



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ALGORITMO PREDICTIVO DE  
N-CANALES CONJUNTOS DISPONIBLES EN EL RANGO 54-  
216MHz BASADO EN CADENAS OCULTAS DE MARKOV”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

SOLÓRZANO BALLADARES MARYURIE CAROLINA

MACÍAS INFANTE KENIA LISBET

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, queremos agradecer a Dios, por darnos salud, sabiduría y fuerzas para concluir con este proyecto nuestra carrera universitaria.

A nuestros padres por brindarnos la motivación y apoyo incondicional para cumplir con esta meta. A cada uno de nuestros profesores los cuales compartieron su conocimiento en cada una de sus clases. De manera especial al Ing. Washington Medina, nuestro tutor, por su colaboración y paciencia durante todo el desarrollo de este proyecto.

Por último y de manera no menos importante a todos nuestros amigos y compañeros, los cuales siempre estuvieron ahí dándonos su apoyo y alguna palabra de motivación.

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres Dolores y Carlos por el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, por enseñarme a trabajar para cumplir mis sueños. A mi hermano David por ser el mejor ejemplo de Fe y perseverancia, a mi esposo Alex por ser mi soporte en momentos difíciles, por brindarme su apoyo y motivación para concluir mi carrera universitaria. Y en especial a mi hijo Augusto por ser mi motor, la mayor motivación para seguir superándome.

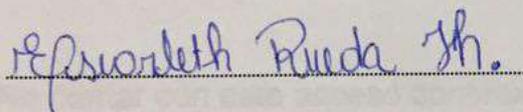
Maryurie Solórzano Balladares

Quiero dedicar este proyecto de graduación a mis padres Carmen y Orlando por su apoyo incondicional durante toda mi carrera. A mis hermanas Karen y Kelly quienes cada una con su manera de ser jamás dejaron de apoyarme. A Fernando, quien jamás me dejó sola cuando necesite ayuda. Y a todas aquellas personas y familiares que me brindaron apoyo durante todo este proceso.

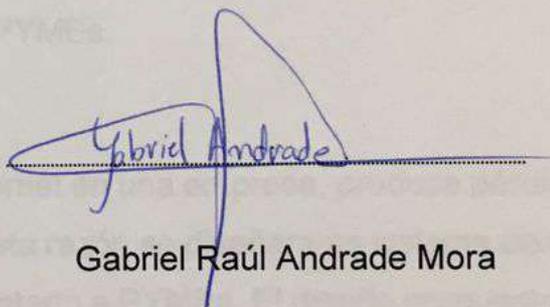
Kenia Macías Infante

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



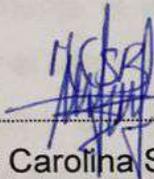
Escarleth Katherine Rueda Hormaza



Gabriel Raúl Andrade Mora

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Maryurie Carolina Solórzano Balladares



Kenia Lisbet Macías Infante

## RESUMEN

El espectro radioeléctrico es considerado un recurso natural limitado, con el que es posible brindar una gran variedad de servicios de telecomunicaciones. La tecnología ha ido evolucionando incesantemente en los últimos años en beneficio de toda la sociedad, tanto así que si observamos a nuestro alrededor no podemos pasar por desapercibidos la cantidad de dispositivos tecnológicos que existen, de esta manera es más fácil hacer conciencia de cuanta demanda de espectro radioeléctrico se genera para el abastecimiento de aquellos dispositivos.

Motivo por el que se piensa día a día en cómo crear tecnologías que aprovechen eficientemente el espectro radioeléctrico, con un costo moderado, una manera de optimizar el espectro es analizar las bandas del mismo y determinar en qué intervalos de tiempo y que ancho de banda se encuentran disponibles y reutilizarlos con diferentes tecnologías que logren ajustarse a las bandas de interés sin interferir en los usuarios licenciados.

Es por ello que se analiza la banda VHF en el rango de frecuencias de 54-216MHz correspondiente a televisión analógica para predecir la disponibilidad de  $n$  canales conjuntos para que con ese máximo de canales determinar el ancho de banda disponible.

En esta ocasión se utiliza el Modelo Oculto de Markov para realizar la predicción, la cual permite saber un máximo ancho de banda disponible para poder ser reutilizado.

Con el modelo Markoviano arriba mencionado se obtiene la probabilidad de efectividad del algoritmo desarrollado y en base a los resultados concluir si la opción es viable o no.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN .....	vi
CAPÍTULO 1 .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema a resolver .....	3
1.3 Justificación .....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Metodología.....	5
1.6 Alcance.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. ESTADO DEL ARTE .....	7
2.1 Banda VHF.....	7
2.1.1 Características de la Banda VHF-TV.....	8
2.2 Radio Cognitiva (RC).....	11
2.2.1 Funciones de la RC .....	11
2.3 Dispositivos que funcionan con el ancho de banda disponible.....	13
2.4 Modelos ocultos de Markov (MOM).....	13
2.4.1 Definiciones .....	13
2.5 Algoritmo de disponibilidad de canal .....	16
CAPÍTULO 3.....	17
3. ESCENARIO DE ESTUDIO .....	17

3.1	Descripción del escenario.....	17
3.2	Disponibilidad de Canal.....	18
3.3	Disponibilidad de canales conjuntos.....	20
3.4	Modelo de predicción .....	22
3.4.1	Vector de probabilidades iniciales .....	23
3.4.2	Matriz de transición .....	25
3.4.3	Matriz de probabilidades de salida .....	26
3.5	Algoritmo de predicción .....	29
CAPÍTULO 4.....		31
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	31
4.1	Descripción.....	31
4.2	Matriz de estados .....	31
4.3	Matriz de canales conjuntos .....	33
4.4	Probabilidad de predicción .....	34
4.5	Probabilidad de disponibilidad .....	39
4.6	Comparación de probabilidades de predicción.....	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		43
BIBLIOGRAFÍA.....		45
ANEXOS.....		48

## CAPÍTULO 1

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

El espectro radioeléctrico, es considerado como un recurso natural limitado, con el que es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo tecnológico y económico del país [1], y con la incesante evolución de la tecnología, ha sido posible utilizar el espectro cada vez con mayor intensidad y eficiencia para beneficiarnos de una gran variedad de servicios, con el objetivo de satisfacer las múltiples necesidades de comunicación que demanda la sociedad [2].

Estos avances tecnológicos en los que nos vemos inmersos generan un mayor consumo del espectro radioeléctrico lo que conlleva a la saturación del mismo, por lo cual es necesario optimizarlo.

Para nuestro estudio nos enfocamos en el segmento del espectro de 54MHz a 216MHz que corresponde a la banda de frecuencias de televisión para VHF, rango que se ha utilizado para señal analógica de televisión abierta.

<b>BANDAS DE FRECUENCIAS PARA TV EN VHF</b>		
<b>TIPO DE BANDA</b>	<b>NUMERO DE CANAL</b>	<b>BANDA DE FRECUENCIA (MHz)</b>
VHF	2	54-60
VHF	3	60-66
VHF	4	66-72
VHF	5	76-82
VHF	6	82-88
VHF	7	174-180
VHF	8	180-186
VHF	9	186-192
VHF	10	192-198
VHF	11	198-204
VHF	12	204-210
VHF	13	210-216

**Tabla 1: Canales asignados en la banda de frecuencias VHF-TV [3]**

En la Tabla 1 nos podemos dar cuenta que en la banda VHF-TV tenemos 12 canales disponibles con un ancho de banda de 6MHz cada uno.

Teniendo en cuenta que la migración a televisión digital terrestre (TDT) ocasionará que varios de estos canales queden disponibles por el llamado apagón analógico, que en el Ecuador empezó desde inicios del 2016 y se estima culminar el cambio en diciembre 2018 [4], se estudian aplicaciones para ese segmento del espectro, ya que esta banda permite y da facilidad de ser utilizada de forma más eficiente que otras bandas del espectro.

Uno de los métodos para la optimización en la reutilización del espectro en este rango de frecuencias es el llamado Acceso Oportunista del Espectro por sus siglas en inglés OSA.

Para lo cual se busca obtener la disponibilidad de n-canales conjuntos de la banda mencionada y así utilizar un acceso oportunista en los segmentos que no están siendo aprovechados y ayudar a descongestionar aquellos canales que están saturando su capacidad, sin perjudicar a los usuarios primarios.

Los equipos que usan OSA requieren de una base de datos por tal motivo van a estar dispuestos a receptar datos y comenzar a trabajar en las frecuencias para los que están diseñados.

Para saber qué tipo de tecnologías o equipos se pueden utilizar, vamos a desarrollar un algoritmo basado en cadenas de Markov, lo que nos va a permitir optimizar los espacios de frecuencias disponibles por nivel del edificio en el cual se tomaron las mediciones. Todo esto sin interferir las señales primarias de la banda VHF.

Las cadenas de Markov nos permiten de manera aleatoria crear un proceso, estas cadenas tienen memoria ya que guardan el último dato para generar probabilidades futuras, que solo dependen de un proceso antecesor y no de un resultado previo.

## 1.2 Problema a resolver

El espectro radioeléctrico es el recurso sobre el cual se desarrollan la mayor parte de los servicios de telecomunicaciones, lo cual hace que su demanda sea creciente y algunas bandas de frecuencias sean más requeridas que otras, lo que conlleva a los entes reguladores a adoptar diferentes modelos para disminuir aquellos inconvenientes que perjudican la eficiencia del espectro [3].

En la banda VHF – TV considerando las propiedades de la televisión analógica no es posible el uso de los canales adyacentes debido a la interferencia que producen entre sí, lo cual genera una saturación de la banda con tan pocos canales asignados con relación a las alternativas que ofrece la televisión digital.

Pero esos intervalos de espectros existentes entre canales, sí es posible utilizarlo de tal manera que no se vean afectados los usuarios principales, como lo son los de los canales de TV, para esto la IEEE ha desarrollado el estándar IEEE 802.22, el cual utiliza estas frecuencias para proporcionar internet de banda ancha, enfocado para proveer este tipo de servicios en zonas rurales.

La idea es usar eficientemente el espectro, para poder dar servicio de banda ancha para sectores o lugares de poca densidad poblacional. Esta tecnología está diseñada para no perjudicar las operaciones de TV digital, TV analógica y Radio difusión.

También debemos considerar que no todas las nuevas tecnologías o sistemas son aplicables en cualquier segmento del espectro radioeléctrico, debido a esto es necesario analizar la banda de interés no sólo para verificar si se pueden adaptar los sistemas con OSA sino también los futuros requerimientos del mercado.

También debemos considerar que no todas las nuevas tecnologías o sistemas son aplicables en cualquier segmento del espectro radioeléctrico, debido a esto es necesario analizar la banda de interés no sólo para verificar si se pueden adaptar los sistemas con OSA sino también los futuros requerimientos del mercado.

### 1.3 Justificación

En la actualidad se estudian técnicas más óptimas para la utilización del espectro, entre ellas, una de las más populares se basa en los llamados “espacios en blanco” o “huecos” en el espectro, que se definen como el rango de frecuencia que no está en uso permanente por un usuario licenciado (primario) en un lugar determinado. A partir de este concepto se da lugar a los sistemas con “Acceso oportunista al espectro” (OSA, por sus siglas en inglés) los cuales plantean la utilización de estos espacios en blanco de manera oportunista por parte de los usuarios no licenciados (secundarios), a bandas de frecuencias que no estén siendo utilizadas en un determinado momento y lugar por los usuarios licenciados, siempre y cuando no produzca interferencia con los mismos [5], [6].

Hoy en día la IEEE ha investigado el método IEEE 802.22 WRAN, para poder usar el espectro radioeléctrico de la banda VHF de televisión, que utiliza técnicas de Radio Cognitivas.

Basado en un proyecto de graduación obtuvimos las mediciones de los niveles de potencia recibidos de canales de la banda VHF en la parte interior de un edificio dentro de una zona urbana, con las cuales analizaremos la disponibilidad de n-canales conjuntos para observar con que número de canales es más eficiente la asignación del espectro.

Cabe recalcar que mientras mayor número de canales conjuntos existan se obtendrá mayor ancho de banda, y se podrá trabajar con diferentes dispositivos o equipos de mayor velocidad o última generación etc. Lo importante de este proyecto es que con dicho análisis se utilizarán diferentes tecnologías independientemente del piso del edificio y a futuro se puede migrar en el momento indicado fácilmente a equipos más modernos sin hacer interferencia u ocasionar molestias a los usuarios primarios.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

- Diseñar un algoritmo que pueda predecir la disponibilidad de n-canales conjuntos de la banda VHF-TV utilizando el Modelo oculto de Markov.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Crear un algoritmo para determinar la disponibilidad de cada canal realizando la comparación con el treshold de la banda VHF-TV.
- Analizar el Modelo oculto de Markov para poder aplicarlo en el algoritmo de predicción.
- Implementar el algoritmo de predicción en cada agrupación de canales conjuntos, para determinar el porcentaje de efectividad de la misma.
- Comparar los resultados con proyectos anteriores que analizaron la misma banda utilizando otros modelos y diferentes algoritmos de predicción.

## 1.5 Metodología

Este proyecto consiste en crear un algoritmo de predicción de la disponibilidad de canales conjuntos en la banda VHF-TV utilizando los datos referentes a las mediciones realizadas en el interior de un edificio en la zona urbana, teniendo en consideración sólo 3 niveles del edificio.

Cada piso fue evaluado por mediciones espectrales a nivel de potencia recibida, que llega al interior del piso de análisis, y aquellos datos fueron guardados en un documento de EXCEL de forma independiente.

Una vez receptados los datos se fragmentaron de tal manera que agrupamos las mediciones por día. Acto seguido se realizará la lectura de dichas tablas de Excel en el software Matlab, donde se comparará cada medición de potencia recibida con el umbral de potencial o treshold de la banda en análisis para determinar si el canal se encuentra ocupado o disponible, considerando que el canal se encontrará ocupado si el nivel de potencia es mayor que el umbral.

