

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

**“DISPONIBILIDAD ESPACIAL DE ESPECTRO DENTRO DE ZONAS
URBANAS DENSAS.”**

TESINA DE SEMINARIO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Luis Omar Mendoza Sión

Vanessa Alexandra Sarmiento Anchundia

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, a mis padres Omar y María por su apoyo incondicional durante mis años de estudio, a mis padres de corazón Julio y Narcisa por ayudarme a cumplir este sueño, al Ph.D. Francisco Novillo por guiarnos a través del desarrollo de esta tesina a todos ellos muchas gracias.

Luis Omar Mendoza Sión

A Dios por darme salud, fortaleza y perseverancia; a mis padres Germán, Tanya y a mi hermana Tanya Stefania; a mis abuelitos Alejandro (+) y Fabia de las Mercedes, a mis amistades por el apoyo brindado para lograr el objetivo trazado para un futuro mejor y seguir siendo orgullo de ellos; a la Escuela Superior Politécnica del Litoral de manera especial a todos y cada

uno de los profesores que en el transcurso de mi formación universitaria me impartieron sus conocimientos que me servirán para mi desarrollo profesional, a mi director de ésta tesina Ph.D. Francisco Novillo y a mi vocal MS.c. Washington Medina por su guía en la culminación de la misma.

Vanessa Alexandra Sarmiento Anchundia

DEDICATORIAS

A Dios por permitirme cumplir este sueño, a mis padres y hermanas por estar conmigo, a toda mi familia que confiaron en mí, a mi enamorada Ing. María Auxiliadora Coronel por su apoyo y ayuda en la elaboración de este trabajo, a mis amigos y profesores, gracias a ellos pude alcanzar esta meta.

Luis Omar Mendoza Sión

A Dios por darme la vida, paciencia y sabiduría para enfrentar las adversidades de cada día; a mis amistades, maestros y familiares por su apoyo para culminar con éxito mi trabajo de graduación, especialmente a mis padres quienes son el pilar fundamental y por quienes logré cumplir esta etapa importante en mi vida.

Vanessa Alexandra Sarmiento Anchundia

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ph.D. Francisco Novillo

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN



MS.c. Washington Medina

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL". (Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)



Luis Omar Mendoza Sión



Vanessa Alexandra Samiento Anchundia

RESUMEN

Con la creciente demanda de servicios con acceso inalámbrico de corto alcance que operan en bandas de uso compartido (e.g. ISM), sobretodo en zonas urbanas densas, existe preocupación de futuros colapsos en ese segmento de espectro radioeléctrico, debido al incremento de los niveles de interferencia que puede ocasionar el despliegue denso de dispositivos que operan en esta banda. En ese contexto, las tecnologías con acceso oportunista del espectro (OSA) podrían brindar una buena alternativa para descongestionar las bandas ISM. En particular permitiendo a los dispositivos que trabajan en bandas ISM acceder de manera oportunista a bandas que han sido concesionadas a otros sistemas (e.g. TV) sin causar interferencia a sus usuarios legítimos. Por lo antes expuesto, en esta tesina se propone cuantificar la disponibilidad espacial del espectro licenciado en zonas al interior de edificios en un escenario tipo Manhattan, de manera que los sistemas de corto alcance puedan funcionar como usuarios secundarios en bandas licenciadas. Para este estudio se utilizaron varios modelos de propagación semi-empíricos que permiten hacer un análisis exhaustivo de aproximación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIAS	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMATICA	1
1.1 Identificación del problema.-.....	1
1.2 Objetivos de la tesina.-	2
1.2.1 Objetivos Generales.....	2

1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Esquema de la Tesina.....	2
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA DISPONIBILIDAD ESPACIAL	5
2.1. Introducción	5
2.2. Espectro Radioeléctrico	6
2.2.1 Bandas Licenciadas	8
2.3. Bandas de Frecuencias de Televisión Digital (TDT)	10
2.4. Acceso Oportunista al Espectro.....	12
2.4.1 Espacios en Blanco (WS)	12
2.5. WLAN BASADAS EN IEEE 802.11X	13
2.5.1 Canales de Frecuencia	13
2.6 Modelos de Propagación	15
2.6.1 Pérdida de Propagación para exteriores	16
2.6.2 Perdida de Propagación para Interiores	18
2.6.3 Pérdida de Propagación para Penetración de edificios	20
CAPÍTULO 3: MODELADO DEL SISTEMA OPORTUNISTA	21
3.1 Introducción	21

3.2 Descripción el escenario.....	22
3.2.1 Sistema Primario.....	23
3.2.2 Sistema Secundario	24
3.3 Casos de Estudio.....	25
3.4 Condiciones para el Reúso del Espectro	25
3.5 Cálculo Del Área Reusable.....	27
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
4.1 Introducción	29
4.2 Configuración de los Sistemas	30
4.3 Configuración del Escenario.....	30
4.4 Análisis Caso A.....	31
4.5 Análisis Caso B.....	44
CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	54

ABREVIATURAS

AFH	Salto de Frecuencia Adaptativo
BS	Estación Base
dB	Decibelios
DS-SS	Espectro Ensanchado por Secuencia Directa
e.g	Por ejemplo
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
FHSS	Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia
Htx	Altura del Transmisor
HRX	Altura del Receptor
i.e	Es decir
e.g.	Ejemplo
ISM	Industria Científica y Médica
LAN	Local Area Network
Mhz	Mega Hertz
OSA	Acceso Oportunista del Espectro
RC	Radio Cognitiva
RX _{TV}	Receptores de Televisión

SP	Sistema Primario
SU	Sistema Secundario
TDT	Televisión Digital Terrestre
TV	Televisión
UHF	Frecuencia Ultra Alta
USA	Estados Unidos de América
VHF	Frecuencia Muy Alta
WIFI	Fidelidad Inalámbrica
WLAN	Redes Locales Inalámbricas
WPAN	Wireless Personal Area Network
WS	Espacios en Blanco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema de la Tesina	4
Figura 2.1	Ubicación de las bandas no licenciadas[40]	10
Figura 2.2 3	Canales de frecuencia en la banda 2.4 Ghz [30]	15
Figura 2.3 6	Medios que producen pérdidas de propagación	16
Figura 3.14	Escenario en estudio	23
Figura 3.25	Caracterización de interferencias para reúso del espectro	26
Figura 4.1 7	Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 4 pisos	32
Figura 4.2 8	Resultado total de Disponibilidad para edificios de 4 pisos ...	33
Figura 4.39	Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 8 pisos	37
Figura 4.410	Resultado total de disponibilidad para edificios de 8 pisos	38
Figura 4.511	Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 12 pisos	39
Figura 4.612	Resultado de disponibilidad total para edificios de 12 pisos ..	40
Figura 4.713	Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 16 pisos	41
Figura 4.814	Resultado de disponibilidad total para edificios de 16 pisos ..	42

Figura 4.9 15	Disponibilidad Espacial del Canal para Escenarios de Varios Pisos	43
Figura 4.1016	Disponibilidad Espacial del Canal para Escenarios de Varios Pisos	45
Figura 4.1117	Disponibilidad Espacial del Canal para Escenarios de Varios Pisos	47
Figura 4.1218	Máximos, Mínimos y Promedio de Disponibilidad Espacial del Canal para escenarios de 4, 8, 12 y 16 pisos	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I	Distribución convencional del espectro radioeléctrico	7
Tabla II	Rango de Frecuencias en Televisión VHF	11
Tabla III	Rango de Frecuencias de Televisión UHF	11
Tabla IV	Restricciones del Modelo Ichitsubo	18
Tabla V	Configuración de los escenarios.....	19
Tabla VI	Configuración de parámetros de los sistemas.....	30
Tabla VII	Configuración de los escenarios.....	31
Tabla VIII	Porcentaje de disponibilidad por piso	34

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la demanda de servicios con acceso inalámbrico de corto alcance (i.e. Wireless Local Área Network, WLAN), en particular los sistemas basados en el estándar IEEE 802.11, han aumentado de manera significativa sobre todo en zonas urbanas densas [1]. Este hecho, a futuro, podría provocar que las bandas en las que opera (i.e. ISM) se congestionen [2], debido al limitado número de canales que disponen y la alta cantidad de usuarios. Por esta razón, futuros problemas se pueden acarrear en esas bandas, entre los cuales, se tiene el incremento de los niveles de interferencia que pueden provocar bajos rendimientos de las redes [3].

