



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“IMPACTO DE LA MOVILIDAD SOBRE EL RENDIMIENTO DE SISTEMAS
DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

MICHAEL ANDRÉS HERRERA PILATUÑA

JORGE ENRIQUE PAREDES CASTRO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

A Todos aquellos que de una manera directa o indirecta me ofrecieron su ayuda a lo largo de mi carrera profesional, de manera especial al Dr. Francisco Novillo por haberme permitido realizar el presente trabajo de graduación.

Michael Andrés Herrera Pilatuña.

Jorge Enrique Paredes Castro.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi Dios todopoderoso y a mis padres Polivio Herrera y Ana Pilatuña por todos sus apoyos durante las etapas de mi vida. A mis hermanas Silvia Herrera y Génesis Herrera por el apoyo incondicional, gracias profundamente por la confianza, a pesar de mis errores y deficiencia.

Michael Andrés Herrera Pilatuña.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres que sin ellos esto no fuese posible, a mis hermanas que estuvieron conmigo en especial en mi educación primaria y secundaria, a mis sobrinos: Sebastián, Ariana, Andrea y a mi compañero Michael Herrera por la ayuda incondicional al momento de finalizar el presente proyecto de graduación.

Jorge Enrique Paredes Castro

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Dr. Francisco Novillo

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN



Ing. Jorge Gómez

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Michael Herrera Pilatuña



Jorge Paredes Castro

RESUMEN

La creciente necesidad de conectividad inalámbrica está impulsando la adopción masiva y el uso de redes de área local inalámbricas (WLAN's), basado en el estándar IEEE 802.11 (Wi-Fi). La proliferación de zonas de alta densidad de dispositivos de conexión inalámbrica causa altos niveles de interferencia en las bandas no licenciadas (por ejemplo, las bandas ISM) disponibles para la operación de las WLAN's, que en última instancia, puede dar lugar a una degradación, tanto impredecible en rendimiento de la red como en el uso no planificado entre los puntos de acceso.

Los mecanismos de asignación de canal son la herramienta central utilizado hoy en día para la mitigación de los problemas de interferencia en la banda ISM causada por AP vecinos. Sin embargo, independientemente de la capacidad de los diferentes algoritmos de asignación de canal para mejorar el

rendimiento WLAN, la cantidad de espectro disponible en bandas no licenciadas para uso de WLAN puede todavía constituir un factor limitante en zonas densamente congestionadas. En este contexto, la explotación de porciones adicionales de las bandas del espectro radioeléctrico que están asignados a una determinada aplicación o servicio pero que se encuentran siendo inutilizados o no ocupado en lugares y horarios específicos puede ayudar a mejorar aún más el rendimiento de las redes WLAN, como es el caso de lo que llamaremos las Banda Primaria o “Primary Band” como por ejemplo Las bandas de frecuencias usadas en Televisión Digital y otras aplicaciones. En este documento se tratarán diversos conceptos importantes de las comunicaciones inalámbricas orientadas al estándar IEEE 802.11, los cuales serán aplicados en los algoritmos de asignación de canal antes mencionados como: disposición de la banda ISM, disposición de la banda primaria PB, ancho de banda de transmisión/recepción, modelo de propagación empleado para el cálculo del factor de interferencia o penalidad, máxima penalidad permisible para el buen desempeño de la comunicación entre los elementos.

Este proyecto está organizado en cinco capítulos. En el Capítulo 1 se trata las generalidades del mismo. El Capítulo 2 explicará la fundamentación teórica sobre la cual se basa el presente trabajo de graduación. El Capítulo 3 se detallará a fondo sobre el cálculo del factor de penalidad y la condición de factibilidad. En el capítulo 4 se especificará cada uno de los algoritmos

considerados en el proyecto. En el Capítulo 5 se detallaran los resultados de la aplicación de cada uno de los algoritmos sobre los escenarios propuestos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN... ..	VII
ÍNDICE GENERAL.....	X
ABREVIATURAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
CAPÍTULO 1	
1.DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	1
1.1. Antecedente y Motivaciones.	1

1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivos Generales	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3 Identificación del problema	4
1.4 Descripción del proyecto	6
 CAPÍTULO 2	
2. ESTADO DEL ARTE DE MECANISMOS DE ASIGNACIÓN DE CANAL PARA WLAN.....	8
2.1. Sistemas WLAN.....	8
2.1.1. Topología	9
2.1.2. Bandas de frecuencia.....	12
2.2. Acceso Oportunista al Espectro.....	19
2.2.1. Sistemas de radio-cognitiva.....	20
2.2.2. TVWS	22
2.3. Mecanismos de Asignación de Canal	23
 CAPÍTULO 3	
3. MODELAMIENTO DEL SISTEMA	27
3.1. Descripción del escenario	27
3.2. Condiciones para la interferencia.....	29
3.2.1. Modelo Espectral y Análisis de la Interferencia en Frecuencia.....	29
3.2.2. Análisis del Modelo de Propagación.....	31

3.2.3. Área de Uso de usuarios Secundarios SU	31
3.2.4. Área de Interferencia de un SU a otro SU	34
3.3. Penalidad y condición de factibilidad	36
CAPÍTULO 4	
4. PLANTEAMIENTO Y SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	38
4.1. Algoritmos Propuestos.....	39
4.1.1. Algoritmo de Asignación Aleatoria (RDM).....	39
4.1.2. Algoritmo de la Mínima Penalidad Máxima (MinMax)	41
4.1.3. Algoritmo de la Mínima Suma de Penalidad (MinSum)	44
CAPITULO 5	
5. EVALUACIÓN DE LOS ALGORITMOS.....	47
5.1. Pruebas con Escenarios “Tipo A”	49
5.1.1. Escenarios “Tipo A”. Usando canales de Banda ISM	50
5.1.2. Escenarios Tipo A. Usando canales de las Bandas ISM+PB	54
5.2. Pruebas con Escenarios “Tipo B”	61
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74

ABREVIATURAS

<u>ABREVIATURA</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
AP	Punto de acceso (<i>Access Point</i>)
CR	Radio cognitiva (<i>Cognitive Radio</i>)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
ISM	Bandas de radio Industriales, científicas y médicas (<i>Industrial, Scientific and Medical</i>)
OSA	Acceso oportunista al espectro (<i>Oppotunistic Spectrum Access</i>)
PB	Banda primaria (<i>Primary Band</i>)
PU	Usuario primario (<i>Primary Users</i>)
STA	Estaciones clientes (<i>Client stations</i>)
SU	Usuario secundario (<i>Secondary Users</i>)

TVWS	Espacios en blanco de TV (TV White Space)
UHF	Frecuencia ultra alta (Ultra High Frequency)
VHF	Muy alta frecuencia (Very High Frequency)
WLAN	Red de área local inalámbrica (Wireless Local Area Network)

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. ESCENARIO DENSO DE AP'S, PU'S Y STA'S	5
FIGURA 2.1 SUPERPOSICIÓN DE CANALES WLAN A 2.4GHZ.....	16
FIGURA 2.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS CANALES DE BANDA PRIMARIA ..	18
FIGURA 3.1 ESCENARIO DE 10 AP'S.	28
FIGURA 3.2 SOLAPE FRECUENCIAL.....	29
FIGURA 3.3: RADIO DE USO	33
FIGURA 3.4: INTERFERENCIA ENTRE AP'S.....	35
FIGURA 3.5. FACTOR DE PENALIDAD ENTRE UN PAR DE APS.....	36
FIGURA 4.1 PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO RDM.	40
FIGURA 4.2 PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO MINMAX.	43
FIGURA 4.3: PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO MINSUM.....	46
FIGURA 5.1 SUMA DE PENALIDADES ISM PARA ESCENARIOS TIPO "A" VS NUMERO DE AP'S POR ESCENARIO	52

FIGURA 5.2 MÁXIMA PENALIDAD ISM PARA ESCENARIOS TIPO “A” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO	52
FIGURA 5.3 PORCENTAJE DE CAMBIO DE CANAL ISM EN ESCENARIOS TIPO “A” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO.....	53
FIGURA 5.4 PORCENTAJE DE FACTIBILIDAD ISM EN ESCENARIOS TIPO “A” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO	53
FIGURA 5.5 SUMA DE PENALIDADES PARA ESCENARIOS TIPO “A” CON ASIGNACIÓN DE CANALES EN LA BANDA: A) ISM. B) PB.....	56
FIGURA 5.6 MÁXIMA PENALIDAD PARA ESCENARIOS TIPO “A” CON ASIGNACIÓN DE CANALES EN LA BANDA: A) ISM. B) PB.....	56
FIGURA 5.7 PORCENTAJE DE CAMBIO DE CANAL EN ESCENARIOS TIPO “A” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO	58
FIGURA 5.8 PORCENTAJE DE USO DE LA PB EN ESCENARIOS TIPO “A” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO.....	59
FIGURA 5.9 PORCENTAJE DE FACTIBILIDAD (ISM+PB) EN ESCENARIOS TIPO “A” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO.....	59
FIGURA 5.10 SUMA DE PENALIDADES PARA ESCENARIOS TIPO “B” CON ASIGNACIÓN DE CANALES EN LA BANDA: A) ISM. B) PB.....	63

FIGURA 5.11 MÁXIMA PENALIDAD PARA ESCENARIOS TIPO “B” CON ASIGNACIÓN DE CANALES EN LA BANDA: A) ISM. B) PB.....	64
FIGURA 5.12 PORCENTAJE DE CAMBIO DE CANAL EN ESCENARIOS TIPO “B” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO	66
FIGURA 5.13 PORCENTAJE DE USO DE LA PB EN ESCENARIOS TIPO “B” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO.....	66
FIGURA 5.14 PORCENTAJE DE FACTIBILIDAD (ISM+PB) EN ESCENARIOS TIPO “B” VS NUMERO DE AP’S POR ESCENARIO.....	67

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1 BANDAS ISM	12
TABLA 2 CANALES Y FRECUENCIAS ISM DISPONIBLES POR PAÍS/REGIÓN	15
TABLA 3: PARÁMETROS DE SIMULACIÓN	48

INTRODUCCIÓN

Las redes de área local inalámbricas son ahora la tecnología de acceso predominante para dispositivos móviles como: ordenadores portátiles, celulares inteligentes, tabletas y lectores electrónicos, etc. En promedio, los usuarios de teléfonos inteligentes utilizan WLAN un tercio del tiempo para conectar sus dispositivos a Internet a pesar de tener la cobertura celular, como se indica en [1].

Cada dispositivo WLAN hace uso compartido y no preferencial de bandas de frecuencias no licenciadas, siendo la banda ISM (industrial, científica y médica), dispuesta en bandas de frecuencias adyacentes en torno a los 2.4 GHz la más utilizada [2]. Así, despliegues WLAN con concentraciones altas de puntos de accesos, podrían dar lugar a niveles excesivos de interferencia en dicha banda de frecuencia que podría deteriorar el rendimiento de la red.

Escenarios WLAN densos pueden surgir de las implementaciones de redes WLAN empresariales a gran escala, así como el resultado de múltiples instalaciones WLAN individuales en edificios residenciales.

En este contexto, los mecanismos de asignación de canal constituyen la herramienta principal en la reducción del nivel de interferencia entre WLAN's vecinos tanto como sea posible a fin de no perjudicar el rendimiento de la red.

Hasta ahora, el problema de asignación de canales para WLAN en bandas no licenciadas (por ejemplo, 2.4 y 5 GHz ISM) ha despertado el interés en la comunidad de investigación [3], [4], [5], [6]. Sin embargo, independientemente de la capacidad de los diferentes algoritmos de asignación de canal para mejorar el rendimiento WLAN, la cantidad de espectro disponible en bandas no licenciadas para uso WLAN puede todavía constituir un factor limitante clave en zonas de alta densidad de puntos de accesos, (ya que existen sólo 3 canales que no se superponen que están disponibles en la banda ISM de 2,4 GHz). Cabe mencionar que el ancho de banda usado para la transmisión/recepción WLAN es de 22MHZ y cada canal ISM se encuentra solapado con sus canales adyacentes; en capítulos posteriores se detallara a profundidad el reparto de los canales de la banda ISM.

Por lo tanto, el uso de bandas adicionales para redes WLAN (por ejemplo, bandas con licencia que se pueden utilizar de forma oportunista) ayudaría a

mejorar el rendimiento de este tipo de redes. Dispositivos WLAN (es decir, puntos de acceso (AP's) y sus estaciones asociadas (STA's)) servirían como usuarios secundarios (SU) de estas bandas adicionales (canales de la banda primaria PB) y las usarían bajo la condición de no causar interferencias a los usuarios primarios (PU) los cuales son los usuarios legales de estas bandas y por tanto cuentan con la predominancia y prioridad sobre el uso de las mismas. Este concepto se conoce en la literatura como utilización del espectro de manera oportunista, o por sus siglas en inglés Opportunistic Spectrum Access (OSA) [7], [8], [9].

Una de las primeras bandas que se ha estudiado y regulado para el uso oportunista, es la banda de televisión digital. A modo de ejemplo, White-fi es un término que se utiliza para describir el uso de la tecnología Wi-Fi usando el espectro de TV que se encuentra disponible, o sin utilizar; tanto espacial (región geográfica) como temporalmente (horario inutilizado). [10] [11]

Este proyecto se centra en el análisis del impacto de la movilidad usando algoritmos para la asignación de canal de los elementos (AP's), en función de las posibles ubicaciones que estos puedan tener en un determinado escenario (movilidad) utilizando canales tanto de la banda no licenciada ISM, como canales de banda licenciada PB (por ejemplo canales de la banda de TV Digital). Contando para dicho propósito con tres algoritmos de asignación de

canal, no orientados a la solución de acceso oportunista del espectro sino más bien a la distribución equiprobable entre ambas bandas de frecuencias tanto ISM como PB, cada uno con su cálculo de penalidades y su procedimiento en particular, para ello se utilizarán los conceptos de las comunicaciones inalámbricas orientándolo al estándar IEEE 802.11 como son: disposición de la banda ISM, disposición de la banda primaria PB, ancho de banda de transmisión/recepción utilizado en dicho estándar, modelo de propagación empleado para el cálculo del factor de interferencia o penalidad, máxima penalidad permisible para el buen desempeño de la comunicación entre los elementos, etc. Los detalles de funcionamiento de los algoritmos así como sus resultados, análisis y comparaciones, se detallarán en capítulos posteriores a medida que se vaya avanzando en cada uno de estos temas.

CAPÍTULO 1.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En este capítulo se explicaran los antecedentes de este proyecto, sus objetivos, en estos están sus objetivos generales y específicos. Se explicará la identificación del problema, planteamiento del escenario a tratar así como también la descripción de nuestro trabajo a realizar.

