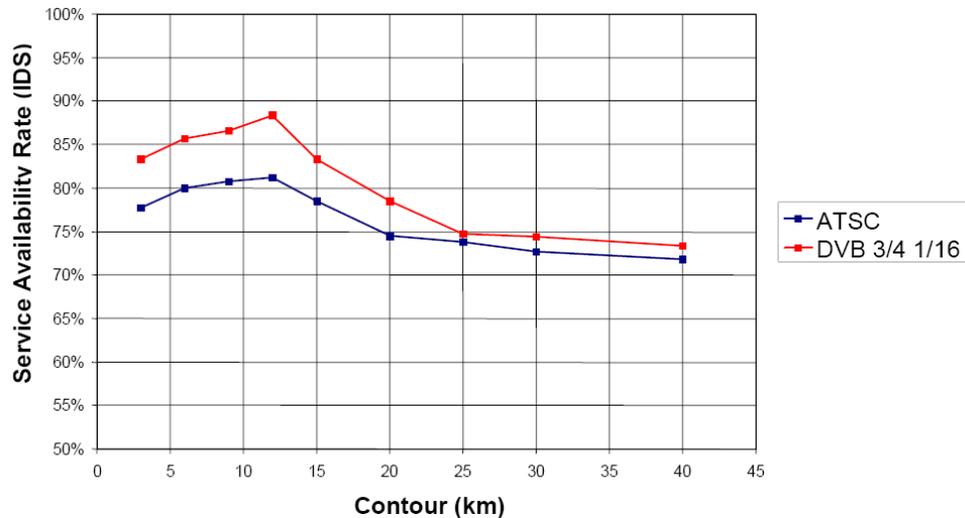
En la comparación entre ATSC y DVB-T, se supuso que las S/N mínimas requeridas para una adecuada recepción eran las teóricas con canal Gaussiano de ambos estándares, que en el estudio se supusieron de aproximadamente 14,6 dB para ATSC y 18,9 para DVB-T con codificación 3/4, intervalo de guarda 1/16 y configuración de 2 mil portadoras. Aún así, en recepción fija exterior, DVB-T superó a ATSC en términos de proporción de lugares en los cuales la S/N recibida superaba la S/N mínima teórica necesaria respectiva, en todas las distancias medidas según se puede apreciar en la siguiente figura<sup>37</sup>.

---

<sup>35</sup> C.-F. Huang, T.N. Chang and C.-Y. Hsu, Field evaluations in Taiwan of the DVB-T COFDM and ATSC 8-VSB digital TV systems, EBU Technical Review, July 2003

<sup>36</sup> Antonio Claudio França Pessoa, Report on the Analysis of the Lab And Field Tests of Digital TV Systems Performed in Brazil, PD.33.PS.E1A.005A/RT-01-AA.

<sup>37</sup> Ibid. página 115.



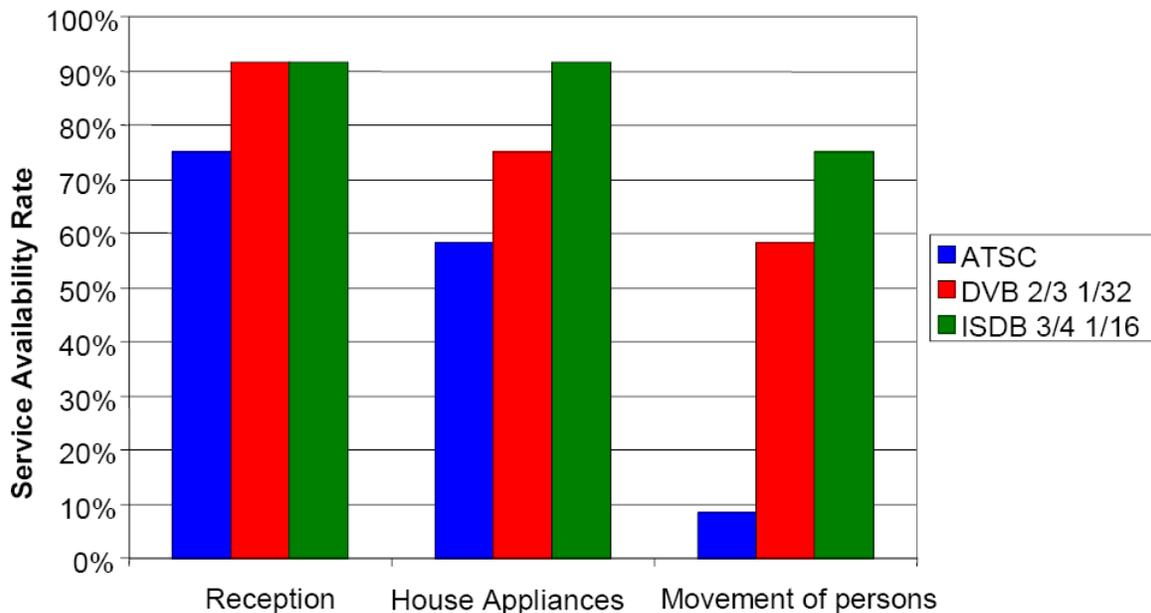
Fuente: Pessoa: Report on the Analysis of the Lab And Field Tests of Digital TV Systems Performed in Brazil, pp115.