Luego se hará un barrido por cada tiempo en que se realizaron las mediciones y se identificarán si existen disponibilidad de canales conjuntos sean estos, dos

canales, tres canales hasta n canales; partiendo de esto obtendremos una nueva tabla de disponibilidad de canales [7].

Después de obtener la tabla se procederá a aplicar el algoritmo de predicción basado en el modelo oculto de Markov para corroborar con las mediciones previas y así determinar el porcentaje de efectividad de método en cada una de las agrupaciones de los canales.

## **1.6 Alcance**

Con este proyecto lo que se busca es diseñar y analizar la disponibilidad de n canales conjuntos en la banda VHF-TV que corresponde al rango de frecuencias de 54 – 216MHz. Para lo cual se crea un algoritmo que prediga en este rango de frecuencias la disponibilidad de canales, esto se realiza usando modelos Markovianos.

Considerando hasta cuantos canales conjuntos pueden estar disponibles vamos de antemano a conocer también cual es el ancho de banda máximo a tener disponible en cada piso, y en base a eso que equipos pueden instalarse en el área donde se obtuvieron las mediciones y se predijo la disponibilidad de canal, para así optimizar los recursos.

El diseño se realiza siempre y cuando no se afecte a los usuarios principales, por eso es importante definir en qué instantes se encuentra disponible la banda.

## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE

La tecnología crece de manera significativa día a día, nuevas redes, aplicaciones, dispositivos, componentes etc. El crecimiento de estas tecnologías provoca que el espectro radioeléctrico esté más limitado.

En la actualidad esta escasez del espectro se da porque los diferentes avances tecnológicos apuntan generalmente hacia las mismas bandas, lo que implica que muchas bandas licenciadas estén congestionadas; mientras que otras están parcial o totalmente desocupadas [8].

Este proyecto se basa en mediciones de los niveles de potencia de recepción tomadas en un edificio donde se consideran sólo 3 niveles del mismo, lo cual permitirá comprobar si a pesar de trabajar con la misma banda de frecuencia (VHF-TV), estas se encontrarán disponibles o no al mismo tiempo entre los diferentes niveles.

Este análisis da la posibilidad de conocer y disponer de esas frecuencias para usar tecnologías y dispositivos, los cuales no interfieran en ningún momento con las frecuencias de los usuarios primarios.

Más allá de eso se implementará un algoritmo de predicción que permite evaluar datos en diferentes tiempos, esto dará a conocer disponibilidad de canales y el ancho de banda disponible total y así poder implementar o colocar dispositivos de tecnologías secundarias a las ya principales que existen en dicho lugar.

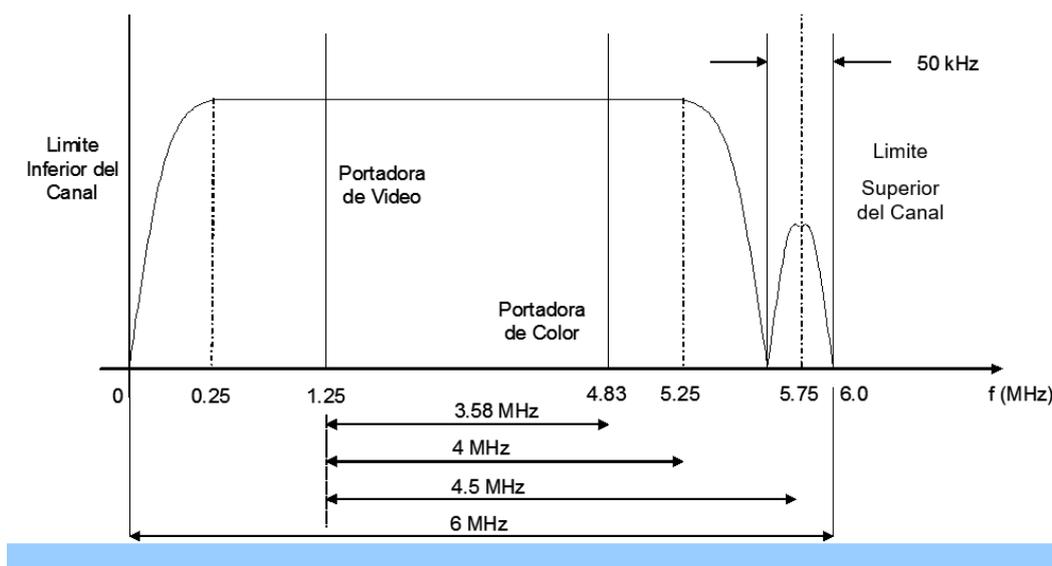
#### 2.1 Banda VHF

La banda VHF (Very High Frequency) comprendida entre 30 MHz hasta 300 MHz del espectro electromagnético es uno de los segmentos más utilizados, a pesar de que su alcance o longitud de onda es muy pequeño en comparación con los demás segmentos del espectro tiene un alto grado de penetración no obstante de los obstáculos e interferencias.

Entre sus diversos usos, los más relevantes son: Radio FM, televisión, aeronáutica, telefonía móvil, comunicación marítima y terrestre, radio meteorológica y radioaficionados.

Estas frecuencias alcanzan longitudes de onda que van desde 1 metro a 10 metros, lo cual las hace de muy poco alcance, sin embargo, su ancho de banda tiene muy pocas pérdidas y su potencia de recepción permite ahorrar energía; es por eso que últimamente son fuente de estudio para buscar mecanismos que permitan la reutilización de las mismas.

En este caso de estudio se va a enfocar en las frecuencias que corresponden a la televisión analógica, las que van desde los 54MHz hasta 216MHz, divididos en canales de 6MHz cada uno (señal en banda base).



**Figura 2.1: Máscara de una señal VHF- TV [9].**

En la figura 2.1 podemos observar la señal de TV analógica, la cual permite observar sus diferentes componentes de transmisión y el ancho de banda que ocupan para el mismo.

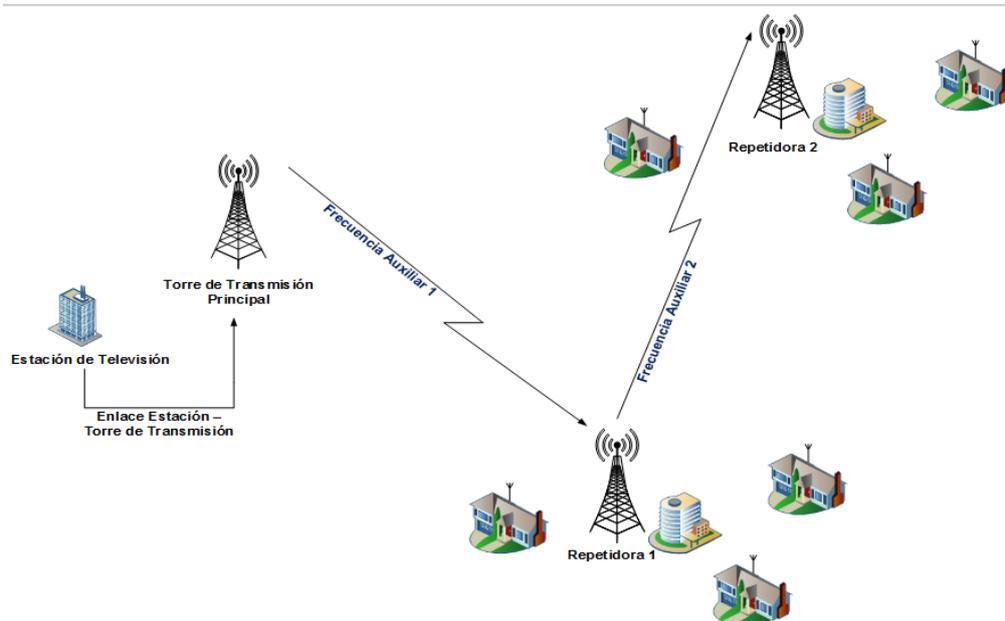
### 2.1.1 Características de la Banda VHF-TV

Los canales de televisión analógica solo permiten un único programa por canal, además los canales adyacentes al de transmisión deben estar

disponibles para evitar interferencias, aunque los espacios en blanco que ofrece esta banda son diez veces mayores al de las demás tecnologías que están por encima de 1GHz. [10].

En Ecuador, para la transmisión de televisión analógica utiliza el sistema estándar NTSC, el cual fue el primer sistema de codificación y transmisión a color, este sistema consiste en la transmisión de 29.97 cuadros entrelazados de video por segundo, cada cuadro tiene 525 líneas horizontales de las cuales 486 conforman la trama visible. Cada canal tiene una banda útil de 4.25MHz.

El estudio se centra en la banda VHF – TV; este sistema nos permite la emisión unilateral de señales de audio y video por propagación, este tipo de señal puede ser recibida por cualquier beneficiario que se encuentre dentro del rango de cobertura del canal de transmisión. Para evitar la interferencia al momento de transmitir, el sistema necesita que los canales adyacentes al canal por el cual se va enviar la información deben estar libres, debido a que; solo tolera un programa por el canal.



**Figura 2.2: Topología para la transmisión-recepción de una señal de televisión analógica [11].**

La Figura 2.2 muestra la topología donde la señal es generada en la estación de televisión y luego es remitida hacia las estaciones de transmisión; con lo cual es enviado a los receptores (repetidoras) para los usuarios tengan acceso al servicio, el medio por el cual se propaga este tipo de señal es el aire.

Ese sistema de transmisión tiene varias desventajas como es la baja resolución, que se podría decir la más baja de todos los sistemas, también tiene problemas con transmisión por interferencias lo cual disminuye la calidad de la imagen.

Por el contrario, tiene una gran ventaja que es trabajar a 60Hz esto hace que la frecuencia de muestreo sea más rápida que otro sistema, nuestra vista se cansa menos. [12]

En la tabla 2 se puede observar los parámetros del estándar

Estándar NTSC	
<b>Ancho de Banda</b>	6 MHZ
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Líneas</b>	525
<b>Campos/Cuadros</b>	60/30
<b>Relación de Aspecto</b>	4:3

**Tabla 2: Parámetros del estándar NTSC [13].**

Los sistemas VHF-TV, presentan diferentes tipos de problemáticas para su transmisión y recepción, de entre las cuales podemos destacar la disminución de la calidad de audio y video, efecto Doppler, ruido impulsivo, interferencia de canal adyacente, multitrayectoria.

A pesar de las diversas problemáticas que se pueden mencionar, hay muchas expectativas en los estudios y pruebas piloto sobre los métodos y beneficios que puede brindar este segmento del espectro es por eso nuestro estudio en la reutilización de los canales que van quedando disponibles con la transición a televisión digital, brindando la posibilidad

de optimizar varios servicios que actualmente saturan otros canales del espectro radioeléctrico.

## **2.2 Radio Cognitiva (RC)**

La predicción de la disponibilidad del espectro radioeléctrico es muy útil en sistemas que aprovechan el acceso oportunista al espectro, como la radio cognitiva (CR por sus siglas en inglés).

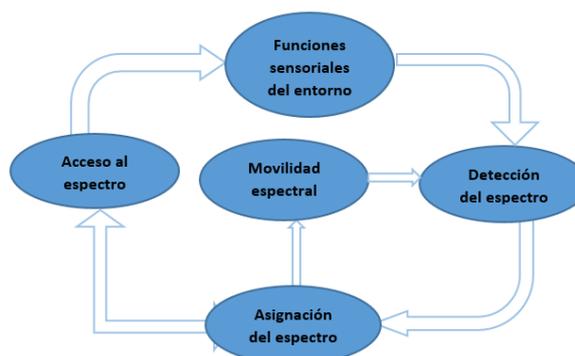
La CR se ha convertido en una poderosa tecnología de las comunicaciones con la capacidad de cambiar dramáticamente la forma ineficiente en que el espectro radioeléctrico es utilizado actualmente.

Este tipo de predicción es una forma de comunicación inalámbrica en la que un dispositivo inteligente puede detectar los canales disponibles evitando los que ya se encuentran ocupados. Para esto utiliza una serie de tecnologías como la radio adaptativa en la cual el sistema de tecnología modifica su propio rendimiento y la radio definida por software donde los componentes de hardware tradicionales como moduladores, amplificadores y mezcladores han sido reemplazados por software inteligentes [14].

La radio cognitiva tiene una modulación adaptativa lo que permite modificar las características de transmisión para explotar las oportunidades que se presenten en el espectro [15]. Tiene la capacidad de controlar la potencia de transmisión o TPC (por sus siglas en inglés Transmit Power Control), lo que permite a un dispositivo configurar dinámicamente los niveles de potencia de acuerdo a las exigencias en los procesos de transmisión.

### **2.2.1 Funciones de la RC**

El funcionamiento de la CR se basa en que los usuarios secundarios (US) no interfieran con los usuarios primarios (UP), para lograr este propósito utiliza funcionalidades principales que forman parte del ciclo cognitivo para garantizar el acceso dinámico al espectro, este ciclo representa una máquina de estados de las diferentes etapas del proceso cognitivo.



**Figura 2.3: Ciclo Cognitivo [16].**

Como se muestra en la Figura 2.3 el ciclo cognitivo incluye las etapas de análisis y detección de espectro, la asignación del espectro, compartición del espectro, y la movilidad del espectro, a continuación, definiremos cada una de ellas.

**Detección del espectro:** Detectar el espectro que no está siendo utilizado por usuarios primarios, para ser compartido por usuarios secundarios sin provocar interferencias perjudiciales entre ellos.

**Asignación del espectro:** Se selecciona el canal disponible que muestre el mejor rendimiento respecto a la calidad del servicio, al cual se le ejecuta la asignación del espectro, esta selección es en base a la banda que se va utilizar; una vez que se ha elegido la mejor opción el siguiente paso es hacer que funcionen los protocolos específicos de la banda de interés.

**Acceso al espectro:** Aquí se realiza la coordinación del acceso a la banda de frecuencia a utilizar con otros usuarios, de manera que se proporcione el espectro justo.

