

Medición, Caracterización y Modelamiento del Rango de Frecuencias Asignado a Servicios Fijo – Móvil (1700 – 2025 Mhz) de la Banda UHF del Espectro Electromagnético en la Fiec, Campus Prosperina.

Merino Galo. Ing.; Melo Mayra. Ing.; Medina Washington. Mg.
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
{galameri, mmelo, wmedina}@espol.edu.ec

Resumen

El presente trabajo presenta los resultados de las mediciones obtenidas del muestreo en la banda de frecuencia entre 1700Mhz hasta 2025Mhz en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la Espol, Campus Prosperina, en dicha banda se ubican los canales de control y tráfico de las operadoras que tienen autorizadas las banda de frecuencia anteriormente mencionada, es decir, las mediciones que se realicen serán únicamente datos de telefonía celular, la ocupación que presente cada frecuencia se reflejará en gráficos detallados en función de la potencia medida y su tiempo de uso. Se aprovechará el estudio para realizar un modelamiento en cuanto al comportamiento de las redes de las diferentes operadoras con lo cual podremos determinar si es necesaria la implementación de sistemas de nueva generación que permitan aprovechar los espacios de tiempo en que una frecuencia se encuentre sin uso.

Palabras Clave: Espectro Electromagnético, Ocupación, Telefonía celular, Piso de ruido.

Abstract

This paper shows the results of measurements obtained from sampling on the frequency band between 1700MHz to 2025MHz on the premises of Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación at Espol, Campus Prosperina. On that band are located both the control and traffic channels of mobile operators that have concessions on the frequency band mentioned above, measurements are solely for mobile information, the occupation for each frequency is reflected in detailed graphics in function of the measured power and time use. The study will be used to perform modeling about behavior of networks of different operators by which can be determined whether it is required the implementation of next generation systems that allows to take advantage of the time slots in which a frequency is not used.

Keywords: Electromagnetic Spectrum, Occupation, Cell Phone, Noise Floor.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el aumento de dispositivos electrónicos que funcionan como receptores de ondas electromagnéticas como por ejemplo teléfonos celulares, tabletas, laptops, radios, televisores, autos, etc tiene como consecuencia la disminución de recursos radioeléctricos, es decir, existen tecnologías que se desarrollaron para funcionar en frecuencias específicas, las cuales ya no se pueden desarrollar más por la escases de espectro disponible.

Una forma de probar que una frecuencia o canal específico está totalmente ocupado es realizando mediciones en modo pasivo con lo cual se hace una lectura de cómo está funcionando la tecnología que ocupa dicha frecuencia y su relación con los usuarios

que la consumen. Estas mediciones lo que nos dan como resultado es el porcentaje de ocupación en función de las veces en que es ocupado dicho canal en un periodo de tiempo.

Para el caso de las redes celulares, el término ocupación de canal se traduce como uso de recursos, es decir, para las operadoras celulares sus redes empiezan a presentar problemas en las transmisiones cuando los recursos de un nodo específico se comienzan a agotar. [3]

2. MOTIVACIÓN

En la actualidad se están desarrollando tecnologías como por ejemplo la Radio Cognitiva, dicha tecnología nos ofrecerá la oportunidad de rehusar una

frecuencia, es decir, mediante el análisis del comportamiento de uso de una banda de frecuencia se podría predecir su forma de comportarse y daría la oportunidad de que en las horas en que el espectro está libre o desocupado poder usarlo para aumentar la capacidad de los canales que ya se encuentran con un uso limitado.

Se debe indicar que el funcionamiento de la tecnología UMTS radica en dos canales específicos, el canal Uplink y el canal Downlink. El canal Downlink tiene como función permitir la descarga de datos desde un nodo o radio base hasta el teléfono móvil del usuario final, además dicho canal es usado para transmitir datos de control para el correcto funcionamiento del celular en la red del operador. Dicho canal siempre estará transmitiendo debido a sus funciones de control por lo que en términos de ocupación dicha banda de frecuencia siempre estará siendo utilizada.

En el canal Uplink el funcionamiento es diferente, dicho canal solo será ocupado por el usuario al momento de transmitir datos desde el móvil hasta en nodo que está dando servicio en un momento específico, Una vez que se ha finalizado la tarea de subir dichos datos el canal quedará libre. Este comportamiento hace que la banda de frecuencia para canales Uplink sea más difícil de predecir.

Para el caso de la tecnología GSM el uso de canal es similar a UMTS con la diferencia de que solo se usa un ancho de banda de 200Khz por canal, sin embargo, el uso de los canales GSM es totalmente aleatoria tanto para el caso de Uplink como Downlink haciendo imposible predecir de qué forma será ocupada dicha banda de frecuencia.