Para dar algún tipo de solución a los problemas antes mencionados se han realizado estudios como los planteados en [4] donde se presenta un análisis de los efectos que provocan las interferencias en ISM por lo que proponen técnicas de transmisión tales como espectro ensanchado por secuencia directa (DS-SS) que utiliza modulación digital con una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral. La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radio receptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal. Otros estudios como los presentados en [5] plantean técnicas adicionales que minimizan los efectos causados por las interferencias ISM como espectro ensanchado por salto de frecuencia

(FHSS), salto de frecuencia adaptativo (AFH) todos estos basados en el mismo esquema de transmisión de señal. Sin embargo una solución que en los últimos años ha surgido y que podría ayudar a descongestionar las bandas ISM de manera más eficiente es el uso de tecnologías basadas en técnicas de acceso oportunista al espectro (OSA) [6] de manera que ciertos sistemas que operan en bandas compartidas no licenciadas puedan funcionar como usuarios secundarios en aquellos canales que no están siendo usados (i.e. White Spaces) [7] en bandas licenciadas, de manera oportunista.

En este contexto el estudio de la disponibilidad de canales en las diferentes bandas del espectro radioeléctrico se convierte en un motivo de estudio de gran importancia. Así en [8] se propone un estudio de identificación temporal de White Spaces en toda la banda del espectro radioeléctrico, donde se realizaron mediciones durante una semana para luego calcular el ciclo de trabajo promedio, y así posteriormente obtener un porcentaje de disponibilidad temporal de la banda de estudio, confirmando que dicha disponibilidad depende del tiempo, frecuencia y la ubicación de medición. Otro caso de estudio temporal se presenta en [9] donde se determinó que dentro de la banda comprendida desde 20 hasta 3000 MHz, el porcentaje de utilización temporal de espectro es del 13.7%. Dichos resultados mostraron una alta disponibilidad espectral y la manera cómo estas varían de acuerdo al horario en que las mediciones fueron realizadas.

Por otro lado, un análisis espacial del espectro para aplicaciones OSA es realizado en [10], en donde la disponibilidad espacial de White Spaces en una zona urbana densa es determinada. En este tipo de escenarios, dadas las complejas condiciones de las construcciones, las señales transmitidas toman diferentes tipos de caminos y en algunos casos resulta casi imposible que accedan a ciertos lugares, dando la posibilidad que puedan existir espacios en blanco en esos lugares inaccesibles. Para esto en el escenario se consideró la posibilidad de que un sistema de corto alcance pueda hacer uso de bandas de un sistema licenciado de largo alcance con cobertura para exteriores.

En vista de lo expuesto anteriormente, en ésta tesina se pretende hacer un análisis espacial de la disponibilidad de espectro radioeléctrico de cierto sistema licenciado para un potencial uso por sistemas con capacidades OSA en zonas urbanas densas. Para esto se propone una extensión del trabajo realizado en [10] considerando nuevos parámetros que permitan hacer un escenario más realista y extremo a la vez. Así por ejemplo, se cuenta con edificios de múltiples niveles en donde el análisis de interferencia se torne más complejo en un entorno urbano, adicionalmente se consideran diferentes características de transmisión del sistema licenciado. En particular, se propone cuantificar el área en que cierto canal de la banda de televisión digital terrestre (i.e. Banda UHF) pueda ser utilizado de manera oportunista por un

sistema de radio comunicación de corto alcance como por ejemplo las redes inalámbricas de área local (WLAN) basadas en el estándar 802.11.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Identificación del Problema.-

En la actualidad el avance tecnológico y la creciente demanda de sistemas inalámbricos que operan en la banda ISM, podrían provocar que dicho segmento de espectro se sature causando así ineficiencia y bajo rendimiento de las redes, por esta razón es importante realizar un estudio que logre cuantificar la disponibilidad espacial del espectro dentro de zonas urbanas con despliegue denso de dispositivos inalámbricos para que dichos dispositivos puedan hacer reuso del espectro.

1.2 Objetivos de la Tesina.-

1.2.1 Objetivos Generales

Determinar las áreas dentro de zonas urbanas en las cuales ciertos segmentos de espectro de sistemas de radio comunicación puedan ser reutilizados de manera oportunista.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Modelar un escenario urbano.
- Determinar modelos propagación para múltiples condiciones de señal.
- Determinar condiciones de reuso de canal.
- Definir y calcular la disponibilidad espacial de espectro para diferentes sistemas primarios.

1.3 Esquema de la Tesina

El esquema de la tesina se muestra en la Figura 1.1 donde se describe cada capítulo y sus tópicos principales, los cuales interactúan entre sí para lograr cumplir con los objetivos descritos anteriormente. El capítulo 2 establece las definiciones y conceptos básicos necesarios para analizar el reuso del espectro radioeléctrico como lo es el Acceso Oportunista del Espectro (OSA) para ello se mostrarán

las bandas de frecuencia licenciadas así como las bandas de uso compartido, además analizaremos el estándar IEEE 802.11 el cual es considerado como un sistema potencial para hacer reuso del espectro radioeléctrico. Mencionaremos también los modelos de propagación que cuantificarán las pérdidas por la transmisión de las diferentes señales en estudio.

El capítulo 3 toma en consideración los conceptos definidos en el capítulo 2 que son necesarios para analizar la Disponibilidad Espacial del Espectro. En este capítulo se describe el escenario en estudio, así como también los diferentes sistemas que han sido considerados para el análisis. Además se establecen las condiciones necesarias para el reuso del espectro y los casos propuestos para el análisis de la disponibilidad de un canal

En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos dada las condiciones y los casos establecidos en el capítulo 3, como lo son la disponibilidad espacial que presenta un canal, y en base a un estudio de disponibilidad temporal, establecer la disponibilidad total que puede presentar el canal para ser reusado de manera oportunista.

