

Cuantificación de los TVWS en México .

(working paper)

Cuevas-Ruíz, J.L.
Centro de Estudios
Instituto Federal de Telecomunicaciones, México
E-mail: jose.cuevas@ift.org.mx

I. INTRODUCCIÓN

El incremento de las aplicaciones móviles está generando cada vez más mayor demanda de espectro. Técnicas cognitivas y la introducción de mejores estrategias de espectro son algunas de las alternativas que se presentan para hacer frente a esta creciente demanda. La gestión basada en el desarrollo de usuarios secundarios que permita hacer uso de los espacios blancos en la Televisión (TVWS), representa una alternativa que está siendo analizada y evaluada alrededor del mundo. Una de las principales ventajas de las transmisiones que operan en la banda de la TDT (Televisión Digital Terrestre) es que presenta mejores condiciones de propagación que las frecuencias en donde opera WiFi y sistemas de 3G y 4G arriba de 1 GHz. Algunas de las aplicaciones propuestas para los TVWS incluyen enlaces de última milla para banda ancha en ambientes urbanos, acceso de banda ancha en zonas rurales, agregación de portadoras en 4G, Internet de Todo (IoE) y redes de sensores inalámbricos. En la implementación de redes secundarias haciendo uso de TVWS uno de los factores críticos a regular son los niveles de interferencia que los usuarios de estas redes puedan generar en perjuicio de los usuarios primarios (aquellos que poseen la licencia para hacer uso de estas frecuencias).

Respecto a la gestión para el uso de los TVWS, este se puede analizar básicamente desde dos puntos de vista haciendo uso de técnicas de Radio Cognitiva: Sensado de Espectro (para detectar los espacios o huecos a usar en tiempo real) y el uso de base de datos geo-localizadas. En la primera opción, un dispositivo (WSD) que opera haciendo uso de TVWS detecta el canal sin usar sensado del medio antes de proceder a su uso. La otra alternativa plantea que un WSD accede a una base de datos donde se encuentran registrados los canales o espacios disponibles para la zona donde se encuentre geo-localizado el usuario secundario. Esta información es calculada haciendo uso de modelos de propagación; uno de los métodos de análisis de propagación de la señal más comúnmente usados para estas aplicaciones es el conocido como Longley-Rice, que toma en cuenta la orografía del terreno entre otros varios factores.

Respecto a la regulación de los TVWS, la FCC ha establecido reglas para el acceso secundario para usuario sin licencia [1]; del mismo modo, el regulador del Reino Unido, (Ofcom), también ha llevado a cabo trabajos relativos al uso de los TVWS sin licencia [2]. En ambos casos el uso de bases de datos geo-localizadas se menciona como la principal opción

para gestionar los TVWS y prevenir interferencias a los usuarios de la TV.

A nivel mundial, a partir del apagón analógico en la TV abierta, se han identificado bandas sin usar en determinadas localizaciones geográficas, en las bandas VHF/UHF para nuevos propósitos. Actualmente, alrededor del mundo se han llevado a cabo estudios y proyectos relativos a la cuantificación de los TVWS disponibles en varios países [3][4][5], indicando las posibles aplicaciones o usos que se le podría dar a este espectro. En México no existe todavía información acerca de la cantidad de espacio que pudiera estar disponible, una vez que en el 2015 se terminó el proceso de conmutación de analógico a digital en la TV abierta.

En el este artículo se presenta una estimación cuantitativa del espectro disponible por medio de los TVWS en la banda de UHF destinada para la Televisión Digital Terrestre.

El presente documento se organiza de la siguiente manera: en la sección II se detalla la definición de los TVWS en el marco de la red de TDT, definiendo condiciones de operación para los usuarios primarios. En la sección III se especifica el procedimiento utilizado para la cuantificación de los TVWS para México, haciendo uso de modelos de propagación y bajo las restricciones de las recomendaciones existentes. La cuantificación de los TVWS por estado y regiones es mostrada en la sección IV y en la última sección se dan algunas conclusiones del trabajo.

II. TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT). DEFINICIÓN DE TVWS.

A finales del 2015, en México se culminó el denominado apagón analógico [6]; con esto, se puso en marcha de manera íntegra la red de Televisión Digital Terrestre (TDT). Las emisiones de los transmisores de cada uno de los canales digitales que integran la red de TDT se encuentran geográficamente entrelazadas, dejando espacios libres entre sus áreas de cobertura, con la finalidad de evitar interferencias; estos espacios, son los que potencialmente pueden llegar a ser identificados como espacios blancos (TVWS). Figura No.1.

Son varias las metodologías encaminadas a dimensionar la cantidad de espacios libres y con ello, el volumen de espectro disponible haciendo uso de estos TVWS (6 MHz por canal). En la presente investigación se aplica la normatividad definida en [4], donde se detallan y muestran los resultados obtenidos para USA, de acuerdo con lo establecido por la FCC.

La red de TDT esta compuesta de transmisores distribuidos a lo largo del país; cada torre de transmisión esta definida por sus propias características técnicas de operación (potencia de Transmisión, altura de la antena, frecuencia, etc). Haciendo uso de estas características técnicas, y mediante el uso de modelos de propagación, es posible obtener el área de cobertura para cada canal; en el proceso de determinación del radio máximo de cobertura de cada una de estas torres de transmisión, la FCC recomienda agregar una distancia adicional a la obtenida por los métodos de propagación recomendados, como margen de protección para el usuario primario. Figura No. 2. Todas las normatividades relativas a la identificación y cuantificación de los TVWS hacen un especial énfasis a mantener en valores mínimos la interferencia hacia los usuarios primarios.

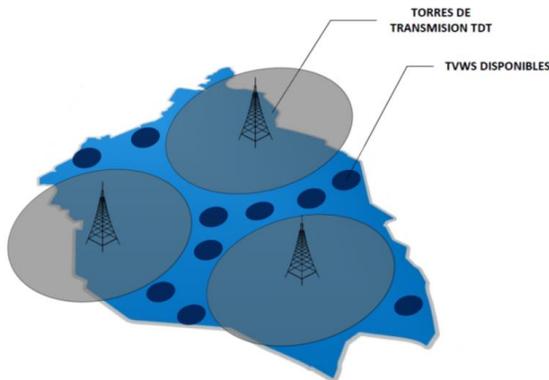


Figura No. 1. Identificación de TVWS.

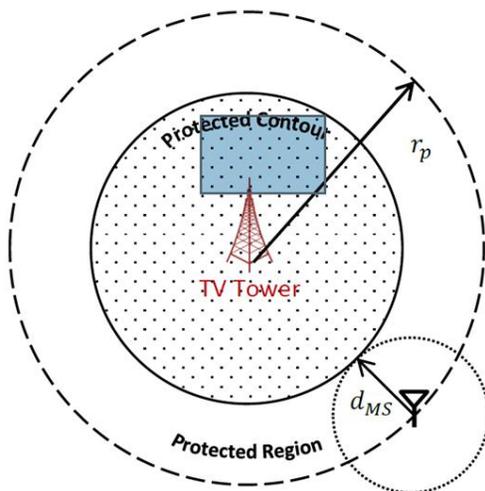


Figura No. 2. Margen de protección para el usuario primario.

De acuerdo con la FCC y la sensibilidad promedio de los receptores primarios de TDT, el radio de la región de protección que se adiciona al margen de cobertura definido en [1]; este margen permite reducir lo que se conoce como Interferencia cocanal. Adicionalmente, y con el objeto de reducir aún más la posible interferencia hacia los usuarios primarios, se identifican los canales adyacente al canal ocupado por el usuario principal, y se determina cierto

margen de distancia adicional al radio de cobertura de los usuarios primarios. Con esta medida, se reduce lo que se conoce como interferencia adyacente. De este modo, si el usuario primario opera en la frecuencia del CH 41 (632-638 MHz), dentro del área de cobertura de este canal un usuario secundario no podrá hacer uso de esta frecuencia, además de que deberá considerar el margen de distancia adicional mencionado anteriormente; del mismo modo los canales adyacentes (CH 40 y CH42) podrán ser utilizados como TVWS definiendo también su distancia de guarda desde el punto máximo de cobertura del usuario principal.

Para llevar a cabo la estimación de los espacios blancos disponibles, se contabiliza la totalidad de los canales primarios de la TDT, determinando el área de cobertura de cada uno. Para esto se hace uso de los datos disponibles en [7], donde están disponibles datos como la localización geográfica del transmisor, potencia de radiación, altura de la antena, entre otros datos.