3. CONSIDERACIONES TOMADAS

Para poder analizar los datos que se obtendrán de las mediciones es importante saber qué tipo de servicio es el que está concesionado. Dicha información se encuentra en forma general en el Plan Nacional de Frecuencias (PNF) [1] como se detalla en el gráfico 1.

Comparando la información obtenida del PNF con los datos obtenidos de las operadoras referentes a las frecuencias que son usadas podemos determinar que las frecuencias entre 1700 Mhz hasta 1710 Mhz y las frecuencias entre 2010 Mhz hasta 2025 Mhz no están siendo utilizadas lo cual podremos comprobar más adelante.

Servicios	Rango de frecuencias
FIJO METEOROLOGIA POR SATELITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico Notas Internacionales: 5.289 5.341	1700 MHz - 1710 MHz
FIJO MÓVIL Notas Nacionales: EQA 85 Notas Internacionales: MOD5.384A 5.388A 5.149 5.388	1710 MHz - 1930 MHz
FIJO MÓVIL Notas Nacionales: EQA 85 Notas Internacionales: 5.388A MOD5.389B 5.388	1930 MHz - 1970 MHz
FIJO MÓVIL Notas Nacionales: EQA 85 Notas Internacionales: 5.388A MOD5.389B 5.388	1970 MHz - 1980 MHz
FIJO MÓVIL Notas Nacionales: EQA 85 Notas Internacionales: 5.388 MOD5.389B	1980 MHz - 2010 MHz
FIJO MÓVIL Notas Nacionales: EQA 85 Notas Internacionales: 5.388	2010 MHz - 2025 MHz

Figura 1. Concesiones según PNF.

En el gráfico 2 y 3 observaremos las frecuencia de los canales que se están utilizando en el rango de 1710 Mhz hasta 1930 Mhz.

Operadora	Frecuencia inicial(MHz)	Frecuencia central UL (MHz)	Frecuencia final (MHz)
CLARO	1882.5	1887.5	1892.5
MOVISTAR	1862.6	1867.6	1872.6
CNT E.P. UMTS/ LTE	1897.2/ 1710.0	1902.2/ 1720.0	1907.2/ 1730.0

Figura 2. Frecuencias de canales UL UMTS.

Canalización GSM CLARO	Frecuencia Inicial(MHz)	Frecuencia Central UL (MHz)	Frecuencia Final (MHz)
661	1879.9	1880	1880.1
663	1880.3	1880.4	1880.5
664	1880.5	1880.6	1880.7
665	1880.7	1880.8	1880.9
666	1880.9	1881	1881.1
667	1881.1	1881.2	1881.3
668	1881.3	1881.4	1881.5
669	1881.5	1881.6	1881.7
671	1881.9	1882	1882.1
673	1882.3	1882.4	1882.5
674	1882.5	1882.6	1882.7
675	1882.7	1882.8	1882.9
676	1882.9	1883	1883.1
677	1883.1	1883.2	1883.3
678	1883.3	1883.4	1883.5

Figura 3. Frecuencias de canales UL GSM Claro.

En el gráfico 4 y 5 observaremos las frecuencia de los canales que se están utilizando en el rango de 1930 Mhz hasta 1970 Mhz.

Operadora	Frecuencia inicial (MHz)	Frecuencia central dl (MHz)	Frecuencia final (MHz)
Claro	1962.5	1967.5	1972.5
Movistar	1942.0	1947.6	1952.0

Figura 4. Frecuencias de canales DL UMTS.

Canalización GSM CLARO	Frecuencia Inicial(MHz)	Frecuencia Central DL (MHz)	Frecuencia Final (MHz)
661	1959.9	1960	1960.1
663	1960.3	1960.4	1960.5
664	1960.5	1960.6	1960.7
665	1960.7	1960.8	1960.9
666	1960.9	1961	1961.1
667	1961.1	1961.2	1961.3
668	1961.3	1961.4	1961.5
669	1961.5	1961.6	1961.7
671	1961.9	1962	1962.1
673	1962.3	1962.4	1962.5
674	1962.5	1962.6	1962.7
675	1962.7	1962.8	1962.9
676	1962.9	1963	1963.1
677	1963.1	1963.2	1963.3
678	1963.3	1963.4	1963.5
679	1963.5	1963.6	1963.7
680	1963.7	1963.8	1963.9
681	1963.9	1964	1964.1
682	1964.1	1964.2	1964.3
685	1964.7	1964.8	1964.9
687	1965.1	1965.2	1965.3
688	1965.3	1965.4	1965.5

Figura 5. Frecuencias de canales DL GSM Claro.