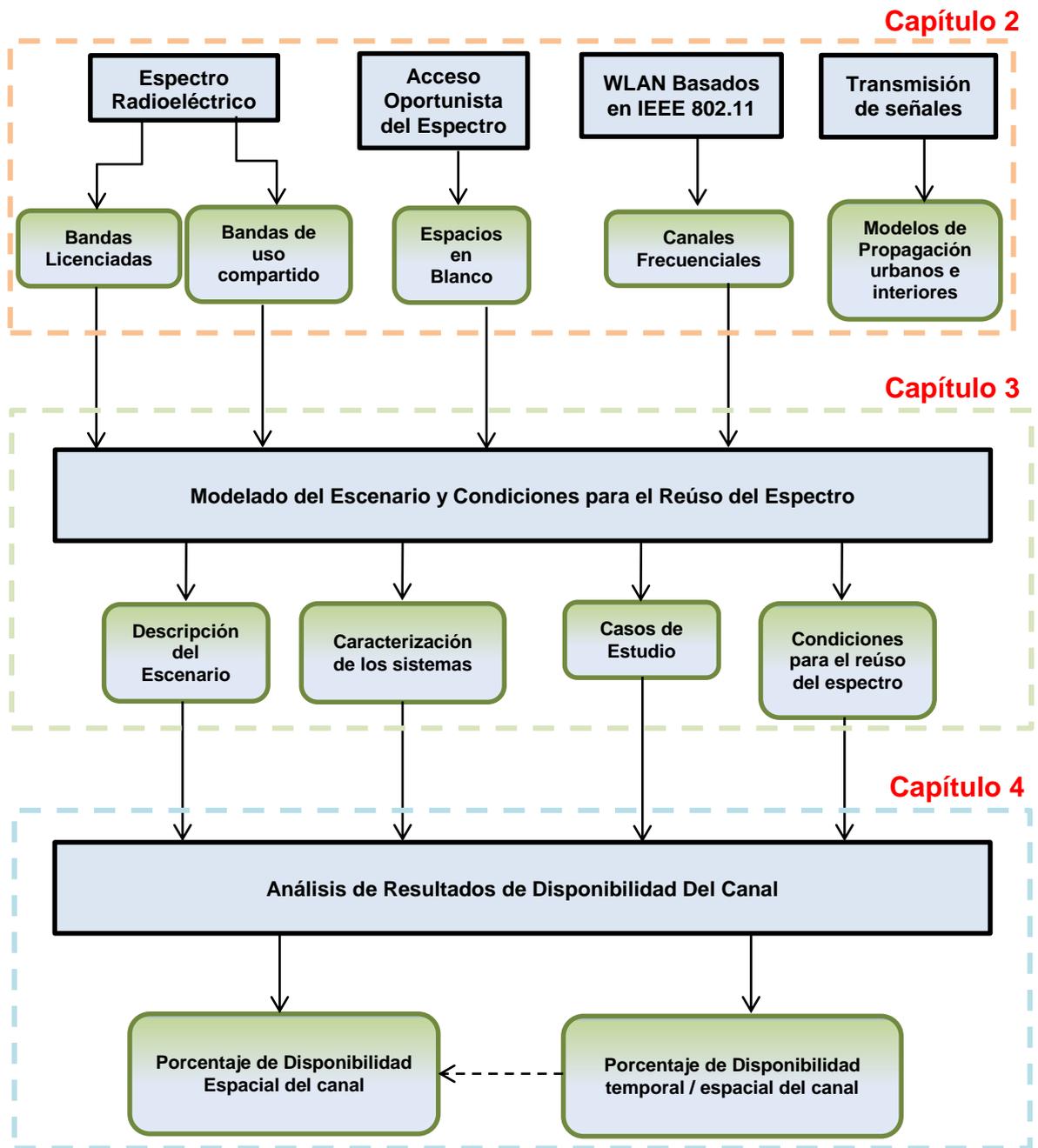


Figura 1.1 Esquema de la tesina

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE DE LA DISPONIBILIDAD ESPACIAL

2.1. Introducción

En las últimas décadas, el avance tecnológico y el desarrollo de las telecomunicaciones ha sido motor importante para la evolución de las sociedades en todos sus ámbitos, lo cual evidencia la necesidad de buscar nuevas alternativas de comunicación que brinden un adecuado uso del espectro radioeléctrico de la manera más eficiente posible.

Estudios realizados de disponibilidad del espectro radioeléctrico [11] han demostrado que el uso actual del mismo no es el más eficiente ya que existen bandas que no están siendo usadas totalmente, sin

embargo la banda ISM está siendo sobreexplotada [12]. En consecuencia una nueva tecnología como lo es Radio Cognitiva surge como una solución a estos problemas de escasez del espectro [13] ya que le permite a usuarios secundarios (i.e. usuarios no licenciados) acceder a bandas licenciadas es decir que han sido dadas en concesión, siempre y cuando los niveles de interferencia no perjudiquen la comunicación del sistema primarios (i.e. usuarios licenciados).

En este contexto un análisis de disponibilidad espacial contribuye al desarrollo de esta tecnología mediante el análisis de aquellos lugares que espacialmente se encuentran disponible para la aplicación de RC tomando en cuenta modelos de propagación de señal que van a determinar los niveles de interferencia producidos.

2.2. Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado que ofrece una gran variedad de servicios de telecomunicaciones de suma importancia para el desarrollo del país [14]. Este se encuentra constituido por un subconjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial. A continuación, en la Tabla I se muestran las nueve bandas de frecuencia en las que se encuentra dividido el espectro y sus características.

Tabla I Distribución convencional del espectro radioeléctrico [14]

SIGLA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	Características	USO TIPICO
VLf	VERY LOW FRECUENCIES Frecuencias Muy Bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.	ENLACES DE RADIO A GRAN DISTANCIA
Lf	LOW FRECUENCIES Frecuencias Bajas	10.000 m. a 1.000 m.	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.
Mf	MEDIUM FRECUENCIES Frecuencias Medias	1.000 m. a 100 m.	300 KHz a 3 MHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Prevalece propagación ionosférica durante la noche.	RADIODIFUSIÓN
Hf	HIGH FRECUENCIES Frecuencias Altas	100 m. a 10 m.	3 MHz a 30 MHz	Prevalece propagación Ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	COMUNICACIONES DE TODO TIPO A MEDIA Y LARGA DISTANCIA
VHF	VERY HIGH FRECUENCIES Frecuencias Muy Altas	10 m. a 1 m.	30 MHz a 300 MHz	Prevalece propagación directa, ocasionalmente propagación Ionosférica o Troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, TELEVISIÓN, FRECUENCIA MODULADA
UHF	ULTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias Ultra Altas	1 m. a 10 cm.	300 MHz a 3 GHz	Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, Ayuda a la navegación aérea, Radar, TELEVISIÓN
SHF	SUPER HIGH FRECUENCIES Frecuencias Superaltas	10 cm. a 1 cm.	3 GHz a 30 GHz	COMO PRECEDENTE	LA Radar, enlaces de radio
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias Extra-Altas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	COMO PRECEDENTE	LA COMO PRECEDENTE
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIES	1 mm. a 0,1 mm.	300 GHz a 3.000 GHz	COMO PRECEDENTE	LA COMO PRECEDENTE

La atribución de bandas de frecuencias, se realizó según las recomendaciones de organismos internacionales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), donde las frecuencias atribuidas a los servicios de radiocomunicaciones en el Ecuador corresponden a la Región 2 [15]. Estas frecuencias se clasifican en dos tipos: Bandas licenciadas y no licenciadas, las mismas que serán descritas a continuación.

2.2.1 Bandas Licenciadas

Las bandas licenciadas son aquellas frecuencias que requieren de una concesión o título habilitante para poder operar en una determinada banda del espectro radioeléctrico (e.g. Radiodifusión, Telefonía, TV) para uso exclusivo de la misma [16]. Este permiso es proporcionado por el organismo regulador del espectro en cada país.

2.2.2 Bandas No Licenciadas

Las bandas no licenciadas o bandas libres, son aquellas frecuencias que no necesitan de una licencia para operar en una determinada banda del espectro radioeléctrico (e.g. Banda ISM) para la explotación de redes inalámbricas, especialmente comunitarias [17]. Estas frecuencias son de libre compartición

debido a que son utilizadas para aplicaciones de banda ancha (e.g. WLAN) a nivel mundial.

Bandas ISM

Las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) son bandas libres que operan internacionalmente en las LAN de radio en las siguientes frecuencias: 2.4GHz, 900MHz, 5GHz. En un principio, estas bandas fueron reservadas exclusivamente para el uso de equipamiento relacionado con procesos industriales, científicos o aplicaciones médicas [18]. En la actualidad, el uso de estas bandas se encuentra abiertas para el uso de dispositivos inalámbricos, siempre que se respeten los límites en la potencia de transmisión [19]. Hoy en día, la totalidad de las tecnologías WLAN (e.g. WiFi) y WPAN (e.g. Bluetooth) comerciales se utilizan en las bandas ISM. En la Figura 2.1 se observa la ubicación de las bandas no licenciadas dentro de la distribución del espectro.

