

Análisis de Implementación en Ecuador de Sistemas Basados en el Estándar IEEE 802.22

María Coronel., Luis Artieda., Francisco Novillo
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
{maraucor, lartieda, fnovillo}@espol.edu.ec

Resumen

Existen zonas que por su ubicación geográfica y reducido número de población, no resultan muy atractivas económicamente a los proveedores de servicios de Telecomunicaciones, principalmente debido al costo de despliegue de equipos y el pago de licencias de espectro para la prestación de servicios de sistemas inalámbricos. Por ello, existen sistemas que no requerirían de una licencia para operar y de esta manera poder reducir dichos costos. Tal es el caso del estándar de radio cognitiva IEEE 802.22, esta tecnología permite el acceso a usuarios no licenciados en bandas licenciadas, sin causar interferencia a los usuarios primarios (e.g usuarios licenciados). En este proyecto, se propone realizar un estudio previo a la implementación del estándar IEEE 802.22 durante cinco días en la banda UHF de Televisión (512 MHz hasta 698 MHz), en particular se pretende realizar un análisis espectral de la disponibilidad temporal de los canales de TV en dicha banda. Los resultados mostraron que contamos con una gran disponibilidad del espectro, el cual se lo podría utilizar para brindar múltiples servicios de Telecomunicaciones a las distintas comunidades rurales del Ecuador.

Palabras Claves: *Sistemas, Bandas de TV, Disponibilidad de canales, OSA, Radio Cognitiva*

Abstract

There are some areas that are not attractive enough for telecommunication providers for its geographic location and reduced number of population, mainly because of the cost of the equipment and the spectrum license fees for providing wireless telecommunication services. For that reason, there are some systems that don't require a license for operating, which reduces the cost of a license contract. One example of that is the cognitive radio standard IEEE 802.22. This technology allows the access of unlicensed users to licensed bands without generating interference to primary users (i.e licensed users). In this paper, it is proposed to perform a previous five days study for implementing the IEEE 802.22 standard in the TV-UHF band (512 to 698 MHz). In particular, it is intended to make a spectral analysis of the time usage of the TV Channels on the UHF band. The results showed that we count with great availability of the spectrum, which would be used to offer several telecommunication services to the different rural communities of Ecuador.

Keywords: *Systems, TV Bands, Channel Availability, OSA, Cognitive Radio*

1. Introducción

En el mundo, existen zonas rurales que por su ubicación geográfica y reducido número de población son poco atractivas económicamente a las operadoras de servicios de telecomunicaciones. En consecuencia, la población de dichas zonas tiene un acceso limitado a los beneficios que proveen los últimos avances tecnológicos, causando que la brecha digital entre las zonas rurales y urbanas se incremente drásticamente. Uno de los inconvenientes que se presenta para ofrecer estos servicios a dichas poblaciones es su difícil acceso, ya que por su gran distancia e

irregularidad geográfica, una red alámbrica sería muy costosa y difícil de implementar en comparación a una red inalámbrica [1]. Sin embargo, existen tecnologías de tipo inalámbricas que han sido usadas por operadoras públicas y privadas para dar coberturas en zonas rurales [2-3]. Dentro de las cuales se puede mencionar DECT, la misma que opera en bandas licenciadas y que inicialmente, ha sido utilizada para brindar servicios de voz con una velocidad de datos de aproximadamente 1.152 Mbps y rangos de coberturas muy cortos, los cuales no superan los 200 metros [4]. Otra alternativa, ha sido una evolución de la tecnología CDMA-2000, conocida como CDMA-

450. La misma que también opera en bandas licenciadas, y además proporciona velocidad de datos y rango de coberturas superiores (i.e. 3.1 Mbps, 40 Km aproximadamente) en comparación a DECT [5]. Además, durante los últimos años una tecnología, que ha evolucionado, es la basada en el estándar IEEE 802.16 conocida como WiMAX. Esta tecnología opera en zonas rurales en bandas licenciadas con velocidades alrededor de 70 Mbps cubriendo territorios no superiores a 50 Km [6]. Sin embargo, a pesar que algunas de estas tecnologías ofrecen velocidades y coberturas amplias, éstas para poder operar necesitan de bandas licenciadas, lo que podría implicar que las operadoras realicen una alta inversión para montar dicha tecnologías. Por otro lado, la aparición de tecnologías basadas en técnicas de Radio Cognitiva [7], surge como una prometedora solución a los problemas de telecomunicaciones antes mencionados, permitiendo a usuarios no licenciados acceder a bandas licenciadas de manera oportunista, lo cual implica un uso más eficiente del espectro radioeléctrico. En este contexto, el primer estándar propuesto con estas funcionalidades es el IEEE 802.22 (WRAN) [8] [9], que aprovecha los espacios en blanco (i.e. frecuencias libres o canales sin utilizar) dentro de las bandas de TV, para acceder a ellos de manera oportunista, pero con el compromiso de no causar interferencia a los usuarios licenciados [10]. Este estándar ha sido diseñado exclusivamente para trabajar en zonas rurales, pero es necesario que existan frecuencias disponibles en la zona que se desplegará el sistema.