En el gráfico 6 y 7 observaremos las frecuencia de los canales que se están utilizando en el rango de 1970 Mhz hasta 2010 Mhz.

Operadora	Frecuencia inicial(MHz)	Frecuencia central dl (MHz)	Frecuencia final (MHz)
CNT E.P.	1977.2	1982.2	1987.2

Figura 6. Frecuencias de canales DL UMTS.

Canalización GSM MOVISTAR	Frecuencia Inicial(MHz)	Frecuencia Central DL (MHz)	Frecuencia Final (MHz)
797	1989.1	1989.2	1989.3
798	1989.3	1989.4	1989.5
799	1989.5	1989.6	1989.7

Figura 7. Frecuencias de canales DL GSM Movistar.

4. EQUIPO DE MEDICIÓN

El equipo de medición utilizado consta de un Analizador Espectral Agilent E4404B [5], una antena Sirius SD3000N [4] y una PC con software Agilent Intuilink.

Las mediciones fueron realizadas en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), la antena se ubicó en la terraza del tercer piso del edificio para obtener lecturas más claras.

5. PRUEBAS

Las mediciones se realizaron teniendo en cuenta que se debía obtener las muestras en el menor periodo de tiempo posible para poder obtener mediciones cuando las frecuencias de Uplink en GSM transmitan ya que su uso es aleatorio y de periodo de tiempo corto.

Se definió tomar muestras cada 10 segundos con lo cual tendríamos hasta 250 muestras de cada frecuencia en pasos de 40.3 KHz, asegurándonos así que podríamos obtener datos de todos los canales como se muestra en la figura 8. Las mediciones fueron realizadas entre las 14h00 del jueves 22 de enero hasta las 02h00 del viernes 23 de enero del año en curso con la intención de obtener mediciones en horas de alto tráfico de usuarios y en horas de bajo tráfico de usuarios.

Muestras	Horas con tráfico	Horas sin tráfico
0	14h00	20h00
250	15h00	21h00
500	16h00	22h00
750	17h00	23h00
1000	18h00	24h00
1250	19h00	01h00
1500	20h00	02h00

Figura 8. Muestras por hora.

Para determinar si un canal o banda de frecuencia presenta algún porcentaje de ocupación, se debe encontrar el piso de ruido comparando el que se obtenga de forma teórica y práctica (Con tráfico: -67.166dBm, sin tráfico: -66.931dBm). Para hallar el piso de ruido teórico usaremos la fórmula de Johnson-Nyquist, donde N es el ancho de banda a estudiar, la cual se aplica de la siguiente manera.

$$Piso\ de\ ruido = -174 + 10\log(N)$$

$$Piso\ de\ ruido = -174 + 10\log(325^6)$$

$$Piso\ de\ ruido = -174 + 85.118833$$

$$Piso\ de\ ruido = -88.881166\ dBm$$

Al valor obtenido se le debe compensar las pérdidas por la figura de ruido del equipo de medición y los valores que la ITU recomienda tener en cuenta para mediciones de espectro electromagnético, teniendo

como resultado el umbral que será nuestro piso de ruido teórico. [2]

$$Umbral = \text{Piso de ruido} + NF + ITU$$

$$Umbral = -88.881dBm + 11.3dBm + 10dBm$$

$$Umbral = -67.581dBm$$

Como podemos observar la diferencia entre los pisos de ruido es mínima por lo que se decidió dejar al piso de ruido en horas de tráfico como estándar de comparación en este trabajo.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizará el análisis por rango de frecuencia en función del horario de alto tráfico de usuarios con el objetivo de apreciar mejor los gráficos de ocupación.

En el rango de 1700 Mhz hasta 1710 Mhz apreciamos en la figura 9 que no presenta ocupación.

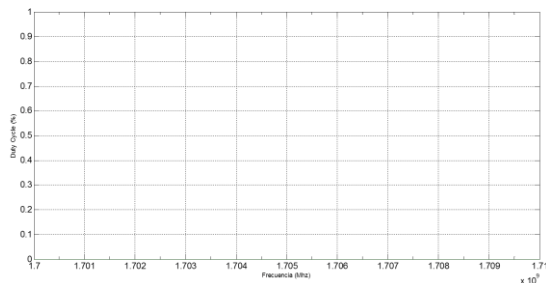


Figura 9. Frecuencias entre 1700 y 1710Mhz..

En el rango de 1710 Mhz hasta 1930 Mhz apreciamos en la figura 10 que presenta una ocupación mínima.