Figura 1: Comparación de estándares ATSC y DVB-T en pruebas realizadas en Brasil.  
Recepción fija exterior.

En esta figura, “Service Availability Rate” es el porcentaje de puntos de medida, en un contorno cuya distancia al transmisor es la indicada en el eje horizontal, en los cuales se superó la S/N mínima requerida para recepción adecuada, en cada estándar. Esta estadística corresponde a 124 puntos de medida, con recepción fija exterior..

La recepción cualitativa en interiores, medida sobre un conjunto reducido, de 12 mediciones, también mostró una mayor robustez de DVB-T respecto de ATSC, en situación normal, con ruido de impulso (artefactos caseros) y con movimiento de personas en el recinto, según se aprecia en la figura siguiente<sup>38</sup>:

<sup>38</sup> Ibid. página 159.



Fuente: Pessoa: Report on the Analysis of the Lab And Field Tests of Digital TV Systems Performed in Brazil, p159.

Figura 2: Recepción en interiores en distintas condiciones, de los estándares ATSC, DVB-T e ISDB-T en las pruebas de Brasil.

Las pruebas de recepción móvil sólo se realizaron con los estándares DVB-T e ISDB-T, dado que ATSC no es capaz de operar bajo esas condiciones.

#### 4.2.2. Ensayos de laboratorio de decodificadores ATSC

Puede verse que en las pruebas de campo, que han utilizado transmisiones realizadas con el mismo equipamiento (transmisor, amplificadores, antenas, etc.) e igual potencia transmitida, la ventaja teórica de ATSC concluida en la Sección 4.1 no se traduce en una mayor robustez o mayor alcance de la señal. El mayor responsable de esta aparente disparidad es la pérdida de implementación del ecualizador ATSC: es el único elemento relevante que ha sido dejado fuera del análisis anterior. El objetivo de esta sección es ilustrar la pérdida de implementación que puede ser esperada de decodificadores ATSC, a partir de mediciones de laboratorio realizadas con algunos equipos específicos. En efecto,



existen documentos<sup>39,40,41</sup> que resumen resultados de laboratorio obtenidos por el *Communications Research Centre Canada* para tres decodificadores distintos (de tres fabricantes diferentes) bajo modelos de canal que han llegado a ser conocidos como los “canales de Brasil”. Estos modelos incluyen un canal “benigno”, tres canales de complejidad creciente, y un canal que representa un escenario adverso<sup>42</sup>.

Los ensayos de laboratorio muestran claramente varios puntos fundamentales:

1. El desempeño de laboratorio de los tres decodificadores para canal Gaussiano muestra un TOV práctico para receptores de última generación entre 15,0 y 15,6 dB, comparado con los 14,9 dB teóricos.
2. La pérdida de implementación de decodificadores ATSC, de acuerdo a las últimas mediciones (año 2005) puede ser de hasta 4,7 decibeles sobre el valor TOV medido (15,0 decibeles), en condiciones de propagación adversas. Se considera que la geografía chilena provee este tipo de condiciones en una fracción no despreciable del área de cobertura nacional. Por lo tanto, el escenario adverso debe ser considerado cuidadosamente, puesto que en todos los casos en que la pérdida es superior a 2,6 decibeles, el desempeño de ATSC es incuestionablemente inferior al de DVB-T o ISDB-T.
3. La pérdida de implementación varía según fabricante. Puesto que este desempeño no se ajusta a ningún estándar, se dificulta la definición de políticas que protejan los intereses del consumidor (más sobre esto en la Sección 5.1).

---

<sup>39</sup> Communications Research Centre Canada, Laboratory Evaluation of a VSB Television Receiver for Terrestrial Broadcasting, agosto 2005, [http://www.crc.ca/files/crc/home/research/broadcast/samsung\\_lab\\_report.pdf](http://www.crc.ca/files/crc/home/research/broadcast/samsung_lab_report.pdf).

<sup>40</sup> Communications Research Centre Canada, Results of the Laboratory Evaluation of Zenith 5th generation VSB Television Receiver for Terrestrial Broadcasting, septiembre 2003, [http://www.crc.ca/files/crc/home/research/broadcast/zenith\\_lab\\_report.pdf](http://www.crc.ca/files/crc/home/research/broadcast/zenith_lab_report.pdf).

<sup>41</sup> Communications Research Centre Canada, RESULTS OF THE LABORATORY EVALUATION OF LINX ATSC PROTOTYPE RECEIVER WITH 8-VSB MODULATION FOR TERRESTRIAL BROADCASTING, abril 2002, [http://www.crc.ca/files/crc/home/research/broadcast/linx\\_lab\\_report.pdf](http://www.crc.ca/files/crc/home/research/broadcast/linx_lab_report.pdf).