1.1. Antecedente y Motivaciones.

Debido al avance tecnológico; se ve crecida la necesidad de conectarse a una red local inalámbrica, sabiendo que la cantidad de puntos de accesos en un área determinada es cada vez mayor resulta una tarea dificultoso el buscar el canal adecuado con niveles mínimos de interferencia ejecutando los algoritmos de asignación de canal.

En la actualidad, el uso de la tecnología de redes de área local inalámbricas (WLAN) se encuentra en auge, tanto en lugares públicos (por ejemplo, aeropuertos, estaciones de transporte público, parques de ocio, etc.) como en lugares privados (oficinas, hoteles, casas), junto con la dependencia de las conexiones inalámbricas de acceso a Internet.

Además, es bien conocido que el espectro electromagnético es limitada y el mecanismo comúnmente utilizado por las agencias reguladoras gubernamentales para la asignación de ciertos segmentos de la misma consiste en proporcionar una licencia para el operador de telecomunicaciones para el uso exclusivo de ciertos segmentos de espectro (es decir, bandas de frecuencia) en un área limitada. Sin embargo, este espectro con licencia no siempre se explota 100%. Debido a esto, la potencial disponibilidad de las porciones no utilizadas del espectro de radio pueden ser explotadas [12], [13]. Por otra parte, aun cuando una banda con licencia se utilizara permanentemente por un "Primary user" o usuario primario, para proveer la cobertura de su servicio, algunos estudios sobre la disponibilidad espacial del espectro [14] (zonas donde la influencia del espectro radioeléctrico de estas estaciones o usuarios primarios no tiene influencia, ya que el nivel de potencia que llega en estas zonas es despreciable) muestran que estos

canales llamados de Banda Primaria o “Primary Band” puede ser reutilizado dentro de las ubicaciones interiores donde operan las WLAN's.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Generales

- Analizar el impacto de la movilidad a través de los resultados de los indicadores (como por ejemplo el porcentaje de factibilidad) planteados para dicho propósito, aplicando para ello los algoritmos de asignación de canal a cada uno de los puntos de acceso (AP's) contenidos en los distintos tipos de escenarios que se proponen para la suscitada finalidad.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar los cálculos pertinentes para la inicialización y procedimiento de cada uno de los algoritmos en base a la fundamentación teórica, usando los datos obtenidos de cada escenario.
- Llevar a efecto la asignación de canal con diferentes tipos de algoritmos utilizando canales tanto de las bandas ISM como PB, en diferentes condiciones de movilidad, es decir sobre los distintos tipos de escenarios propuestos.

- Definir el escenario, es decir: tamaño del escenario, número de elementos (AP's) ubicados dentro del área del escenario, ubicación de los elementos, asignación inicial de canales de cada uno de los AP's.
- Proponer y ejecutar los diferentes planteamientos para los mecanismos (algoritmos) de Asignación de canal con la utilización de las bandas tanto ISM como PB.

1.3 Identificación del problema

En la Figura 1.1 se puede apreciar un escenario denso, que procederemos a describir: cada AP tiene un número determinado de STA's, adicionalmente existe un número determinado de PU's, estos elementos son los que forman parte de la problemática en la asignación de canal para los puntos de acceso del escenario.

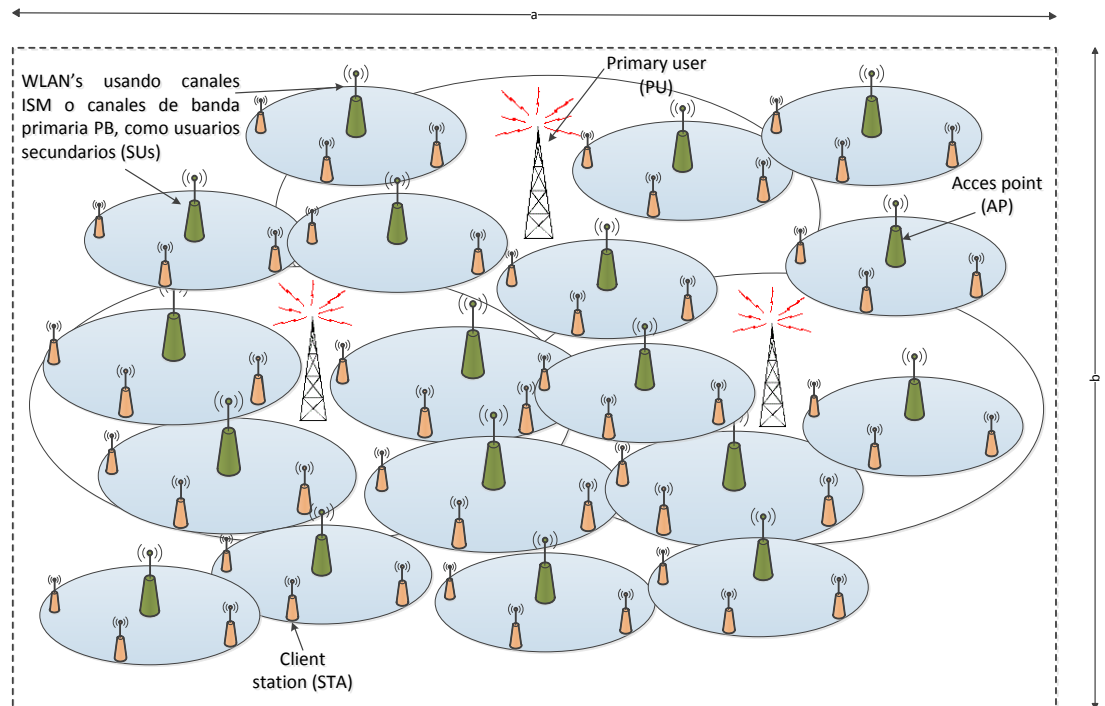


Figura 1.1. Escenario denso de AP's, PU's y STA's [14]

Tener un escenario denso, dificulta el análisis del mismo y por ende el cálculo de asignación de canal, para ello se aplica algoritmos de asignación de canal ya establecidos y se instituirán diferentes condiciones de movilidad en la cuales se tendrá presente la interferencia, en función de la región en el espacio que ocupan los AP's en el escenario y como se ven estos afectados por el canal candidato a probarse.

Para la presente tesina consideraremos únicamente escenarios que contarán con puntos de acceso como usuarios secundarios o SU (Secondary User), prescindiendo del uso de PU's en todos los

escenarios, para mayor facilidad y rapidez en el desenvolvimiento de los de los algoritmos.

1.4 Descripción del proyecto

El propósito de este trabajo consiste en asignar un canal ya sea de la banda ISM o de la banda primaria PB (se explicara luego la definición de las mismas) a cada AP de un determinado escenario axb, sobre los que se irán aumentando progresivamente la cantidad de puntos de acceso. Para ello se utilizara algoritmos de asignación de canal ya establecidos, se analizara el impacto de la movilidad atreves de la aplicación de cada uno de estos sobre dos tipos de escenarios, mismos que son explicados y propuestos en el capítulo de resultados.

Para obtener el canal óptimo se utilizara el factor de interferencia o penalidad como métrica, definiendo un valor umbral para este; y así usar dicha métrica en cada uno de los algoritmos a probar, los cuales en función de su proceso y resultado nos arrojaran su canal adecuado. Cabe mencionar que el algoritmo de asignación de canal se corre de manera progresiva e independiente (de manera descoordinada) en cada punto de acceso, es decir se ejecuta uno de los algoritmos en un punto de acceso y a continuación que este se termine de ejecutar en ese punto de acceso, se procederá posteriormente a ejecutar en otro y

así sucesivamente; pudiéndose iniciar en cualquiera de los AP's y posteriormente siguiendo con un AP donde no se haya ejecuta el algoritmo hasta terminar con todos los AP's del escenario.

Si lo que se desea es obtener un correcto análisis de resultados, no se tendrá información suficiente al obtenerlo de un único escenario generado; por tal, se ejecutara cada uno de los algoritmos sobre 100 diferentes escenarios, mismo que dentro de sí contendrán distribuidos cada una de las distintas cantidades de AP's a ser considerados, para así poder obtener datos estadísticos más certeros acerca del comportamiento de cada uno de los algoritmos. Resulta preciso mencionar que se utilizara la herramienta Matlab, en la cual mediante programación se crearan todos los diversos escenarios sobre los cuales se ejecutaran los suscitados algoritmos, donde además serán realizadas las respectivas graficas de resultados.

CAPÍTULO 2.

2. ESTADO DEL ARTE DE MECANISMOS DE ASIGNACIÓN DE CANAL PARA WLAN

En este capítulo se explicaran los conceptos necesarios empleados en la tecnología de redes de área local inalámbrica IEEE 802.11 (WLAN), y en la del acceso oportunista (OSA), además de la fundamentación teórica propicia acerca de la distribución de canales usados para WLAN, siendo esta la antesala para el planteamiento del cálculo del factor de interferencia o penalidad misma que será la métrica que utilizaran los mecanismos/algoritmos de asignación de canal.

2.1. Sistemas WLAN

Un sistema de área local Inalámbrico (Wireless Local Area Network WLAN) es una red inalámbrica de comunicación de datos que permite a varios dispositivos (situados dentro de una misma área de

cobertura) conectarse de forma inalámbrica, sin la necesidad de conexiones físicas por cable. Las redes inalámbricas transmiten y reciben datos a través de ondas electromagnéticas usando el “espacio libre” como medio de transmisión, en vez de limitarse al cable de par trenzado, al cable coaxial o a la fibra óptica, utilizados en las redes LAN convencionales [15].

WLAN utiliza una tecnología basada en las especificaciones del IEEE 802.11, que es un estándar internacional que define las características de una red de área local inalámbrica, desarrollados por el Comité de Normas LAN / MAN (IEEE 802), del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y se conoce comúnmente como Wi-Fi. Wi-Fi es una marca comercial de la Wi-Fi Alliance, que es una organización que prueba y certifica los dispositivos WLAN que cumplen con el estándar IEEE 802.11x [16].

2.1.1. Topología

La topología de red se define como una familia de comunicación usada por todos los ordenadores que conforman una red para intercambiar datos. La topología de la red, puede ser tanto física como lógica [17]. Antes de mencionar los tipos de topología de

red, procederemos a mencionar los dispositivos principales que interviene en una red.

- **Estaciones Clientes (STA's):** Cuando se habla de redes LAN, al referirse a una dirección generalmente se hace referencia a una dirección física, sin embargo para redes WLANs no siempre es así. Para el estándar IEEE 802.11 la unidad dinámica direccionable se la conoce como una estación (STA), la cual es una entidad lógica que es una instancia individualmente direccionable de una interfaz de control de acceso al medio y la capa física para el medio inalámbrico, es decir no es más que el sitio de donde se origina y se recepta un mensaje [2], [16].
- **Punto de acceso (AP):** Es una entidad que incorpora una estación (STA) y proporciona acceso a los servicios de distribución por el medio inalámbrico para estaciones asociadas [2].

La topología de red consta de 3 tipos de disposiciones lógicas:

- Topología Ad-hoc
- Topología en Infraestructura
- Topología Mesh

- **Topología Ad-Hoc** Conocidas también como enlaces punto a punto, en el cual varios los dispositivos conformar una red para intercambiar información sin embargo estos dispositivos no cuentan con la ayuda de elementos auxiliares (AP's). La topología Ad.hoc tiene las siguientes características [18]:
 - Los enlaces consisten solo enlaces punto a punto
 - Su configuración es sencilla
 - Forman un conjunto de servicios básico independiente (donde las estaciones STA's se pueden comunicar directamente entre sí)
 - Son redes independientes que no usan AP's
- **Topología en infraestructura** Esta topología consiste en conectar varios dispositivos clientes con su respectivo AP, los cuales pueden intercambiar información únicamente con los clientes asociados al mismo AP. Al ser esta una topología de comunicación centralizada se corre el riesgo de que las estaciones clientes pierdan la comunicación al fallar el enlace con el AP al que se encuentra conectados [18].
- **Topología Mesh** La Red Mesh Inalámbrica (WMN) está compuesta por nodos organizados en diversas infraestructuras wlan, misma que representaría un escenario en el cual se encontrarían situados una determinada cantidad

de AP's con sus respectivas estaciones asociadas. La comunicación se descentraliza y los dispositivos que intervienen en la comunicación pueden compartir información y recursos. Si un nodo comienza a presentar fallas, podemos estar seguros que no afectara a toda la red. [18]

2.1.2. Bandas de frecuencia

El estándar IEEE 802.11 que define el protocolo para redes de área local Inalámbricas WLAN, fue aprobado en Junio de 1997, mismo que fue planteado para trabajar en las bandas de radiofrecuencia reservadas para usos no comerciales: Industrial, Científica y Médica; o también conocida como banda ISM (por sus siglas en inglés), que utilizan distintas bandas de frecuencia tales como: 900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz [19]. Los distintos rangos de operación para las bandas ISM se definen en la tabla 1.

Tabla 1 Bandas ISM [11]

BANDA	900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
RANGO	902 a 928 MHz	2.4 a 2.4835 GHz	5.15 a 5.35 GHz 5.725 a 5.825 GHz
ESTANDAR	–	IEEE 802.11 b/g	802.11 a

De manera general, todos los rangos de frecuencias presentan diferentes particularidades, por ejemplo si se opera en segmentos de frecuencias bajas se tendrá una mejor área de cobertura, pero el ancho de banda será limitado, es decir la tasa de datos será baja. Por otro lado, si se opera en segmentos de frecuencias altas se tendrá un ancho de banda menos congestionado y con una mayor tasa de datos, pero el área de cobertura será menor, ya que se está propenso a tener una mayor atenuación debido a la presencia de objetos sólidos [16], [19].

ISM es el nombre que se le da a las bandas de frecuencias de uso internacional, no licenciadas y no comerciales, usadas en las áreas: Industriales, científicas y médicas. Estas bandas pueden ser usadas por teléfonos inalámbricos domésticos, microondas, teléfonos celulares con conexión wifi, dispositivos con conexión bluetooth, etc. Para el estudio de la presente tesina se plantea la operación de los dispositivos puntos de acceso (AP's) sobre el rango de frecuencias ubicadas en torno a los 2.4GHz.

Todo dispositivo que opere sobre bandas de frecuencias no licenciadas, no requiere ningún proceso de licenciamiento formal;

no obstante, si estos dispositivos sobre estas bandas, los usuarios tiene la obligación de acatar las regulaciones del gobierno en dicha región. Las entidades reguladoras de distintas regiones del mundo monitorean dichas bandas de acuerdo a distintos criterios, por lo que los dispositivos WLAN usados en estos dominios deberán cumplir con las especificaciones del ente regulatorio pertinente.