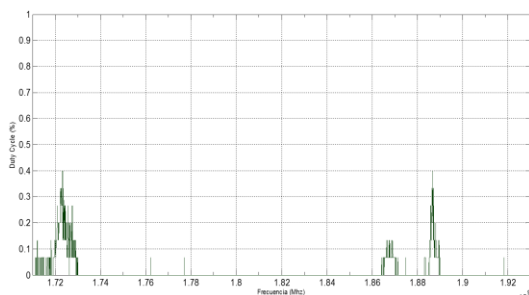


Figura 10. Frecuencias entre 1710 y 1930Mhz..

En el rango de 1930 Mhz hasta 1970 Mhz apreciamos en la figura 11 que presenta una ocupación máxima en las frecuencias DL UMTS como se esperaba.

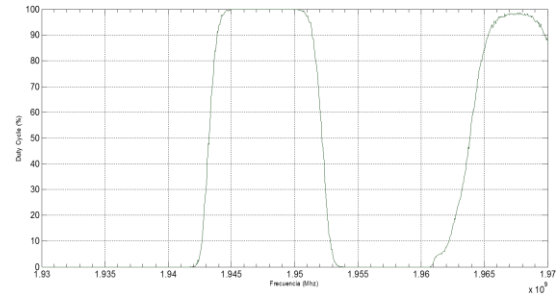


Figura 11. Frecuencias entre 1930 y 1970Mhz..

En el rango de 1970 Mhz hasta 2010 Mhz apreciamos en la figura 12 que presenta una ocupación máxima en las frecuencias DL UMTS como se esperaba.

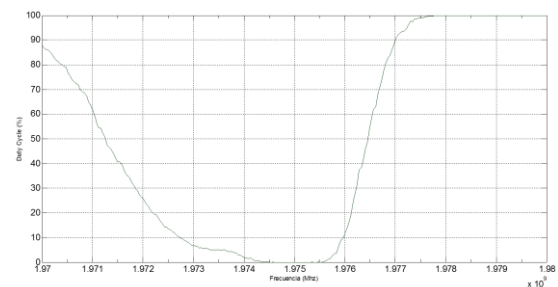


Figura 12. Frecuencias entre 1970 y 2010Mhz..

En el rango de 2010 Mhz hasta 2025 Mhz apreciamos en la figura 13 que no presenta ocupación.

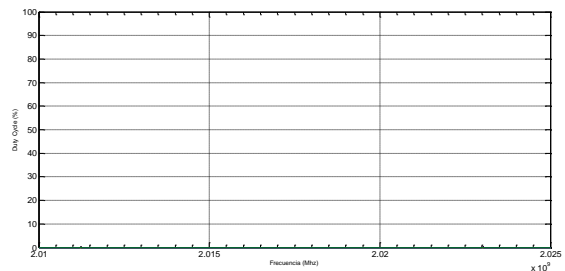


Figura 13. Frecuencias entre 2010 y 2025Mhz..

En las siguientes figuras observamos la ocupación de canal en cada instante de tiempo tanto para horas con tráfico de usuarios como para horas sin tráfico de usuarios.

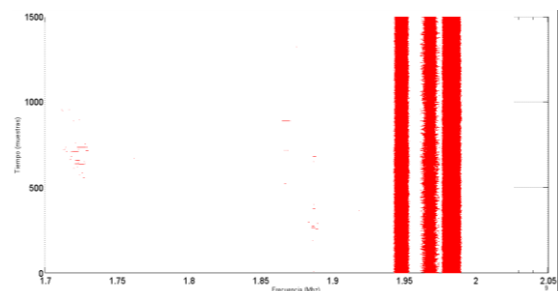


Figura 14. Ocupación con tráfico en función del tiempo.

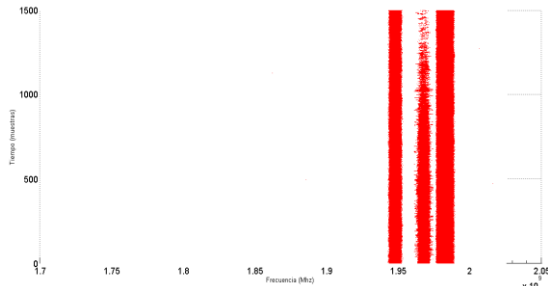


Figura 15. Ocupación sin tráfico en función del tiempo.

7. MODELAMIENTO

Para caracterizar el comportamiento de los canales en la banda de frecuencias de 1700 a 2025 MHz. se ha seleccionado el Modelo de Márkov, porque es aplicable a sistemas dinámicos cuyo comportamiento es aleatorio.