Considerando que las comunidades rurales no tienen acceso a las tecnologías de la Información (TICS), el uso del espectro radioeléctrico no está siendo utilizado en igual proporción que una zona urbana. Por lo tanto, la disponibilidad de canales en zonas rurales es mucho mayor. Este hecho ha motivado, que la comunidad científica realice estudios de la disponibilidad temporal y espacial del espectro radioeléctrico en zonas urbanas y rurales [11] [12], con el fin de analizar y comparar los resultados empíricos para posteriormente poder conocer más a fondo la factibilidad del uso de las tecnologías basadas en radio cognitiva. Así por ejemplo en [11] un estudio realizado en Doha (Qatar) permitió determinar el porcentaje de disponibilidad espectral durante un lapso de tiempo de tres días en la banda comprendida desde los 700 hasta 3000 MHz, en donde se determinó que el porcentaje de utilización del espectro se encuentra alrededor de 14.6% a 15.7%. Por otro lado en Yunnan-China [13] se determinó que dentro de la banda comprendida desde 20 hasta 3000 MHz, el porcentaje de utilización de espectro es del 13.7%, siendo el 2.11% de la banda, utilizado por los servicios de TV. Dichos resultados mostraron una alta disponibilidad espectral y la manera cómo estas varían de acuerdo al horario en

que las mediciones fueron realizadas. En países de América Latina, estudios de este tipo no han sido objeto de un análisis frecuente, sin embargo, debido al desarrollo que están teniendo países como Ecuador estudios de este tipo podrían ser de gran utilidad para analizar posibilidades de implementación de futuras tecnologías, las mismas que serían de gran beneficio principalmente para las comunidades rurales y de esta manera disminuir la brecha digital en el país.

Por lo antes mencionado, en este trabajo se propone un estudio, que permita identificar el comportamiento temporal de segmentos de espectro radioeléctrico que podrían ser utilizados para un futuro despliegue de tecnologías basadas en radio cognitiva en el Ecuador. En particular, el estudio es desarrollado en una zona semi-rural de la ciudad de Guayaquil. Mediante esta propuesta se pretende realizar un monitoreo y caracterización del espectro radioeléctrico que aporten modelos probabilísticos capaces de capturar y reproducir con precisión las propiedades relevantes del uso del espectro en los sistemas de comunicación de radio reales, particularmente el espectro asignado a los sistemas de televisión (TV) con la finalidad de analizar y establecer la disponibilidad temporal de dichos canales.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. El capítulo 2, describe el proceso oportunista del estándar IEEE 802.22 en las bandas de TV, así como la canalización y operación de un canal WRAN en las zonas rurales. El capítulo 3 describe como se realiza el proceso de medición y las herramientas necesarias para su posterior análisis espectral en el tiempo. El capítulo 4, muestra los resultados de disponibilidad temporal por canal durante todo el proceso de medición y sus ciclos de trabajo. Adicionalmente se muestra el porcentaje de ocupación espectral de la banda en análisis. Finalmente concluimos el estudio en el capítulo 5.

2. Descripción del escenario

En este trabajo, el escenario de estudio corresponde a un despliegue típico en el contexto de radio cognitiva (e.g. IEEE 802.22), en el cual se aprecian dos zonas bien identificadas, una urbana y una rural, así también una zona de solape entre ellas, denominada zona semi-rural, como es mostrado en la Figura 1. A partir de esta zona, potencialmente se dispondría de una mayor disponibilidad de espectro licenciado lo cual facilitaría el despliegue de tecnologías de acceso oportunista al espectro (OSA), debido que la cobertura de la mayoría de los servicios de Telecomunicaciones se concentra en las zonas urbanas.

Por otro lado, en la Figura 2, se aprecia que la banda de análisis tiene un ancho de banda BW , donde cada canal i , tiene una máscara de canal de tamaño Δf , cuya separación entre ellos es $fI + (N-1)\Delta f$, siendo fI el primer canal sujeta al estudio y N el número total de canales disponibles en la banda. De esta manera, cada frecuencia tiene asignado un número de canal Chi , que dependerá del ente regulador local.

Para la operación de OSA, se necesita que existan canales disponibles en una determinada zona. Esta se obtiene realizando un censo del espectro radioeléctrico en la zona de despliegue o accediendo a bases de datos que contengan dicha información. De esta manera, cada canal de la banda en análisis es monitoreada para identificar que canales se encuentran disponibles y cuáles no, dependiendo del nivel de potencia recibida en la zona de despliegue y del horario, debido a que el nivel de recepción varía dependiendo de la hora en que se realizó la medición. Luego de obtener los resultados, los canales disponibles (i.e TVWS), pueden ser potencialmente utilizados para OSA.

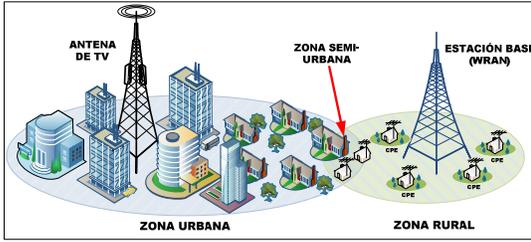


Figura 1. Escenario típico para el despliegue de tecnologías de radio cognitiva.