El estándar WLAN 802.11 precisa que estos canales se hallen separados 5 MHz el uno del otro (con excepción de los dos últimos canales con 12 MHz de separación) ocupando un ancho de banda de 22 MHz cada canal. Tomando en consideración este ancho de banda y la separación en frecuencia de los canales, los dispositivos que se encuentran transmitiendo en canales adyacentes y están ubicados geográficamente cerca interferirán entre sí, este problema se erradica si la separación entre las frecuencias centrales de los canales correspondientes a dos AP's, es de al menos 25 MHz, esto debe ser así para que dos AP's puedan operar simultáneamente en el mismo canal y sin interferencia [2] [16] [19]. Así por ejemplo, los canales 1, 6 y 11 no se encontrarían solapados y podrían usarse simultáneamente sin interferencia en tres puntos de acceso.

Tabla 2 Canales y frecuencias ISM disponibles por país/Región [11]

Canal	ESTADOS UNIDOS (FCC)	EUROPA (ETSI)	JAPON	Frecuencia Baja (MHz)	Frecuencia Central (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)
1	SI	SI	SI	2401	2412	2423
2	SI	SI	SI	2406	2417	2428
3	SI	SI	SI	2411	2422	2433
4	SI	SI	SI	2416	2427	2438
5	SI	SI	SI	2421	2432	2443
6	SI	SI	SI	2426	2437	2448
7	SI	SI	SI	2431	2442	2453
8	SI	SI	SI	2436	2447	2458
9	SI	SI	SI	2441	2452	2463
10	SI	SI	SI	2446	2457	2468
11	SI	SI	SI	2451	2462	2473
12	NO	SI	SI	2456	2467	2478
13	NO	SI	SI	2461	2472	2483
14	NO	NO	SI	2473	2484	2495

De lo que se puede observar en la Tabla 2, la FCC permite 11 canales solapados en los Estados Unidos, por su parte la ETSI permite hasta 13 canales solapados en Europa mientras que Japón permite hasta 14 canales, pero el canal 14 requiere una licencia especial para operar. La Figura 2.1, muestra de mejor manera la distribución en frecuencia de los canales de la banda ISM a 2.4 GHz usada en WLAN.

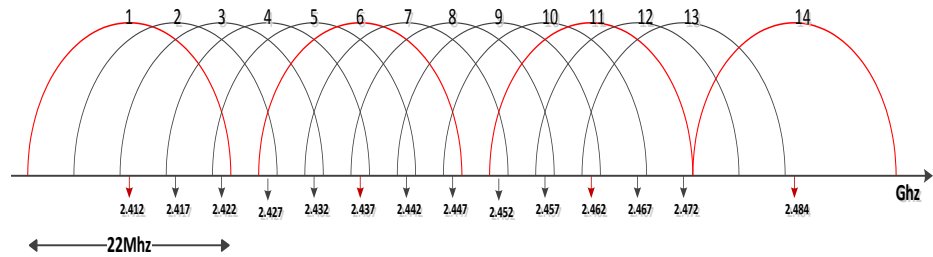


Figura 2.1 Superposición de canales WLAN a 2.4GHz

Para la realización del presente proyecto trabajaremos con los 11 primeros canales de la banda ISM, de acuerdo a la especificación de la FCC.

Sin embargo, la cantidad de espectro disponible en las bandas no licenciadas para uso WLAN puede todavía constituir un factor limitante clave en zonas de alta densidad de puntos de acceso. Por tanto; la explotación de bandas adicionales para redes WLAN (por ejemplo, bandas con licencia tales como las usadas para la transmisión de televisión) puede ayudar a mejorar el rendimiento de este tipo de redes, y se las usarían bajo la condición de no causar interferencias en los usuarios primarios (PU) los cuales poseen la predominancia sobre el uso de estas bandas ya que son los usuarios legales de las mismas, a dicha banda de frecuencia (que es la legalmente usada por los PU's) es a la que se la denominará como Banda Primaria PB.

Como se ha manifestado en diversos trabajos de investigación, no se utilizan de manera eficiente ciertos segmentos del espectro electromagnético, dirigiendo específicamente la atención a los utilizados para brindar los servicios de televisión (estas son las bandas VHF y UHF; a las que nos referiremos como canales de Banda Primaria), lo cual significa que ciertos canales de televisión no están siendo utilizados en determinadas zonas geográficas [20]. A dichos segmentos no utilizados del espectro de TV (470-790 MHz en Europa) se los conoce como Espacios en Blanco de TV (TVWS) y están siendo considerados por las entidades reguladoras como las posibles soluciones a la escasez de espectro [20], [21]. Por ello, distintas acciones se han llevado a cabo sobre el uso de TVWS; por ejemplo, el estándar IEEE 802.11af ha sido sugerido para operar en entornos con conexión inalámbrica de corto alcance sobre TVWS. Para que los dispositivos IEEE 802.11af puedan hacer uso de TVWS, es necesario que no causen interferencia a los usuarios primarios (PU's) cercanos [10]. El uso de los canales de las bandas de TV en WLAN, mejora las características de propagación de estos sistemas WLAN, ya que las señales son fácilmente absorbidas y además se puede conseguir un mayor rango de cobertura de las señales transmitidas en comparación con el tradicional 802.11

que opera en 2.4GHz. Para proporcionar tasas de transmisión de datos similares a los alcanzados por las tecnologías Wi-Fi, será necesario utilizar varios canales de televisión. La disponibilidad de canales primarios se la puede obtener de un control de base de datos de geo-localización [10].

Dada las razones expuestas anteriormente, resulta significativo detallar la canalización de la banda primaria que se usara para la presente tesina, para lo cual consideraremos un grupo de 10 canales UHF pertenecientes a la banda de TV Digital, la separación entre las frecuencias centrales de los canales de esta banda es de 6 MHz el uno del otro, donde cada canal ocupa un ancho de banda de 6 MHz.

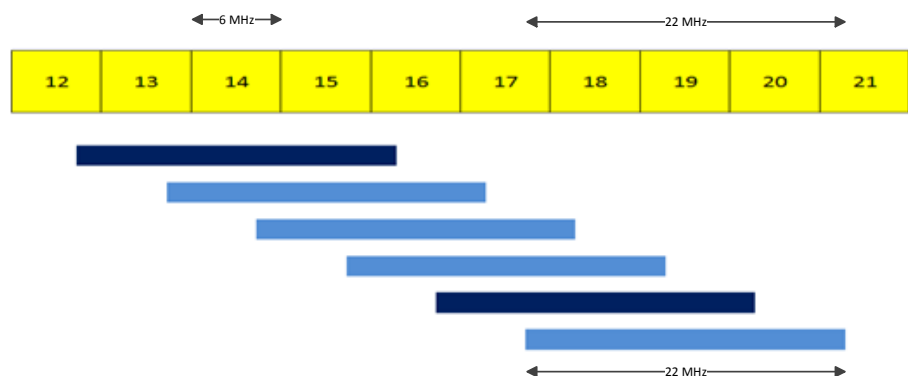


Figura 2.2 Distribución de los canales de banda primaria

Debe notarse que para usar anchos de banda de 22MHz como los usados en WLAN, se necesitan 5 canales adyacentes de 6MHz pertenecientes a la PB, por lo que los primeros canales de banda primaria que podrían usarse para WLAN estaría formado por los 5 primeros canales PB teniendo al canal 14 como canal central del grupo de canales.

El máximo número de canales para WLAN que se pueden usar en banda primaria es 6, como es muestreado en la Figura 2.2. Estos 6 canales se solapan entre sí. Sin embargo, sólo 2 canales no se solapan, por lo que considerando ambas bandas de transmisión: ISM y UHF, un AP en particular posee como opciones, máximo 17 canales solapados (11 canales ISM y 6 de la PB) y 5 canales sin solape (3 canales ISM y 2 canales PB).

2.2. Acceso Oportunista al Espectro

El acceso oportunista al espectro (OSA) es una técnica que permite el uso compartido del espectro, brindando la oportunidad de usar los segmentos no utilizados de la bandas de espectro con licencia (por ejemplo los canales usados en televisión digital) sin afectar a los usuarios Primarios PU's. La técnica de acceso oportunista al espectro se basa en los mecanismos de la radio cognitiva que posibilita que un

espectro con licencia se abra a los usuarios secundarios al mismo tiempo que limita la interferencia percibida por los usuarios primarios (licenciados) [7], [16].

Dicha propuesta fue realizada por primera vez por el Dr. Joseph Mitola [28], [29] bajo el término “spectrum pooling” para luego ser explorada por el programa DARPA Next Generation (xG) bajo el término OSA. Mitola consideró que la coexistencia de las redes de usuarios secundarios con el sistema del usuario primario es factible siempre que un conjunto de procedimientos denominado ciclo cognitivo [22] pueda ser implementado de manera fiable por los usuarios secundarios.

2.2.1. Sistemas de radio-cognitiva

Las bases de radio cognitiva (CR) constituyen un criterio amplio, que puede ser aplicado a diversas circunstancias de las redes de comunicaciones, con la finalidad de que estas redes puedan mejorar su rendimiento mediante la aplicación de técnicas cognitivas [16]. Por lo cual, OSA se considera una aplicación importante de la radio cognitiva, que proporciona la capacidad de compartir el canal inalámbrico con usuarios con licencia de manera oportunista [23].

Los sistemas de radio cognitiva permite que se cambien los parámetros del transmisor en base a lo que se percibe a partir del entorno donde se encuentra operando. A diferencia de los sistemas de radio convencionales, los dispositivos que hacen uso de radio cognitiva poseen dos características importantes: capacidad cognitiva y re-configurabilidad [23], [24].

La capacidad cognitiva, posibilita la interacción en tiempo real de la red con su entorno, para determinar los parámetros de comunicación apropiados y adaptarse al medio de radio dinámico [23], con el fin de tener comunicaciones altamente fiables cuando y donde sea necesario, y una utilización eficiente del espectro [24].

La re-configurabilidad es la capacidad de ajustar los parámetros de funcionamiento para la transmisión sobre la marcha y sin ninguna modificación en los componentes de hardware. Esta capacidad permite a la radio cognitiva adaptarse fácilmente al entorno de radio dinámico. Más específicamente, la radio cognitiva puede ser programada para transmitir y recibir en diferentes frecuencias y para utilizar diferentes tecnologías de acceso de transmisión soportados por su diseño de hardware

[25]. Pudiéndose reconfigurar varios parámetros para adaptarse a las exigencias del medio y optimizar su rendimiento, tales como: frecuencia de operación, tipo de modulación, potencia de transmisión y tecnología de la comunicación.

2.2.2. TVWS

Aquellos segmentos no utilizados de las bandas licenciadas también conocidos como espacios en blancos (WS) o agujeros de espectro (SH) [26], [27] pueden ser aprovechados por medio de la técnica OSA. Ya ha sido manifestado en diversos trabajos de investigación que no se utilizan de manera eficiente ciertos segmentos del espectro electromagnético, enfocándose específicamente, en los utilizados para brindar los servicios de televisión (bandas VHF y UHF), lo que quiere decir que ciertos canales de televisión no están siendo utilizados en algunas zonas geográficas [20].

Estos segmentos no utilizados del espectro de TV (470-790 MHz en Europa) son los conocidos como Espacios en Blanco de TV (TVWS) y están siendo considerados por las entidades reguladoras como las posibles soluciones a la escasez de espectro [20], [21].

El acceso oportunista a estos espacios en blanco por parte de los usuarios secundarios con lleva dos aspectos importantes a seguir:

1. La detección de los agujeros de espectro disponibles en bandas con licencia (por ejemplo, las bandas de televisión).
2. El uso del espectro disponible siguiendo los requerimientos impuestos por el ente regulador, cuyo propósito es proteger a los usuarios primarios de interferencias mal intencionadas [16].

2.3. Mecanismos de Asignación de Canal

En los últimos años la implementación de redes WLAN basadas en el estándar 802.11 han tenido un gran incremento en las zonas urbanas. Debido a esto, se presenta la congestión de la banda ISM lo cual puede causar problemas de rendimiento en las redes inalámbricas, por lo que resulta indispensable implementar mecanismos que ayuden a mejorar su desempeño. Uno de los principales mecanismos a tomar en cuenta es la técnica de asignación de canal, la cual consiste en que un canal de frecuencia es asignado a cada punto de acceso para su uso [16].

Los tipos de despliegues de redes WLAN pueden ser clasificados como coordinados o no coordinados, según el modo en que son administrados:

Si se consideran despliegues coordinados, se debe contar con una entidad central que monitorea y gestiona toda la información del entorno de las redes WLAN (es decir, APs y STAs). Este escenario se lo conoce como computación centralizada, en el cual la entidad central puede llevar a cabo los mecanismos para resolver el problema de asignación de canal. Algunos ejemplos son los despliegues en el campus universitario, aeropuertos y oficinas [6].

En tanto que, las implementaciones basadas en despliegues no coordinados operan en carencia de un control central, de forma que cada punto de acceso conoce únicamente la información propia de su entorno, y no la de los otros puntos de acceso, y viceversa [28]. Estos escenarios se conocen como de computación distribuida, en donde cualquier mecanismo para resolver el problema de asignación de canal sólo puede ser realizado por cada AP. Despliegues de redes WLAN en lugares como barrios residenciales o puntos de acceso privados gestionados por diferentes proveedores de servicios (por ejemplo, restaurantes, cafeterías, etc.) serían un ejemplo de ello [6],

[29]. No obstante, los puntos de acceso implementados en un despliegue coordinado también podría ser capaces de ejecutar la computación distribuida [16].

Cabe mencionar que los algoritmo de asignación de canal aquí usados, se ejecutan de manera progresiva e independiente (descoordinadamente) en cada punto de acceso, es decir se ejecuta uno de los algoritmos en un punto de acceso y a continuación que este algoritmo se termine de ejecutar en dicho Ap se procederá posteriormente a ejecutar en otro y así sucesivamente; pudiéndose dar inicio a la ejecución del algoritmo en cualquiera de los puntos de acceso y posteriormente siguiendo con uno donde no se haya ejecutado el algoritmo, hasta terminar con todos los AP's del escenario.

Se plantea probar y comparar tres algoritmos de asignación de canal, los algoritmos probados en el presente trabajo, no están orientados a la solución de acceso oportunista del espectro sino más bien a la distribución equitativa entre ambas bandas de frecuencias tanto ISM como PB. Para obtener el canal óptimo, se utilizara el factor de interferencia o penalidad como métrica en cada uno de los algoritmos de asignación de canal a probar, además se definirá un valor umbral

para la penalidad, tomándolo como referencia para saber si un punto de acceso que ha sido asignado con un canal a través de la ejecución de un algoritmo para dicho propósito, puede ser considerado como punto de acceso factible con niveles de interferencia menores a dicho umbral (IP_{MAX}).

CAPÍTULO 3.

3. MODELAMIENTO DEL SISTEMA

En este capítulo se explicaran la descripción del proyecto así como los conceptos necesarios para la solución del problema, como las condiciones de interferencia, análisis del modelo de propagación, área de uso e interferencia de un SU, su penalidad y factibilidad en cada uno de los casos.