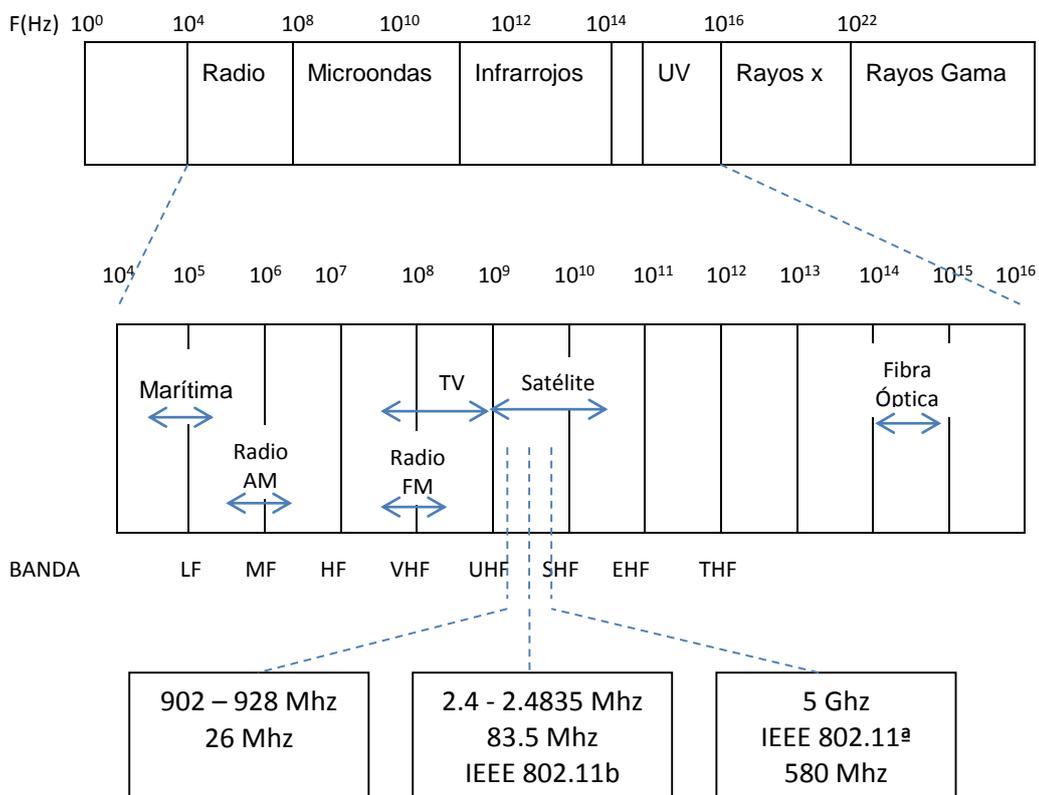


Figura 2.1 Ubicación de las bandas no licenciadas[40]

2.3. Bandas de Frecuencias de Televisión Digital (TDT)

Parte del espectro radioeléctrico es asignado para la prestación de servicio de televisión abierta a nivel nacional. Dicho espectro necesita de un título habilitante (i.e. licencia) para poder transmitir señales de TV [20]. Por otro lado, la televisión abierta en Ecuador opera en dos bandas que son: VHF y UHF, las mismas que se detallan en las Tablas II y III:

Tabla II Rango de frecuencias en televisión VHF [20]

Televisión VHF		
Bandas	Rango frecuencias	Canales
Banda I	54-72 MHz	2, 3, 4
	76-88 MHz	5 y 6
Banda III	174-216 MHz	7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13

Tabla III Rango de frecuencias de televisión UHF [20]

Televisión UHF		
Bandas	Rango frecuencias	Canales
Banda IV	512-608 MHz	21, 22, ..., 36
	614-644 MHz	38, 39, ..., 42
Banda V	644-698 MHz	43, 44, 45,.....,51

El espectro asignado a la televisión digital corresponde a la banda UHF del espectro radioeléctrico atribuido al servicio de Televisión abierta, asimismo como los canales correspondientes a la Banda III - VHF.

Actualmente, Ecuador se encuentra en un periodo de simulcast, lo que indica que se transmiten señales analógicas y digitales de manera simultánea. Durante esta etapa los canales digitales transmitirán en los canales principales o adyacentes de la banda UHF que comprenden los canales del 21 al 51, la misma que dependerá de la

disponibilidad temporal de los canales existente en un lugar determinado [21].

2.4. Acceso Oportunista al Espectro

El acceso Oportunista del Espectro es una o varias alternativas que buscan minimizar los problemas causados por escasez del espectro radioeléctrico disponible debido a la sobre explotación del mismo y a las política de distribución de sus bandas de frecuencias.[22] El acceso oportunista del espectro hace uso de bandas asignadas a usuarios primarios para que usuarios secundarios puedan transmitir haciendo uso de dicho espectro en algún instante de tiempo o región geográfica siempre y cuando su acceso no interfiera en lo absoluto a la transmisión primaria [23].

2.4.1 Espacios en Blanco (WS)

En la actualidad existen bandas que son atribuidas a sistemas de comunicación (e.g. usuarios licenciados) cuyas frecuencias están siendo utilizadas parcialmente o no están siendo utilizadas de manera eficiente [24], a aquellas frecuencias no utilizadas se las conoce como espacios en blanco o White Space (WS), por lo cual existen tecnologías como Radio Cognitiva (RC) que hace uso de dichos Espacios en Blanco para asignárselo a otros usuarios de manera que se optimice el

uso del espectro [25] lo cual es considerado como una solución eficaz para solucionar los problemas de escases del espectro [26].

2.5. WLAN BASADAS EN IEEE 802.11X

El estándar IEEE 802.11 fue uno de los principales estándares de comunicación definidos por la IEEE para aplicaciones WLAN, este estándar fue publicado en 1997, utiliza dos tipos de modulación: DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) y FHSS (Frequency Hopped Spread Spetrum). Por su velocidad en la trasmisión de datos puede llegar desde 1 o 2 Mbps, esto dependiendo del fabricante. [27] Este estándar ha quedado un poco en desuso debido a variantes del mismo que mejoran no solo la transmisión y la velocidad de datos sino que brinda servicios a aplicaciones especiales, de integración con redes de cable. [28]

2.5.1 Canales de Frecuencia

El sistema IEEE 802.11 tiene varias categorías entre las cuales existen la 802.11b y 802.11g que utilizan la banda de 2,4, banda asignada para uso compartido (ISM) [29]. En esta banda se establecieron 11 canales de frecuencia para USA y varios países de Latino América, mientras que en Europa la ETSI estableció 13 canales por los equipos inalámbricos que hacen

uso de este estándar, estos canales son configurables. Por otro lado los canales no son totalmente independientes ya que un canal se superpone y puede producir interferencia hasta un canal que se encuentre a 4 canales de distancia. El ancho de banda de la señal que es de 22MHz es superior a la separación entre canales consecutivos es decir 5MHz es por esto que es necesario que existan por lo menos 5 canales de distancia con el fin de evitar interferencias entre canales adyacentes, ya que si se utilizan canales que tienen una separación de 5 canales entre ellos entonces se puede tener una separación final de 25MHz. Generalmente se utilizan los canales 1, 6 y 11. La Figura 2.2 esquematiza el solape de los canales y la distribución frecuencial de cada canal. [30]

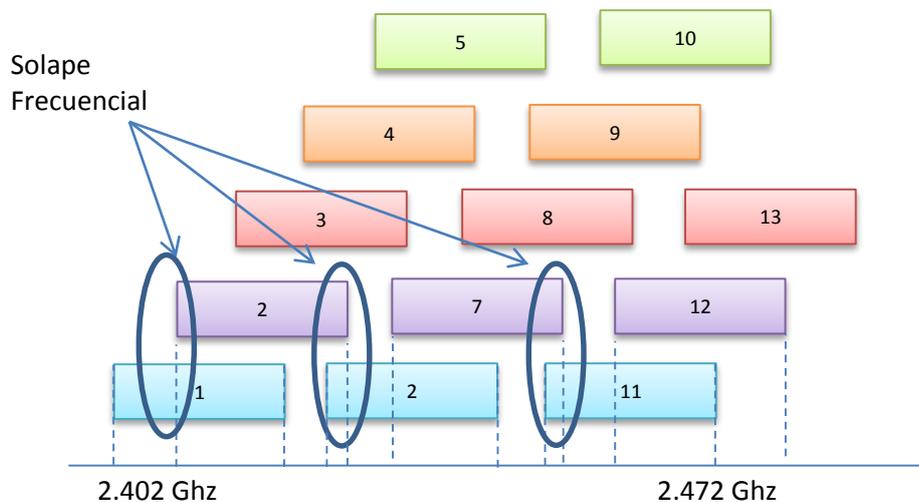


Figura 2.2 Canales de frecuencia en la banda 2.4 Ghz [30]

2.6 Modelos de Propagación

Un modelo de propagación es una o varias expresiones matemáticas que han sido previamente demostradas y comprobadas bajo experimentos de campo y laboratorio, que pueden modelar la propagación de una señal de radio por un medio específico [31]. Los modelos de propagación toman en cuenta la pérdida de potencia que existe entre un par de antenas por lo general un transmisor y un receptor y dicha pérdida usualmente esta expresada en decibeles (dB) [32].

En la Figura 2.3 se muestra los diferentes medios por la cual la señal se va a propagar dentro del escenario de estudio, para analizar si

existe interferencia por cada uno de los sistemas usaremos varios modelos de propagación tanto para exteriores como interiores y penetración de edificios, los cuales en base a expresiones matemáticas determinaran con cuánta potencia va a llegar una determinada señal.