Adicionalmente, con el número de canales disponibles, es posible variar el tamaño de la máscara dependiendo de la tecnología requerida (e.g Wi-Fi, LTE, LTE-A). Por ejemplo, este estándar puede utilizar máscaras de 6, 12, 18, 24 y 30 MHz, donde la velocidad de transmisión de datos será proporcional al tamaño de la misma, es decir, mientras mayor sea el tamaño de la máscara, mayor será su velocidad de transmisión. Por ejemplo, con un canal de 6 MHz es posible alcanzar una máxima tasa de transmisión de datos de hasta 18 Mbps. Para que tecnologías como Wi-Fi, LTE y LTE-A puedan operar en IEEE 802.22, se requiere de anchos de banda de 22, 20 y 40 MHz, con velocidades máximas de hasta 72, 72 y 126 Mbps respectivamente. Dependiendo de la disponibilidad de canales, es posible transmitir datos en múltiples estándares de comunicaciones inalámbricas.

Con estas tecnologías es posible transmitir múltiples tipos de datos, como video streaming, archivos, audio, video y Voip. Por ejemplo, la velocidad de conexión de banda ancha recomendada

para la transmisión de NETFLIX es de 3 Mbps para definición estándar (SD), 5 Mbps para alta definición (HD) y 25 Mbps para Ultra-Alta definición (UHD) [14].

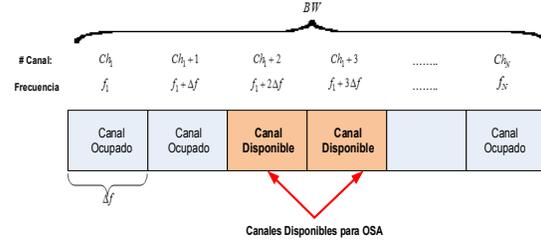


Figura 2. Caracterización del espectro para OSA.

3. Medición del espectro

El sistema de medición utilizado para este análisis es mostrado en la Figura 3. Este está conformado por una antena tipo discono, el mismo que se encuentra conectada a un subsistema de radiofrecuencia compuesta por un filtro pasa alto (f_H) y un filtro pasa bajo (f_L) que permitirán aislar la banda objeto de nuestro estudio, de interferencias y ruidos del entorno. Para compensar las pérdidas provocadas por ambos filtros, cables y conectores, se coloca a continuación un amplificador de bajo ruido, de manera que la señal deseada pueda ser analizada con mayor precisión. Luego un Analizador Espectral (SA) de alto rendimiento, recibe dicha señal depurada durante todo el proceso de medición. Posteriormente, todas las mediciones realizadas por el analizador de espectro se almacenan en una laptop, creando varios archivos para su posterior análisis, el cual será analizado por medio del paquete de Software MATLAB.

Los resultados obtenidos por el SA corresponden a los niveles de potencia P_R mostrado en la Figura 3, dicho valor es resultado de la compensación entre los elementos que producen pérdida (filtros, cables y conectores) y aquellos que producen ganancia (amplificador y antena), de tal manera que la potencia real a la entrada de la antena, P_{R-ANT} , es aproximadamente igual a la P_R . Por lo tanto, la potencia con la que se realizará el análisis a lo largo de este trabajo será P_R . Para realizar la compensación entre la P_{R-ANT} y P_R se ha utilizado la siguiente expresión:

$$P_{R-Ant} = P_R + L_{HF} + L_{LF} - G_{Amp} - G_{Ant} + L_c + L_{cc} \quad (1)$$

Donde L_{HF} , L_{LF} , L_c y L_{cc} son las pérdidas ocasionadas por los filtros pasa-alto, pasa-bajo, cables y conectores respectivamente. G_{Amp} y G_{Ant} son las

ganancias del amplificador y la antena correspondientemente.

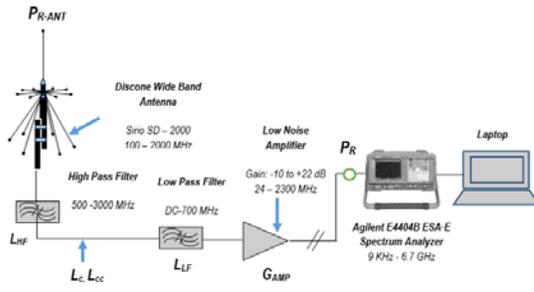


Figura 3. Esquema del sistema de medición

3.1 Algoritmo de Medición

El algoritmo implementado en el SA para medir los niveles de potencia en los canales de la banda de estudio, es descrito mediante el pseudocódigo mostrado en la Figura 4. Como se aprecia en esta figura, el algoritmo requiere ciertos parámetros de entrada para iniciar la operación, entre los que se tiene: frecuencia inicial (f_i) y frecuencia final (f_N) que hacen referencia a la frecuencia del primer y último canal que se quiere muestrear en la banda de TV. t_{start} es el tiempo que se programa para que el SA empiece a tomar medidas. N es el número de canales a lo que se realizará el estudio. N_s es el número de muestras que se hará a cada canal. Por otro lado luego de ejecutado el algoritmo sobre el SA se obtiene como resultado un archivo que contiene una matriz de resultados (MR) con información de la fecha (*Date*), hora (*Time*), frecuencia del canal muestreado y nivel de potencia medido para ese canal ($P_{R,f}$), así también el número de muestra en que se realiza cada medición de canal.