3.1. Descripción del escenario

Tener un escenario denso dificulta el análisis del mismo y por ende la asignación de canal, para ello se aplicaran los algoritmos de asignación de canal y se instituirán diferentes condiciones de movilidad (tipos de escenarios) en los cuales se tendrá presente la interferencia, en función de la región en el espacio que ocupan los AP's en el

escenario y de cómo se ven estos afectados por el canal candidato a probarse.

En el presente proyecto se considerara únicamente escenarios que contaran con puntos de acceso, prescindiendo del uso de PU's en todos los escenarios, esto para mayor facilidad y rapidez en el desenvolvimiento de los de los algoritmos. El escenario de red considerado, consiste en un conjunto de AP's individuales desplegados en un área geográfica limitada de tamaño axb , tal como se muestra en la figura 3.1. Donde se espera que cada AP pueda operar en un canal ISM o en un canal PB, para ello se plantea la utilización de los algoritmos de asignación de canal.

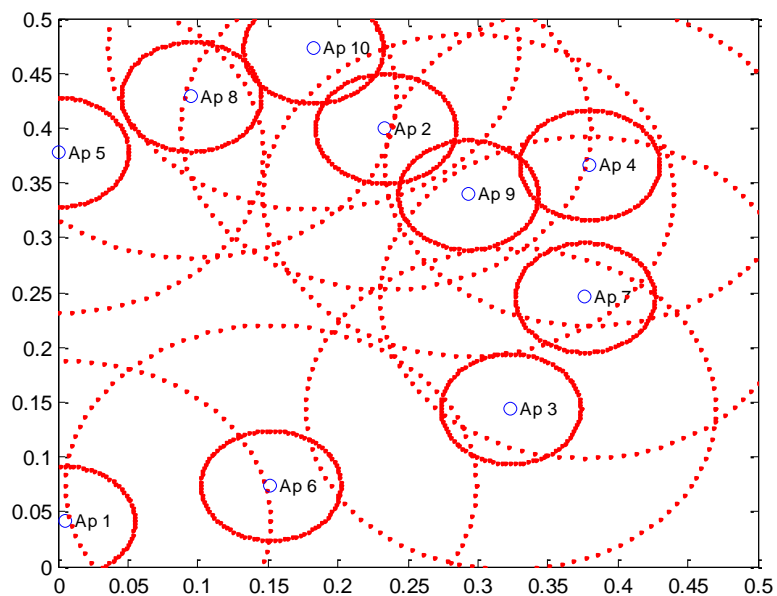


Figura 3.1 Escenario de 10 AP's.

3.2. Condiciones para la interferencia

Se procederá a detallar cada uno de los elementos necesario para plantear la condición de interferencia entre los pares de AP's.

3.2.1. Modelo Espectral y Análisis de la Interferencia en Frecuencia

El factor de interferencia en frecuencia, nos permite cuantificar la interferencia en frecuencia causada por una transmisión centrada en una frecuencia f_i en un receptor centrado en f_j . El solapamiento frecuencial se calcula cuantitativamente como el área de intersección entre la densidad espectral de potencia del transmisor (PSD) denotada como $P_T(f)$ y la respuesta de frecuencia paso banda del receptor denotada como $H_R(f)$ [11] [16]. Tal como podemos ver en la figura a continuación.

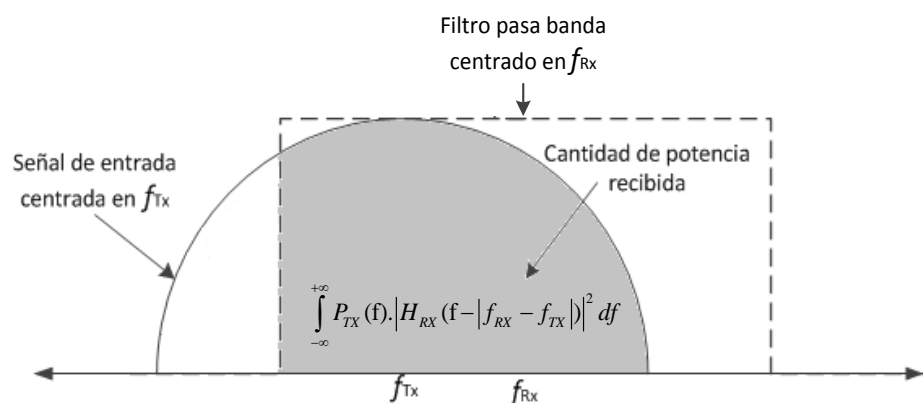


Figura 3.2 Solape Frecuencial [18]

La potencia normalizada recibida en la salida del filtro receptor se denomina factor de interferencia por solapamiento de frecuencia “ ρ ”, y puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$\rho_{I^i \rightarrow R^j} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} P_{I^i}(f) \cdot |H_R(f - |f_j - f_i|)|^2 df}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_{R^i}(f) df} \quad (3.1)$$

Donde los índices “i” y “j” corresponden respectivamente a las frecuencias de los canales usados por el dispositivo interferente I y por el dispositivo receptor R. Este factor puede ser usado para cualquier señal de banda limitada sin importar su modulación, asimismo puede ser empleado entre dispositivos de igual o distinta tecnología inalámbrica [30].

Para el presente trabajo, el cálculo del factor de interferencia por solape frecuencial, se establece únicamente para el siguiente caso:

- $\rho_{SU^i \rightarrow SU^j}$, para representar la interferencia entre dos dispositivos WLAN operando con canales solapados tanto en banda ISM como en banda UHF:

$$\rho_{SU^i \rightarrow SU^j} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} P_{SU^i}(f) \cdot |H_{SU}(f - |f_j - f_i|)|^2 df}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_{SU^i}(f) df} \quad (3.2)$$

3.2.2. Análisis del Modelo de Propagación

El modelo de propagación que vamos a usar en este proyecto es el siguiente:

$$L = L_0 + 10\alpha \text{Log}R \quad [16] \quad (3.3)$$

Donde L_0 es la atenuación a 1m, α es el coeficiente de propagación, y R es la distancia entre el transmisor y receptor [16]. La atenuación a 1m " L_0 " es proporcional a la frecuencia de operación, es decir a mayor frecuencia mayor atenuación esto hay que tenerlo en cuenta ya que los canales de la banda ISM y PB se ubican en diferentes bandas de frecuencia, siendo ISM las bandas de frecuencias más altas y por tanto las que generan mayor pérdida o atenuación, en comparación con los canales de la banda Primaria PB.

3.2.3. Área de Uso de usuarios Secundarios SU

Consideraremos que la señal transmitida tanto por los PU's como por los SU's son propagadas a través de antenas omnidireccional

cuyas áreas de cobertura/uso son representadas de forma circulares.

La potencia recibida en el límite del área de cobertura por cualquier receptor de un determinado sistema “y” (Sea este PU o SU) esta dad por:

$$P_{RX,y} = P_{TX,y} - L_o - 10 \cdot \alpha \cdot \log_{10} R_{UA,y} = S_y \quad (3.4)$$

Donde $P_{TX,y}$, $R_{UA,y}$, y S_y son: la potencia de transmisión, el radio del área de uso, y la Sensibilidad del sistema “y” respectivamente. Por lo tanto, “y” representa cualquiera de ambos ya sea PU o SU.

Así, despejando de la ecuación anterior el radio del área de uso para el caso de usuarios secundarios (UA_{SU}) puede ser calculado mediante

$$R_{UA,SU} = 10^{\frac{(P_{TX,SU}-S_{SU})-L_o}{10 \cdot \alpha}} \quad (3.5)$$

La Figura 3.3 muestra el área de cobertura de un determinado *ap* al que se encuentra enlazado un STA.

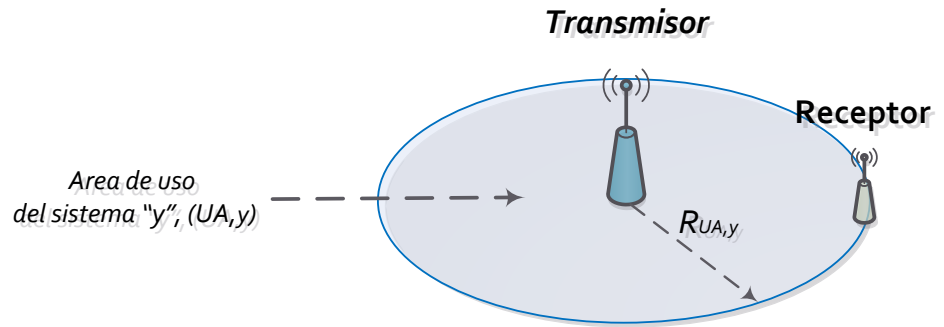


Figura 3.3: Radio de Uso. [16]

Fíjese que la ecuación del radio de uso de AP " $R_{UA,SU}$ " se encuentra en función de L_o que es la pérdida de propagación normalizada a 1m y esta pérdida depende de la frecuencia en que opere el transmisor, pero este radio de uso no solo depende de L_o , sino también de $P_{TX,SU}$ que despejándolo de la ecuación 3.5 sería:

$$P_{TX,SU} = L_o + 10 \cdot \alpha \cdot \log_{10} R_{UA,y} + S_y \quad (3.6)$$

De aquí se analiza y concluye que: Si se desea que $R_{UA,SU}$ sea constante y además se sabe que la pérdida de propagación normalizada a 1m " L_o " es mayor si la frecuencia de operación pertenece a la banda ISM en comparación a si perteneciese a la

banda PB. Entonces la potencia de transmisión $P_{TX,SU}$ debería ser mayor si se transmitiese en la banda ISM en comparación a si se transmitiese en la banda PB, esto precisamente para compensar la atenuación " L_o ". Llegando así a la conclusión de que para el hecho de que $R_{UA,SU}$ sea constante independientemente de en qué banda de frecuencia se encuentre operando, se requiere que el AP cuente con un mecanismo de ajuste automático de potencia el cual se debe encontrar en función de la banda de transmisión donde se encuentre operando dicho AP, este sería el problema a resolver si se deseara implementar de manera física este proyecto.

3.2.4. Área de Interferencia de un SU a otro SU

La región donde un dispositivo se encuentra transmitiendo (en un canal determinado), puede ser también la región donde otro dispositivo receptor se encuentre sintonizado para operar en el mismo canal o en algún canal adyacente, esta región es denominada como área de interferencia. Similar a la forma en que se definen las áreas de uso, las áreas de interferencia también están representadas de formas circulares.

Cuando tenemos un usuario secundario con su área de interferencia en intersección con el área de uso de otro usuario secundario tenemos interferencia en espacio como podemos apreciar en la Figura 3.4.

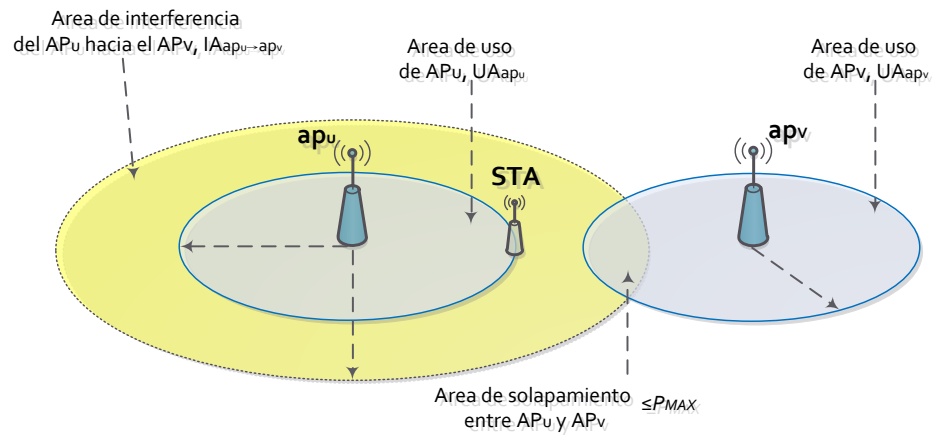


Figura 3.4: Interferencia entre AP's. [16]

Tal como se encuentra justificado en [16], el radio de interferencia ($R_{A,ap_u \rightarrow ap_v}$) del área de interferencia del ap_u hacia el ap_v ($IA_{ap_u \rightarrow ap_v}$) se calcula como:

$$R_{IA,ap_u \rightarrow ap_v} = R_{UA,ap_v} \left[1 + 10^{\left(\frac{M_{SU} + 10 \log(\rho_{ap_u^i \rightarrow ap_v^j})}{10\alpha} \right)} \right] \quad (3.7)$$

El área de solapamiento que existe entre el área de interferencia del ap_u hacia el ap_v ($IA_{ap_u \rightarrow ap_v}$), y el área de uso del ap_v (UA_{ap_v}); nos servirá para el cálculo de penalidad.

3.3. Penalidad y condición de factibilidad

La penalidad (P) es la métrica que se usa para cuantificar el nivel de interferencia entre dispositivos WLAN's ya sea que se encuentren ocupando canales de la banda ISM o bien de la banda primaria PB [16].

Ver Figura 3.5

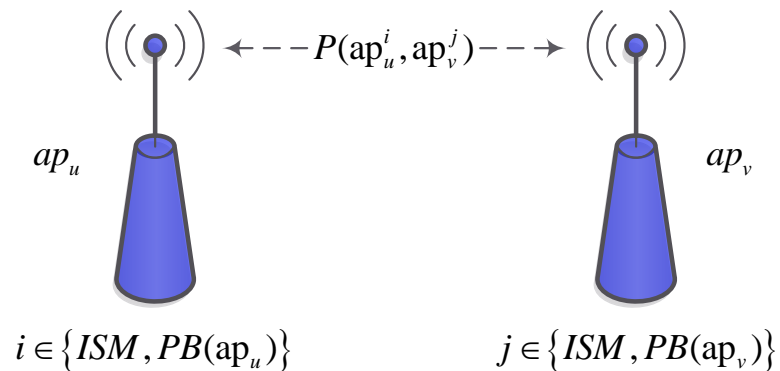


Figura 3.5. Factor de Penalidad entre un par de APs. [16]

De manera particular, para un determinado par de AP's (ap_u y ap_v) se considera como factible el uso de los canales "i" y "j" respectivamente, siempre que se satisfaga con la siguiente condición de penalidad [14]:

$$P(ap_u^i, ap_v^j) = \frac{[UA_{ap_v} \cap IA_{ap_u \rightarrow ap_v}(\rho_{ap_u^i \rightarrow ap_v^j})]}{UA_{ap_v}} \leq P_{MAX} \quad (3.8)$$

Siendo UA_{ap_v} el área de uso del AP_v , $IA_{ap_u \rightarrow ap_v}$ el área de interferencia del AP_u hacia el AP_v , misma que se encuentra en función del factor de interferencia por solapamiento en frecuencia $\rho_{ap_u^i \rightarrow ap_v^j}$ correspondiendo “i” al canal del AP_u actuando como transmisor o interferente, y “j” al canal del AP_v actuando como receptor o interferido.