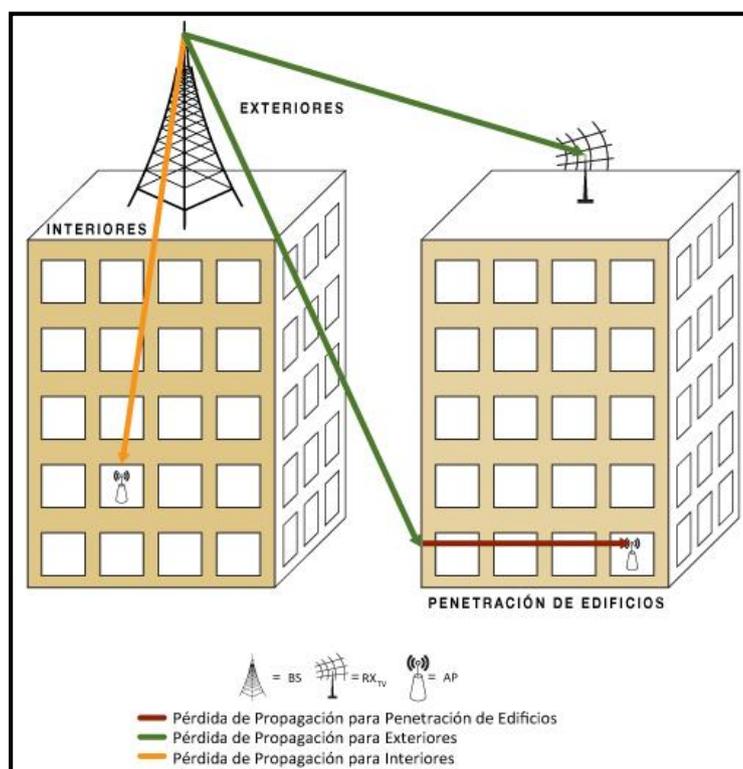


Figura 2.3 Medios que producen pérdidas de propagación

2.6.1 Pérdida de Propagación para Exteriores

Existen varios modelos de propagación para exteriores que consideran algunos aspectos tales como la densidad de edificios, la vegetación, las condiciones climáticas, la

configuración del sistema de comunicación, etc. [33] Por lo cual la pérdida de propagación afecta considerablemente la disponibilidad espacial para sistemas de RC. Una expresión general que expresa la pérdida de propagación puede ser descrita de la siguiente manera

$$L(d) = \alpha \log_{10}(d) - \beta \text{ [dB]} \quad \alpha, \beta \in R \quad (2.1)$$

Donde el rango de α se encuentra de 20 a 40 dB, y β es determinado por varios factores tales como la altura de la antena, frecuencia, estructura de los edificios etc. [34] Un modelo apropiado para calcular la pérdida de propagación en exteriores que cumple con las condiciones de este estudio es el modelo de Ichitsubo desarrollado en una zona urbana en Japón [35] ya que α y β están en función de la altura de las antenas del transmisor y el receptor, este modelo presenta la siguiente expresión:

$$L_{edif} = [51 - 8 \log(H_{TX} H_{RX})] \log(d) + 8.4 \log(H_{TX} H_{RX}) \quad (2.2) \\ + 20 \log(f_c / 2.2) + 14$$

Donde H_{TX} y H_{RX} es la altura del transmisor y el receptor respectivamente, d es la distancia que existe entre el transmisor

y el receptor y f_c la frecuencia. La Tabla IV muestra las restricciones del modelo de propagación.

Tabla IV Restricciones del Modelo Ichitsubo [35]

Restricciones del modelo Ichitsubo		
H_{TX}	Altura del transmisor	3.5 – 30 m
H_{RX}	Altura del Receptor	1.5 – 30 m
d	Distancia del transmisor al Receptor	Hasta 3km

2.6.2 Pérdida de Propagación para Interiores

En el transcurso de los años se han desarrollado varios modelos de propagación en interiores como el presentado en [36] que da la pérdida de propagación producida por paredes y pisos penetrados por el camino directo entre el transmisor y el receptor, el cual puede ser usado cuando el transmisor se encuentra en el mismo edificio de los receptores [37]. Se ha observado que la pérdida total por piso es una función no lineal del número de pisos penetrados, este modelo puede ser expresado de la siguiente manera:

$$L = L_0 + L_c + \sum_{i=1}^f K_{wi} L_{wi} + k_f \left[\frac{K_f + 2}{K_f + 1} - b \right] L_f \quad (2.3)$$

Dónde:

L_0 = Pérdida de espacio libre entre el transmisor y receptor

L_c = Constante de pérdida

K_{wi} = Numero de paredes penetradas de tipo i

K_f = Número de pisos penetrados

L_{wi} = Pérdida de paredes de tipo i

L_f = Pérdida entre pisos adyacentes

b = Parámetro empírico

La Tabla V muestra los valores de las constantes dependiendo del escenario a considerar, para nuestro estudio hemos usado el modelo para interiores es decir modelo multiparedes, estos valores son considerados teniendo mobiliario de tipo normal.

Tabla V Configuración de los escenarios [36]

Ambiente	Modelo multiparedes			
	L_{wi} [dB]	L_{wi} [dB]	L_f	b
Un piso				
Dos Pisos	3.4	6.9	18.3	0.46
Multi Pisos				
Abierto	3.4	6.9	18.3	0.46
Largo	3.4	6.9	18.3	0.46
Corredor	3.4	6.9	18.3	0.46

2.6.3 Pérdida de Propagación para Penetración de Edificios

Para calcular la pérdida de propagación entre un transmisor situado en el exterior de un edificio y un receptor en el interior de un edificio o viceversa usamos el modelo de propagación propuesto en [38] que presenta la siguiente expresión:

$$L = L_{edif} + W_e + W_{ge} + \max(W_i p, \alpha d_w) - h G_h \quad (2.4)$$

En donde, W_e es la pérdida en la pared externa iluminada (7dB, considerando una penetración con ángulo $\theta = 90^\circ$), así mismo $\theta = 0^\circ$ es la pérdida adicional en la pared externa para W_{ge} con un valor de 4dB. W_i es la pérdida en paredes internas (6.9 dB) y p el número de paredes ($p = 0, 1, 2, \dots$). α es el factor de pérdida por pérdidas adyacentes (0.6 dB/m) y d_w es la distancia entre paredes, h es la altura y G_h es la ganancia de altura (1.6 dB/m). Y finalmente L_{edif} es la pérdida desde la BS hacia la parte externa de la pared de cualquier edificio, la misma que es medida por el modelo de propagación para exteriores descrito anteriormente [39].

CAPÍTULO 3

MODELADO DEL SISTEMA OPORTUNISTA

3.1 Introducción

En este capítulo, se describe el escenario de estudio donde se analiza la posibilidad de aprovechar el espectro de manera oportunista para sistemas de comunicación de corto alcance, de manera que estos sistemas puedan hacer reuso de espectro asignado a un sistema licenciado (e.g. Estación de TV), definiendo a los sistemas de corto alcance como usuarios secundarios (SU) y a los usuarios licenciados como usuarios primarios de su espectro asignado.

Además, se analizarán dos casos de estudio que permitirán identificar la disponibilidad espacial dentro del escenario descrito mediante

condiciones que permiten determinar si el espectro puede ser reusado en una determinada zona dentro del área de cobertura.

3.2 Descripción del Escenario

La Figura 3.1 muestra el escenario de estudio el cual corresponde a una zona urbana con una alta densidad de edificios, como lo es un escenario tipo Manhattan, donde se despliegan varios dispositivos inalámbricos, los mismos que debido a la cantidad y la alta utilización de los mismos han logrado saturar el segmento de espectro asignado al uso compartido. En este escenario se ha considerado la co-existencia de dos sistemas de comunicación inalámbrica: sistema primario y sistema secundario.