El algoritmo inicia estableciendo la conexión entre el SA y la laptop (line: 1). Luego se inicializan los contadores de canal (i) y de muestreos (j), (line: 2). Una vez inicializado el SA mantiene en estado de espera hasta que el tiempo actual (t_c) sea mayor o igual al tiempo configurado para dar inicio a las mediciones (line: 3-5). Posteriormente el algoritmo pregunta si el número de muestras de la banda se ha completado (line: 6), de no ser el caso se pregunta si el total de canales ha sido analizado (line: 7), mientras no se hayan muestreado todos los canales de la banda se mantendrá en el lazo (line: 7-11). En cada muestreo j para cierto canal i , se almacena en MR, información de la fecha, la hora, la frecuencia y la potencia instantánea que fue medida en el canal para esa muestra (line: 9). Una vez revisados todos los canales de la banda de TV, se incrementa el contador de muestras (line: 12), de manera que esto se repite hasta que se alcanza el número de muestras que han sido

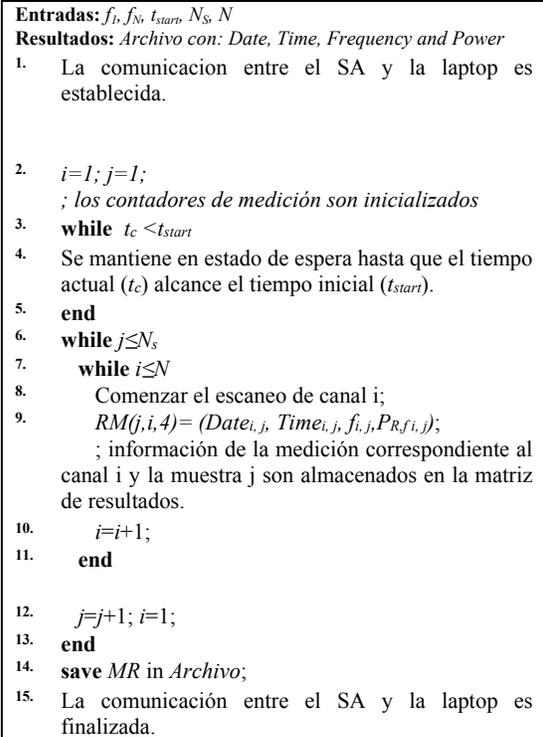


Figura 4. Algoritmo de Medición

programadas. Finalmente el algoritmo almacena MR en un archivo (line: 14) para su posterior análisis y cierra la conexión entre el SA y la laptop (line: 15).

3.2 Métricas

En esta sección se muestran las expresiones matemáticas que permiten establecer métricas para el análisis dentro del entorno de estudio del espectro radioeléctrico. Considerando que la potencia instantánea medida por el SA (P_R) no proporciona suficiente información para el análisis de muestreo en un cierto canal con frecuencia f_i , por tal razón una métrica que caracteriza mejor el comportamiento de dicho canal, es la potencia promedio, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\overline{P_{R,f_i}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} P_{R,f_{i,j}}}{N_s} \quad (2)$$

Donde $P_{R,f_{i,j}}$ corresponde a la potencia instantánea medida por el SA en el canal f_i de la muestra j y N_s es el número total de muestras por

canal. A partir de la ecuación 2 se ha determinado el nivel de ruido promedio del sistema (P_N). Para esto, se realizaron múltiples mediciones de canales de frecuencia que el regulador local aún no ha asignado a operador alguno.

Para determinar si ciertos canales están siendo utilizados o no, se ha considerado un umbral de detección (P_{TH}), el mismo que consiste de agregar al nivel de ruido P_N cierto margen de interferencia M [10]. De esta manera la potencia de umbral, se calcula de la siguiente manera:

$$P_{TH} = P_N + M \quad (3)$$

Con la finalidad de determinar si cierto canal i , está ocupado o no en una determinada muestra j , se define a continuación una métrica de utilización de canal:

$$UCh_{i,j} = \begin{cases} 1; & P_{R,f_{i,j}} \geq P_{TH} \\ 0; & \text{Otros} \end{cases} \quad (4)$$

Una vez definido el uso de canal, esta métrica es utilizada para calcular el Duty Cycle (DC) en cierto canal i , el cual indica el porcentaje de tiempo que un canal está ocupado, considerando N_S muestras, este se expresa de la siguiente manera:

$$DC_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_S} UCh_{i,j}}{N_S} \cdot 100 \quad (5)$$

4. Resultados

En esta sección, establecemos la configuración de los parámetros utilizados para la medición de los canales, así como también se proporcionaran importantes resultados que nos permitirán concluir la disponibilidad de uso en la bandas de frecuencia objeto de este estudio.