III. METODOLOGÍA

De acuerdo con [8], en México, los concesionarios y permisionarios de Televisión deberán ofrecer el servicio de TDT en la ciudad principal a servir con un nivel de intensidad de campo $F(50,90)$ (implica que los valores de los parámetros de operación se deben cumplir cuando menos en el 50% de las localidades, el 90% del tiempo), con una potencia mínima de recepción de 48 dBu para la banda de los canales 14 al 51. La distancia en cada radial al sitio del transmisor será determinada utilizando el método de predicción Longley-Rice [9] para situaciones promedio.

De este modo, se obtuvieron los mapas de cobertura para cada una de las estaciones transmisoras en cada uno de los estados de la república; para ello se aplicó el ya citado método de Longley-Rice, haciendo uso de la herramienta en línea definida en [10]; este modelo, también conocido como ITM (Irregular Terrain Model), predice las pérdidas promedio para frecuencias entre 20 MHz y 40 GHz, y para trayectorias entre 1 y 2000km. Como ejemplo de las áreas de cobertura obtenidas, en la Figura No. 3 se muestra el mapa de cobertura para el canal 41, cuya torre de transmisión esta localizada en la ciudad de Aguascalientes. En la Figura No.4 se muestra el perfil de los niveles de atenuación de la señal para el mismo canal, solo que aplicado a la ciudad de Oaxaca. En el perfil de atenuación, se indica el nivel de potencia de referencia de 48dBu, que corresponde a una distancia de cobertura de aproximadamente 325 Km.



Figura No. 3. Área de cobertura para el canal 41 en la Cd de Aguascalientes.

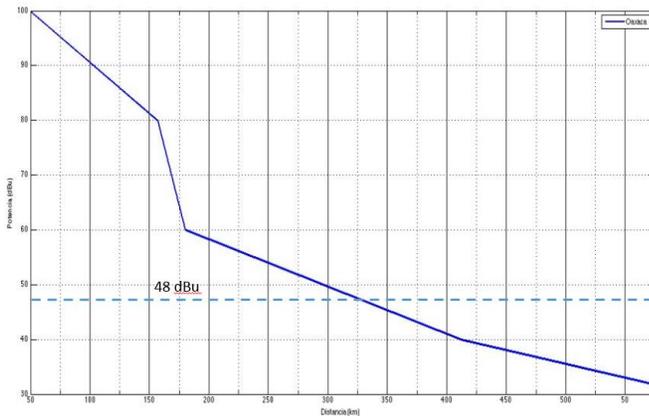


Figura No. 4. Perfil de atenuación obtenido haciendo uso del método de Longley-Rice.

Para el proceso de identificación y cuantificación de los TVWS disponibles, se tomó una muestra de 32 ciudades distribuidas a lo largo del país, procediendo de la siguiente manera:

- Se determinan las áreas de cobertura para los canales de la TDT en cada estado, aplicando el método de predicción de Longley-Rice. En la Tabla No.1 se muestra el número de torres de transmisión (canales) que se encuentran en cada estado.

Estado	No. Canales	Estado	No. Canales
Ags	7	Mor	5
BC	16	NL	21
BCS	12	Nay	11
Campeche	11	Oax	29
Chihuahua	26	Puebla	7
Chiapas	30	Q. Roo	9
Coah	24	Qro	7
Colima	12	SLP	15
Cd de Méx	14	Sin	14
Dgo	15	Son	39
Gro	17	Tab	12
Gto	26	Tamps	24
Hgo	13	Tlaxc	5
Jal	18	Ver	21
Edo Mex	11	Yuc	9
Mich	27	Zac	16

Tabla No. 1. Canales de la red de TDT por estado.