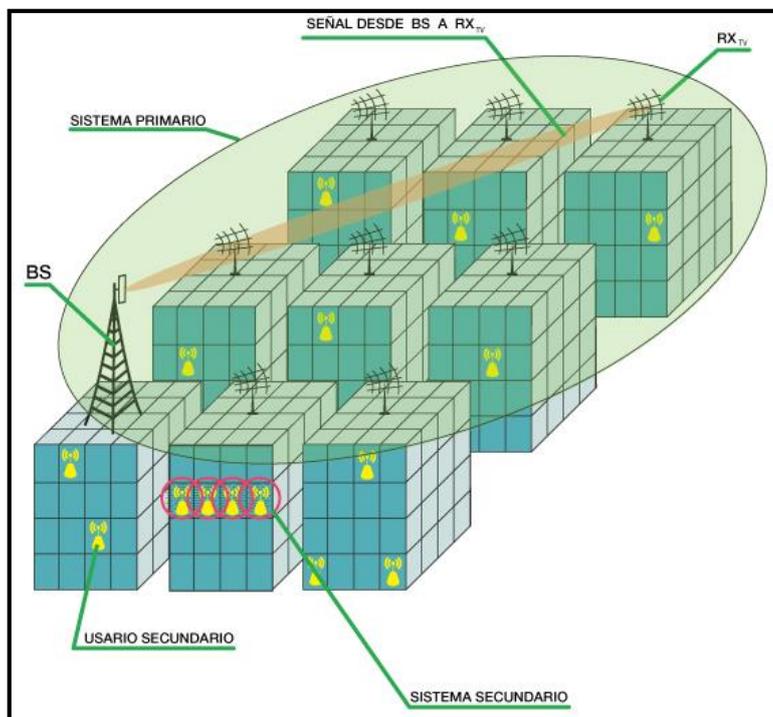


Figura 3.1 Escenario en estudio

3.2.1 Sistema Primario

Se define al sistema primario a aquel que posee una licencia para operar dentro de una determinada banda del espectro (e.g Celular, TV, FM). El mismo que se representa con una Estación Base (BS) de TV con cobertura sectorial que provee señales punto-multipunto hacia varios equipos receptores (RX_{TV}) también con cobertura sectorial y con orientación hacia la BS. Para este estudio se asume que la señal transmitida primaria es de Televisión Digital Terrestre (TDT). Tanto la BS como los RX_{TV} se encuentran ubicados en las azoteas de los

edificios, tal como se muestra en la Figura. 3.1 La potencia de transmisión de la BS se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$P_{BS} = S_{RX} + L_P + G_{BS} + F_{BS}(\theta) - G_{RX} - F_{RX}(\theta) + M_{SH} \quad (3.1)$$

Donde S_{RX} es la sensibilidad del receptor, L_P es la pérdida de propagación de la BS al RX_{TV} más lejano, G_{BS} y G_{RX} son las ganancias de antena de la BS y del RX_{TV} respectivamente. F_{BS} y F_{RX} son la respuesta con respecto al ángulo de Azimuth de la BS y receptor respectivamente. Finalmente M_{SH} es el margen de sombra.

3.2.2 Sistema Secundario

Como sistema secundario se define a aquel sistema que no necesita una licencia para operar (e.g. WLAN, LTE). El cual corresponde a dispositivos de transmisión de corto alcance como lo son puntos de acceso inalámbrico, ubicados en el interior de cada edificio, los mismos que utilizan una antena omnidireccional para la transmisión de datos, además se asume que estos dispositivos transmiten en su máximo nivel de potencia, . Cabe destacar que no es necesario el dimensionamiento de los parámetros de transmisión (e.g. potencia de transmisión, sensibilidad, etc.), para sistemas que trabajan bajo el estándar IEEE 802.11.

3.3 Casos de Estudio

Para analizar la disponibilidad del espectro radioeléctrico dentro de escenarios urbanos densos, se han propuesto los siguientes casos de estudio:

CASO A

Se propone identificar la disponibilidad espacial de cierto canal de TDT en un entorno urbano, para ello se considera que la señal de TDT es transmitida por medio de una BS proporcionando cobertura en todo el escenario exterior.

CASO B

Basado en la disponibilidad espacial del caso A, en este caso se realiza una combinación de esos resultados con la disponibilidad temporal de ese canal medido en cierta localidad. De manera que se realiza un análisis espacial y temporal de disponibilidad de un canal de TDT en un entorno urbano.

3.4 Condiciones para el Reúso del Espectro

Como se describió en la sección previamente, los sistemas con capacidades OSA pueden funcionar como usuarios secundarios dentro de una banda licenciada (e.g. Banda de TV) siempre y cuando estos no interfieran en la comunicación del sistema primario. Cuando un sistema

primario y un sistema secundario coexisten, varios tipos de interferencias pueden surgir, así en la Figura 3.2, se muestra la caracterización de interferencia considerada para el reúso del espectro.

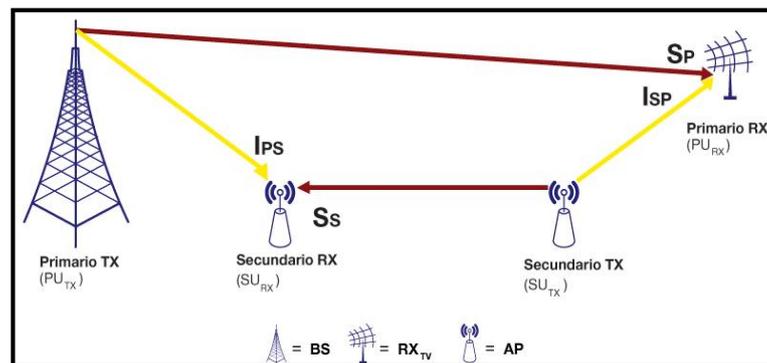


Figura 3.2 Caracterización de interferencias para reúso del espectro

En donde I_{PS} es la interferencia que causa el sistema primario al sistema secundario e I_{SP} la interferencia que causa el sistema secundario al primario, por lo tanto para hacer reúso del espectro estas interferencias no deben sobrepasar los niveles de sensibilidad de los dispositivos teniendo la siguiente formula: $I_{SP} \leq S_P - M_P$

$I_{SP} \leq S_P - M_P$ en donde S_P es la sensibilidad del receptor primario y M_P M_P el margen de protección. De manera análoga la condición que asegura que un receptor secundario no es interferido es: $I_{PS} \leq S_S - M_S$

$I_{PS} \leq S_s - M_s$ donde S_s es la sensibilidad del receptor secundario y M_s el respectivo margen de protección del receptor secundario.

3.5 Cálculo Del Área Reusable

En esta sección se formulan las condiciones de reuso de canal licenciado por los usuarios secundarios en el escenario antes propuesto; para ello, varios modelos de propagación son usados para determinar el nivel de interferencia o potencia recibida entre los sistemas desplegados en el escenario.

El cálculo del área reusable se realizó mediante el desarrollo de las condiciones descritas en la sección 3.4. Por lo tanto, un habitáculo de un edificio es considerado como área reusable si dentro del mismo los niveles de interferencia tanto para el sistema primario como para el secundario están por debajo de la sensibilidad de los equipos. Por lo tanto considerando la condición (C1) que asegura que el sistema primario no está interfiriendo al secundario tenemos la siguiente expresión:

$$I_{BS \rightarrow SU} \triangleq P_{BS} + G_{BS} + F_{BS}(\theta) - L_P + G_{SU} + F_{SU}(\theta) \leq S_{SU} - M_{SU} \quad (3.2)$$

Por otro lado la condición (C₂) que asegura que el sistema secundario no está interfiriendo al primario tomando en cuenta los niveles de interferencia en cada uno de los receptores teniendo la siguiente ecuación.

$$I_{SU \rightarrow RX_{TV}} \triangleq P_{SU} + G_{SU} + F_{SU}(\theta) - L_P + G_{RX_{TV}} + F_{RX_{TV}}(\theta) \leq S_{RX_{TV}} - M_{RX_{TV}} \quad (3.3)$$

Las dos condiciones son analizadas en cada uno de los habitáculos del escenario de estudio. Como notación matemática se defina a cada habitáculo del escenario de estudio como H_i y a la condición de interferencia analizada como C_j por lo tanto:

$$AR_j(H_i) = \begin{cases} 1; & \text{Si } C_j \text{ se cumple} \\ 0; & \text{Si } C_j \text{ no se cumple} \end{cases} \quad (3.4)$$