4.1 Configuración del Sistema

Para este estudio la banda de análisis corresponde a la banda de TV en el Ecuador, en particular la banda UHF debido a que los canales de Televisión Digital Terrestre (TDT) operan en dicha banda. Esta comprende canales de frecuencias desde 512 MHz hasta 698 MHz (canales del 21 al 51), con un ancho de canal de 6 MHz. El proceso de medición, se lo realizó a través de una secuencia repetitiva de control para la adquisición de los datos como se mencionó en el capítulo 3 durante cinco días de manera consecutiva, la misma que se llevó a cabo en el sector

de la Prosperina (Latitud 2°08'40.1"S y Longitud 79°58'03.8"W), ubicado a las afueras de la ciudad de Guayaquil. A continuación en la Tabla 1 se muestran los parámetros de configuración del SA y otros necesarios para realizar este estudio. El valor de N_S fue calculado considerando una lectura de toda la banda de estudio por minuto durante los cinco días de medición. Nótese que para los canales analógicos, la medición se realizó considerando la portadora de video de cada canal. Por otro lado para los canales digitales se realizó la medición en el centro del canal. Para ambos casos, la distancia entre canales fue Δf .

Tabla 1. Parámetros de Configuración

Parámetros	Valores
Ancho de Banda, BW	512-698 MHz
Ancho de banda del canal, Δf	6 MHz
Frecuencia inicial, f_i	515 MHz
Frecuencia Final, f_N	695 MHz
Canal Inicial, Ch_i	21
Canal Final, $Ch_i \ i=1, \dots, N$	51
Numero de canales, N	30
Numero de muestras por canal, N_S	7200
Potencia promedio de ruido, P_N	-78.652 dBm
Margen de Interferencia, M [10]	10 dB
Potencia umbral (3), P_{TH}	-68.652 dBm

4.2 Análisis de Disponibilidad de Canales de TV

El análisis propuesto tiene como objetivo principal determinar el comportamiento de cada uno de los canales asignados a la banda UHF-TV (i.e. $Ch_i = 21$ - $Ch_{30} = 51$). Para esto, las métricas definidas en el capítulo anterior, son cuantificadas. Notemos que el segmento de banda 608-614 MHz, correspondiente al $Ch_{17} = 37$, no es analizado debido a que este rango de frecuencias está destinado para Radio Astronomía [15-16].

El comportamiento de la potencia recibida promedio es mostrado en la Figura 5. Esta figura muestra la fluctuación de los niveles de potencia recibida medidos durante 5 días consecutivos. La figura muestra la potencia recibida promedio por canal; esta fue realizada en cuatro periodos de tiempo (i.e. 00H00-06H00, 06H00-12H00, 12H00-18H00 y 18H00-24H00). El nivel umbral (-68.652 dBm) es mostrado en escala de identificar el estado del canal dependiendo de la intensidad de la señal recibida. Por ejemplo, $Ch_i = 21$ es considerado como un canal ocupado debido a que su señal de potencia recibida se encuentra por encima del umbral, durante el día.