Teniendo en consideración dicha formulación matemática, podemos definir la penalidad como: La razón entre el área producida por la intersección del área de uso del AP_v con el área de interferencia del AP_u hacia el AP_v considerando que estos se encuentran usando los canales “i” y “j” respectivamente, dividido para el área de uso del AP_v , definiendo como condición de factibilidad para el uso de estos canales, que dicha penalidad sea menor a una penalidad máxima P_{MAX} .

CAPÍTULO 4.

4. PLANTEAMIENTO Y SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Como mecanismo de solución para la asignación de canal de los AP's se plantea probar y comparar tres algoritmos de asignación de canal, los algoritmos aquí probados no están orientados a la solución de acceso oportunista del espectro sino más bien a la distribución equiprobable entre ambas bandas de frecuencias tanto ISM como PB. Para obtener el canal óptimo, se utilizara el factor de interferencia o penalidad como métrica en cada uno de los algoritmos de asignación de canal a probar, además se definirá un valor umbral para la penalidad, tomándolo como referencia para saber si un punto de acceso que ha sido asignado con un canal atreves de la ejecución de un algoritmo para dicho propósito, puede ser considerado como punto de acceso factible con niveles de interferencia menores a dicho umbral (IP_{MAX}). Resulta importante recalcar, a pesar de que ya se mencionó que, cada uno de los algoritmo de asignación de canal aquí

empleados se ejecutan en un punto de acceso y a continuación que dicho algoritmo se termine de ejecutar en dicho Ap se procederá posteriormente a ejecutar en otro y así sucesivamente; pudiéndose dar inicio a la ejecución del algoritmo en cualquiera de los puntos de acceso y posteriormente siguiendo con uno donde no se haya ejecutado el algoritmo, hasta terminar con todos los AP's del escenario. En la siguiente sección, se entrara en detalle sobre el funcionamiento y operación de cada uno de los algoritmos.

4.1. Algoritmos Propuestos.

Dependiendo de la capacidad o número de canales disponibles con que se quieran trabajar cada uno de los algoritmos, se puede contar únicamente con los canales de la banda ISM, o con la disponibilidad de manera conjunta de los canales de ambas bandas, es decir canales ISM+PB. A continuación se procederá a detallar cada uno de estos.

4.1.1. Algoritmo de Asignación Aleatoria (RDM)

La formulación matemática del algoritmo RDM, se sostiene en la asignación aleatoria basada en una distribución uniforme, de uno de los canales de entre el conjunto de canales disponibles. Tal como se muestra a continuación:

$$i \in C_t / \{(C_t = \{C_{ISM}\}) \vee (C_t = \{C_{ISM} + C_{PB}\} \text{ Con excepción de los canales } 12, 13, 20, 21)\} \quad (4.1)$$

Se excluyen de la selección en todos los algoritmos a los canales 12, 13, 20, 21 de la PB, por motivos de incumpliendo de ancho de banda necesario para operar en WLAN, ya que hay que recordar que para usar estos canales deben haber disponibles dos canales PB adyacentes de cada lado.

En este algoritmo se utilizara una asignación aleatoria “random” en cada punto de acceso, para posteriormente analizar el rendimiento de la asignación producida por dicho algoritmo. A continuación se muestra un Pseudo-código de dicho algoritmo.

Procedimiento: Asignación Aleatoria (RDM).

1. **while** Exista un AP sin asignación de Canal.
2. Escoja un Punto de acceso donde no haya sido asignado previamente un canal.
3. Asigne al AP un canal de manera aleatoria: $i \in Ct = \{C_{ISM} + C_{PB}\}$. *Con excepción de los canales 12,13,20,21 de la PB que no cumplen con el ancho de banda por lo que no se consideraran en la selección de canales. $\therefore C(ap_u) = i$.*
4. **end while**

Figura 4.1 Pseudocódigo del Algoritmo RDM.

Nótese que este mecanismo de asignación de canal no considera la penalidad dentro de su procedimiento. Posteriormente a la asignación de canal de todo los AP's se procede al cálculo de las penalidades necesarias para el análisis de rendimiento de suscitado algoritmo.

4.1.2. Algoritmo de la Mínima Penalidad Máxima (MinMax)

Para este algoritmo, se plantea la selección de la máxima penalidad de entre todos y cada uno de los AP's vecinos del punto de acceso que se está analizando (ap_u), mientras que en el ap_u se va probando con cada uno de los canales disponibles. A continuación se muestra dicho planteamiento de forma matemática:

$$MIP_{ap_u}^i = \max_{\forall ap_v \in N(ap_u)} IP(ap_u^i, ap_v^{c(ap_v)}); \forall i/1 \leq i \leq Ct \quad (4.2)$$

Teniendo como objetivo del algoritmo, la selección del canal que proporcione el mínimo valor de entre dichas máximas penalidades.

Para el paso inicial del algoritmo, todos los AP's son asignados con canales previamente establecidos o en su defecto aleatorios,

posteriormente el algoritmo se enfoca en un análisis individual para cada AP, tomando en consideración para cada canal la penalidad de mayor valor de entre todos los pares de enlaces que dicho AP puede formar en asociación con cada uno de sus vecinos. Finalmente con las penalidades máximas que obtuvimos para el AP en cuestión, escogemos el canal al que le corresponda el mínimo factor de penalidad entre estos máximos. En caso de obtener varios canales con el mismo valor de penalidad mínimo, procedemos a elegir de manera aleatoria uno de ellos. Repitiendo en cada uno de los AP's el procedimiento antes descrito, hasta concluir con la asignación de canales de todos los AP's del escenario. La Figura 4.2 muestra el Pseudocódigo del suscitado algoritmo.

Procedimiento: Algoritmo MinMax.

1. Asigne Aleatoriamente todos los AP del escenario.
2. **while** Iteraciones por escenario no hayan sido alcanzado.
3. **while** Exista un AP sin asignación de Canal.
4. Elija un “ ap_u ” donde no se haya asignado un canal por medio de este algoritmo, al cual se le aplicaran los posteriores pasos.
5. Calcule la Máxima Interferencia del ap_u entre todos sus vecinos usando el canal “ i ”. Haga esto probando con cada uno de los canales disponibles:

$$MIP_{ap_u}^i = \max_{\forall ap_v \in N(ap_u)} IP(ap_u^i, ap_v^{C(ap_v)}); \forall i/1 \leq i \leq Ct$$

6. Asigne el canal con el Mínimo factor de Interferencia de entre las Máximas Interferencia de los canales disponibles:

$$C(ap_u) = \min (MIP_{ap_u}^i ; \forall i/1 \leq i \leq Ct).$$

7. **end while**

8. **end while**

Figura 4.2 Pseudocódigo del Algoritmo MinMax.

Es preciso mencionar que en el presente proyecto se probó con cincuenta iteraciones por cada escenario, esto es así para que el algoritmo converja a una asignación estable.

4.1.3. Algoritmo de la Mínima Suma de Penalidad (MinSum)

En este algoritmo se plantea realizar la suma de las penalidades considerando todos y cada uno de los AP's vecinos del punto de acceso que se está analizando (ap_u), probando para dicho fin con cada uno de los canales disponibles. A continuación, se muestra dicho planteamiento de forma matemática:

$$SUM_{ap_u}^i = \sum_{\forall ap_v \in N(ap_u)} IP(ap_u^i, ap_v^{C(ap_v)}); \forall i/1 \leq i \leq Ct \quad (4.3)$$

Contando como objetivo del algoritmo, la selección del canal que proporcione el mínimo valor de entre dichos valores de sumas de penalidades.

El algoritmo MinSum posee un procedimiento similar al algoritmo MinMax, difiriendo en el enfoque usado para la asignación de canal, y cuyo procedimiento se detallara a continuación:

Inicialmente todos los AP's son asignados con canales previamente establecidos o en su defecto aleatorios. Posteriormente el algoritmo se enfoca en un análisis individual para cada AP, tomando en consideración para cada canal la suma de las penalidades de entre todos los pares de enlaces que

dicho AP puede formar en asociación con cada uno de sus vecinos. Finalmente considerando la suma de penalidades por cada canal que fue probado en el AP en cuestión, escogemos el canal al que le corresponda la mínimo suma de penalidad. En caso de obtener varios canales con el mismo valor de suma de penalidad mínima, procedemos a elegir de manera aleatoria uno de ellos. Repitiendo en cada uno de los AP's el procedimiento antes descrito, hasta concluir con la asignación de canales de todos los AP's del escenario. La figura 4.3 presenta el Pseudocódigo que describe el procedimiento de dicho algoritmo; procedimiento que ya se acabó de describir.

Procedimiento: Algoritmo MinSum.

1. Asigne Aleatoriamente todos los AP del escenario.
2. **while** Iteraciones por escenario no hayan sido alcanzado.
3. **while** Exista un AP sin asignación de Canal.
4. Elija un“ ap_u ” donde no se haya asignado un canal por medio de este algoritmo, al cual se le aplicaran los posteriores pasos.
5. Calcule la Suma de Interferencias del ap_u en relación con todos sus vecinos usando el canal “ i ”. Haga esto probando con cada uno de los canales disponibles:

$$SUM_{ap_u}^i = \sum_{\forall ap_v \in N(ap_u)} IP(ap_u^i, ap_v^{C(ap_v)}); \forall i/1 \leq i \leq Ct$$
6. Asigne el canal con la Mínima suma de Interferencia de entre las Sumas de Interferencias de cada canal:

$$C(ap_u) = \min (SUM_{ap_u}^i ; \forall i/1 \leq i \leq Ct).$$
7. **end while**
8. **end while**

Figura 4.3: Pseudocódigo del Algoritmo MinSum.

Cabe mencionar que para el presente proyecto, el algoritmo fue ejecutado con cincuenta iteraciones por cada escenario, esto es así para que el algoritmo converja a una asignación estable.

CAPITULO 5

5. EVALUACIÓN DE LOS ALGORITMOS

En esta sección se analizará el efecto de la movilidad sobre el rendimiento de los tres algoritmos anteriormente descritos, bajo diferentes condiciones de densidad de AP's y uso de las bandas de frecuencias. Para ello, se generó una topología de "snapshots" o capturas de escenarios que representan la movilidad de los AP's a través de la distribución espacial aleatoria de los usuarios secundarios AP's, sobre un área de tamaño 0.5×0.5 ; por simplicidad, la máscara del espectro WLAN es considerada de forma rectangular para ambas bandas. Se hace preciso mencionar los parámetros, indicadores que se emplearán para el análisis, siendo estos: Promedio de la Suma de Penalidades por escenario, % Uso de la PB (en el caso cuando se habilitó el uso de dicha banda), % factibilidad para los AP's.

Los resultados fueron obtenidos del análisis de 100 “snapshot” o capturas de escenarios, para cada una de las configuraciones de números de AP’s; usando los siguientes parámetros de simulación: $IPMAX=0.2$, $MS=10\text{dB}$, $MP=15\text{dB}$, $SS= -65\text{ dBm}$, $SP= -65\text{ dBm}$, $\alpha = 3.5$. El parámetro del Radio de Uso de los AP’s ha sido escogido tal que $R_{UA,SU}=0.05$. Se muestra a continuación una tabla de resumen de los parámetros de configuración con que fueron realizadas el total de las simulaciones.

Tabla 3: Parámetros de simulación

Parámetros	Valor
Margen de Protección para un SU, M_{su}	10 dB
Sensibilidad SU, S_{su}	-65dBm
Gradiente de propagación, α	3.5
Penalidad Máxima, P_{MAX}	0.2
Número de canales ism C_{ISM}	11
Número de canales primarios C_{PB}	10
Ancho de banda de Canales Primarios	6 MHz
Ancho de banda WLAN	22 MHz
Radio de Uso de los AP's ($R_{UA,SU}$)	0.050 Km

Se propone representar la movilidad de los AP’s a través de la creación de dos tipos de escenarios los cuales constituyen dos enfoques para representar la problemática de la movilidad, para el primer enfoque de movilidad se plantea una secuencia de escenarios los cuales contendrán AP’s con posiciones aleatorias para todos sus miembros; mientras que para el otro enfoque de movilidad, se plantea una secuencia de escenarios

donde únicamente determinados AP's serán los que cambien/varíen aleatoriamente de posiciones a medida que se vaya progresando en la generación de la secuencia de estos escenarios, en tanto que los restantes AP's se mantendrán en posiciones fijas durante todas las secuencias de escenarios generados bajo este esquema. A continuación, se procede a nombrar y definir estos dos tipos de escenarios:

***Escenarios “tipo A”:** Son escenarios que se crean con posiciones aleatorias para cada AP, pero siempre manteniendo el número de AP's constante en todos los escenarios.

***Escenarios “tipo B”:** Son escenarios que se basan en un escenario inicial de base (con AP's en posiciones fijas) agregando una determinada cantidad de AP's adicionales a los fijos, los cuales se ubican en posiciones aleatorias, estableciéndose así la movilidad únicamente para los AP's adicionados.

5.1. Pruebas con Escenarios “Tipo A”

Estos escenarios corresponderían a la representación de los distintos ambientes que se podrían presentar con diversas configuraciones de AP's.

Se realizaron las pruebas de este tipo de escenario, usando: únicamente Banda ISM, como también usando ambas bandas ISM+PB.

5.1.1. Escenarios “Tipo A”. Usando canales de Banda ISM

La Figura 5.1 proporciona el promedio de la Suma de penalidades por escenario para distintos números de AP's. Tal como se muestra en la figura, el mejor rendimiento es decir el menor promedio de suma de penalidades para 14AP's en un escenario de 0.5x0.5, es obtenido por el algoritmo MinSum con un valor de 2.182, seguido por el algoritmo MinMax con 3.546 y finalmente el algoritmo RDM con un promedio de suma de 9.470, todo estos resultados usando únicamente banda ISM. En la Figura 5.2 podemos observar los resultados correspondientes al Promedio de Máxima Penalidad por escenario siendo: 0.6596 el promedio de máxima penalidad para el algoritmo MinMax, 0.8094 el correspondiente para el algoritmo MinSum, y 0.9958 para el algoritmo RDM, de estos resultados podemos sacar a conclusión que el algoritmo RDM tiene en promedio una máxima Interferencia por escenario de valor muy cercano a 1 (siendo este el valor máximo del factor de penalidad correspondiente a una interferencia total entre un AP con un determinado vecino), lo

cual indica que usando dicho algoritmo en promedio el escenario va a contar con un AP cuya penalidad con un determinado vecino, va a ser igual a 0.9958 que corresponderá al mayor valor de Interferencia del escenario por lo que considerando estos resultados el algoritmo RDM no nos ayudaría en la optimización de este indicador. La Figura 5.3 procede a detallar el porcentaje de cambio de canal con respecto a la asignación inicial de los AP's del escenario, este resultado nos sirve para determinar el porcentaje de AP's que cambiaron de canal cuando un determinado algoritmo de asignación de canal es aplicado, resultando: un 14.07 % para el algoritmo MinSum, y un 15.50% para el algoritmo MinMax; para el caso donde se cuanta con 14 AP's por escenario, nótese que no se considera el algoritmo RDM para este grafica de resultados debido a que no existe manera de como poder comparar el porcentaje de cambio de canal en este algoritmo ya que este realiza una asignación aleatoria de manera inicial, única y definitiva. La Figura 5.4 muestra el porcentaje de factibilidad para los AP's, como se puede notar la mayor factibilidad para 14 AP's se obtiene con el algoritmo Minsum con un 63.14%, seguido del algoritmo MinMax con un 54.57% y finalmente se ubica el algoritmo RDM con una factibilidad 17.71%.