<sup>42</sup> Henderson, J.G.N.; Bretl, W.E.; Deiss, M.S.; Goldberg, A.; Markwalter, B.; Muterspaugh, M.; Touzni, A., ATSC DTV receiver implementation, Proceedings of the IEEE, Volume 94, Issue 1, Jan. 2006 Page(s): 119 – 147.



4. Se observan mejoras con el pasar del tiempo, pero esto no constituye una garantía de desempeño para todos los decodificadores que estarán disponibles comercialmente en el futuro. Asimismo, es indudable que decodificadores más nuevos, con mejor desempeño, tengan un costo más alto.

### *4.3. Conclusiones respecto de la diferencia de potencias necesarias en ATSC y DVB-T.*

---

En conclusión, desde el punto de vista teórico, hay una ventaja de 2,6 dB de ATSC respecto de DVB-T, en términos de requerimiento de potencia para lograr una determinada cobertura. Sin embargo, las pruebas de campo realizadas indican que esta ventaja no se manifiesta en diferencias de cobertura estadísticamente significativas, lo cual se atribuye principalmente a la pérdida de implementación del ecualizador en equipos ATSC, la que no fue considerada en el análisis teórico.



## 5. Otros aspectos

---

### 5.1. Múltiples ecos de la señal (multitrayectorias, operación en frecuencia única) y ecualización.

---

Ya se ha hablado en la Sub-sección 3.3 de este documento sobre la forma en que las transmisiones en estándar DVB-T abordan este aspecto y de cómo el diseño de los ecualizadores en ATSC no está estandarizado y es definido por cada fabricante, por lo cual es difícil comparar ambos estándares si no es con pruebas en terreno. En el caso de ATSC, adicionalmente, se ha debido desarrollar varias generaciones de ecualizadores para ir mejorando su robustez ante multitrayectorias y operación en frecuencia única. La primera generación corresponde al año 1998, mientras que la quinta, al año 2004. Recientemente, en Abril de 2007, LG ha anunciado una sexta generación. Si bien es cierto que en cada una de las generaciones se ha logrado mejorar el comportamiento frente a multitrayectorias de la recepción ATSC, los fabricantes aseguraban que los ecualizadores habían resuelto el problema de las multitrayectorias y/o que habían alcanzado el rendimiento de DVB-T en términos de multitrayectorias, manteniendo la ventaja de potencia sobre este último estándar<sup>43</sup>. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos, ha persistido necesidad de seguir desarrollando generaciones posteriores, lo cual demuestra que el problema de ecualización no ha sido del todo resuelto.

Adicionalmente, las últimas generaciones de ecualizadores son naturalmente más caras pues son más sofisticadas; incluso, ante la aparición de la sexta generación, hay opiniones<sup>44</sup> en el sentido que el precio de los televisores ya es tan alto, que quienes pueden pagarlo, también pueden pagar la conexión al cable, lo cual haría dudoso el éxito comercial de la televisión abierta basada en ATSC con ecualizadores de la última generación, al menos en un futuro cercano.

---

<sup>43</sup> Ver, por ejemplo, para la tercera generación: Eory, F. 2000, Comparison of Adaptive Equalization Methods for the ATSC and DVB-T Digital Television Broadcast Systems, Proceedings of the 2000 Third IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems. Cancún, Mexico, March 2000.

<sup>44</sup> W. S. Ciciora, 2007. ICCE: A peek at the future of consumer electronics, <http://www.cedmagazine.com/article.aspx?id=137546>



Finalmente, como se ha indicado en el documento base, un punto no resuelto es el de la falta de información al consumidor sobre la generación de ecualizador que se incluye en cada receptor o set-top box. Más aún, en ATSC no existe una normalización ni definición oficial de las distintas generaciones. Ello dificulta cualquier posibilidad de considerar una política de etiquetado de los receptores con el fin de informar al usuario final. Esta falta general de información y estandarización de ecualizadores puede llevar a que, aún si se acepta que los ecualizadores más sofisticados solucionan el problema de las multitrayectorias, quienes quieran adquirir un televisor barato, estén comprando uno con un ecualizador más barato y menos sofisticado, viéndose obligados a solucionar el problema de recepción mediante costosos mástiles y antenas exteriores<sup>45</sup>. Repetimos nuestra observación del informe base, en cuanto que esto es un potencial problema en Chile, por el comportamiento del consumidor y los distribuidores.

## *5.2. Movilidad.*

---

Respecto de la capacidad que tienen los distintos estándares para proveer servicios a equipos móviles y portátiles, en opinión de los autores este tema ya se ha discutido suficientemente. El hecho concreto es que, si bien es cierto que con el estándar DVB-T, transmitir a móviles implica destinar parte del ancho de banda a ese uso, ATSC sencillamente no permite esta opción. Por lo tanto, no hay discusión posible.

---

<sup>45</sup> <http://www.avforum.com/avs-vb/printthread.php?t=841211&pp=60>