**Movilidad espectral:** Dejar desocupado el canal cuando se detecta que los usuarios primarios requieren nuevamente hacer uso del espectro.

Debemos considerar que las modificaciones a realizar en cada una de las etapas del proceso, es decir, el diseño de las redes de la CR dependerá del servicio que se requiera y de la banda que se utilice [17].

### **2.3 Dispositivos que funcionan con el ancho de banda disponible**

Se puede hacer referencia a todo equipo que sea adaptable para poder establecer una comunicación dentro del ancho de banda disponible máximo de 30MHz, considerando que todos los canales analógicos de la banda VHF-TV no se encuentran juntos.

No obstante, dentro de este proyecto integrador hay mayor interés en dispositivos LTE.

### **2.4 Modelos ocultos de Markov (MOM)**

En la actualidad existen diversos métodos para predecir la disponibilidad de canal, entre los más destacados se encuentran los diferentes modelos Markovianos debido a que describen muy bien el comportamiento de los canales, pues en ellos intervienen muchos procesos estocásticos.

Entre los modelos Markovianos para el presente proyecto se analizan específicamente los Modelos ocultos de Markov (MOM), desde un enfoque estadístico, ya que estos ofrecen una muy alta probabilidad de predicción sobre el estado de un canal [18].

Una de las principales diferencias entre las cadenas de Markov y modelos ocultos de Markov es, que en los MOM's los estados no son completamente visibles, pero si lo son las variables influenciadas por el estado. Lo que nos lleva a concluir que los estos modelos son capaces de determinar parámetros ocultos a partir de parámetros observables.

En un principio estos modelos fueron usados para el análisis de señales lingüísticas en los años de 1970, por los laboratorios de IBM; y hasta la actualidad su uso se basa en el reconocimiento de voz y el reconocimiento de gestos dinámicos.

#### **2.4.1 Definiciones**

Los Modelos ocultos de Markov son aquellos modelos basados en Markov donde los estados no son directamente observables, se puede ver como

un proceso estocástico “escondido” que es no observable, o como un proceso estocástico que produce la secuencia de observaciones; es decir; un doble proceso estocásticos.

En un modelo oculto de Markov existen un conjunto finito de estados, en la que cada uno de ellos está asociado con una distribución de probabilidad [19].

Las transiciones entre estados son administradas por un conjunto de probabilidades llamadas probabilidad de transición, las mismas que luego se almacenan en la Matriz de transición de probabilidades.

Como estamos hablando de manera implícita de un modelo de Markov también se cuenta con la Matriz de probabilidad de salida [20] [21].

Como definición formal del modelo oculto de Markov tenemos la ecuación (2.1):

$$\Phi = (\pi, A, B) \quad (2.1)$$

Donde:

**A:** Matriz de transición de probabilidades

**B:** Matriz de probabilidad de salida

**$\pi$ :** Vector de probabilidades iniciales

### **Matriz de transición de probabilidades**

Es una matriz estocástica cuadrada, cuyos elementos no son negativos ya que son probabilidades.

La matriz de transición y el vector de probabilidades iniciales determinan la probabilidad para el siguiente estado. Se denota de la siguiente manera en la ecuación (2.2).

$$A[i, j] = P(X_{t+1} = S_j : X_t = S_i) \quad (2.2)$$

### Matriz de probabilidades de salida

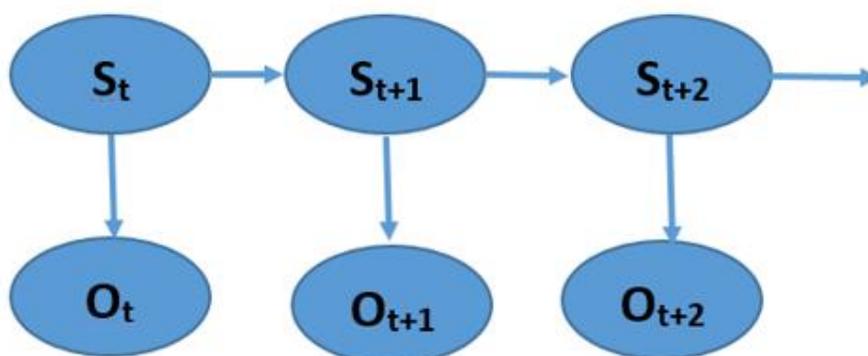
La matriz de probabilidades de salida se determina a partir de datos observables que puedan de una manera u otra ser cuantificados para obtener la probabilidad de dichos datos observados como se muestra en la ecuación (2.3).

$$B[j, k] \text{ ES } B[j, k] = P(O_t = K : X_t = S_j) \quad (2.3)$$

### Vector de probabilidades iniciales

Estos vectores conjuntamente con la matriz de transición determinan la probabilidad para el estado de la cadena en el siguiente estado de tiempo. Se puede representar de la siguiente manera como se muestra en la ecuación (2.4).

$$\pi[i] = P(X_1 = S_i) \quad (2.4)$$



**Figura: 2.3 Representación gráfica del modelo oculto de Markov**

En la Figura 2.3 podemos observar las variables  $s(t)$  que es la variable oculta en un instante de tiempo  $t$ , y las variables  $o(t)$  que es la variable observada en el mismo instante de tiempo. Las flechas nos indican dependencias condicionales.

Hasta ahora se ha mencionado únicamente los modelos ocultos de Markov HMM de manera general, más sin embargo se debe recalcar que

existen muchos algoritmos que resultan ser optimizaciones de aquellos modelos; los mismos que se aplican dependiendo de las situaciones o problemáticas a resolver, entre los más conocidos tenemos el algoritmo de forward y backware, algoritmo de Vitervi y el algoritmo de Baum-Welch, todos ellos mencionados a continuación.

## 2.5 Algoritmo de disponibilidad de canal

**Algoritmo de forward y backware:** Este algoritmo es usado para problemas de evaluación, esto es cuando hay problemas para calcular una secuencia de observaciones.

**Algoritmo de Vitervi:** Utilizado en problemas de decodificación, cuando se debe descubrir una secuencia óptima que sea capaz de generar una secuencia dada de observaciones.

**Algoritmo de Baum-Welch:** Se usa para estimación de parámetros cuando se desea ajustar datos de un modelo dado para que la probabilidad de una secuencia de observaciones sea maximizada, es bastante útil para el reconocimiento de voz, reconocimientos de gestos dinámicos. [22].

## CAPÍTULO 3

### 3. ESCENARIO DE ESTUDIO

Previamente se realizó una breve descripción de los antecedentes, problemática, y las posibles soluciones. Considerando la disponibilidad de diferentes canales conjuntos en las bandas de VHF-TV, se procede a detallar el escenario, en el que se realiza el estudio.

Dentro de este capítulo se describe todo el proceso de la predicción de n canales conjuntos, partiendo del diseño de un algoritmo para la detección de la disponibilidad de cada canal.

#### 3.1 Descripción del escenario

El escenario general para el desarrollo de este proyecto es la banda VHF (Very High Frequency) definida entre las frecuencias de 30 MHz hasta 300 MHz del espectro electromagnético, dicha banda es aprovechada principalmente para transmitir señales de radio FM, televisión, telefonía móvil, telefonía naval y terrestre y comunicación radioaficionados, como se muestra en la figura 3.1.

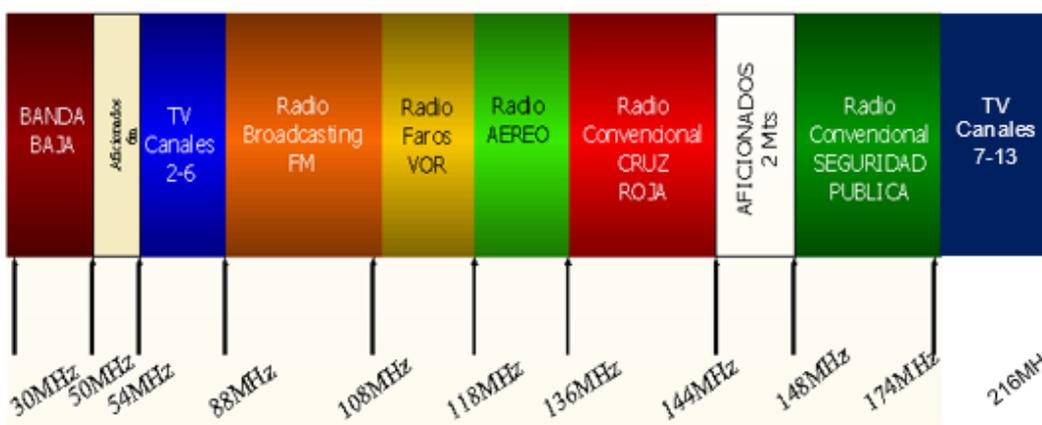


Figura 3.1: Banda VHF. [28]

El presente proyecto se enfoca en los segmentos entre 54MHz - 88MHz y 174 - 216MHz correspondientes a los canales de televisión analógica, donde cada intervalo está dividido en canales de 6Mhz.

A pesar que esta sección de espectro es muy utilizada, no se aprovecha de la mejor manera, partiendo de la interferencia entre canales adyacentes que provoca el desperdicio de espectro; otro problema es en la zona urbana, donde se encuentran edificaciones en las que la señal no llega a los usuarios finales de manera eficiente producto de la estructura de aquellos edificios (pérdidas por absorción).

Adicional a esto si se considera el apagón analógico previsto para diciembre del 2017, se pretende disponer de gran parte de la banda para introducir nuevas tecnologías; y es por tal motivo la importancia del actual tema de estudio en cuantificar el ancho de banda disponible para determinar cuáles equipos que trabajen en dichas frecuencias son útiles para optimizar el espectro.

### 3.2 Disponibilidad de Canal

El proyecto integrador inicia con el análisis de mediciones de potencias recibidas realizadas en tres niveles de un edificio ubicado en una zona urbana de la ciudad de Guayaquil.

Los niveles del edificio en donde se tomaron las mediciones fueron seleccionados de manera que se compruebe que en la banda VHF Tv la disponibilidad de canal no solo depende de la potencia recibida en un intervalo de tiempo sino también de un efecto espacial que produce que esta señal se atenúe en los niveles más bajos del edificio, por tal motivo se eligieron los pisos 9, 3 y planta baja.

Para empezar con el análisis se importan las mediciones al software Matlab y se almacenan en una matriz, se procede a comparar cada valor de potencia recibida con un treshold o umbral de potencia para así determinar la disponibilidad de un sólo canal; y nuevamente los datos se almacenan en una matriz, pero esta vez de manera discreta.

La transformación lineal a considerar para determinar el estado del canal es la siguiente:

$$\varphi = \begin{cases} 1; & Y_i < \lambda \\ 0; & \text{otro caso} \end{cases} \quad (3.1)$$

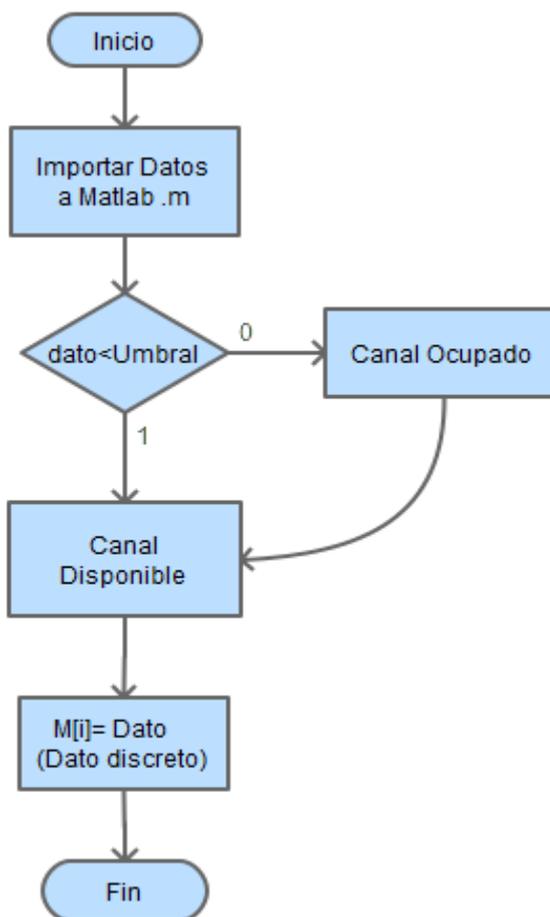
Donde la variable  $\varphi$  en (3.1) representa el estado del canal respecto a un valor de umbral  $\lambda$  en un instante de tiempo  $i$ , y a su vez si  $\varphi = 1$  implica que el canal está listo para ser reutilizado, caso contrario  $\varphi = 0$  que se encuentra ocupado [29].

Para predecir mejor el comportamiento de la disponibilidad de canal se realizaron muchas comparaciones con diferentes umbrales para así determinar con qué valor de threshold se producen mayores cambios de disponibilidad y poder evaluar el algoritmo de predicción, debido a que, si tenemos todos los canales disponibles o, por el contrario, todos los canales ocupados no hay interés en predecir si en el siguiente instante de tiempo el canal esté disponible o no.

Este algoritmo modifica todas las mediciones, manteniendo en su totalidad el número de muestras por canal, es de vital importancia implementar el algoritmo en todos los canales puesto que, por cada canal disponible se encontrarán libres 6MHz de ancho de banda significativos para utilizar con otros equipos o tecnologías en dicho nivel del edificio.

Esta nueva matriz almacena unos y ceros de manera lógica, es decir que con estos datos no se pueden realizar operaciones matemáticas; para ello es necesario realizar una conversión de datos que se presentan en el diagrama de flujo del algoritmo de predicción que se presenta en el presente capítulo.

A continuación, en la figura 3.2 se muestra un diagrama de flujo que nos ayudará a entender el procedimiento para determinar si un canal está disponible o no.



**Figura 3.2: Diagrama de flujo de disponibilidad de canal**

### 3.3 Disponibilidad de canales conjuntos

El objetivo específico del presente proyecto se basa en el diseño de un algoritmo de predicción de disponibilidad de  $n$  canales conjuntos, para lo cual se analiza desde la matriz de estados definida anteriormente.