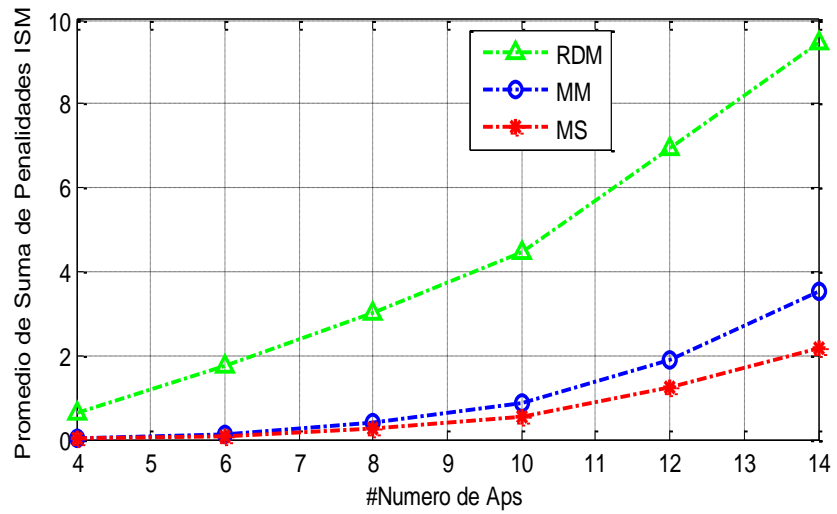


Figura 5.1 Suma de Penalidades ISM Para Escenarios Tipo "A" vs Numero de AP's por escenario

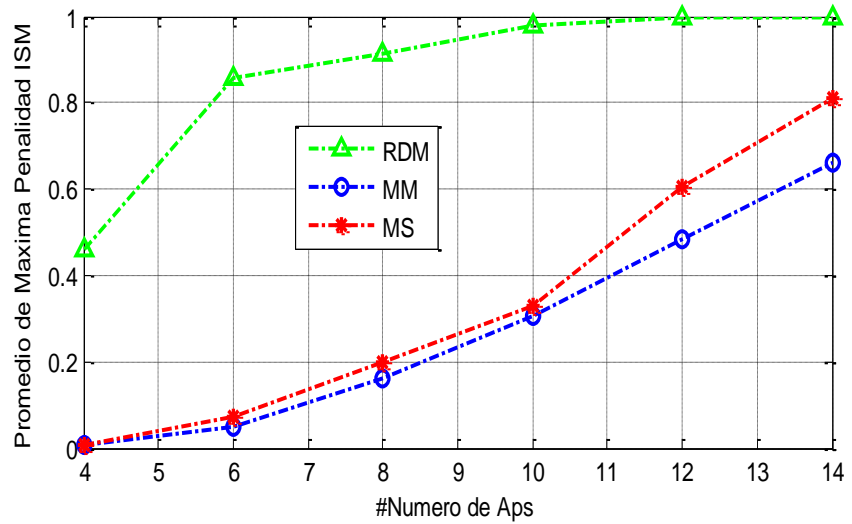


Figura 5.2 Máxima Penalidad ISM Para Escenarios Tipo "A" vs Numero de AP's por escenario

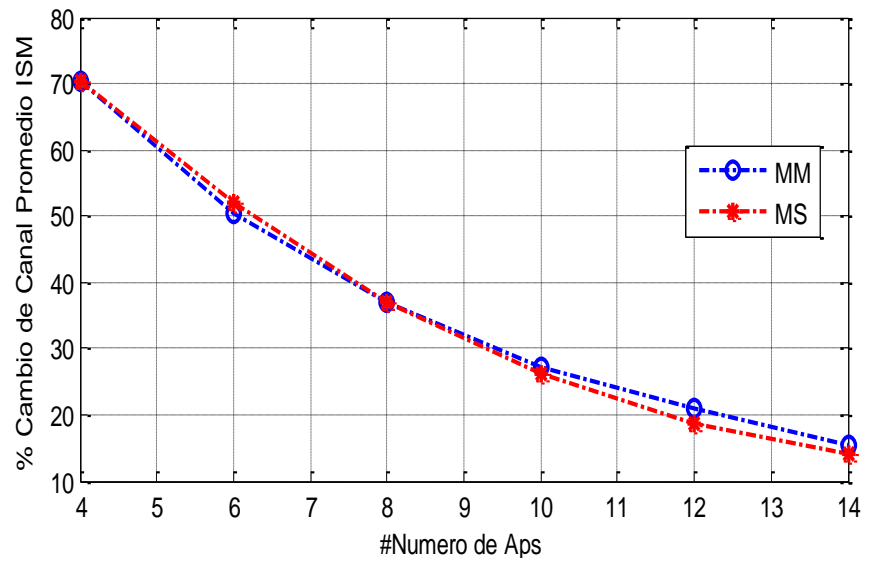


Figura 5.3 Porcentaje de cambio de canal ISM en escenarios Tipo "A" vs Numero de AP's por escenario

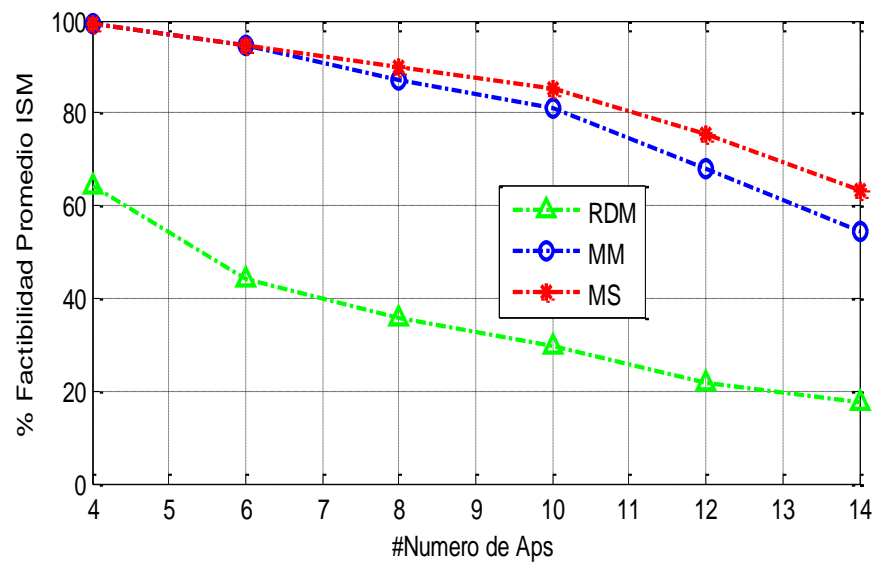


Figura 5.4 Porcentaje de factibilidad ISM en Escenarios Tipo "A" vs Numero de AP's por escenario

5.1.2. Escenarios Tipo A. Usando canales de las Bandas ISM+PB

Las Figuras 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9 muestran el conjunto de graficas de resultados correspondientes al análisis realizado sobre este tipo de escenarios en el cual se usaron conjuntamente las bandas ISM+PB en cada uno de los algoritmos.

Se decidió por obtener las gráficas de resultados de Promedio de suma de penalidades y de Promedio de Máxima Penalidad de forma separada para cada banda, ya que a pesar de que se usó ambas banda, son dos bandas de frecuencias con características espectrales distantes tal como se analizó en el capítulo 2. Entonces, de esta forma la Figura 5.5 a) entrega los resultados de Promedio de Suma de Penalidades de los AP's que se encuentran asignados con canales ISM siendo para el caso de 14 APs por escenario: 0.08209 cuando se aplica el algoritmo MinSum, 0.10470 cuando el algoritmo MinMax es aplicado, y 3.855 cuando se aplica el algoritmo RDM. La Figura 5.5 b) entregan los resultados del Promedio de Suma de Penalidades de los AP's que se encuentran asignados con canales PB siendo para el caso de 14 APs por escenario: 0.04483 cuando se aplica el algoritmo MinSum, 0.08585 cuando el algoritmo MinMax es aplicado, y 1.4240 cuando se aplica el algoritmo RDM; como se

puede apreciar para este en que se usó las bandas ISM+PB, los algoritmos MinSum y MinMax fueron los que registraron los menores valores de promedio de Suma de Penalidad siendo estos muchos menores en todos los casos en comparación al algoritmo RDM. La Figura 5.6 a) proporciona los resultados de Promedio de Máxima Penalidad por escenario para los AP's que se encuentran asignados con canales ISM siendo para el caso de 14 APs por escenario: 0.05254 cuando se aplica el algoritmo MinMax, 0.07273 cuando el algoritmo MinSum es aplicado, y 0.9528 cuando se aplica el algoritmo RDM. La Figura 5.6 b) entrega los resultados de Promedio de Máxima Penalidad por escenario para los AP's que se encuentran asignados con canales PB siendo para el caso de 14 APs por escenario: 0.04483 cuando se aplica el algoritmo MinSum, 0.04992 cuando el algoritmo MinMax es aplicado, y 0.58870 cuando se aplica el algoritmo RDM; tal como se puede apreciar, los algoritmos MinSum y MinMax fueron los que registraron los menores valores de Promedio de Máxima Penalidad siendo estos muchos menores en todos los casos en comparación al algoritmo RDM.

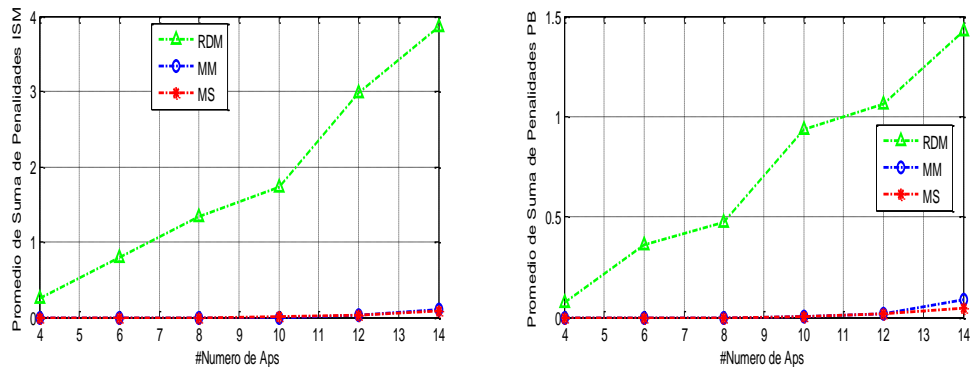


Figura 5.5 Suma de Penalidades para Escenarios Tipo “A” con asignación de canales en la banda: a) ISM. b) PB

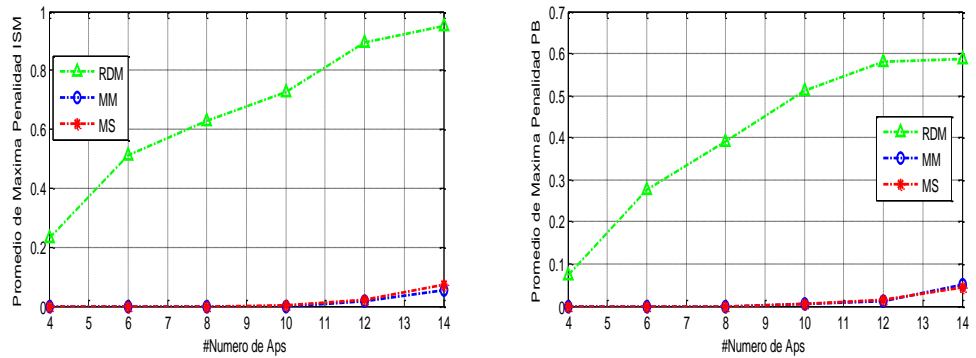


Figura 5.6 Máxima Penalidad para Escenarios Tipo “A” con asignación de canales en la banda: a) ISM. b) PB

En las gráficas de resultados de: porcentaje de cambio de canal, porcentaje de uso de la banda primaria PB, y factibilidad; no se separaron los resultados entre los AP's asignados con canales ISM y AP's asignados con canales PB, ya que son resultados que se aplican de manera indistinta para ambas bandas. La Figura 5.7 procede a detallar el porcentaje de cambio de canal con respecto a la asignación inicial de los AP's

del escenario, este resultado nos sirve para determinar el porcentaje de AP's que cambiaron de canal cuando un determinado algoritmo de asignación de canal es aplicado, resultando: un 50.14 % para el algoritmo MinMax, y un 50.43% para el algoritmo MinSum; para el caso cuando se cuenta con 14 AP's por escenario, nótese que no se considera el algoritmo RDM para este grafica de resultados debido a que no existe manera de como poder comparar el porcentaje de cambio de canal en este algoritmo ya que este realiza una asignación aleatoria de manera inicial, única y definitiva. La Figura 5.8 detalla el porcentaje de uso de la banda primaria para los tres algoritmos aquí no se observa un patrón definido para dicha función, notándose más bien un comportamiento aleatorio en cuanto a los tres algoritmos, siendo en particular para el caso de 8 AP's por escenario: de 35.28 % para el algoritmo RDM, pasando por un 37.38% para el algoritmo MinSum, llegando a un 41.25% de uso de la PB para el algoritmo MinMax; se hace importante mencionar también los resultados para el caso en que se tiene 14 AP's por escenarios, siendo: un 34.14% de uso de la PB cuando el algoritmo RDM es aplicado, 40.86% de uso de la PB cuando el algoritmo MinSum es aplicado, y un 41.79% de uso de la PB cuando el algoritmo MinMax es aplicado. Para estos

resultados, no se observó un patrón definido en dicha función, notándose más bien un comportamiento aleatorio en los tres algoritmos. Por último la Figura 5.9 detalla el porcentaje de factibilidad de AP's, distinguiéndose una superioridad en todos los casos, para los algoritmos MinSum y MinMax en comparación al algoritmo RDM, obteniéndose un 97.00% con el algoritmo MinSum, un 95.79% para el algoritmo MinMax, y un 36.21% para el algoritmo RDM para el caso donde se consideraron 14 AP's por escenario.