Para un escenario con U habitáculos el porcentaje de área reusable para una condición de interferencia dada C_j esta denotado por AR_j y calculado de la siguiente manera:

$$AR_j(\%) = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U AR_j(H_i) \quad i = 1, 2, 3 \dots U \quad (3.5)$$

Por lo tanto el área reusable para las dos condiciones de interferencia es:

$$AR(\%) = \frac{1}{U} \sum_{i=1}^U (\prod_{j=1}^2 AR_j(H_i)) \quad i = 1, 2, 3 \dots U \quad (3.6)$$

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se establece la configuración y características de los diferentes sistemas que se encuentran operando en el escenario de estudio, así como el resultado obtenido para cada condición de interferencia para determinar el porcentaje de disponibilidad espacial que presenta cierto canal de televisión. Posteriormente en base a un estudio de disponibilidad temporal que presenta dicho canal se realiza un análisis que permitirá establecer un nuevo porcentaje de disponibilidad espectral del mismo

4.2 Configuración de los Sistemas

La Tabla VI muestra la configuración de cada uno de los parámetros de los sistemas tanto primario como secundario, cabe destacar que estos mismos valores son utilizados para todos los escenarios de diferentes pisos (e.g. 4, 8, 12, 16 pisos)

Tabla VI Configuración de parámetros de los sistemas

Configuración de Parámetros			
	RX_{TV}	SU	BS
Potencia de transmisión, P	Solo recepción	15dBm	Se obtiene por (1)
Sensibilidad, S	-80dBm	-65dBm	-80dBm
Margen de Protección, M	30dB	30dB	30dB
Antena	Direccional	Omnidireccional	Direccional
G	14dBi	2dBi	4dBi
Azimuth	60°	360°	120°
Elevación	10°	360°	20°

4.3 Configuración del Escenario

La Tabla VII muestra la configuración de los distintos escenarios usados en la simulación. Para el estudio, se ha considerado un escenario urbano tipo Manhattan de 500 m² con 25 edificios distribuidos uniformemente y anchura vial de 20m. Cada edificio contiene pisos de 100m² y dentro de cada piso habitáculos de 5x5m

con una altura 2.5m, Para el análisis del caso A se ha considerado escenarios con diferente número de pisos (i.e. 4, 8, 12 y 16 pisos).

Tabla VII Configuración de los escenarios

Configuración de Escenarios				
PARAMETRO	4 PISOS	8 PISOS	12 PISOS	16 PISOS
Altura de la BS	12m	22m	30m	42m
Altura del RX	12m	22m	30m	42m
Altura de cada piso	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m
Altura del AP por piso	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m
Altura de cada edificio	9m	19m	29m	39m
Numero de edificios	25	25	25	25
Anchura vial	20	20	20	20

4.4 Análisis Caso A

En el CASO A se asume que la BS se encuentra en la azotea de un edificio localizado en una de las esquinas del escenario de estudio, además los RX_{TV} están distribuidos sobre la azotea de cada uno de los edificios. La potencia de transmisión de la BS se obtiene mediante la expresión (1) para la cual se tomó en cuenta el enlace que existe entre la BS y el RX_{TV} más lejano, lo cual da como resultado una potencia de transmisión de 35.45 dBm.

La Figura 4.1, muestra los habitáculos que son afectados por las condiciones de interferencia (2) y (3) de manera independiente para edificios de 4 pisos de altura, en donde el color blanco representa las zonas donde las condiciones de interferencia planteadas se cumplen,

por otro lado el color negro representa el caso donde las condiciones de interferencia no se cumplen. Como se aprecia en la Figura. 4.1b, la interferencia más restrictiva es la causada por los SUS a los receptores RX_{TV} debido a la alta densidad de SUS y RX_{TV} en el escenario de estudio (i.e. SU en cada habitación y RX_{TV} sobre cada edificio).

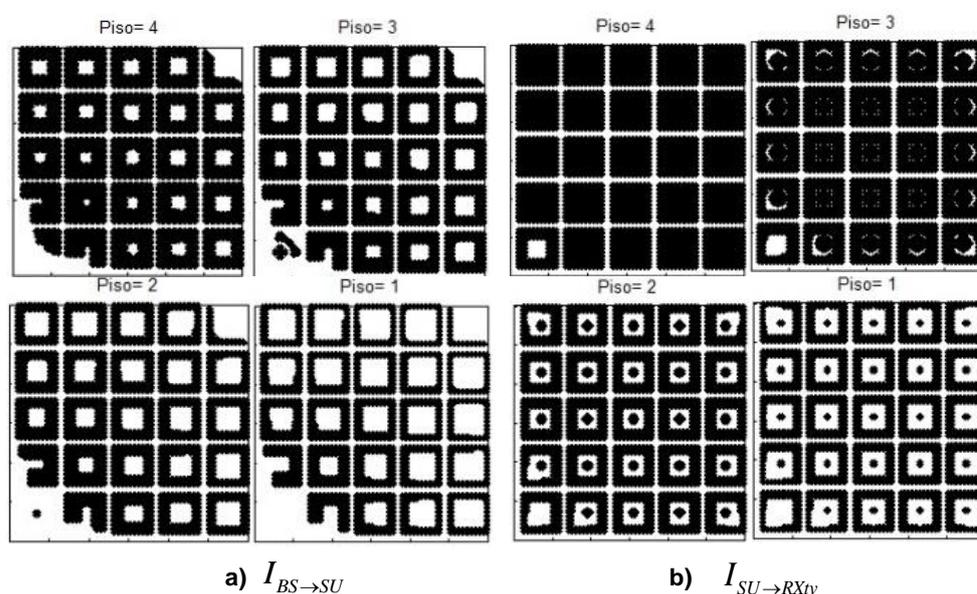


Figura 4.1 Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 4 pisos

Por otro lado la Figura 4.2, muestra la superposición de las condiciones de interferencia, lo que va a determinar la disponibilidad espacial del canal, cabe destacar que esta figura corresponde a la superposición de las figuras a y b. De tal manera que ambas

condiciones deben de cumplirse para que dentro del habitáculo sea posible hacer el reúso del espectro.

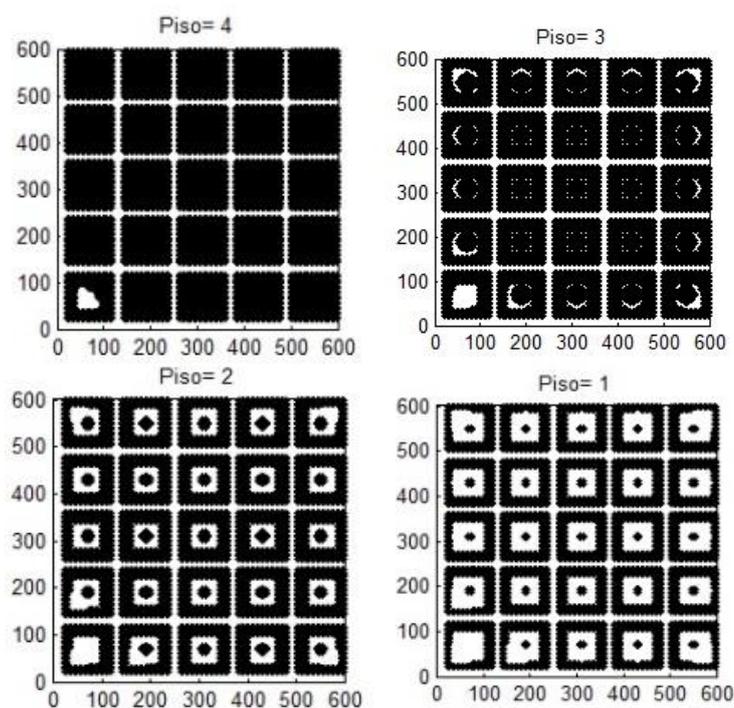


Figura 4.2 Resultado total de Disponibilidad para edificios de 4 pisos

La Tabla VIII muestra el porcentaje de habitáculos disponible por cada condición de interferencia así como el porcentaje de habitáculos disponibles dadas la superposición de las dos condiciones de interferencia en (2) y (3), para todos los pisos en un escenario con edificios de 4 pisos. De la tabla podemos observar tal como se mencionó anteriormente que la interferencia que causan los SUs a los receptores RX_{TV} es aquella que restringe en mayor proporción la

disponibilidad del canal en la planta más baja teniendo apenas un 1,19% de disponibilidad. Nótese que entre más cerca se encuentren los dispositivos del sistema secundarios a los dispositivos del sistema primario (i.e. RX_{TV}), menor es la disponibilidad. En particular se aprecia que este efecto es más representativo cuando los secundarios están más cerca de los RX_{TV} , así por ejemplo en la primer planta se cumple en 52.52%, mientras que en la cuarta planta la condición 2 se cumple apenas en un 1.19%. Esto se debe a; que entre más lejos estén los dispositivos del SUs a los RX_{TV} el nivel de potencia de los SUs va a disminuir dada la cantidad de paredes y pisos que la señal tiene va a atravesar, disminuyendo así el nivel de interferencia en los receptores RX_{TV} . Este efecto también se ve reflejando en la disponibilidad total así en la 1er planta la disponibilidad es de un 48,31% y en la 4ta planta no existe disponibilidad.