El proceso inicia con el recorrido de dicha matriz de dimensión  $m \times n$ , donde  $m$  corresponde al número de muestras para cada canal y  $n$  al número de canales de 6 MHz de ancho de banda pertenecientes a las bandas VHF TV comprendidas entre 54 MHz-216 MHz; con un total de 12 canales analógicos.

A medida que se avanza con el recorrido de la matriz de estados para un mismo instante de tiempo  $t_i$  se pregunta si el canal  $C_j$  se encuentra disponible en la posición  $[i, j]$ , acto seguido se cuestiona si el siguiente canal, es decir, en la

posición  $[i,j+1]$  se encuentra disponible también como se muestra en la tabla 3; en caso de serlo se guarda un 1 como resultado, en una nueva matriz de disponibilidad de canales conjuntos, caso contrario se guarda un cero como se indica en la tabla 4.

	$[j]$ →						
$[i]$	C1	C2	C3	C4	...	Cn	
t1	1	1	0	0	...	0	
t2	0	1	1	0	...	0	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
tm	1	1	1	0	...	0	

**Tabla 3: Determinación de disponibilidad de canal**

	2cc	3cc	4cc	5cc	...	(n)cc
t1	1	0	0	0	...	0
t2	1	0	0	0	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
tm	1	0	0	0	...	0

**Tabla 4: Determinación de disponibilidad de canales conjuntos**

La secuencia de pasos para llenar cada columna de la matriz de n canales conjuntos se repite para 3, 4, 5, hasta n canales conjuntos, es decir, su nueva dimensión será  $m \times (n-1)$ .

Una vez realizado el procedimiento para el total de canales analógicos de la banda de interés, queda listo el escenario para diseñar e implementar el algoritmo de predicción.

### 3.4 Modelo de predicción

Existen un sin número de modelos predictivos, de los cuales para el análisis de disponibilidad de canal en los que intervienen los sistemas con OSA y de CR, los más empleados son los modelos Markovianos.

Entre ellos se selecciona el Modelo oculto de Markov para realizar el análisis en este proyecto, para aplicarlo se necesita obtener sus parámetros fundamentales.

$$\Phi = (\pi, A, B) \quad (3.2)$$

A través de dichos parámetros de la ecuación (3.2) se determina la probabilidad de disponibilidad de los grupos de canales conjuntos, para ello se selecciona una porción del tamaño total de filas de la matriz de disponibilidad, que representa el rango de muestras para realizar las actualizaciones.

Este nuevo tamaño de muestras varía a manera de optimizar la predicción, al inicio se consideran actualizaciones diarias, luego dos veces al día, posteriormente tres veces al día hasta llegar a actualizar cada hora como se muestra en la figura 3.3, donde se estiman las actualizaciones con una regla de tres simple en la que intervienen el número total de muestras y la cantidad de horas en las que se realizaron dichas mediciones.

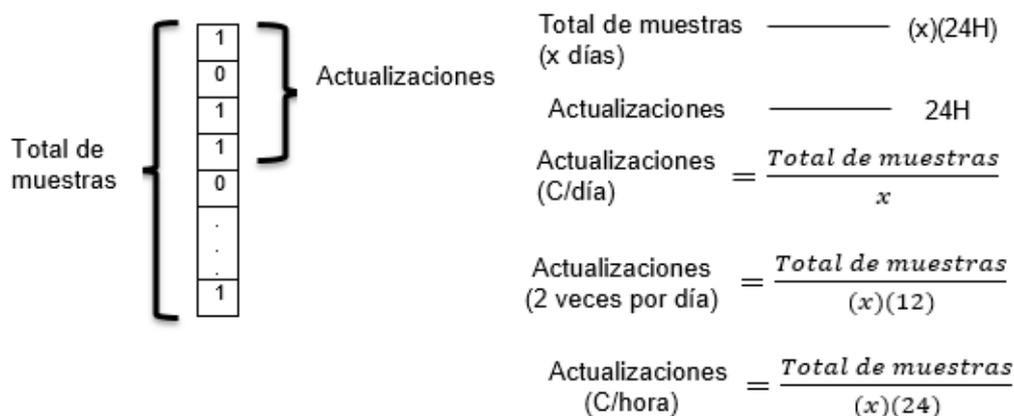
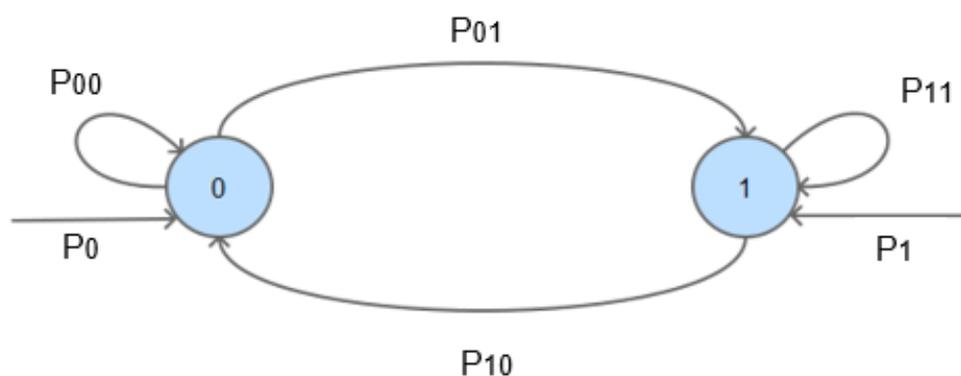


Figura 3.3: Actualizaciones

Nótese que “Actualizaciones” sigue siendo una matriz columna, con un nuevo tamaño de muestras, con la ayuda de los parámetros de los MOM’s se obtiene de dicho vector la predicción de disponibilidad para ese conjunto de canales, del siguiente bloque de muestras.

El MOM se puede representar de manera gráfica mediante un diagrama de estados, en él se incluyen todos los parámetros de interés como se muestra a continuación en la figura 3.4.



**Figura 3.4 Diagrama de estados general**

Se puede notar que sólo constan dos estados haciendo referencia a la disponibilidad de canales, El estado 0 que indica que el aquel grupo de canales conjuntos se encuentran ocupados, y el estado 1 señala que existe disponibilidad; además se pueden visualizar las probabilidades iniciales cómo  $P_0$  y  $P_1$ ; y las de transición cómo ( $P_{00}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{10}$  y  $P_{11}$ ) [30].

A continuación, se detalla de manera específica cada uno de los parámetros del MOM.

### 3.4.1 Vector de probabilidades iniciales

El vector de probabilidades iniciales o vector  $\pi$  cómo también se lo denomina, es de tamaño  $(n \times 1)$ , donde  $n$  es el número de estados que intervienen en el análisis.

$\pi$  se determina para cada submatriz (mx1) que se obtiene en cada actualización, es decir, cada m muestras se va a actualizar la base de datos de las mediciones para con ellos predecir los siguientes m estados.

El análisis empieza asumiendo la propiedad de Markov en (3.3) que indica que el estado actual sólo depende del estado anterior.

$$P(X_t|X_1, \dots, X_{t-1}) = P(X_t|X_{t-1}) \quad (3.3)$$

Asumiremos también que dicha distribución  $P(X_t|X_{t-1})$  es independiente de t; es decir, que el modelo probabilístico no cambia con el tiempo, la manera de realizar la transición entre un instante y otro.

Para el presente caso se estudia dos posibilidades  $S=[S_1, S_2]$ , donde  $S_1$  señala el estado 0 que hace referencia a que el canal se encuentra ocupado y  $S_2$  el estado 1 que indica que existe disponibilidad del canal.

Entonces para el cálculo de probabilidades iniciales tenemos:

$$\pi = \pi(i), \text{ donde } \pi(i) \text{ ES } P(X_k = S_i) \quad (3.4)$$

Donde:

$$\pi_1 = P(X_k = S_1) = \frac{\sum_{k=1}^m \text{ceros}}{m} \quad (3.5)$$

Cuando se analiza el estado  $S_1$  el término del vector de probabilidades iniciales se obtiene de la probabilidad de que el estado  $X_k$  sea igual al estado en evaluación como se denota en (3.4), la expresión (3.5) permite determinar dicha probabilidad mediante la razón entre la sumatoria de ceros que existen en la submatriz actualizaciones y el tamaño de muestras de la misma [31].

$$\pi_2 = P(X_k = S_2) = \frac{\sum_{k=1}^m \text{unos}}{m} \quad (3.6)$$

De la misma forma cuando se analiza el estado  $S_2$  el término del vector de probabilidades iniciales se obtiene de la probabilidad de que el estado  $X_k$  sea igual al estado en evaluación, la expresión (3.6) permite determinar dicha probabilidad mediante la razón entre la sumatoria de unos que

existen en la submatriz actualizaciones y el tamaño de muestras de la misma.

Como resultado se obtiene el vector  $\pi$  que se muestra en (3.7):

$$\pi: \begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

### 3.4.2 Matriz de transición

La matriz de transición o matriz A es de dimensión cuadrada que depende del número de estados, como en el análisis intervienen 2 estados, que sea "0" cuando el canal está ocupado, o que sea "1" cuando el canal está disponible, se tiene una matriz A de (2x2).

Esta matriz se obtiene del cálculo de las probabilidades de transición es decir que un estado se mantenga o tome un valor diferente.

$$A = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} \\ P_{1,0} & P_{1,1} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Para poder calcular los valores de la matriz en (3.8) se empieza por la diagonal de la misma.

En la ecuación (3.9) se calcula la probabilidad de que se mantenga un valor de cero es decir que conociendo que el estado actual  $X_t = 0$  se calcula la probabilidad de que  $X_{t+1} = 0$  con esto obtenemos  $P_{0,0}$  [32].

$$P_{0,0} = P(X_{t+1} = 0 | X_t = 0) = \frac{P(0 \cap 0)}{P(0)} \quad (3.9)$$

Así mismo se obtiene la probabilidad de que se mantenga un valor de uno, que de manera formal se escribe en la ecuación (3.10):

$$P_{1,1} = P(X_{t+1} = 1 | X_t = 1) = \frac{P(1 \cap 1)}{P(1)} \quad (3.10)$$

Una vez que tenemos los valores se puede calcular de manera más fácil los otros dos valores de probabilidad para completar la matriz.

Los valores de  $P_{0,1}$  y  $P_{1,0}$  se pueden obtener en (3.11) y (3.12) a partir de las probabilidades  $P_{0,0}$  y  $P_{1,1}$  respectivamente, esto sería tan solo el complemento de estos valores.

$$P_{0,1} = 1 - P_{0,0} \quad (3.11)$$

$$P_{1,0} = 1 - P_{1,1} \quad (3.12)$$

Esto se debe a que se tiene que cumplir con la ecuación (3.13) que indica que la sumatoria de las probabilidades de la matriz de transición debe ser igual a 1.

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 \quad (3.13)$$

Lo que se hace para obtener estos valores es cuantificar el número de transiciones que cumplan con los requerimientos de la probabilidad condicional, en las ecuaciones (3.14) y (3.15) se analizan respectivamente el requerimiento específico para cada caso.

$$\frac{P(0 \cap 0)}{P(0)} = \frac{\sum \text{transición de 0 a 0}}{\sum \text{ceros}} \quad (3.14)$$

$$\frac{P(1 \cap 1)}{P(1)} = \frac{\sum \text{transición de 1 a 1}}{\sum \text{unos}} \quad (3.15)$$

Donde la sumatoria de ceros y de unos hace referencia a la cantidad de los mismos, que existen en la submatriz de actualizaciones.

### 3.4.3 Matriz de probabilidades de salida

Previamente se ha mencionado sobre las múltiples aplicaciones de los modelos Markovianos, principalmente el modelo de cadenas de Markov que cuenta con un sinfín de utilidades, sin embargo, existen muchas situaciones reales que no pueden modelarse con tal método.

El problema más común es que los estados no son observables directamente, además todo lo que se pueda observar depende propiamente del estado actual, aunque con incertidumbre.

Es por ello que aparece esta matriz de probabilidades de salida, que va a contener un vector de probabilidades de emisiones para cada estado. Es decir, la matriz B va a tener un tamaño de (nxK) donde K es el número de emisiones por cada estado.

Las propiedades a considerar son las siguientes:

Propiedad de Markov (3.16)

$$P(X_t | X_1, \dots, X_{t-1}) = P(X_t | X_{t-1}) \quad (3.16)$$

Independencia de las observaciones (3.17)

$$P(E_t | X_1, \dots, X_t, E_1, \dots, E_{t-1}) = P(E_t | X_t) \quad (3.17)$$

Mediante el uso de estas propiedades se puede notar que:

- En cada instante, el estado depende sólo del estado en el instante anterior.
- En cada instante, lo observado depende sólo del estado en ese instante.

La diferencia entre el modelo de cadenas de Markov, y el modelo oculto de Markov, es que en el segundo modelo los estados no son directamente observables, a pesar de ello existe alguna forma de cuantificar los datos con el fin de obtener valores de sus respectivas probabilidades de emisión [31].

En este tema de estudio a simple vista parece que no existieran emisiones, debido a que sólo intervienen dos estados, y no hay mayor complicación en definir que si no es el estado 0, es el estado 1.

Sin embargo, se logra obtener aquellas probabilidades de emisiones desde la matriz de estados que se definió al inicio del capítulo, en la misma que se detalla, que para que exista disponibilidad basta con que se disponga por lo menos con un conjunto de  $n$  canales adyacentes disponibles, aunque este número podría ser mayor a uno.

Ahora el principal interés es encontrar cuantos conjuntos de canales adyacentes existen con disponibilidad y determinar para cada instante de tiempo cuál es la probabilidad de que existan 0 canales conjuntos disponibles, 1,2,3 ... hasta  $n$  canales conjuntos disponibles.