7.1 CADENAS DE MARKOV

Las cadenas de Márkov son un proceso estocástico discreto, su principal característica es la propiedad Márkov, la misma que establece que la probabilidad de que ocurra un evento depende exclusivamente del evento inmediatamente anterior, no tiene memoria, en otras palabras, si conocemos el estado presente del sistema podemos describir su estado futuro.

Aplicaremos el modelo que se conoce como cadena de Márkov en tiempo discreto (DTMC), en ellas el estado cambia exclusivamente en estados discretos de tiempo, para ello incluiremos una variable llamada n . Denominaremos S , el conjunto que contiene la cantidad finita de estados desde el 1 hasta el m , siendo m el número total de estados; en cada etapa llamaremos X_n al estado del sistema. [6]

Definiremos la cadena de Márkov como las probabilidades de transición p_{ij} , es decir, la probabilidad de que pase del estado i al j , sujetándonos exclusivamente a la propiedad de Márkov, expresada en la ecuación 1, la cual es válida para todos los instantes n en todos los estados i, j del conjunto S , y todas las posibles secuencias de estados anteriores. Las probabilidades de transición cumplen dos propiedades: no son negativas y deben sumar uno como se le muestra en las siguientes ecuaciones:

$$P\{X_{n+1}=j|X_n=i, X_{n-1}=i_{n-1}, \dots, X_0=i_0\} = P\{X_{n+1}=j|X_n=i\}=p_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1, \text{ para todo } i$$

Todas las probabilidades de transición las organizamos ordenadamente en la matriz de transición para apreciar todas las posibles transiciones en el modelo que estamos estudiando, en la matriz de transición las filas son el estado del que parte i , en las columnas ponemos el estado al que se llega j , esta matriz tiene la propiedad de ser cuadrada:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \dots & p_{mn} \end{bmatrix}$$

7.2 PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE MARKOV

Para comenzar el modelo se definen los estados en este caso encontramos dos estados: estado canal desocupado (0) y estado canal ocupado (1), y cuatro probabilidades de transición: probabilidad de un canal desocupado permanezca desocupado (P:0-0), probabilidad de un canal desocupado cambie a ocupado (P:0-1), probabilidad de que un canal ocupado pase a estar desocupado (P:1-0) y finalmente la probabilidad de que un canal ocupado permanezca ocupado (P:1-1).

En la figura 16 se muestra el grafo que representa el modelo de Markov que se asocia al comportamiento de los canales de la banda asignada con respecto a sus estados de ocupación y desocupación, el siguiente paso a realizar será determinar el vector de probabilidad inicial y la matriz de transición para finalmente encontrar las probabilidades de estado estable para cada uno de los canales estudiados.

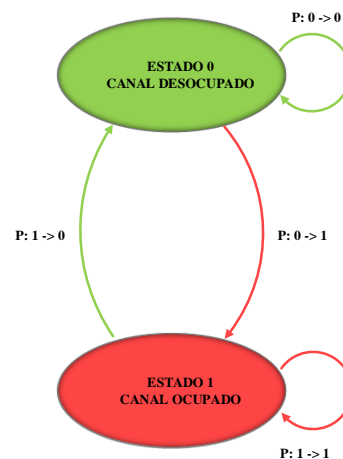


Figura 16. Modelo de Markov planteado.

7.3 APLICACIÓN Y ANALISIS DEL MODELO DE MARKOV POR CANALES

En este estudio se ha decidido usar el modelo de Markov de manera muy específica, profundizando el análisis a nivel de cada canal individual, esto nos proporcionará una imagen más cercana a su comportamiento en la realidad ya que se encontrará la matriz de transición de cada canal en base a todas las mediciones de las cinco muestras tomadas por canal cada diez segundos

Es importante observar para n grandes las cadenas de Markov tienen la propiedad de alcanzar su estado estable sin importar las probabilidades iniciales, para ello creamos un sistema de ecuaciones asumiendo desconocido el vector de probabilidades iniciales, el cual lo representaremos con variables, añadimos la ecuación en que la suma de ambas probabilidades es igual a 1 y obtendremos el vector de probabilidades de estado estable.

El proceso antes indicado es el que se realizó por canal obteniéndose de cada uno de ellos su vector de probabilidad inicial, su matriz de transición y su vector de probabilidades de estado estable.

Se analizarán cinco grupos de frecuencias, divididas en canales concesionados, conforme a ellos se realizarán los modelos de Markov correspondientes de cada canal calculando los siguientes parámetros: vector de probabilidad, matriz de transición, y vector de probabilidad de estado estable. Las frecuencias que corresponden a bandas nos concesionadas y que a través de las mediciones se comprobó que no tienen ninguna ocupación, no serán objeto de este análisis, concentrándonos exclusivamente en aquellas cuyo comportamiento demostró ocupación.