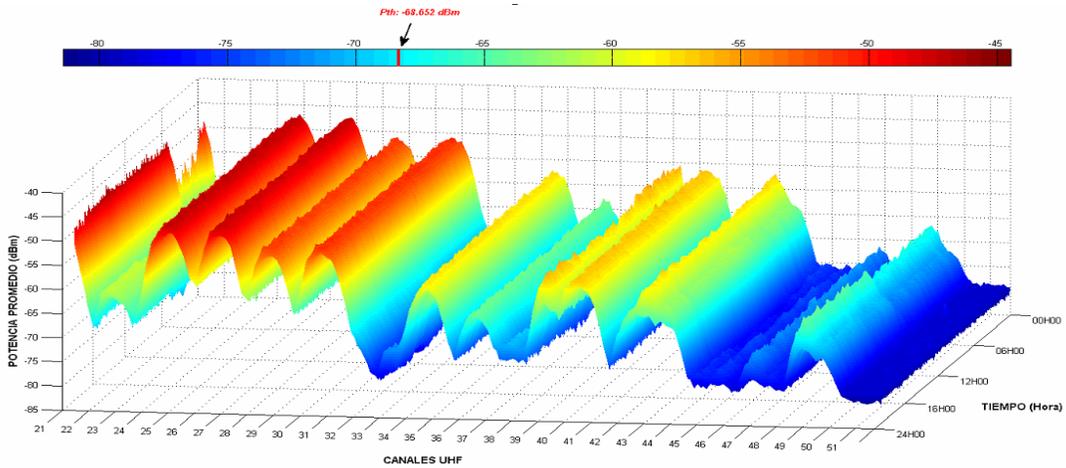


Figura 5. Comportamiento temporal de la potencia recibida en la banda UHF-TV

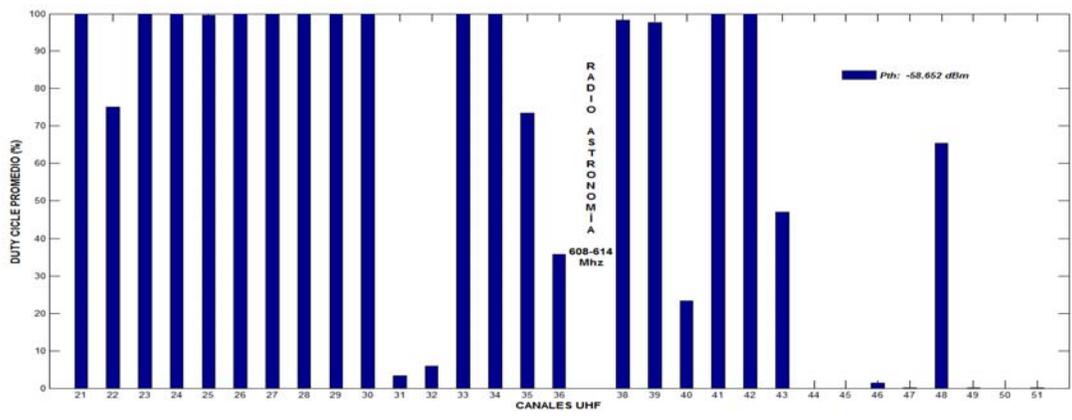


Figura 6. Ciclo de trabajo (DC) promedio por canal de TV

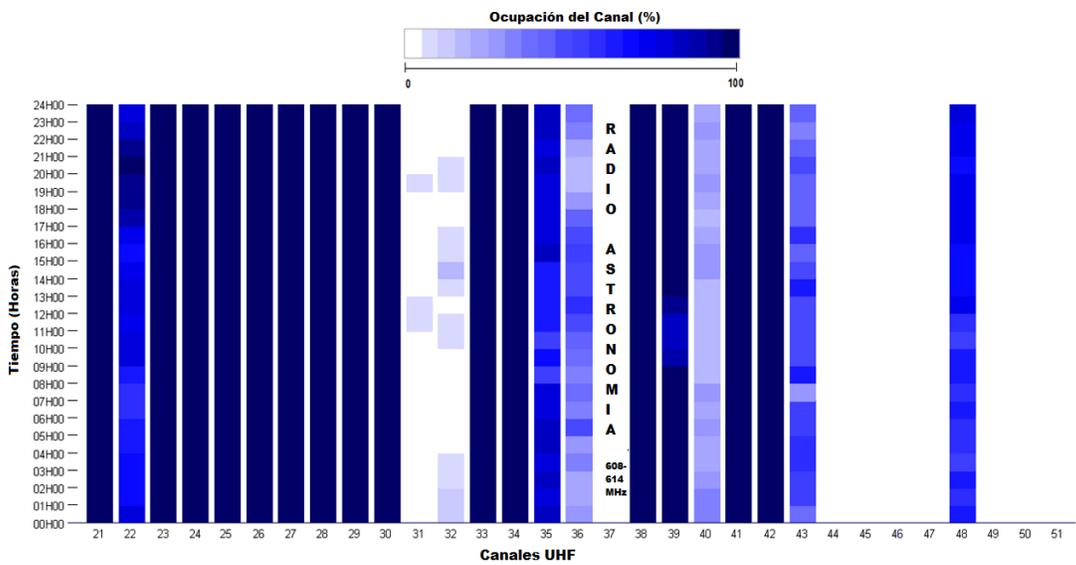


Figura 7. Ciclo de trabajo promedio por hora de los canales UHF

Este hecho puede ser observado en Figura 5, porque el color del canal es siempre rojo durante el día a pesar de sus fluctuaciones en el horario de 00H00-06H00, sin embargo esto no cambia su estado.

Por otro lado, $Ch_{25}=46$ es considerado como un canal desocupado, porque su potencia se encuentra siempre por debajo del umbral. Esto puede ser apreciado en las tonalidades azules de la Figura 5 y notemos que no cambia durante todo el día. Si analizamos el comportamiento del $Ch_{27}=48$, podemos apreciar que sus niveles de potencia se encuentran muy cerca del umbral, esto puede ser representado por una tonalidad de color celeste en la figura. Esto significa que su estado sería intermitente durante todo el día, en otras palabras el canal es a veces considerado como disponible y en otras ocasiones como ocupado.

La Figura 6 muestra el ciclo de trabajo (DC) para cada canal de TV. Esta figura muestra el nivel de actividad de cada canal. Para este estudio, se ha considerado un criterio en el cual los canales con un ciclo de trabajo inferior al 50 % ($DC < 50\%$), son considerados como canales idóneos (disponibles) para la aplicación del estándar IEEE 802.22. Por ejemplo, los canales $Ch_1=21$ - $Ch_{10}=30$ poseen alrededor de un 100% de actividad, lo que indica que son canales ocupados, a excepción de $Ch_2=22$, quien similar a $Ch_{27}=48$ se encuentran muy cercanos al umbral y poseen una disponibilidad intermitente, esto es demostrado obteniendo el porcentaje de actividad de canal de 75% y 65% respectivamente. Además, se ha encontrado que existen canales que no poseen actividad espectral como lo son los canales $Ch_{23}=44$, $Ch_{24}=45$, $Ch_{26}=47$, $Ch_{28}=49$, $Ch_{29}=50$ y $Ch_{30}=51$ cuyos ciclos de trabajo (DC) es cero por ciento, lo cual indica que son canales disponibles.