Para ello se necesita una nueva matriz, la cual se denomina matriz de emisiones cuya dimensión será de  $m \times (j+1)$ , donde el valor de  $j$  depende del número de canales conjuntos disponibles de interés, y se adiciona el uno debido a que se considera la probabilidad de que no exista disponibilidad.

$$j = \left\lfloor \frac{12}{x} \right\rfloor \quad (3.18)$$

Con la ecuación (3.18) se obtiene el valor de  $j$ , donde 12 hace referencia al número total de canales analógicos en que se puede dividir la banda VHF TV, y  $x$  es el número de canales conjuntos disponibles que se desea analizar.

x	j	Matriz de Probabilidades de Salida
2	6	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1) \ P(2) \ P(3) \ P(4) \ P(5) \ P(6)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1) \ P(2) \ P(3) \ P(4) \ P(5) \ P(6)] \mid P(Xt = S2)$
3	4	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1) \ P(2) \ P(3) \ P(4)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1) \ P(2) \ P(3) \ P(4)] \mid P(Xt = S2)$
4	3	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1) \ P(2) \ P(3)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1) \ P(2) \ P(3)] \mid P(Xt = S2)$
5	2	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1) \ P(2)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1) \ P(2)] \mid P(Xt = S2)$
6	2	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1) \ P(2)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1) \ P(2)] \mid P(Xt = S2)$
7	1	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S2)$
8	1	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S2)$
9	1	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S2)$
10	1	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S2)$
11	1	$\beta_{1,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S1)$ $\beta_{2,j} [P(0) \ P(1)] \mid P(Xt = S2)$

**Tabla 5: Matriz de probabilidades de salida**

En la tabla 5 se muestran los diferentes valores de  $j$ , para cada conjunto de canales adyacentes disponibles y las dimensiones de cada matriz de probabilidades de salida con sus probabilidades condicionadas respectivas.

### 3.5 Algoritmo de predicción

Para la elaboración del algoritmo de predicción de disponibilidad de canales conjuntos, se acude a la ayuda de una función perteneciente a las librerías del software Matlab denominada Hmgenerate, que se muestra en (3.19).

$$[\text{secuencias, estados}] = \text{Hmgenerate}(\text{a, MTr, ME}) \quad (3.19)$$

Donde:

**a:** Número de muestras a predecir

**MTr:** Matriz de transición

**ME:** Matriz de emisiones o probabilidades de salida

El nombre de esta función hace referencia a las siglas en inglés del modelo oculto de Markov (Hidden Markov Model) y lo que realiza es, la generación de una matriz columna con los posibles "a" siguientes estados.

Para ello recibe como parámetros el número de muestras a predecir, es decir, la dimensión de la nueva matriz la cual lleva el nombre de matriz Hm; la matriz de transición y la de probabilidades de salidas, ambas evaluadas en la matriz actualizaciones.

Los resultados de la función de Matlab serán valores desde uno hasta el máximo número de estados, siempre haciendo referencia al primer estado, es decir si no ocurre ningún cambio se mantendrá en dicho estado.

Luego se realiza conversión de dichos valores a 1's y 0's, considerando la comparación que si se obtiene un 1 hace referencia al primer estado es decir 0; si se obtiene un 2 hace referencia al segundo estado que en el presente análisis es el estado 1.

La matriz Hmm se obtiene de manera directa como matriz fila, por lo tanto, se debe convertir a matriz columna, con el objetivo de compararla con la siguiente matriz de Actualización [32].

Después se realiza la suma de las matrices teórica y Hmm respectivamente y se determina el error entre ellas en (3.20), cabe recalcar que el valor de la sumatoria representa la cantidad de unos que se encuentran en cada matriz, es decir, el número de ocasiones que el canal estuvo disponible.

$$error = \frac{sum(Mteorica) - sum(Hmm)}{número\ de\ muestras} \quad (3.20)$$

Finalmente, en (3.21) se obtiene el valor de la probabilidad de predicción del algoritmo determinando el complemento a uno del error.

$$predicción = 1 - error \quad (3.21)$$

A continuación, en la figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al algoritmo de predicción de disponibilidad de n canales conjuntos, partiendo desde las mediciones realizadas en un edificio de la ciudad de Guayaquil.

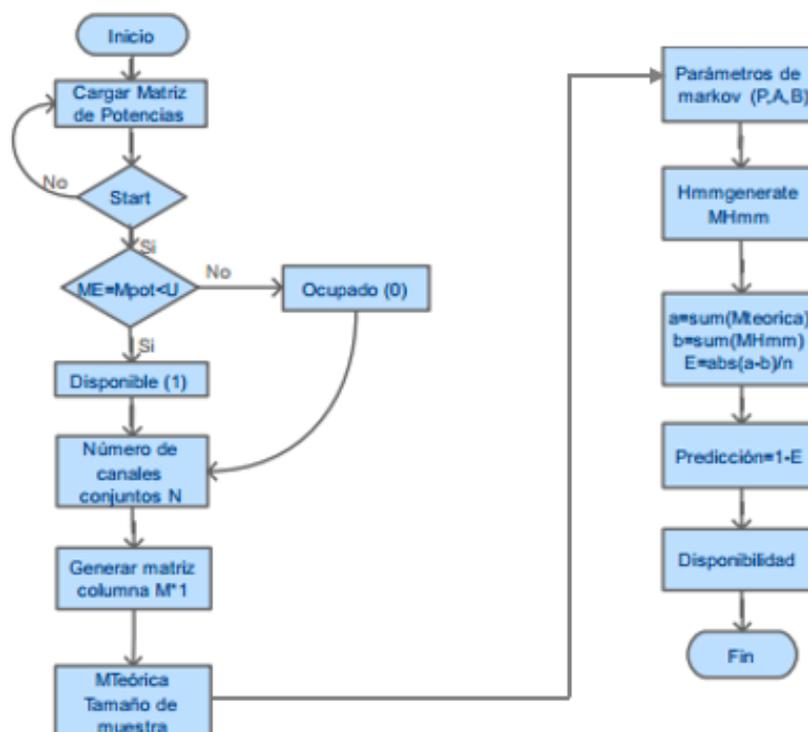


Figura 3.5: Diagrama de Flujo del algoritmo de predicción

## CAPÍTULO 4

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Descripción

En esta sección se realiza el análisis de los resultados obtenidos con el algoritmo de predicción de n canales conjuntos, se observa a detalle el comportamiento de cada parámetro Markoviano y de las diferentes matrices mencionadas con anterioridad, en base a estos resultados se podrá concluir cuál es el mejor escenario para implementar el algoritmo en estudio.

#### 4.2 Matriz de estados

Esta matriz se genera de la comparación entre cada medición de potencia recibida y el umbral de potencia ingresado por el usuario.

Como resultado se obtienen valores lógicos unos o ceros, pero aquellos valores no son óptimos para realizar operaciones, por lo cual es necesario convertirlos en otro tipo de dato en esta ocasión a double, en el software se realiza la conversión de los datos directamente con la ayuda de la función double, como se muestra a continuación en (4.1):

$$\text{matrizEstados}=\text{double}(\text{matrizPotencias}<\text{umbral}) \quad (4.1)$$

La matriz de estados correspondiente a las mediciones realizadas en el piso 16 del edificio, se encuentran en el rango de -67 a -25dBm, es decir, para umbrales mayores a -67 no existe disponibilidad lo que conlleva a que la matriz de estados piso 16 esté llena de ceros.

De la misma manera sucede con las mediciones de la planta baja, se encuentran en el rango de -99 a -65 dBm, es decir, para umbrales -67 siempre hay disponibilidad lo que conlleva a que la matriz de estados planta baja esté llena de unos.

Las mediciones del piso 9 tienen otro comportamiento, de tal forma que sus matrices de estados van a oscilar entre ceros y unos, es decir tiene mayor variación sobre todo entre los umbrales -66 y -70dBm.

A continuación, en la tabla 6 se visualiza la matriz de estados referente al piso nueve del edificio, para un umbral de -66.5 dBm, en la cual sus filas corresponden al tiempo de medición y sus columnas a los canales analógicos independientes.

Canal \ Tiempo	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
t2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
t3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
t4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t6	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
t7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t8	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
t9	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
t11	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t12	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t13	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t14	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
t15	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
t16	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
t17	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
t18	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
t19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

**Tabla 6: Matriz de estados piso 9**

En la misma se puede observar los estados de cada canal analógico a lo largo del tiempo, notando que los canales 3,9,11,13 se encuentran totalmente disponibles, esto se debe a que en la ciudad de Guayaquil donde se encuentra ubicado el edificio en análisis no existen transmisiones de canales nacionales en dichas frecuencias.

A pesar que en el canal 5 si existe transmisión de tv analógica, se nota cierta variación de disponibilidad; esto se debe a que la señal no llega de manera eficiente al usuario y afecta al nivel de potencia recibida.

En el canal 12 existe mayor disponibilidad es muy probable que el problema en este canal sea el nivel de referencia de potencia recibida, con un umbral diferente se puede conseguir mejores resultados.

La matriz de estados es el paso previo a la matriz de canales conjuntos en donde se analiza cuantos canales consecutivos existen con estado disponible, en la tabla 4-1 se observa que existe disponibilidad conjunta en los canales del 11 al 13, por lo que se vuelve sumamente importante el estado del canal 12 ya que de él depende que exista o no disponibilidad de 2 canales conjuntos.

En las filas t6, t15 y t19 se observa que el canal 12 no se encuentra disponible, lo que conlleva a que no exista disponibilidad de 2 canales conjuntos, no ocurre lo mismo en la columna t8 porque a pesar que el canal 12 se encuentra ocupado, el canal 8 y 9 se encuentran disponibles al mismo tiempo.

Para las filas restantes existe disponibilidad de canales conjuntos de la forma como se muestra en la fila t1 para los canales 11 y 12, no se considera el conjunto de 12 y 13 puesto que el análisis se realiza sin traslape.

En el caso de contar con los 12 canales disponibles al hacer el traslape se obtiene un número máximo de 11 grupos de 2 canales conjuntos disponibles, lo cual no es posible contar con un ancho de banda de 132MHz en 12 canales de tv analógica, cuando realmente se tiene 72MHz, por tal motivo el análisis se realiza sin traslape.

A simple vista se observa que para esta matriz de estados específica se obtiene un máximo de tres canales conjuntos, es decir un ancho de banda de 18MHz.

### **4.3 Matriz de canales conjuntos**

Para determinarla necesitamos conocer si existen canales conjuntos disponibles y cuántos hay, para la matriz de estados anterior se obtuvo la matriz de canales conjuntos de la tabla 7.

En la que se puede observar que existe un máximo de tres canales conjuntos disponibles, y para las columnas t6, t15 y t19 no existe disponibilidad de ningún canal.

CC \ T	2cc	3cc	4cc	5cc	6cc	7cc	8cc	9cc	10cc	11cc	12cc
t1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t11	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t13	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t16	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t17	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 7: Matriz de canales conjuntos piso 9**

Tanto la matriz de estados, como la matriz de canales conjuntos dependen únicamente de las mediciones de potencias recibidas, es decir, mientras se trabaje con el mismo umbral estos resultados no varían.

#### 4.4 Probabilidad de predicción

Es aquella probabilidad de efectividad del algoritmo de predicción de canales conjuntos, se determina a partir de la comparación de la matriz teórica y la matriz generada por la función Hmgenerate.

Los resultados representan cuan acertado es el algoritmo, el mismo que se acepta cuando su probabilidad es mayor a 0.80.

En la tabla 8 se muestran las probabilidades obtenidas para diferentes umbrales de potencias correspondientes a cada agrupación de canales conjuntos.

Es importante considerar que el valor de la probabilidad de predicción varía en cada iteración debido a que la matriz simulada no siempre es la misma, por lo cual cada predicción ubicada en la tabla es un promedio de 5 mediciones de probabilidad.

Debido a que en televisión analógica se trabaja en promedio con una referencia de -70dBm se ha seleccionado el rango de -80 a -60dBm para graficar los resultados, y analizarlos en intervalos de 2dBm, sin embargo, al obtener mayor variación en el rango de -66 a -69dbm, se optó por cambiar el intervalo a 0.5dBm únicamente en dicho rango, para visualizar mejor el cambio de probabilidades.

Una observación importante es que para ejecutar el algoritmo se necesita ingresar el número de muestras con el que se desea trabajar, es decir cada que tiempo se van a realizar las actualizaciones, para este caso se ha seleccionado actualizaciones cada hora, con un número de 320 muestras por hora.

Tabla 8: Probabilidades de predicción

umbral	2CC	3CC	4CC	5CC	6CC	7CC	8CC	9CC	10CC	11CC
-80	0.99688	0.996625	0.99625	0.995625	0.99813	0.995625	0.99875	0.99875	0.996875	0.995625
-78	0.99725	0.9975	0.99625	0.996875	0.99438	0.9975	0.99875	0.994375	0.9975	0.99625
-76	0.998	0.99625	0.99625	0.99625	0.99688	0.998125	0.99875	0.995625	0.99625	0.996875
-74	0.99588	0.99625	0.99875	0.9975	0.99625	0.998125	0.99625	0.9975	0.996875	0.9975
-72	0.98938	0.991625	0.996875	0.996875	0.99813	0.9975	0.998125	0.998125	0.996875	0.9975
-70	0.90788	0.967	0.99625	0.996875	0.99688	0.998125	0.9975	0.99875	0.996875	0.996875
-69	0.90813	0.909375	0.99875	0.993125	0.99688	0.998125	0.998125	0.996875	0.9975	0.9975
-68.5	0.90313	0.900625	0.996875	0.998125	0.99688	0.996875	0.998125	0.9975	0.99625	0.99875
-68	0.936	0.855625	0.995625	0.996875	0.99563	0.9975	0.996875	0.995	0.9975	0.999375
-67.5	0.905	0.825625	0.995625	0.995625	0.99375	0.996875	0.996875	0.990625	0.996875	0.99625
-67	0.91	0.795625	0.998125	0.998125	0.99813	0.995	0.9975	0.99625	0.995	0.99625
-66.5	0.96688	0.764375	0.966875	0.998125	0.995	0.99625	0.9975	0.996875	0.9975	0.996875
-66	0.96988	0.779875	0.994375	0.998125	0.99563	0.9975	0.998125	0.995	0.99875	0.996875
-64	0.98863	0.97825	0.99625	0.9975	0.99625	0.99625	0.993125	0.9975	0.99875	0.99625
-62	0.99688	0.9915	0.998125	0.996875	0.99688	0.99875	0.998125	0.996875	0.995	0.996875
-60	0.99688	0.995	0.991875	0.994375	0.995	0.99625	0.995625	0.9975	0.996875	0.996875

Para dos canales conjuntos la predicción entre los umbrales de -70 a -67dBm varía entre 0.90 y 0.94, lo que conlleva a decir que el algoritmo es bastante eficiente considerando que dicho rango es el peor escenario para esta agrupación de canales.