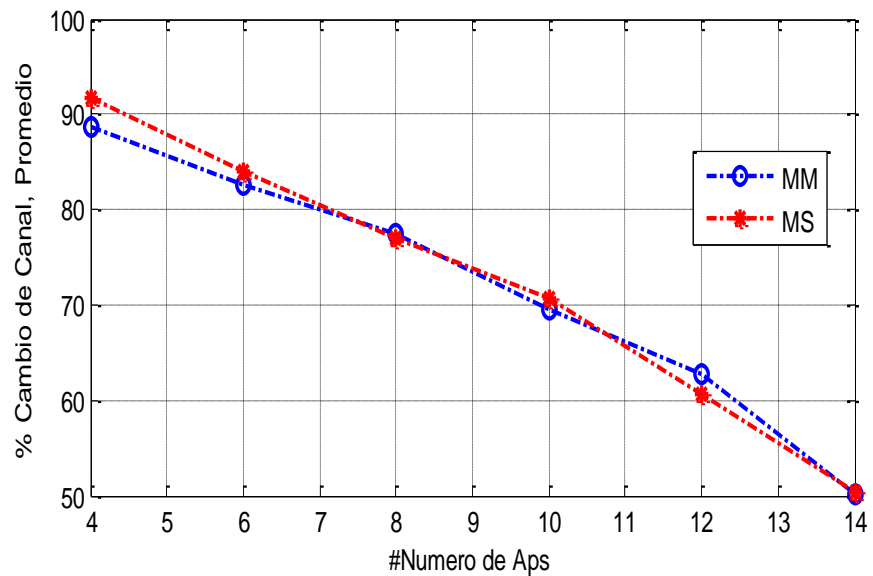


Figura 5.7 Porcentaje de cambio de canal en escenarios Tipo "A" vs Numero de AP's por escenario

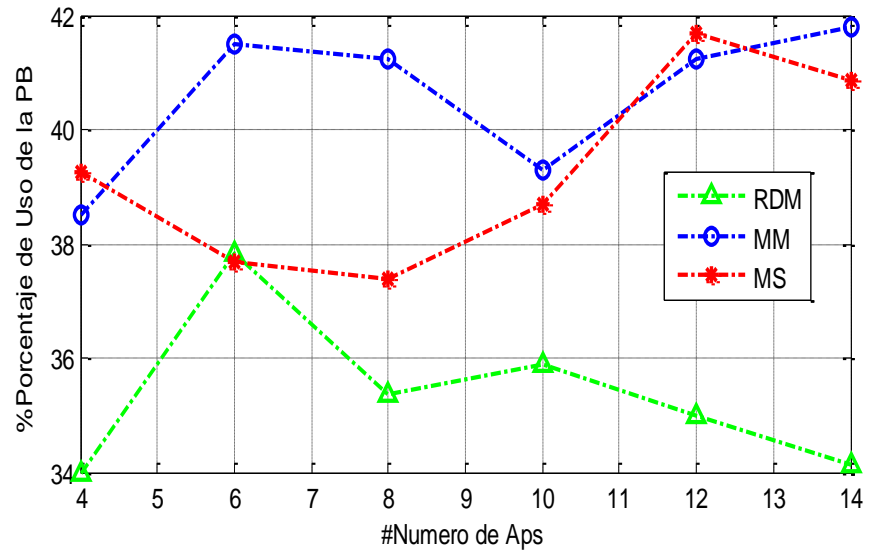


Figura 5.8 Porcentaje de Uso de la PB en Escenarios Tipo "A" vs Numero de AP's por escenario

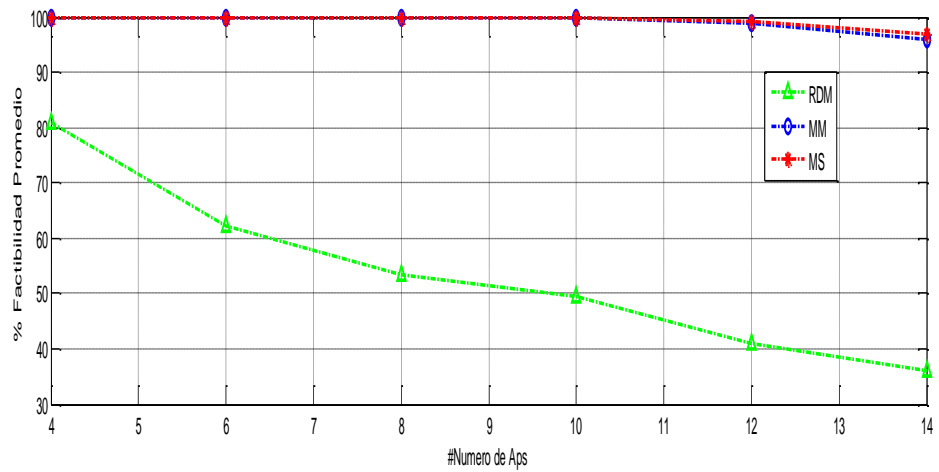


Figura 5.9 Porcentaje de factibilidad (ISM+PB) en Escenarios Tipo "A" vs Numero de AP's por escenario

Nótese que para los escenarios “Tipo A”, se obtiene sin duda un mejor rendimiento sobre el impacto de la movilidad usando manera conjunta ambas bandas ISM+PB, basados en que el Promedio de Suma de Penalidades por escenario tanto en la banda ISM como en la banda PB son mucho menores en comparación a cuando se usa únicamente la banda ISM. Adicionalmente tomando en contraste la factibilidad de los AP’s entre ambos casos, resultan mucho más factibles los AP’s de los escenarios “Tipo A” cuando se usan las bandas ISM+PB que cuando se usa únicamente la banda ISM. Resulta importante denotar que la única desventaja que se podría percibir en el uso conjunto de las bandas ISM+PB en estos algoritmos, es que precisamente los algoritmos analizados en el presente artículo no producen porcentajes de Uso de la PB tan bajos como fuese lo deseado, para ello se propone al lector estudiar algoritmos como el propuesto en [16] que hacen uso oportunista de la banda PB a la vez priorizando el uso de la ISM sobre la PB. Por tal, tomando en consideración todo lo anteriormente mencionado se decidió realizar las pruebas con escenarios “Tipo B” usando conjuntamente las bandas ISM+PB en base a los porcentajes superiores obtenidos en cuanto a factibilidad de puntos de acceso en comparación a si se usase únicamente banda ISM.

5.2. Pruebas con Escenarios “Tipo B”

Estos escenarios serían la representación típica de cuando en una Red de AP's llegan imprevistos nuevos puntos de accesos que no se encontraban previamente en la planificación de la red, la movilidad aquí la realizan únicamente los AP's.

Los resultados para el análisis del impacto de la movilidad sobre estos tipos de escenarios se obtuvieron usando conjuntamente las bandas ISM+PB en cada uno de los algoritmos, debido a que se determinó que usando ambas bandas de frecuencia se alcanzan mayores porcentajes de factibilidad para los AP's, además que de esta manera se puede realizar un análisis del porcentaje de uso de la PB por parte de los algoritmos, cosas que no se podrían conseguir ni realizar si únicamente se usara la banda ISM. Las Figuras 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 y 5.14 muestran el conjunto de graficas de resultados correspondientes al análisis realizado sobre este tipo de escenarios en el cual se usaron conjuntamente las bandas ISM+PB en cada uno de los algoritmos.

Se decidió por obtener los resultados de Promedio de suma de penalidades y de Promedio de Máxima Penalidad de forma separada para cada banda, ya que a pesar de que se usó ambas banda, son dos bandas de frecuencias con características espectrales distantes tal como se analizó en el capítulo 2. Así entonces, la Figura 5.10 a)

entrega los resultados de Promedio de Suma de Penalidades de los AP's que se encuentran asignados con canales ISM siendo para el caso de 20 APs por escenario: 0.4844 cuando se aplica el algoritmo MinSum, 0.5812 cuando el algoritmo MinMax es aplicado, y 8.621 cuando se aplica el algoritmo RDM. La Figura 5.10 b) entregan los resultados del Promedio de Suma de Penalidades de los AP's que se encuentran asignados con canales PB siendo para el caso de 20 APs por escenario: 0.2983 cuando se aplica el algoritmo MinSum, 0.4205 cuando el algoritmo MinMax es aplicado, y 2.8230 cuando se aplica el algoritmo RDM; como se puede apreciar al igual que para el caso de los escenarios "Tipo A" usando las bandas ISM+PB, los algoritmos MinSum y MinMax fueron los que registraron los menores valores de promedio de Suma de Penalidad siendo estos muchos menores en todos los casos en comparación al algoritmo RDM. La figura 5.11 a) entrega los resultados de Promedio de Máxima Penalidad por escenario para los AP's que se encuentran asignados con canales ISM siendo para el caso de 20 APs por escenario: 0.2233 cuando se aplica el algoritmo MinMax, 0.3036 cuando el algoritmo MinSum es aplicado, y 0.9985 cuando se aplica el algoritmo RDM. Las figuras 5.11 b) entrega los resultados de Promedio de Máxima Penalidad por escenario para los AP's que se encuentran asignados con canales PB siendo para el caso de 20 APs por escenario: 0.2067 cuando se aplica

el algoritmo MinMax, 0.2478 cuando el algoritmo MinSum es aplicado, y 0.8361 cuando se aplica el algoritmo RDM; tal como se puede apreciar al igual que para el caso de los escenarios “Tipo A”, los algoritmos MinSum y MinMax fueron los que registraron los menores valores de Promedio de Máxima Penalidad siendo estos muchos menores en todos los casos en comparación al algoritmo RDM.

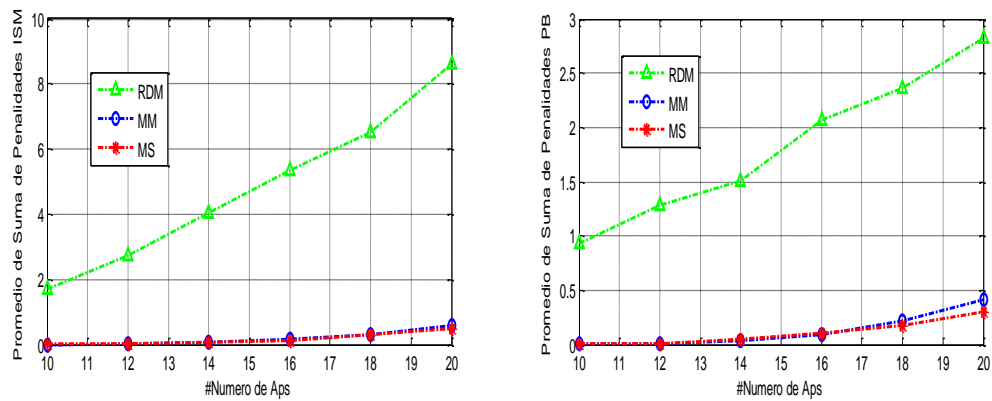


Figura 5.10 Suma de Penalidades para Escenarios Tipo “B” con asignación de canales en la banda: a) ISM. b) PB

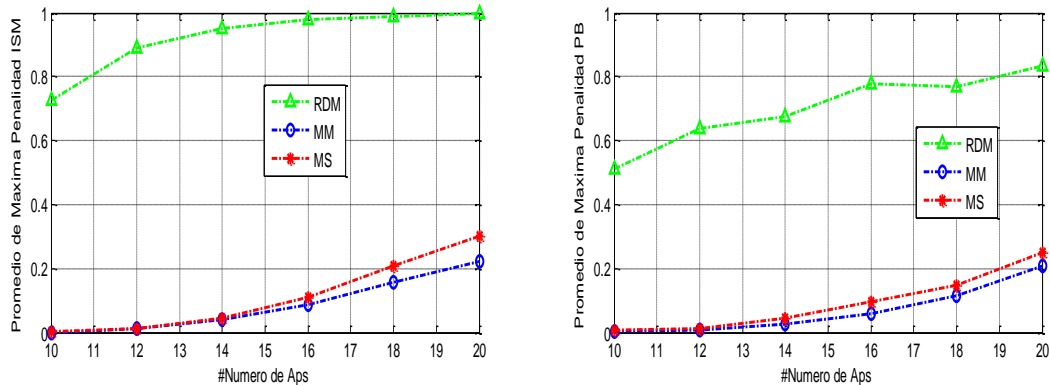


Figura 5.11 Máxima Penalidad para Escenarios Tipo “B” con asignación de canales en la banda: a) ISM. b) PB

Para las gráficas de resultados de: porcentaje de cambio de canal, porcentaje de uso de la banda primaria PB, y factibilidad; no se necesita dividir los resultados entre los AP's asignados con canales ISM y AP's asignados con canales PB, ya que son resultados que se aplican de manera indistinta para ambas bandas. La Figura 5.12 procede a detallar el porcentaje de cambio de canal con respecto a la asignación inicial de los AP's del escenario, este resultado nos sirve para determinar el porcentaje de AP's que cambiaron de canal cuando un determinado algoritmo de asignación de canal es aplicado, resultando: un 28.25 % para el algoritmo MinMax, y un 30.10% para el algoritmo MinSum; para el caso donde se cuenta con 20 AP's por escenario, nótese que no se considera el algoritmo RDM para este grafica de resultados debido a que no existe manera de como poder comparar el porcentaje de cambio de canal en este algoritmo ya que este realiza

una asignación aleatoria de manera inicial, única y definitiva. En la Figura 5.13 se muestra el porcentaje de uso de la banda primaria para los tres algoritmos que de igual manera a lo obtenido en su análogo para los escenarios "Tipo A" no se observó un patrón definido para dicha función notándose más bien un comportamiento aleatorio en los tres algoritmos, siendo de manera particular para el caso de 18 AP's por escenario: de 34.56 % para el algoritmo RDM, pasando por un 41.39% para el algoritmo MinMax, llegando a un 42.44% de uso de la PB para el algoritmo MinSum. Por último la Figura 5.14 detalla el porcentaje de factibilidad de AP's, percibiéndose una superioridad en todos los casos, para los algoritmos MinSum y MinMax en comparación al algoritmo RDM, resultando en un 98% con el algoritmo MinSum, un 97.36% para el algoritmo MinMax, y un 35.21% para el algoritmo RDM para el caso donde se consideraron 14 AP's por escenario; se hace importante mencionar también los resultados para el caso donde se cuenta con 20 AP's por escenario, siendo un 88.75% de factibilidad para el algoritmo MinSum, un 86.90% de factibilidad para el algoritmo MinMax y un 23.60% de factibilidad para el algoritmo RDM.