La Figura 7 muestra la disponibilidad o uso de canales de TV por 24 horas. Esta gráfica claramente ilustra en que momentos del día los canales poseen mayor disponibilidad para OSA. Como por ejemplo, el tono oscuro en el $Ch_1=21$ indica que el canal se encuentra ocupado durante todo el día, esto es consistente con el DC de 100% de actividad mostrado en la Figura 6. Por otro lado, $Ch_{27}=48$ tiene diferentes porcentajes de disponibilidad a lo largo del día, el mismo que corresponde a los tonos medios de la leyenda mostrada en la gráfica. Quiere decir que mantiene una disponibilidad intermitente debido que sus DC varían entre el 54% y 78.67%. Finalmente, existen canales que se encuentran disponibles durante todo el día, como lo son por ejemplo $Ch_{23}=44$ - $Ch_{30}=51$ (excepto $Ch_{27}=48$), los mismos que representan el 20% y poseen una tonalidad clara, la misma que representa un estado disponible durante el día.

Con estos resultados es posible analizar diversas tecnologías inalámbricas basadas en Radio Cognitiva (RC), lo que permitirá utilizar los canales disponibles dentro de la banda UHF-TV para transmitir datos. En este caso, el estándar IEEE 802.22 (WRAN) puede utilizar canales contiguos y no-contiguos para su despliegue como fue explicado en el capítulo 2, donde el tamaño de la máscara puede variar dependiendo de la máxima tasa de datos requerida.

En este estudio, el porcentaje de espectro utilizado en total por los canales UHF-TV corresponde al 60.85% (109.54 MHz), lo cual indica que posee una disponibilidad espectral del 39.15% (70.46 MHz) y esta porción espectral puede ser utilizada para futuros despliegues de sistemas inalámbricos con tecnología OSA y esta manera optimizar el uso del espectro.

La Figura 8 muestra el número promedio de canales disponibles con relación al tamaño de la máscara, para canales contiguos y no-contiguos correspondiente al estándar IEEE 802.22. La Figura ilustra que para canales no-contiguos se pueden obtener un mayor número de canales disponibles que para canales contiguos. Para ambos casos, el número de canales disponibles decrece con el incremento del tamaño de la máscara. Por ejemplo, con una máscara de 12 MHz es posible obtener en promedio 4 canales contiguos y 6 canales no-contiguos.

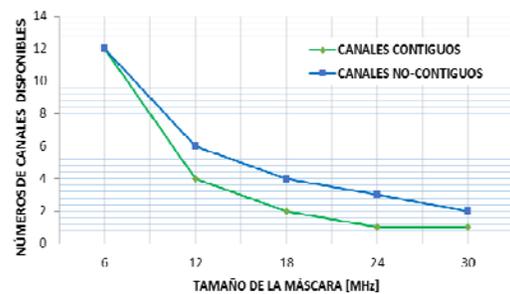


Figura 8. Números de canales disponible vs Tamaño de la Máscara

En términos de transmisión de datos, es posible alcanzar 90 Mbps si todos los canales que conforman la máscara de 30 MHz se encuentran disponibles en su totalidad (i.e $DC= 0\%$), caso contrario, su tasa de transmisión de datos se verá reducida dependiendo del DC de los canales que conformen la máscara. IEEE 802.22 ofrece 1.5 Mbps por usuario, lo que equivale a 12 usuarios simultáneos en una máscara de 6 MHz [17], pero es posible asignar más ancho de banda combinando dos o más canales. En otras palabras, con 5 canales no-contiguos es posible administrar hasta 60

usuarios, por cada grupo de canales de 5 canales no-contiguos, pero este número puede variar debido a que los canales pueden ser combinados, para ofrecer mayor velocidad de datos.

Por medio de este análisis, se ha determinado que el máximo número de canales en promedio disponibles y que pueden ser utilizados potencialmente para tecnologías con OSA, se lo obtuvo con una máscara de 6 MHz (i.e 12 canales disponibles) en esquema de canal contiguo, obteniendo así un total de 144 usuarios simultáneos WRAN.

En el capítulo 2, la velocidad de datos recomendada para las diferentes calidades de video streaming (i.e NETFLIX) fue explicada. Con estos requerimientos, el número máximo de usuarios que pueden transmitir video con SD (3 Mbps) en los dos grupos de 5 canales no-contiguos es 46. En el caso de HD, la velocidad de datos necesaria es de 5 Mbps, lo que equivale a un total de usuarios simultáneos de 27. En el caso de UHD (25 Mbps), podrían transmitir 2 usuarios. En resumen, con la actual disponibilidad, la posibilidad de ofrecer video streaming SD, HD y UHD a múltiples usuarios en áreas semi-rurales es mayor a antes, cuando era imposible ofrecer este tipo de servicios.

5. Conclusiones

En este trabajo, los canales de la banda de TV han sido analizados en orden de determinar el porcentaje de disponibilidad espectral para el potencial uso de tecnologías con acceso oportunista al espectro (OSA). Para este propósito, la banda de TV ha sido caracterizada y el algoritmo de medición fue descrito. El análisis demostró que existen 12 canales de TV idóneos para el despliegue de tecnologías de radio cognitiva como IEEE 802.22, que son $Ch_{11}=31$, $Ch_{12}=32$, $Ch_{16}=36$, $Ch_{19}=40$, $Ch_{22}=43$, $Ch_{23}=44$, $Ch_{24}=45$, $Ch_{25}=46$, $Ch_{26}=47$, $Ch_{28}=49$, $Ch_{29}=50$ y $Ch_{30}=51$, debido a que poseen una actividad inferior al 50%. Considerando que el estudio fue realizado en una zona semi-rural, este muestra un alto potencial para la implementación de tecnologías OSA.