Para tres canales conjuntos el algoritmo de predicción es menos eficaz puesto que su probabilidad de predicción entre los umbrales de -69 a -66dBm se reduce hasta 0.764, sin embargo, al considerar que los resultados corresponden a un promedio de 5 ejecuciones consecutivas del algoritmo, estas mediciones tienden a superar la probabilidad deseada de 0.80

Para las demás agrupaciones de canales conjuntos la probabilidad de predicción es cercana a uno, esto se debe a que no existe mayor variación de la disponibilidad de canales; de hecho, en la matriz conjunta sólo existe un máximo de tres canales conjuntos disponibles.

A continuación, en la figura 4.1 se observan las diferentes curvas de variaciones de probabilidades de predicción versus los umbrales para cada agrupación de canales conjuntos, las mismas que van desde 2 hasta 11.

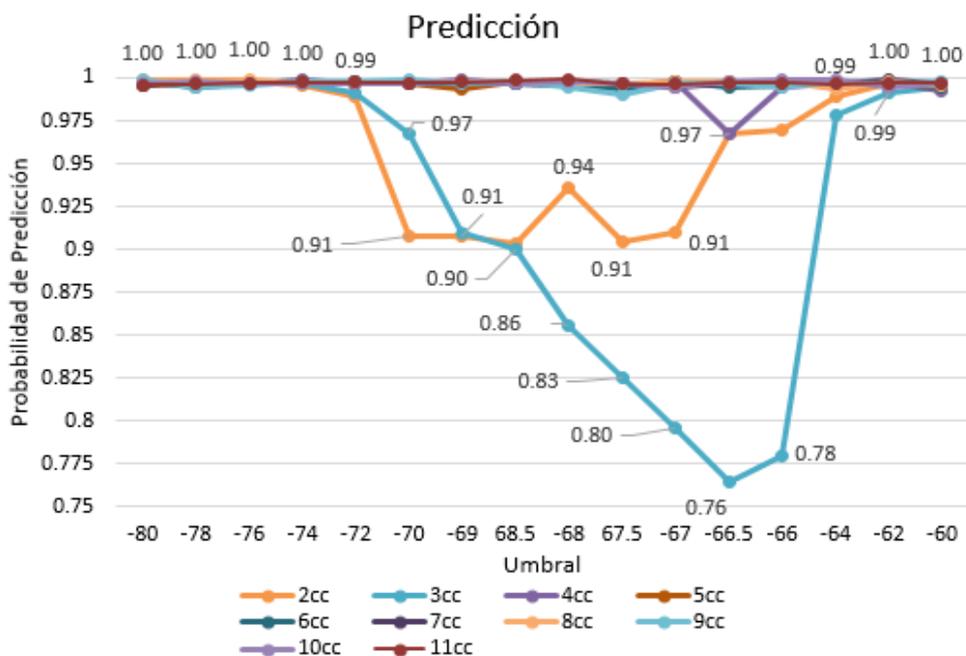


Figura 4.1: Probabilidades de predicción

En el eje vertical que corresponde a la probabilidad de predicción se considera el rango de 0.75 a 1 para que la variación entre las diferentes curvas sea más evidente.

A simple vista se puede observar que existe mayor variación en agrupaciones de dos, tres y cuatro canales conjuntos, aunque para cuatro es mínima; para las demás agrupaciones de canales conjuntos la variación es insignificante.

Que la probabilidad sea uno no se refiere que exista disponibilidad, sino más bien a que no hay cambios considerables dentro de las matrices teóricas y simuladas, es decir, que se encuentran en mayor proporción llenas de ceros, o, por lo contrario, de unos.

Para la curva naranja que representa a grupos de dos canales conjuntos la mínima probabilidad de predicción es de 0.9 y ocurre con un umbral de -68.5dBm, un valor de gran aceptación para el algoritmo predictivo.

Para la curva azul que representa a grupos de tres canales conjuntos la mínima probabilidad de predicción es de 0.76 y se consigue con un umbral de -66.5dBm, un valor con mayor incertidumbre respecto al caso anterior, aunque se recuerda que el resultado se obtiene de un promedio de 5 ejecuciones del algoritmo, realizadas con los mismos parámetros.

Con la presente gráfica se comprueba la existencia de una agrupación de 4 canales conjuntos en el umbral de -66.5dBm con una probabilidad de 0.97, de la misma forma en la sección 4.3 se establece que sólo existe un máximo de 3 canales conjuntos, por lo que es importante recordar que en cada ejecución del algoritmo la matriz simulada varía y se obtienen diferentes mediciones de probabilidades de predicción.

En el anexo A1 se observan de manera más detallada las diferentes figuras correspondientes a las curvas obtenidas de la probabilidad de predicción y probabilidad de disponibilidad para agrupaciones de 2 hasta 5 canales conjuntos.

#### 4.5 Probabilidad de disponibilidad

Para manifestar si las agrupaciones de canales conjuntos se encuentran disponibles o no, en el algoritmo se incluye una variable de nombre estado siguiente, la cual en base a la comparación de las probabilidades iniciales define si el estado siguiente de los grupos de canales conjuntos es disponible u ocupado.

La comparación se realiza de la siguiente forma en (4.2):

$$\text{estado siguiente: } \begin{cases} 0 & , P_0 > P_1 \\ 1 & , P_1 > P_0 \end{cases} \quad (4.2)$$

El resultado de dicha operación se multiplica por el valor de probabilidad obtenida en la tabla 8 para los diferentes umbrales de potencia, de este modo se presentan los valores de la probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos en la tabla 9.

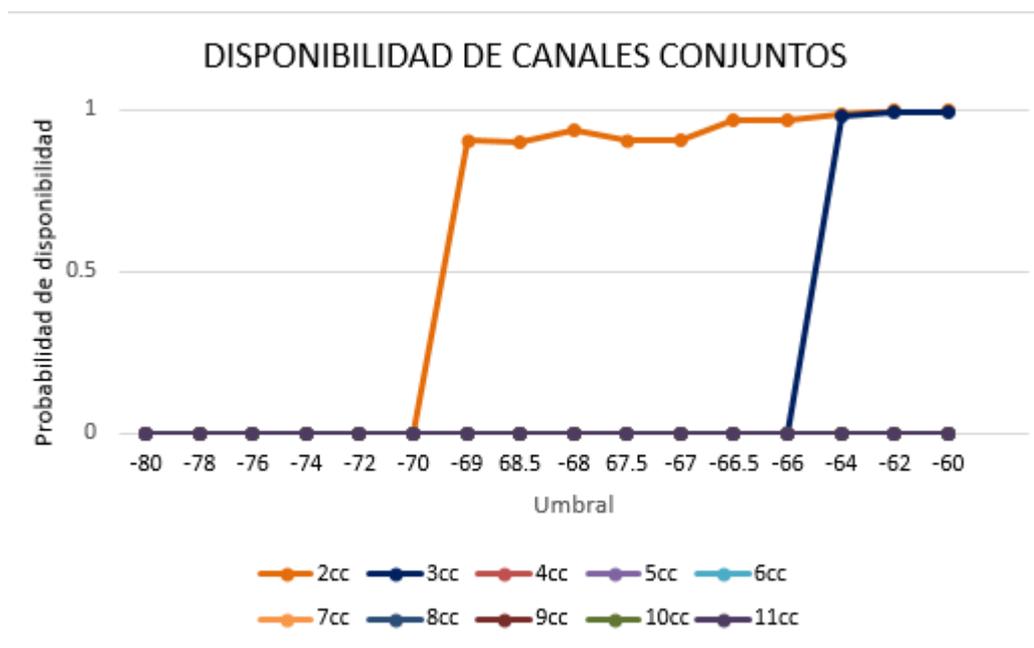
umbral	2cc	3cc	4cc	5cc	6cc	7cc	8cc	9cc	10cc	11cc
-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-69	0.908125	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68.5	0.903125	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-68	0.936	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67.5	0.905	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-67	0.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-66.5	0.966875	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-66	0.969875	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-64	0.988625	0.97825	0	0	0	0	0	0	0	0
-62	0.996875	0.9915	0	0	0	0	0	0	0	0
-60	0.996875	0.995	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 9: Disponibilidad de canales conjuntos

En la figura 4-2 se puede observar que existe disponibilidad para dos canales conjuntos a partir del umbral de -70dBm, para tres canales conjuntos a partir de -66dBm, y no existe disponibilidad para los demás grupos de canales conjuntos.

Además, se debe considerar que no siempre la curva tiene este comportamiento estable, pues en los umbrales para los que existe mayor variación de disponibilidad los estados siguientes van a estar cambiando bruscamente entre cero y uno.

Se realiza la ejecución del algoritmo en múltiples ocasiones con el objetivo de definir un rango estable donde se pueda manifestar que el grupo de canales conjuntos se encuentren siempre disponible o siempre ocupado, es decir en la figura 4.2 aquellos rangos donde exista una disponibilidad incierta se grafica con una probabilidad igual a cero.



**Figura 4.2: Disponibilidad de canales conjuntos**

#### 4.6 Comparación de probabilidades de predicción

Hasta el momento se ha considerado un número de muestras específico de 320 correspondientes a una hora de medición, ahora se va a comparar estos resultados con los obtenidos en 1000 muestras aproximadamente tres horas y 7680 concernientes a un día de medición.

En la tabla 10 se muestran los resultados para los diferentes números de muestras, en un grupo de dos canales conjuntos.

En esta ocasión sólo se consideran los umbrales de potencia donde existe disponibilidad es decir entre -69 hasta -60dBm.

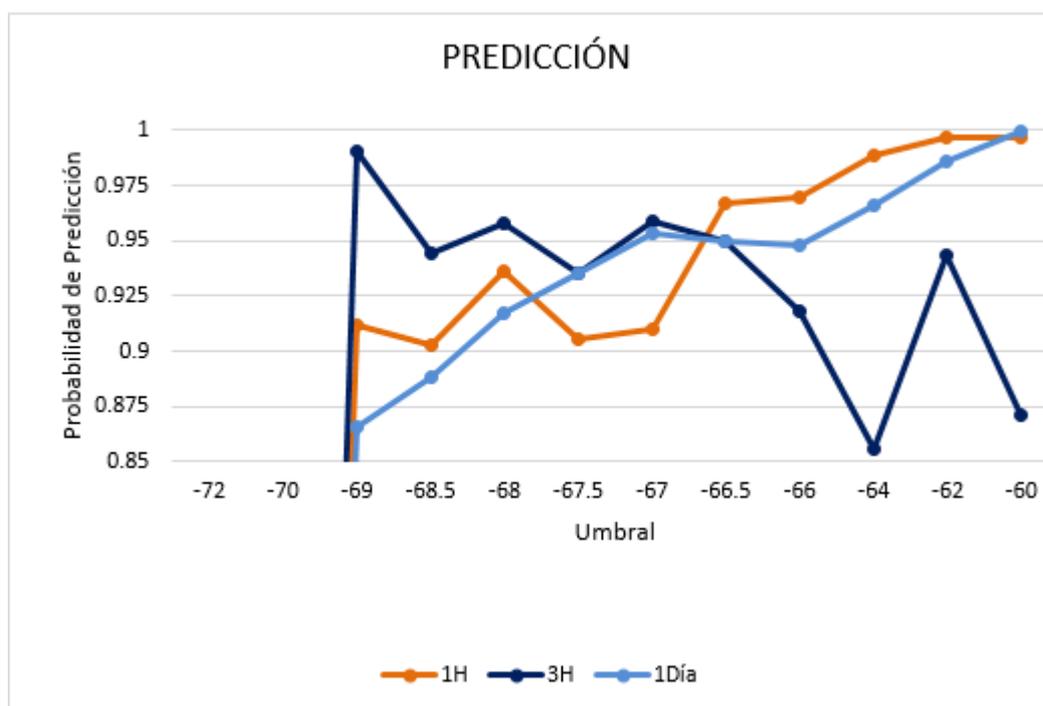
A simple vista se observa el patrón de disponibilidad para cada grupo de mediciones, sin embargo, no se visualiza con la misma facilidad un patrón referente para los diferentes tiempos de actualizaciones, para el umbral -69 si se compara con la referencia de 1 hora, en 3 horas aumenta la probabilidad de predicción mientras que para un día disminuye.

Cuando se realiza el gráfico de los datos de la tabla 10, se puede analizar a simple inspección las tendencias de las mediciones.

2 CANALES CONJUNTOS			
umbral	1H	3H	1Día
-69	0.9114	0.9908	0.866
-68.5	0.9031	0.944	0.8882
-68	0.936	0.9578	0.917
-67.5	0.905	0.935	0.9356
-67	0.91	0.9584	0.9536
-66.5	0.9669	0.9496	0.9496
-66	0.9699	0.918	0.948
-64	0.9886	0.856	0.9664
-62	0.9969	0.943	0.9857
-60	0.9969	0.871	0.999

**Tabla 10: Comparación de probabilidades de predicción**

En la figura 4.3 se puede observar las diferentes curvas de probabilidad de predicción para distintos números de muestras correspondientes a las actualizaciones de 1 hora, 3 horas y 1 día.