Para cada uno de los canales en cada estado se obtiene el nivel de atenuación de la señal de acuerdo a la siguiente expresión definida por el método de Longley-Rice:

$$W(t, \ell, s) = w_0 + y_s(s) + \delta_L(s)y_L(\ell) + \delta_T(s)y_T(t)$$

Donde W es la atenuación total, w_0 representa la atenuación en el espacio libre, y las variables aleatorias $y_s(s)$, $y_L(\ell)$ y $y_T(t)$ representan las atenuaciones debidas a condiciones topográficas del lugar, cambios atmosféricos y localización de t_s/r_s , respectivamente [9]. La variable δ representa las desviaciones que los niveles de atenuación pudieran presentar. De este modo, la distancia de cobertura máxima, $d_{max}(W)$, se define como la distancia entre el punto de localización de la torre transmisora del canal (lat_{chi} , $long_{chi}$), donde el subíndice i indica número de canal ($14 \leq i \leq 51$), y el punto donde se reciba la señal a una potencia de 48dBu. (Ver Fig. No. 4).

- Para determinar si una ciudad esta dentro del área de cobertura de alguno de los i -ésimos canales, se calcula la distancia entre el punto de localización, $P_{chi}(lat_{chi}, long_{chi})$, de la torre de transmisión del canal i y las coordenadas correspondientes a la ciudad en cuestión, $P_c(lat_c, long_c)$, de la c -ésima ciudad. Para la obtención de esta distancia d_{ic} se hace uso de la relación dada por la función del Haversine, que permite obtener la distancia entre dos puntos localizados sobre la superficie terrestre, definidos por sus respectivas coordenadas geográficas. Esta función esta dada por:

$$\begin{aligned} & \text{haversin}\left(\frac{d_{ic}}{R}\right) \\ &= \text{haversin}(lat_{chi} - lat_c) \\ &+ \cos(lat_{chi}) \cos(lat_c) \text{haversin}(\Delta\lambda) \end{aligned}$$

donde

$$haversin(\theta) = \left(\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \right)^2$$

d_{ic} = distancia entre transmisor i y ciudad c .

R = radio de la tierra.

$\Delta\lambda$ = diferencia de longitudes

- Paralelamente, para cada uno de los canales principales, se declara una distancia de guarda (d_{marp}) desde el punto de cobertura máximo; dentro de este margen, la frecuencia del canal ocupado tampoco podrá ser utilizada. (Para evitar interferencia co-canal, de acuerdo con la FCC). Figura No. 2. De este modo, la frecuencia del canal principal no podrá ser identificada como TVWS para ningún punto que se encuentre a una distancia menor de $d_{cob} = d_{maxi} + d_{marp}$.
- Así mismo, se declara una distancia de guarda (d_{mara}) donde los canales adyacentes al canal del usuario primario tampoco podrán ser usados (Para evitar interferencia adyacente, de acuerdo con la FCC).
- Para determinar si la ciudad de la muestra se encuentra dentro de la zona de cobertura del canal evaluado, se compara la distancia d_{ic} con la distancia de cobertura d_{cob} ; si la primera es mayor que la segunda, entonces se identifica a la frecuencia del canal i como TVWS; de lo contrario se declara como canal ocupado por un usuario primario y no podrá ser identificado como TVWS para la ciudad en cuestión.

$$d_{ic} > d_{cob} \Rightarrow \text{frecuencia } i \text{ es TVWS para ciudad } c$$

$$d_{ic} < d_{cob} \Rightarrow \text{canal ocupado por usuario primario}$$

- El procedimiento descrito para evaluar a cada una de las ciudades de la muestra, se aplica tanto para los canales transmitidos en el estado donde se encuentra la ciudad, como para los canales transmitidos desde algún estado vecino.
- Contabilizando los canales ocupados (tanto principales como adyacentes), es posible cuantificar el número de TVWS disponibles en cada punto geográfico de la muestra.

En la Figura No. 4 se muestran los resultados obtenidos para una de las ciudades de la muestra; se muestran los canales principales (26, 29, 30, 32, 35, 38 y 47), así como sus respectivos canales adyacentes (25, 27, 28, 31, 33, 34, 36, 37, 39, 46 y 48). Al mismo tiempo, se muestran los canales que son transmitidos desde estados vecinos y que podrían tener cobertura en la ciudad de interés. En el caso particular de la información que se muestra, la ciudad que se analiza es la ciudad de Aguascalientes, situada en el estado del mismo nombre; los estados colindantes son Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí y Jalisco; para todos estos estados se aplicó el método de propagación para valorar el nivel de cobertura sobre la ciudad de Aguascalientes. Como ya se mencionó, esto se repitió para cada una de las 32 ciudades de la muestra. Al final, se identifican 6 canales como TVWS (14, 21, 40, 41, 50 y 51), que arrojan un total de 36 MHz de espectro disponible.