Con el esquema de canal no-contiguo se obtiene un mayor número de canales WRAN que con el esquema de canal contiguo, debido a que existe mayor probabilidad de encontrar canales que no se encuentren adyacentes. El número máximo de usuarios simultáneos WRAN dentro de la banda UHF corresponde a 144. Este valor proviene de la disponibilidad máxima de canales existentes, donde la velocidad de los mismos será limitada en base al DC de los canales de TV en un horario determinado.

En un futuro, este estudio se puede extender para las zonas urbanas y rurales, para posteriormente determinar la factibilidad de IEEE 802.22 en todo el Ecuador

6. Agradecimientos

Este artículo fue desarrollado gracias a la colaboración de los miembros del Grupo de Investigación en Comunicaciones Móviles (GICOM) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

7. Referencias

- [1] Deshmukh, M.; Patif, K.; Frederiksen, F.; Skouby, K.; Prasad, R., "Wireless Broadband network on TVWS for rural areas: An Indian perspective," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2013 16th International Symposium on, vol., no., pp.1, 5, 24-27 June 2013
- [2] Ganesh, R.; Ning Yang; Regitz, S.; Giordano, A.; Fye, D., "Coverage considerations for CDMA overlay of rural analog sites," Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on, vol., no., pp.288, 292, 2000
- [3] Ramachandran, S.; Jhunjunwala, A.; Ramamurthi, B., "Relay base station for DECT based wireless in local loop to serve sparse rural areas," Personal Wireless Communication, 1999 IEEE International Conference on, vol., no., pp.349,353, 1999
- [4] Elberse, A, "DECT: the ideal telework access technology," Teleworking and Teleconferencing, IEE Colloquium on, vol., no., pp.7/1,7/9, 1994
- [5] Haidine, A; Muller, J.; Hurkx, J.; Alons, K., "Evaluation of CDMA450 as communications technology for smart Grid applications," Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On, vol., no., pp.1,6, 15-17 April 2013
- [6] Patidar, M.; Dubey, R.; Jain, N.K.; Kulpariya, S., "Performance analysis of WiMAX 802.16e physical layer model," Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 2012 Ninth International Conference on, vol., no., pp.1,4, 20-22 Sept. 2012
- [7] Chang-Woo Pyo; Xin Zhang; Chunyi Song; Ming-Tuo Zhou; Harada, H., "A new standard activity in IEEE 802.22 wireless regional area networks: Enhancement for broadband services and monitoring applications in TV whitespace," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2012 15th International Symposium on, vol., no., pp.108,112, 24-27 Sept. 2012
- [8] Akyildiz, IF.; Won-Yeol Lee; Vuran, Mehmet C.; Mohanty, S., "A survey on spectrum management in cognitive radio networks," Communications Magazine, IEEE, vol.46, no.4, pp.40, 48, April 2008

- [9] Cordeiro, Carlos; Challapali, K.; Birru, D.; Sai Shankar, N., "IEEE 802.22: the first worldwide wireless standard based on cognitive radios," *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on*, vol., no., pp.328, 337, 8-11 Nov. 2005
- [10] Patil, K.; Prasad, R.; Skouby, K., "A Survey of Worldwide Spectrum Occupancy Measurement Campaigns for Cognitive Radio," *Devices and Communications (ICDeCom), 2011 International Conference on*, vol., no., pp.1, 5, 24-25 Feb. 2011
- [11] Qaraqe, K.A; Celebi, H.; Gorcin, A; El-Saigh, A; Arslan, H.; Alouini, M.-S., "Empirical results for wideband multidimensional spectrum usage," *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2009 IEEE 20th International Symposium on*, vol., no., pp.1262,1266, 13-16 Sept. 2009
- [12] Eksim, A; Kulac, S.; Sazli, M.H., "Effective cooperative spectrum sensing in IEEE 802.22 standard with time diversity," *Advances in Computational Tools for Engineering Applications, 2009*
- [13] Dezhang Chen; Jingjing Yang; Jida Wu; Hao Tang; Ming Huang, "Spectrum occupancy analysis based on radio monitoring network," *Communications in China (ICCC), 2012 1st IEEE International Conference on*, vol., no., pp.739,744, 15-17 Aug. 2012
- [14] Netflix - Velocidad de transmisión, <https://help.netflix.com/es/node/306>, 1 de Noviembre del 2014
- [15] CONARTEL, "Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales", 29 de mayo de 2001
- [16] CONECEL - SENATEL, Plan Nacional de Frecuencias, http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf, Julio 2012
- [17] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems Wireless Regional Area Networks (WRAN) - Specific requirements - Part 22.2: Installation and Deployment of IEEE 802.22 Systems," *IEEE Std 802.22.2-2012*, vol., no., pp.1-44, Sept. 28 2012.