Las frecuencias comprendidas entre 1700 y 1710 MHz. y entre 2010 y 2025 MHz. según la SUPERTEL se hallan sin concesión, lo que se comprobó al tomar las mediciones, por tanto no se planteó la matriz de transición para estos casos.

Las frecuencias en el rango de 1710 a 1930 MHz, presentaron un porcentaje de ocupación mínima, en este grupo de frecuencias encontramos los canales uplink correspondientes a las operadoras OTECEL S.A. (Movistar), CONECEL S.A. (Claro), y CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones), el modelo de Markov realizado proporcionó un vector de probabilidad con un valor de alrededor del 99% de canal libre mientras que menos del 1% de ocupación, la matriz de transición reflejó un porcentaje igualmente alto de permanencia de canal en estado libre de ocupación mientras que los porcentajes de

cambio de estado fueron muy bajos, es importante resaltar que los resultados obtenidos analizando el modelo de Markov hacia el estado estable nos proporcionó un porcentaje de ocupación del 66.67% para la mayoría de canales, esto indica que para largos periodos de tiempo podemos establecer que existe un 33% de probabilidad que el canal se encuentre libre en cualquier momento.

Entre las frecuencias 1930 a 1970 MHz. se encuentra los canales downlink de las operadoras OTECEL S.A. y CONECEL S.A. cuyo comportamiento presentó un porcentaje de ocupación alto que varían desde un 99% hasta un 70%, presentando una matriz de transición con probabilidades bajas de permanecer libre y altas de pasar a ocupadas o permanecer ocupadas, el cálculo del modelo de Markov de las probabilidades de estado estable presentó un porcentaje muy bajo para el estado libre del canal mientras que proporcionó un porcentaje entre 66.67% y el 99% de ocupación indicándonos el posible estado de cada canal en un intervalo largo de tiempo.

En la banda de frecuencias de 1970 a 2010 MHz. encontramos las portadoras UMTS 1900 de la operadora CONECEL S.A. y CNT, también están los canales downlink de CNT y canales GSM de la operadora OTECEL S.A., al igual que en los canales anteriormente estudiados se encontró que los canales downlink presentaron un alto porcentaje de ocupación mientras que en los canales GSM su porcentaje fue muy bajo. El modelo de Markov calculado para cada uno de los canales contenidos en este grupo de frecuencias reflejan exactamente el mismo comportamiento observado en el estudio de los grupos de frecuencias anteriores, es decir, un muy alto porcentaje de ocupación para los canales downlink con una matriz de transición muy baja para estados libres y alta para estados ocupados; en los canales GSM por su parte demuestran el comportamiento contrario con una probabilidad muy baja de ocupación con una matriz de transición de probabilidades altas de permanencia en estado libre y de baja probabilidades de ocupación.

7.4 VALIDACION DEL MODELO MATEMATICO

La demostración de un modelo matemático se realiza mediante una simulación de dicho modelo con el objetivo de verificar que representa efectivamente el comportamiento del proceso planteado.

Para la simulación del modelo se utilizó el programa MATLAB, con ayuda de las funciones `hmmestimate` y `hmmgenerate` es posible introducir la matriz de transición y los estados a fin generar el posible comportamiento del canal, esta simulación se basa en

que la matriz de transición proporciona los porcentajes de cambio de los posibles estados en un intervalo de tiempo, el producto de la matriz de transición por el vector de probabilidad inicial da como resultado el vector de probabilidad en el siguiente intervalo de tiempo, para conocer el vector de probabilidad por canal después de n intervalos debemos encontrar la matriz de transición correspondiente para ello se debe multiplicar la matriz de transición por si misma n veces y luego multiplicarla por el vector de probabilidad inicial.

Dado que se hizo el modelo cada canal individualmente, de la misma forma debe realizarse la simulación validándola para cada canal por separado. A fin de comprobar el modelo, se ha realizado la simulación para el caso de los dos canales, un canal Uplink y un canal Downlink que son característicos de esta banda de frecuencias.

7.4.1 VALIDACION DEL MODELO MATEMATICO PARA CANAL UPLINK

En las frecuencias en el rango de 1710 a 1930 MHz, que presentaron un porcentaje de ocupación mínima, en esta subbanda encontramos el canal Uplink de 1865.10 a 1865.30 MHz. cuyo vector de probabilidad y matriz de transición se ilustra en la figura 17, su comportamiento lo ilustramos en el gráfico de histograma de la figura 18.