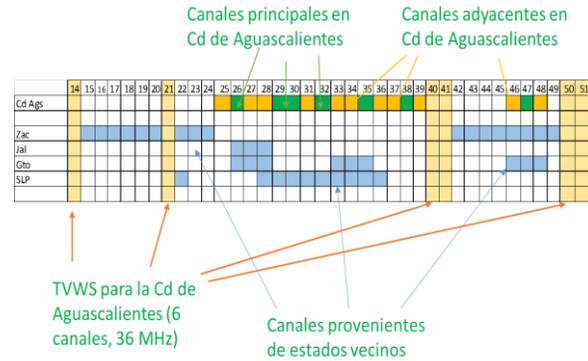


Figura No. 4. Identificación de TVWS para la ciudad de Aguascalientes.

IV. CUANTIFICACIÓN DE LOS TVWS.

Una vez evaluados los niveles de cobertura de las 32 ciudades de la muestra, es posible cuantificar el número de TVWS por cada una de estas ciudades (Anexo I). De los resultados de las coberturas de las ciudades mencionadas, se estima el número de canales de la TDT que pueden identificarse como TVWS para cada estado; considerando que cada canal representa un ancho de banda de 6 MHz, los resultados de esta estimación se muestran en la Figura No 5.

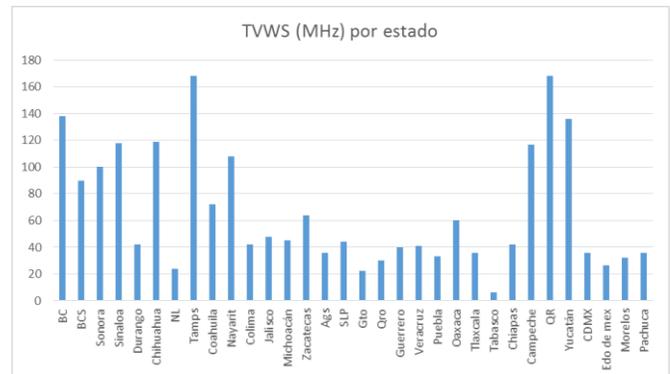


Figura No. 5. Ancho de banda disponible por estado haciendo uso de los TVWS.

Para estimar la capacidad del ancho de banda disponible por medio de los TVWS en cada una de las regiones y haciendo uso del Teorema de Shannon, se calculó la tasa de transmisión para un canal de 6 MHz, asumiendo un transmisor con un EIRP de 40 mW, con una altura de antena de 10m [ITU-802.22].

Como ya se mencionó, es posible definir redes con áreas de cobertura en función de los niveles de interferencia que permitan los usuarios primarios. En la Tabla No. 2 se muestran los radios máximos y las tasas alcanzadas, para un canal de 6 MHz.

Path Loss (dB)	Cobertura (km)	DL (Mbps)
120	2	23.32
125	2.6	20.08
130	3.2	16.85
135	4	13.63
140	5.2	10.43
145	6.5	7.34
150	8.3	4.52
155	10.3	2.3

Tabla No. 2. Cobertura y velocidad de transmisión para un canal de 6 MHz.

Con la idea de dimensionar el espacio disponible estimado haciendo uso de los TVWS, se muestra una comparación con el espectro que en México se tiene asignado para IMT. La cobertura de la red de telefonía celular en México esta dividida en 9 regiones, donde cada región esta formada por un determinado número de estados. Usando los datos obtenidos, se llevó a cabo una estimación del ancho de banda disponible por medio de los TVWS para cada una de estas regiones. En la Tabla No.3 y en la Figura No. 6 muestran los valores del ancho de banda para cada caso.

Region	TVWS (MHz)	BW IMT (MHz)
1	109.20	302.95
2	106.00	312.45
3	96.86	316.87
4	76.50	313.87
5	48.00	313.45
6	43.20	318.95
7	39.43	313.70
8	100.00	315.45
9	25.09	321.87
Average	71.59	314.40

Tabla No. 3. Ancho de banda para IMT y TVWS para cada una de las regiones celulares.