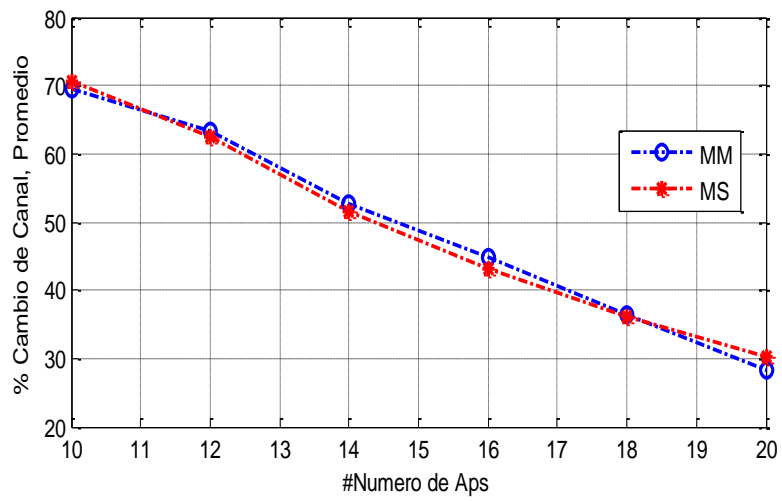


Figura 5.12 Porcentaje de cambio de canal en escenarios Tipo “B” vs Numero de AP’s por escenario

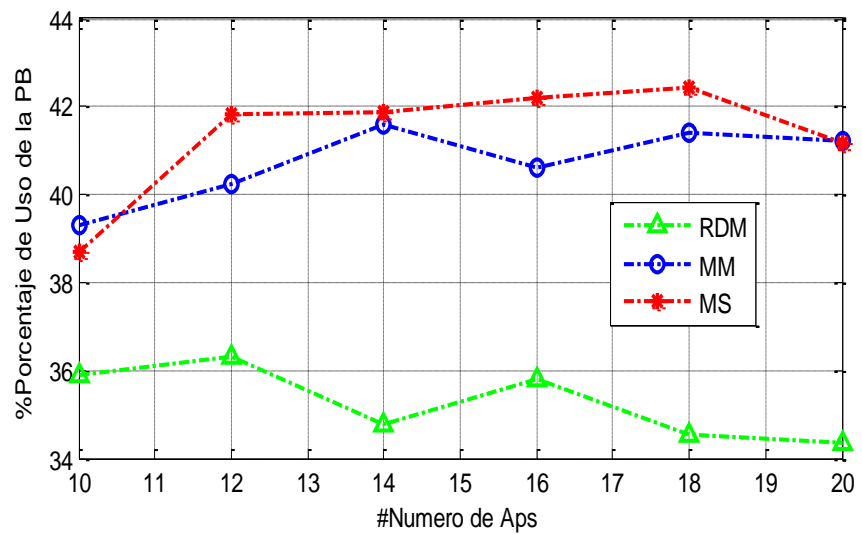


Figura 5.13 Porcentaje de Uso de la PB en Escenarios Tipo “B” vs Numero de AP’s por escenario

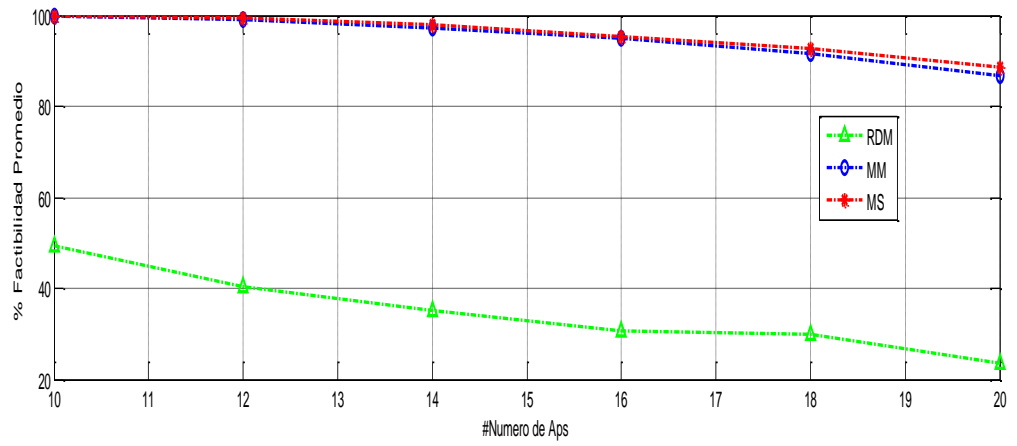


Figura 5.14 Porcentaje de factibilidad (ISM+PB) en Escenarios Tipo "B" vs Numero de AP's por escenario

CONCLUSIONES

1. Como consecuencia de comparar los resultados de los indicadores para los escenarios Tipo "A" usando disponibilidad conjunta ISM+PB, con los de los escenarios Tipo "B" donde también se usó disponibilidad conjunta ISM+PB; se concluye que ambos tipos de escenarios presentan características similares de rendimiento, al aplicar sobre ellos los algoritmos de asignación de canal, tomando como ejemplo fehaciente de lo mencionado, el hecho de que se obtienen factibilidades del 97% para el algoritmo MinSum, 95,79% para el algoritmo MinMax y 36,21% para el algoritmo RDM cuando 14 AP's son usados para crear escenarios del tipo "A". Mientras que por otro lado, se obtienen factibilidades del 98% para el algoritmo MinSum, 97,36% para el algoritmo MinMax, y 35,21% para el algoritmo RDM, en el caso donde 14 AP's se encuentran formando escenarios Tipo "B".

2. Al apreciar y contrastar los resultados de los escenarios Tipo "A", se logra concluir de forma fidedigna el hecho de que al usar la disponibilidad conjunta de las bandas ISM+PB en los algoritmos asignación de canal, se obtienen mejores rendimientos en todos los indicadores, a diferencia de si únicamente se ostenta la disponibilidad de la banda ISM. Tomando como base principal para dichas aseveraciones, los resultados de los porcentajes de factibilidad siendo estos de: 97.00% para el algoritmo MinSum, 95.79% para el algoritmo MinMax, y 36.21% para el algoritmo RDM para el caso de 14 AP's en escenarios Tipo "A" con disponibilidad conjunta ISM+PB. En tanto que se obtuvieron factibilidades de: 63.14% para el algoritmo MinSum, 54.57% para el algoritmo MinMax, y 17.71% para el algoritmo RDM, en el caso cuando se los aplico 14 AP's sobre escenario Tipo "A", teniendo en cuenta para los algoritmos, únicamente la disponibilidad de la Banda ISM.
3. De lo Cotejado en todos los resultados de los indicadores se extrae a conclusión que, tanto el algoritmos MinSum como el algoritmo MinMax cumplen cabalmente con su cometido base que los define como algoritmo, es decir, se determinó que el algoritmo MinSum minimiza la suma de penalidades de los AP's para todos los casos de escenarios

estudiados. Al mismo tiempo que se comprobó, que el algoritmo MinMax minimiza la penalidad máxima que pueden presentar los AP's de todos los escenarios aquí propuestos. Esto es posible constatarlo en los resultados, tomando como ejemplo en particular, el caso donde se cuenta con 20 AP's sobre escenarios Tipo "B".

4. Para el indicador de porcentaje de cambio de canal se observa que existe una tendencia decreciente a medida que se va aumentando el número de AP's en los escenarios. En tanto que, para el indicador de porcentaje de uso de PB, se puede notar que presenta un comportamiento impredecible a medida que se va avanzando en las distintas cantidades de AP's por escenario, siendo el uso de la PB inferior al 50% para todos los algoritmos en todos los tipos de escenarios aplicados.
5. Uno de los Puntos no favorables en relación a estos algoritmos es que ninguno de estos consideran o plantean la priorización del uso de la banda ISM sobre la banda PB. También se hace importante mencionar que, para los escenarios Tipo B los algoritmos de asignación de canal tienen que configurarse para ejecutar inicialmente una asignación aleatoria únicamente a los nuevos AP's que son adicionados al escenario, debido a que estos escenarios tienen como base un

escenario donde ya se encontraba establecida y estabilizada una asignación de canal optima pero que de manera inesperada y aleatoria se agregan, adicionan o unen a la red, cierto número de nuevos puntos de acceso.

RECOMENDACIONES

1. Por razones de agilidad, rapidez y sencillez de los algoritmos, no se propone considerar el uso de PU's (usuarios primarios de las bandas PB) en las pruebas con los escenarios, ya que para considerar el uso de los PU's se tendría que haber considerado restricciones de disponibilidad de la banda PB tal como se pormenoriza en [14] y [16], dado que los PU's cuentan con la predominio/primacía sobre el uso de esta banda; por lo que, para trabajos futuros se recomienda considerar las condiciones necesarias para la inclusión de los PU's en los escenarios.
2. Dado que, al momento de ejecutar los algoritmos de asignación de canal sobre un determinado escenario se realizan diferentes cálculos para cada A_p , y mientras mayor sea el número de escenarios a simular,

se recomienda utilizar una pc con buenas características de capacidad de procesamiento de datos, por ejemplo una pc con procesador CORE i7 para una mayor capacidad de procesamiento de datos para así poder tener los resultados en un tiempo menor, ya que de tener una computadora con un procesador de bajo rendimiento podría darse el caso incluso, de congelarse la pc y perder los datos.

3. Se aconseja estudiar el algoritmo de asignación de canal tratado en la referencia [14], donde se plantea un enfoque de acceso oportunista al espectro (OSA) utilizando la banda primaria PB para dicho fin, en el cual adicionalmente se plantea un mecanismo de priorización en la asignación de los canales de la banda ISM, sobre los canales primarios PB. El suscitado algoritmo cuenta también con un interesante mecanismo de acción el cual es un mecanismo que combina características probabilísticas y determinísticas; siendo éstas, la base de la operación y procedimiento del algoritmo. Motivo por el que se deja planteado el estudio de dicho tema, alentando al lector a revisar el citado trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Stuart, T., Young, A. , Noronha, A. , What Do Consumers Want from Wi-Fi? - Insights from Cisco IBSG Consumer Research, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). May 2012. http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/sp/SP_Wi-Fi_Consumers.pdf.

[2] IEEE Std 802.11™-2012, (Revision of IEEE Std 802.11-2007). IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks—Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.

[3] Youngseok, L., Kyoungae, K., Yanghee C., "Optimization of AP placement and channel assignment in wireless LANs," Local Computer

Networks, 2002. Proceedings. LCN 2002. 27th Annual IEEE Conference on
, vol., no., pp. 831- 836, 6-8 Nov. 2002.

[4] El-Hajj, W., Alazemi, H., Optimal frequency assignment for IEEE 802.11
wireless networks *Wireless Communications and Mobile Computing*, John
Wiley & Sons, Ltd., 2009, 9, 131-141.

[5] Mahonen, P., Riihijarvi, J., Petrova, M., "Automatic Channel Allocation
for Small Wireless Local Area Networks using Graph Colouring Algorithm
Approach," in Proc. IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile
Radio Communications, pp. 536–539, Sept. 2004.

[6] Chieochan, S., Hossain, E., Diamond, J., "Channel assignment schemes
for infrastructure-based 802.11 WLANs: A survey," *Communications
Surveys & Tutorials*, IEEE, vol.12, no.1, pp.124-136, First Quarter 2010.

[7] Zhao, Q., Sadler, B., "A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal
Processing, Networking, and Regulatory Policy" *IEEE Signal Processing*,
May 2007.

[8] Buddhikot, M., "Understanding Dynamic Spectrum Access: Models, Taxonomy and Challenges", 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2007. DySPAN 2007.

[9] Senhua, H., Xin, L., Zhi, D., "Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks," INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE, vol., no., pp.1427-1435, 13-18 April 2008.

[10] IEEE, IEEE Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Amendment: TV White Spaces Operation, IEEE P802.11af/D3.0, enero 2013

[11] Sacoto, A., Solís, J., Algoritmo de Asignación de Canales para Redes de Comunicación Inalámbricas con Acceso Oportunista Basado en Algoritmos Genéticos. Año 2014.

[12] Spectrum Policy Task Force, "Spectrum Policy Task Force Report," Federal Communications Commission ET Docket 02-135, 2002.

[13] Lopez, M., Casadevall, F., Umbert, A., Perez, J., Hachemani, R., Palicot, J., Moy, C., "Spectral occupation measurements and blind standard recognition sensor for cognitive radio networks," Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2009. CROWNCOM'09. 4th International Conference on, vol., no., pp.1-9, 22-24 June 2009.

[14] Novillo, F., Galeana, H., Ferrus, R., Agusti, R., "Spectrum Availability in Indoor Locations for Opportunistic Spectrum Access in Dense Urban Scenarios," Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th, vol., no., pp.1-5, 26-29 April 2009.

[15] Jara, P., Nazar, P., Estándar IEEE 802.11 X de las WLAN, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional,
http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/standard_802_11.pdf, 2009

[16] Novillo, F., Proposal and Evaluation of Channel Assignment Algorithms for Wireless Local Area Networks with Opportunistic Spectrum Access Capabilities, Departament de Teoria Del Senyal i Comunicacions – Universitat Politècnica de Catalunya, Mayo 2013.

[17] Castells, M., La era de la información. Economía, sociedad y cultura (Vol I: La sociedad red). Alianza Editorial. Madrid. Febrero 2015.

[18] León, U., Topología y Requerimientos en WLAN – Universidad Politécnica Salesiana UPS,
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/221/3/Capitulo%202.pdf>,
Febrero 2015

[19] Cisco Systems, Enterprise Mobility 4.1 Design Guide, Cisco Validated Design.<http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Mobility/emob41dg/eMob4.1.pdf>., abril 2012

[20] Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), Report C from CEPT to the European Commission in response to the Mandate on: Technical considerations regarding harmonisation options for the Digital Dividend, A preliminary assessment of the feasibility of fitting new/future applications/services into non-harmonised spectrum of the digital dividend (namely the so-called "white spaces" between allotments), Final Report, junio 2008.

[21] Nekovee, M., A Survey of Cognitive Radio Access to TV White Spaces, Hindawi Publishing Corporation - International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, 2010

[22] Mitola, J., Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications, Proc. IEEE Int. Workshop Mobile Multimedia Communications, 1999

[23] Akyildiz, I., Lee, W., Vuran, M., Mohanty, S., NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A Survey, Elsevier, 2006

[24] Haykin, S., Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications, IEEE J. Sel. Areas Commun. vol. 23 no. 2 pp. 201–220, febrero 2005

[25] Jondral, F., Software-Defined Radio – Basics and Evolution to Cognitive Radio, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2005:3, abril 2005

[26] Akyildiz, I., Lee, W., Vuran, M., Mohanty, S., A survey on spectrum management in cognitive radio networks, Communications Magazine IEEE vol.46 no.4 pp.40-48, abril 2008

- [27] Bayileyegn, T., Spectrum Availability Assessment Tool for TV White SpaceCognitive, Master. dissertation alto university Espoo Finlad, 2012
- [28] Mishra, A., Shrivastava, V., Agrawal, D., Banerjee, S., Ganguly, S., Distributed Channel Management in Uncoordinated Wireless Environments, en Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking, 2006
- [29] Yue, X., Wong, C., Chan, S., A Distributed Channel Assignment Algorithm for Uncoordinated WLANs, IEEE CCNC 2010, 2010
- [30] RECOMMENDATION ITU-R SM.337-6, Frequency and distance separations, consultado abril 2014.