Libre 0	Ocupado 1	Prob. 0-0	Prob. 0-1	Prob. 1-0	Prob. 1-1
0.9993	0.0007	0.9987	0.0013	0.9983	0.0017

Figura 17. Modelo de Markov para canal Uplink.

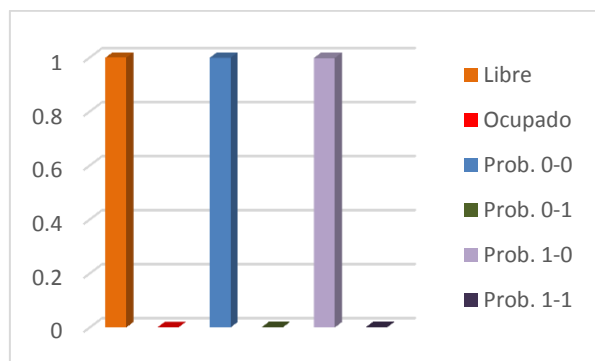


Figura 18. Histograma de comportamiento de canal Uplink.

Los resultados obtenidos a través de la simulación realizada en Matlab, que se muestra en la figura 19, se muestran en el histograma de la figura 20, como se puede observar son congruentes con el gráfico de la figura 18 lo cual nos permite concluir que el modelo es consistente con el comportamiento de las mediciones realizadas.

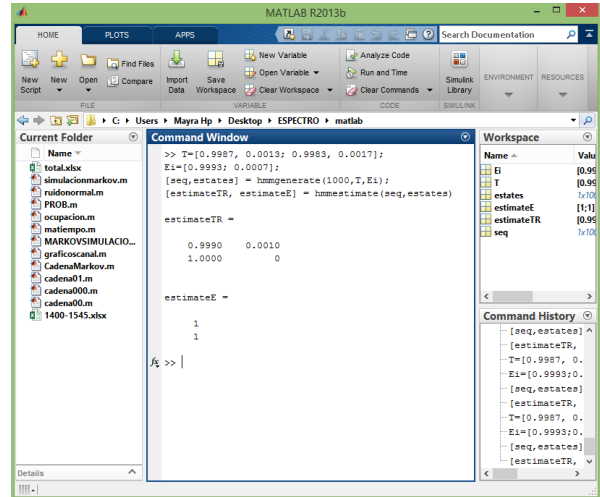


Figura 19. Resultados obtenidos de la simulación.

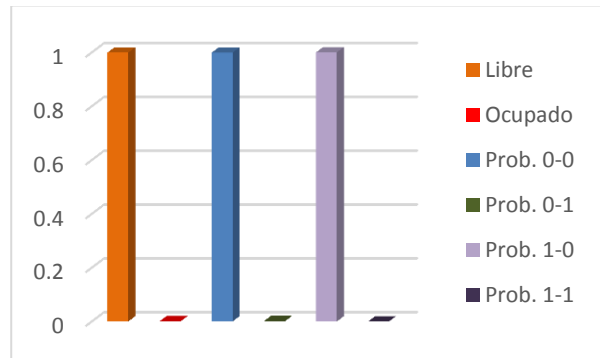


Figura 20. Histograma de resultados de simulación del comportamiento de canal Uplink.

7.4.2 VALIDACION DEL MODELO MATEMATICO PARA CANAL DOWNLINK

La subbanda que comprende las frecuencias de 1930 a 1970 MHz. al realizar las mediciones presentaron una ocupación alta, éstas corresponden a los canales Downlink, uno de ellos es el canal ubicado en las frecuencias 1947.7 a 1947.9 MHz., cuyo vector de probabilidad y su matriz de transición se muestran en la figura 21, el comportamiento correspondiente a este canal se lo ilustra en el gráfico de barras de la figura 22.

Libre 0	Ocupado 1	Prob. 0-0	Prob. 0-1	Prob. 1-0	Prob. 1-1
0.0003	0.9997	0.0001	0.9999	0.0005	0.9995

Figura 21. Modelo de Markov para canal Downlink.

Realizando la simulación en Matlab como observamos en la figura 23, obtenemos los resultados que se ilustran en el histograma de la figura 24, comparándolo con el gráfico del comportamiento del canal downlink que se ve en la figura 22, podemos concluir que la simulación realizada refleja el comportamiento real del canal.