**Figura 4.3: Comparación de probabilidades de predicción**

En el rango de -69 a -67dBm las curvas tienen un comportamiento ascendente y similar entre ellas, pero después de ese rango de umbrales el comportamiento entre la curva de 3H es completamente distinto a las otras.

Esto ocurre porque los canales de manera individual tienen un comportamiento que se puede manejar fácilmente, pero al hacer el análisis de manera conjunta no es tan sencillo, puesto que en televisión analógica se deja un canal de guarda por motivo de las interferencias entre canales adyacentes.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De los tres niveles del edificio, donde se realizaron las mediciones se hizo énfasis en el piso nueve debido a que en el piso dieciséis todos los canales se encuentran ocupados y en la planta baja todos están disponibles.
2. En el piso nueve del edificio, se encuentra mayor variación entre los umbrales de potencia  $-66\text{dBm}$  y  $-70\text{dBm}$ , este rango es trascendental para verificar el algoritmo, mas sin embargo para la probabilidad de disponibilidad es un rango con mayor incertidumbre de estado siguiente.
3. Según la figura 4-3 de disponibilidad de canales conjuntos se puede concluir que existe un máximo de tres canales conjuntos, es decir un ancho de banda de  $18\text{MHz}$ .
4. La efectividad de la predicción es de  $93\%$ , cuando existe una proporción entre sus estados del  $80/20$ , y el mínimo porcentaje de predicción se obtiene cuando tenemos una proporción de  $50/50$ , y este es de  $76\%$ , lo cual conlleva a concluir que el algoritmo es bastante eficiente.
5. El vector de probabilidades de salida ayuda a predecir de mejor manera el comportamiento de los datos, lo cual hace que el algoritmo tenga alto grado de efectividad.
6. La probabilidad de predicción no depende del número de muestras, pues para umbrales mayores a  $-66.5\text{dBm}$  mientras mayor sea el número de muestras menos asertivo es el algoritmo.
7. Ordenar las mediciones por canales y obtener la relación del número de muestras para cada intervalo de actualización de manera anticipada, pues al momento de ejecutar el algoritmo se pide ingresar por teclado el número de muestras.
8. Observar los rangos de potencias en los que fluctúan las mediciones de potencias recibidas para determinar los umbrales con los que se realizará el análisis.

9. El código debe quedar de la manera más genérica posible para que el usuario no intervenga de manera consecutiva, sino únicamente ingrese los parámetros iniciales e ir directamente a los resultados.
10. Al momento de obtener la matriz de transición recordar que sólo importan los valores de las diagonales, si se determinan también los otros valores la suma de cada fila será diferente de uno.
11. Para los valores de las probabilidades de salidas se debe realizar un análisis exhaustivo puesto que los valores son observables directamente, y es difícil hallar parámetros ocultos por lo que fue necesario retroceder a la matriz de estados.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Llanos, Gestión del Espectro Radioeléctrico en Ecuador (págs. 13-17). Quito: Corporación Editora Nacional.
- [2] Constitución-de-la-republica-del-ecuador-unidad-2, Ma. Augusta Herrera.
- [3] Kevin Magallanes, Paolo Cedeño: Medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencia asignado a servicios fijos (1427-1518MHz) de la banda UHF del espectro electromagnético en la Fiec, campus Prosperina.
- [4] Regulación y políticas públicas para la TV digital, Bolivia, 2014
- [5] MINTEL. (10 de mayo de 2013). Apagón analógico en Ecuador. Quito
- [6] Grupo de Maestría en telecomunicaciones, Universidad de Cauca, noviembre 2014.
- [7] ACORN REDECOM. (2010). Gestión del Espectro "Demanda y debate sobre sus usos alternativos". En S. M. Cabello, Gestión del Espectro "Demanda y debate sobre sus usos alternativos"
- [8] M. Simón, P. H. (s.f.). Aproximaciones al estudio de la gestión del Espectro Radioeléctrico.
- [9] [gigatecno.blogspot.com](http://gigatecno.blogspot.com).
- [10] Luis Fernando Pedraza: Modelo de propagación para un entorno urbano que identifica las oportunidades espectrales para redes móviles de radio cognitiva.
- [11] Actividad de ocio-turística y personas mayores, análisis de diferencias psicosociales, entre viajeros y no viajeros, Inmaculada Armadans, Barcelona, marzo 2002 M.
- [12] Henry Jacho, Julio Pereira: Medición espectral, análisis y modelamiento estadístico de la disponibilidad de canales en la banda VHF-TV en el interior de un edificio en una zona urbana en la ciudad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [13] B. Moreno, J. Salazar: "Estudio y Análisis de Factibilidad para la Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador," Tesis de

Grado, Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2011

- [14] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee: NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks:
- [15] Raikel Bordón López, Samuel Montejo Sánchez: La Radio Cognitiva y su impacto en el uso eficiente del espectro de radio.
- [16] Pin-Hsun Lin and Eduard A. Jorswieck: Secure Cognitive Radio Networks with Multi-Phase Smart Relaying and Cooperative Jamming
- [17] Sistemas de Televisión convencional, Recomendación UIT-R BT.470-6\*, 1998.
- [18] <http://documents.tips/documents/radio-cognitivapdf.html>
- [19] <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/84098/tnbd.pdf;sequence=3>
- [21] <http://www.redalyc.org/html/2570/257029750014/index.html>
- [22] Cesar Hernández, Luis Fernando Pedraza Martínez, Fredy Hernán Martínez Sarmiento: Algoritmos para asignación de espectro en redes de radio cognitiva.
- [23] Estudio de los modelos ocultos de Markov y desarrollo de un prototipo para el reconocimiento automático del habla, Diana Macas, William Padilla.
- [24] Modelos gráficos probabilistas, L Enrique Sucar; INOE: Sesión 7.
- [25] Modelos de Markov, problema de entrenamiento; Manuel Cartuche, Juan Carlos Sarango.
- [26] <https://prezi.com/tgv9qtgroqys/reconocimiento-de/>  
<https://es.slideshare.net/efcuencaq/modelos-ocultos-de-markov>
- [27] <http://es.slideshare.net/efcuencaq/modelos-ocultos-de-markov>
- [28] Radio de dos vías y su funcionamiento; Pablo Turmero
- [29] Procesos de Markov, José Luis Ruiz, Francisco Martín/Ampliación de inteligencia artificial, 2014-2015.

- [30] Modelos ocultos de Markov, L Enrique Sucar/ Modelos gráficos probabilistas INAOE.
- [31] Miguel A. Alonso, Jorge Graña, Jesús Vilares: Modelos ocultos de Markov HMM.
- [32] Irwin Alberto Viteri Rambay, Mayra Liseth Macías Capa: Medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencias asignado a servicios fijo-móvil (335-400 MHz) de la banda UHF del espectro electromagnético en la Fiec, Campus Prosperina.

## ANEXOS

### ABREVIATURAS

VHF: Very High Frequency

MHZ: Mega Hertz

TV: Televisión

TDT: Televisión Digital Terrestre

OSA: Acceso Oportunista al Espectro

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

FM: Frecuencia Modulada

NTSC: Comité Nacional de Servicio de Televisión

CR: Radio Cognitiva

US: Usuario Secundario

UP: Usuario Primario

MOM: Modelos Ocultos de Markov

TPC: Transmit Power Control

IBM: International Business Machines

HMM: Hidden Markov Model

dBm: Decibelio-milivatio

## A1

### DOS CANALES CONJUNTOS

- U= -66dBm
- n: 320

$$P: \begin{bmatrix} 0.1875 \\ 0.8125 \end{bmatrix} \quad A: \begin{bmatrix} 0.2500 & 0.7500 \\ 0.1769 & 0.8231 \end{bmatrix} \quad B: \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9731 & 0.0269 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Resultados finales			
# 1's Mteórica	# 1's MHmm	Estado siguiente	Predicción
226	219	1	0.978125
192	231	1	0.878125
229	195	1	0.89375
264	237	1	0.915625
245	270	1	0.921875

Tabla 11: Resultados finales 2cc

2 CANALES CONJUNTOS			
Umbral	Predicción	estado siguiente	DISPONIBILIDAD
-80	0.998125	0	0
-78	0.998125	0	0
-76	0.996875	0	0
-74	0.996875	0	0
-72	0.984375	0	0
-70	0.921875	0	0
-68	0.955625	1	0.955625
-66	0.9525	1	0.9525
-64	0.988125	1	0.988125
-62	0.996875	1	0.996875
-60	0.996875	1	0.996875

Tabla 12: Resultados para diferentes umbrales 2cc

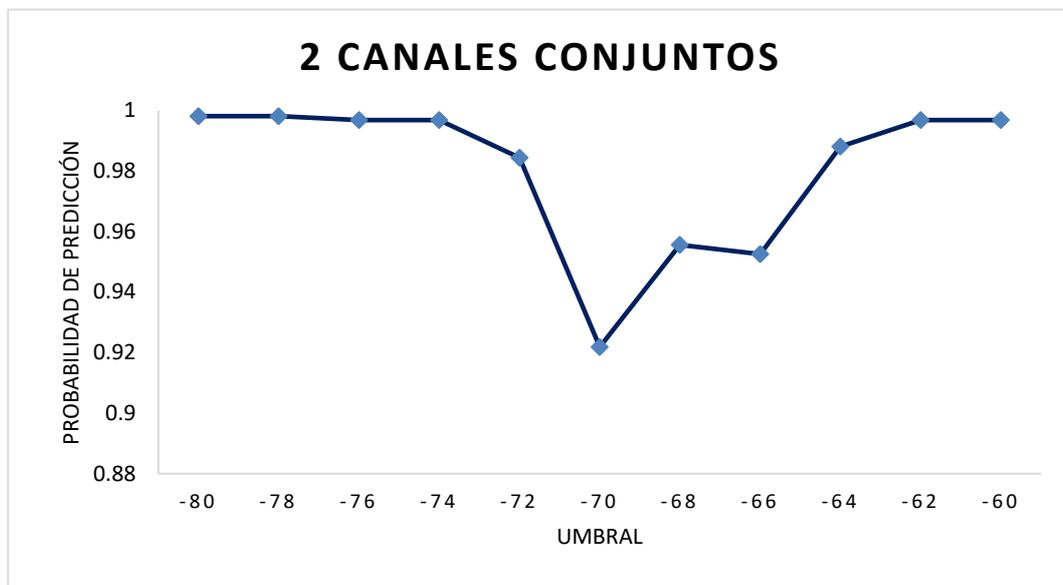


Figura 1: Probabilidad de predicción para 2cc

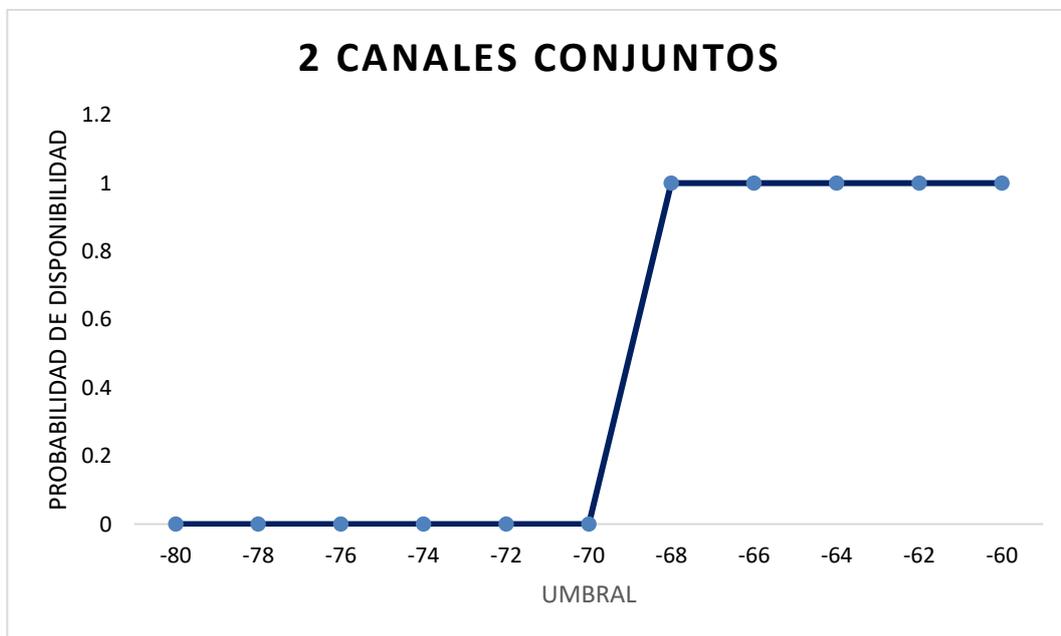


Figura 2: Probabilidad de disponibilidad para 2cc

### TRES CANALES CONJUNTOS

- U= -65dBm
- n: 320

$$P: \begin{bmatrix} 0.3531 \\ 0.6469 \end{bmatrix}$$

$$A: \begin{bmatrix} 0.5752 & 0.4248 \\ 0.2367 & 0.7633 \end{bmatrix}$$

$$B: \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Resultados finales			
# 1's Mteórica	# 1's MHmm	Estado siguiente	Predicción
187	197	1	0.96875
240	185	1	0.828125
237	235	1	0.99375
292	243	1	0.846875
270	290	1	0.9375

Tabla 13: Resultados finales 3cc

3 CANALES CONJUNTOS			
Umbral	Predicción	estado siguiente	DISPONIBILIDAD
-80	0.99625	0	0
-78	0.995	0	0
-76	0.995625	0	0
-74	0.995625	0	0
-72	0.990625	0	0
-70	0.96375	0	0
-68	0.836875	0	0
-66	0.7825	0	0
-64	0.985	1	0.985
-62	0.99625	1	0.99625
-60	0.994375	1	0.994375