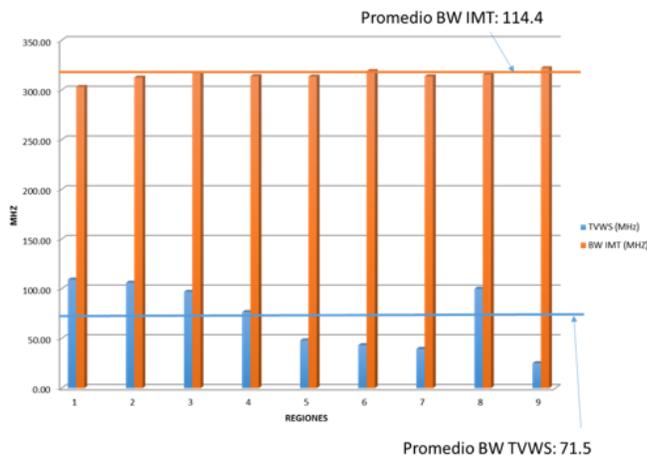


Figura No. 6. Ancho banda para IMT y TVWS.

VI. CONCLUSIONS

Alrededor del mundo se están desarrollando estudios y pruebas de las posibles aplicaciones y desarrollos que podrían desarrollarse haciendo uso de los TVWS. Considerando algunas de las regulaciones y recomendaciones existentes, se presenta una aproximación al dimensionamiento del ancho de banda disponible para México.

REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission (FCC), "Second report and Order and Memorandum Opinion and Order in ET Docket Nos. 02-380 (Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900MHz and in the 3 GHz Band) and 04-186 (Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands)," FCC08-260 November 14, 2008.
- [2] Office of Communications (Ofcom), "Implementing Geolocation Summary of consultation responses and next steps". Ofcom statement, September 23, 2011.
- [3] M.Nekovee, "Cognitive Radio Access to TV White Spaces: spectrum Opportunities, Commercial Applications and Remaining Technology Challenges,". 2010 IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Singapore, April 2010.
- [4] S. M. Mishra and A. Sahai, "How much white space has the fcc opened up?" IEEE Communication Letters, 2010.
- [5] K. Patil, K. E. Skouby and R. Prasad, "Cognitive access to TVWS in India: TV spectrum occupancy and wireless broadband for rural areas," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2013 16th International Symposium on, Atlantic City, NJ, 2013, pp. 1-5.
- [6] <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicado125ift2.pdf>
- [7] <http://www.ift.org.mx/industria/infraestructura>
- [8] POLÍTICA PARA LA TRANSICIÓN A LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE. Capítulo I. Disposiciones Generales. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5359731&fecha=1/09/2014.
- [9] Longley-Rice model prediction inaccuracies in the UHF and VHF TV bands in mountainous terrain. Stylianos Kasampalis; Pavlos I. Lazaridis; Zaharias D. Zaharis; Aristotelis Bizopoulos; Lidija Paunovska; Spiridon Zettas; Ian A. Glover; Dimitrios Drogoudis; John Cosmas. 2015 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting.
- [10] <http://www.awe.communications.com/Propagation/Rural/ITM/index.htm>
- [11] B. Scott and M. Calabrese, "Measuring the TV 'White Space' Available for Unlicensed Wireless Broadband," New America Foundation, Tech.Rep., Jan. 2006.
- [12] R. Kennedy, K. George, O. Vitalice and W. Okello-Odongo, "TV white spaces in Africa: Trials and role in improving broadband access in Africa," AFRICON, 2015, Addis Ababa, 2015, pp. 1-5.
- [13] S. Kawade and M. Nekovee, "Is wireless broadband provision to rural communities in TV whitespaces viable? A UK case study and analysis," Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN), 2012
- [14] IEEE International Symposium on, Bellevue, WA, 2012, pp. 461-466.
- [15] https://radioamador.files.wordpress.com/2012/08/paper_cristiano_23_01_12.pdf.
- [16] M.A.N. Parks, S.R. Saunders and BG Evans. 2A Wideband Channel Model applicable to Mobile Satellite System at L and S band". Propagation Aspects of Future Mobile Systems, IEE Colloquium on. 1996.
- [17] Hong Shen Wang; Moayeri, N.; , "Finite-state Markov channel-a useful model for radio communication channels," Vehicular Technology, IEEE Transactions on , vol.44, no.1, pp.163-171, Feb 1995