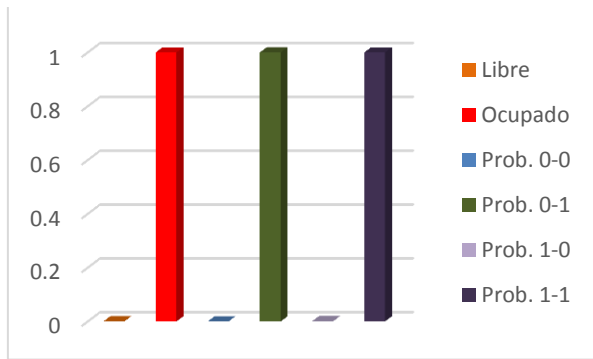


Figura 22. Histograma de comportamiento de canal Downlink.

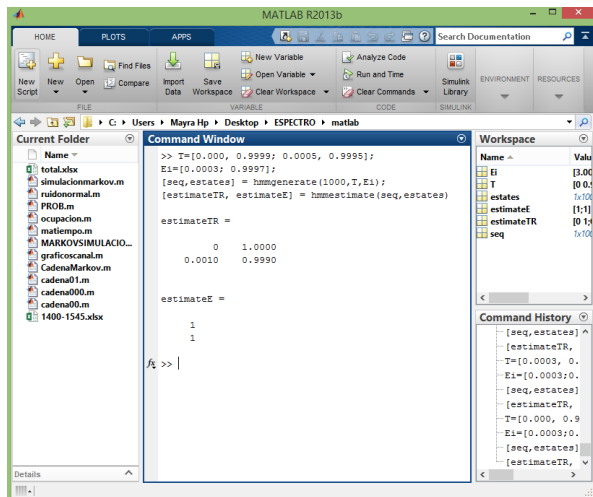


Figura 23. Resultados obtenidos de la simulación.

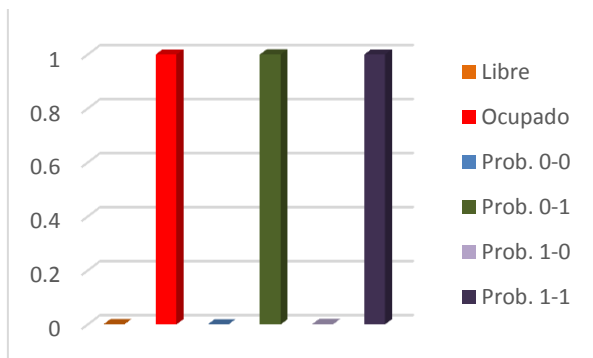


Figura 20. Histograma de resultados de simulación del comportamiento de canal Downlink.

8. CONCLUSIONES

Una vez analizados los datos recopilados y graficados podemos observar que la ocupación del ancho de banda asignado es mínimo, esto se debe a que en los predios cercanos a la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación existen radio bases las cuales no presentan una cantidad de tráfico

considerable, como se observa en la figura 14 en la cual no muestra mayor diferencia con la figura 15 que presenta la ocupación en altas horas de la noche que son horas sin presencia de público en el área de estudio.

El modelo de Markov planteado para cada canal proporciona el conocimiento sobre el comportamiento individual de cada canal en intervalos de tiempo pudiéndose predecir su probabilidad de ocupación en el intervalo de tiempo deseado; un estudio posterior puede establecer el modelo del comportamiento de los canales en conjunto y definir el algoritmo que permita utilizar esta banda por las nuevas tecnologías de acceso dinámico, esto se podría lograr estableciendo más estados en los que aumentaríamos las probabilidades de ocupación de canales adyacentes, así como si existe o no permiso de acceso para esta nueva tecnología.

Este estudio está enfocado únicamente a radio bases cercanas a la Fiec, por lo que los estudios no son concluyentes para determinar el comportamiento de toda la red, se recomienda realizar un estudio general en el Ecuador con ayuda de la entidad de control en el país con lo cual se podrá encontrar datos lo suficientemente concluyentes del comportamiento de la red con lo cual se podrá determinar el efecto del uso de nuevas tecnologías para la utilización de bandas poco ocupadas.

9. REFERENCIAS

- [1] Supertel, "Plan Nacional de Frecuencias", http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wpc-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf 4 de julio de 2012.
- [2] Unión Internacional de Telecomunicaciones". <http://www.itu.int/es/about/Pages/overview.aspx/>, Suiza, Ginebra 2014.
- [3] Supertel, "Evolución de la telefonía móvil en el Ecuador", Revista Supertel No. 16, 2012.
- [4] Datasheet Antena SIRUS SD3000N.
- [5] Datasheet Agilent ESA-E Series Spectrum Analyzers", febrero 2015.
- [6] Azarang Mohammad R. y Garcia Dunna Eduardo, "Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos", febrero 2015.