Tabla 14: Resultados para diferentes umbrales 3cc

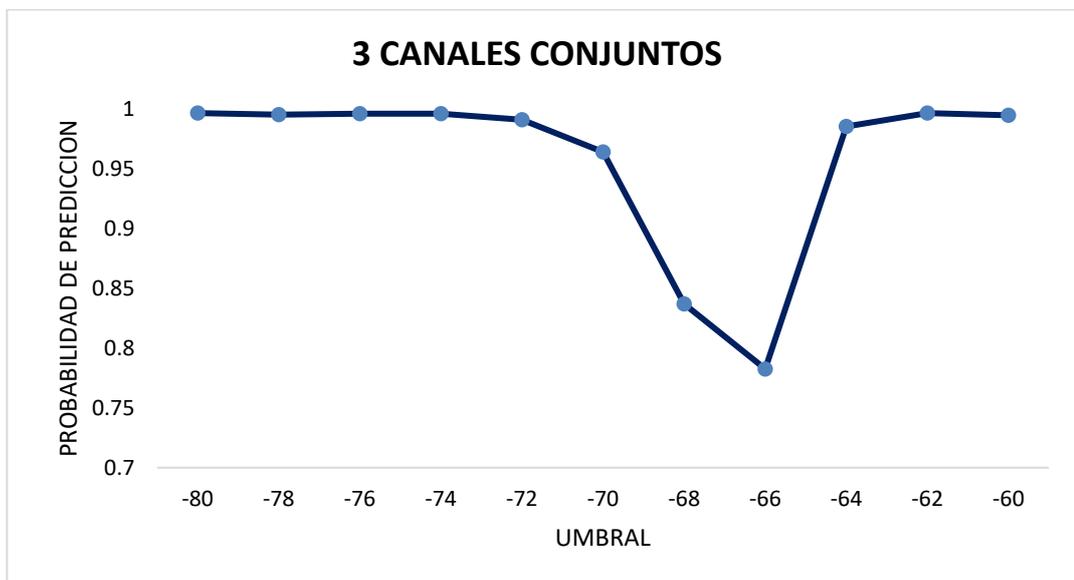


Figura 3: Probabilidad de predicción para 3cc

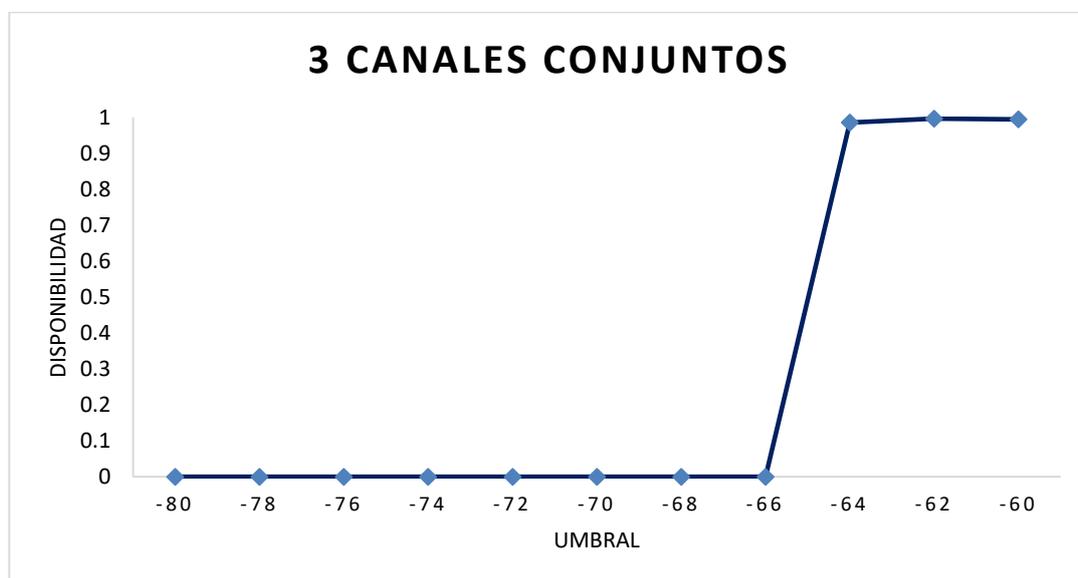


Figura 4: Probabilidad de disponibilidad para 3cc

### CUATRO CANALES CONJUNTOS

- U= -66dBm
- n: 320

$$P: \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad A: \begin{bmatrix} 0.9969 & 0.0031 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B: \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Resultados finales			
# 1's Mteórica	# 1's MHmm	Estado siguiente	Predicción
0	2	0	0.99375
0	0	0	1
0	1	0	0.996875
0	1	0	0.996875
0	3	0	0.990625

Tabla 15: Resultados finales 4cc

4 CANALES CONJUNTOS			
Umbral	Predicción	estado siguiente	DISPONIBILIDAD
-80	0.99625	0	0
-78	0.99625	0	0
-76	1	0	0
-74	1	0	0
-72	0.996875	0	0
-70	0.99625	0	0
-68	0.995625	0	0
-66	0.994375	0	0
-64	0.99625	0	0
-62	0.998125	0	0
-60	0.991875	0	0

Tabla 16: Resultados para diferentes umbrales 4cc

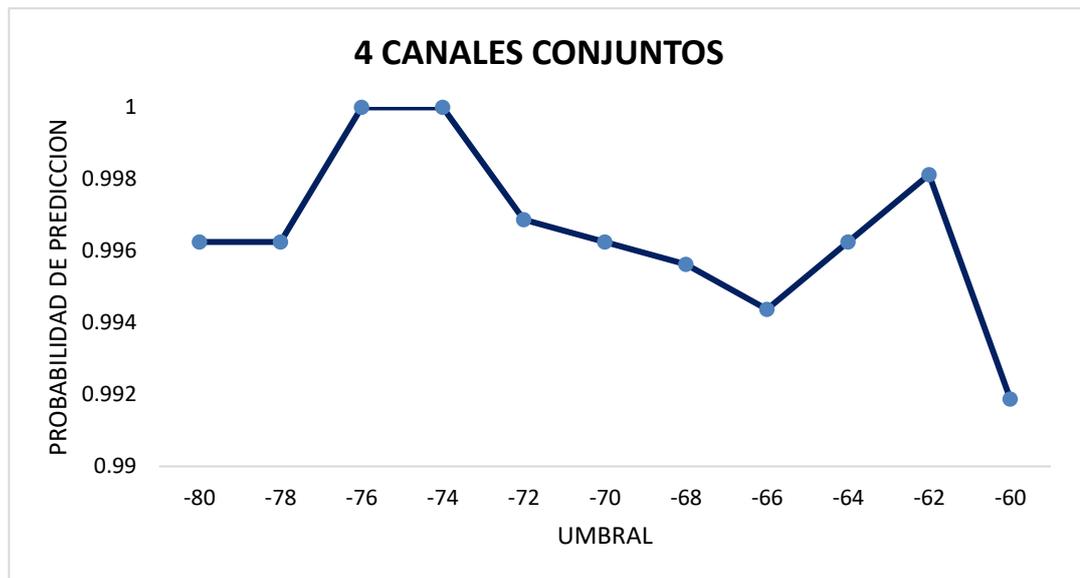


Figura 5: Probabilidad de predicción para 4cc

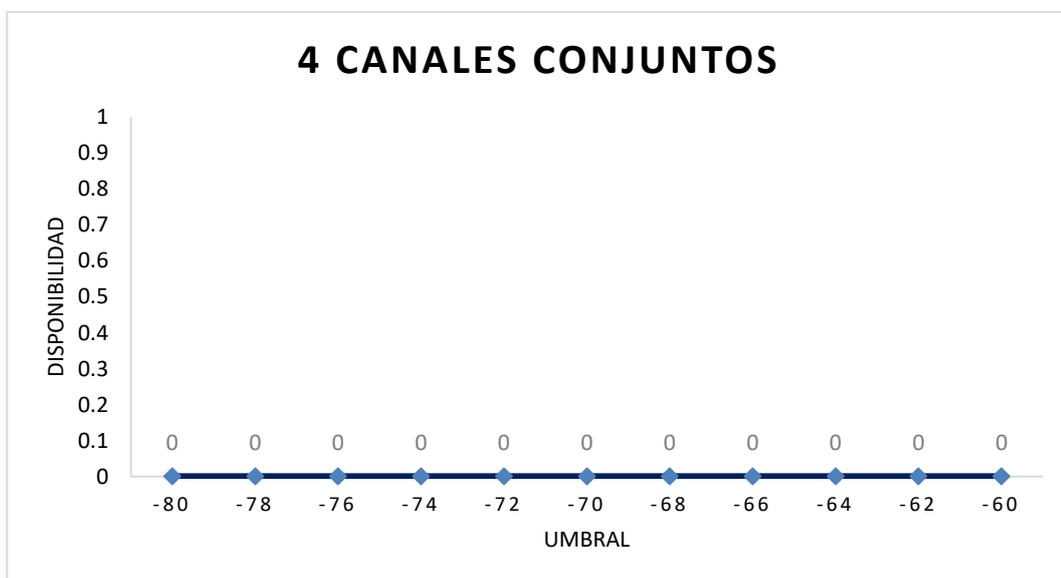


Figura 6: Probabilidad de disponibilidad para 4cc

### CINCO CANALES CONJUNTOS

- U= -66dBm
- n: 320

$$P: \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad A: \begin{bmatrix} 0.9969 & 0.0031 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B: \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz de Resultados finales			
# 1's Mteórica	# 1's MHmm	Estado siguiente	Predicción
0	2	0	0.99375
0	0	0	1
0	1	0	0.996875
0	0	0	1
0	0	0	1

Tabla 17: Resultados finales 5cc

5 CANALES CONJUNTOS			
Umbral	Predicción	estado siguiente	DISPONIBILIDAD
-80	0.995625	0	0
-78	0.996875	0	0
-76	0.99625	0	0
-74	0.9975	0	0
-72	0.996875	0	0
-70	0.996875	0	0
-68	0.996875	0	0
-66	0.998125	0	0
-64	0.9975	0	0
-62	0.996875	0	0
-60	0.994375	0	0

Tabla 18: Resultados para diferentes umbrales 5cc

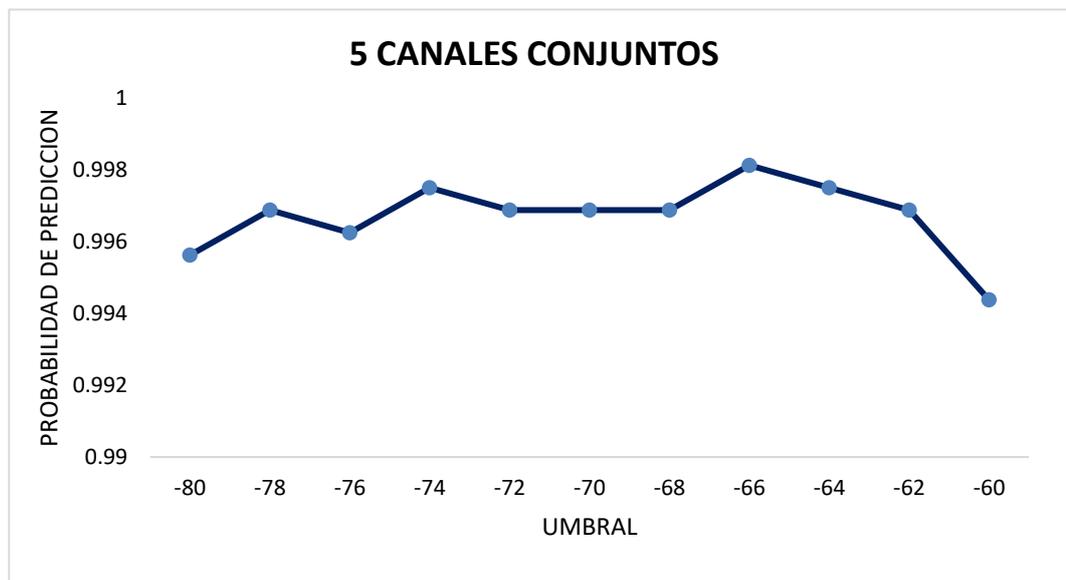


Figura 7: Probabilidad de predicción para 5cc

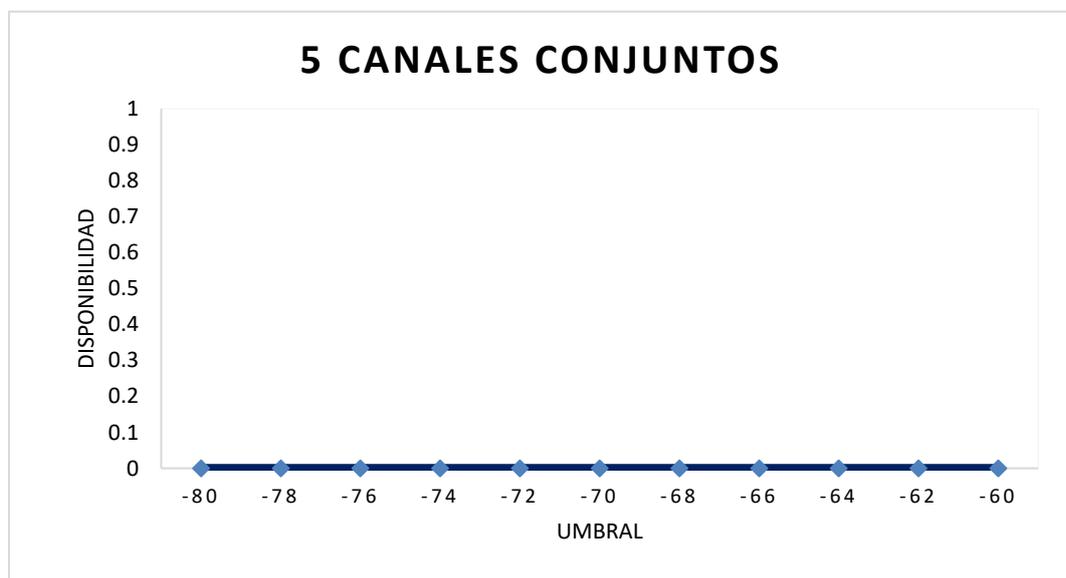


Figura 8: Probabilidad de disponibilidad para 5cc