Tabla VIII Porcentaje de disponibilidad por piso

Porcentaje de Disponibilidad				
Condición de Interferencia	1er Piso	2do Piso	3er Piso	4to Piso
Bs a SU	61.95	44.47	33.89	22.42
SU a RX_{TV}	52.52	36.72	18.12	1,19
Disponibilidad Total	48.31	32.21	14.37	0

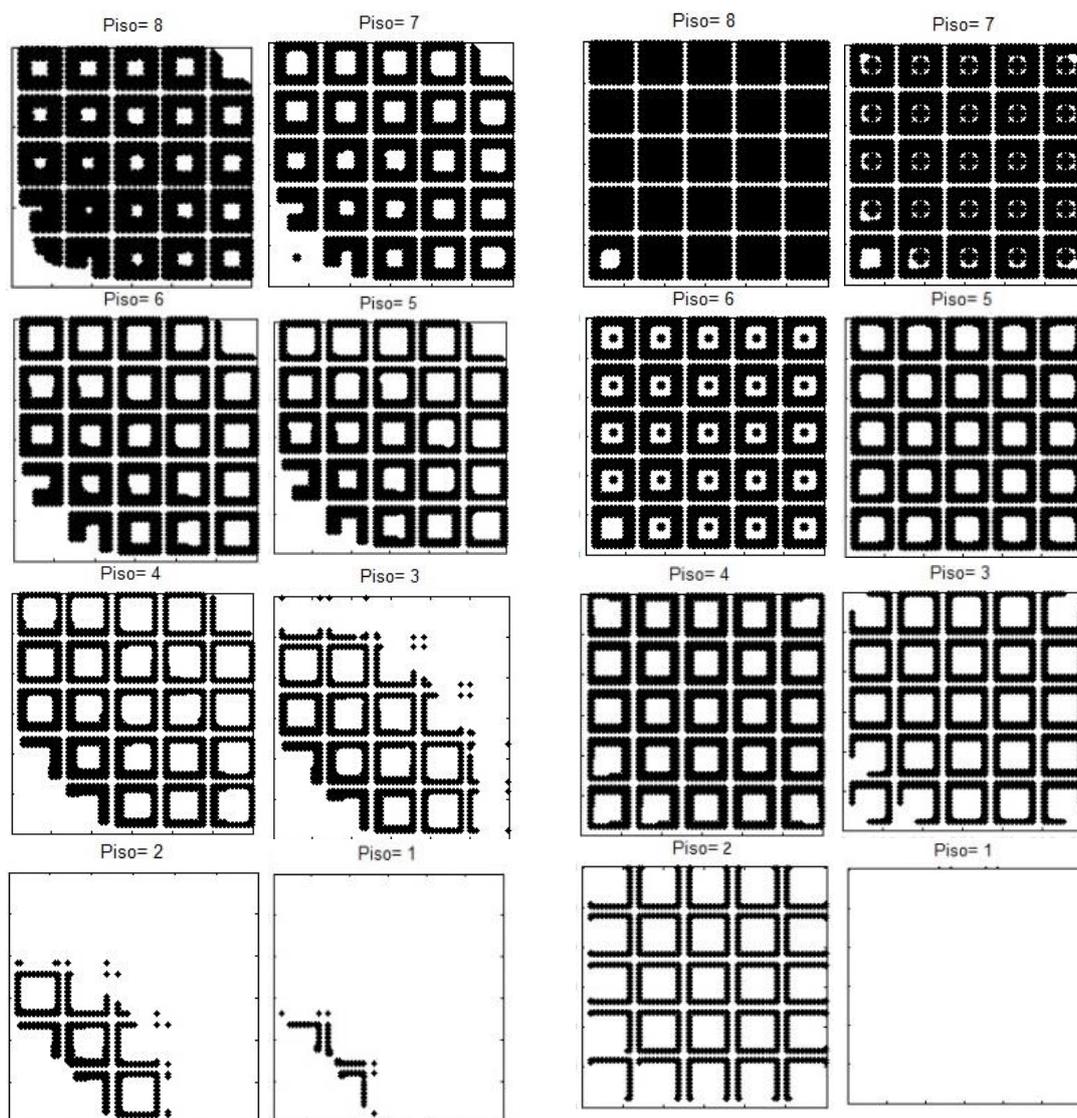
Sin embargo existe variación en la disponibilidad espacial del canal cuando cambia la altura de los edificios así por ejemplo en la Figura 4.3, muestra los habitáculos que son afectados por las condiciones de interferencia (2) y (3) de manera independiente para edificios de 8 pisos de altura, en donde el color blanco representa las zonas donde las condiciones de interferencia planteadas se cumplen, por otro lado el color negro representa el caso donde las condiciones de interferencia no se cumplen, a diferencia de un escenario con edificios de cuatro pisos existe más disponibilidad en la planta baja, vemos así que la condición de interferencia (3) se cumple en un 100% en el primer piso, es decir que ninguno de los dispositivos del SU afecta a los receptores de televisión RX_{TV} . De igual manera el porcentaje de interferencia (2) en el primer piso es bajo. En la Figura 4.4 se muestra la superposición de dichas interferencias de la cual podemos observar que la disponibilidad en el primer piso se basa en el nivel de interferencia que causa la BS a los SU ya que no existe restricción por parte de la condición C_2

La Figura 4.5 muestra las mismas condiciones de interferencia de manera independiente para un escenario con edificios de 12 pisos en la cual observamos que los pisos 1 y 2 están totalmente disponibles, esto quiere decir que la BS no interfiere a los SU ni los SU interfieren a

los RX_{TV} vemos también que la condición más restrictiva es la que causan los SU a los RX_{TV} debido a la cantidad de dispositivos desplegados. La Figura 4.6 la superposición de las condiciones de interferencia mismas que darán como resultado la disponibilidad total la cual muestra que existe 100% de disponibilidad en los pisos uno y dos además observamos que la disponibilidad del canal ha aumentado con respecto a los otros escenarios.

Finalmente se ha hecho el estudio para edificios de 16 pisos mostrado en la Figura 4.7, tomando en cuenta que el modelo de propagación Ichitsubo presenta restricciones en cuanto a la altura del transmisor – receptor como se especifica en la Tabla IV, sin embargo se ha realizado el mismo análisis de reuso del canal donde queda demostrado que la disponibilidad espacial sigue un mismo patrón con respecto a los escenarios de (4, 8 y 12) pisos respectivamente. Vemos así que la disponibilidad ha aumentado en las plantas más bajas del escenario, como consiguiente en este caso la condición de interferencia (2) no afecta a los ocho primeros pisos, en muy poca proporción al pisos nueve y al piso diez; mientras que la condición de interferencia (3) no afecta a los pisos del uno al seis, mostrando una vez más que a medida que los dispositivos del sistema primario se encuentren más alejados de los dispositivos del sistema secundario va

a existir mayor disponibilidad. Por lo tanto en la Figura 4.8 la superposición de las condiciones de interferencia (2) y (3) dando como resultado 100% de disponibilidad en los pisos del uno al seis.



a) $I_{BS \rightarrow SU}$

b) $I_{SU \rightarrow RXIV}$

Figura 4.3 Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 8 pisos

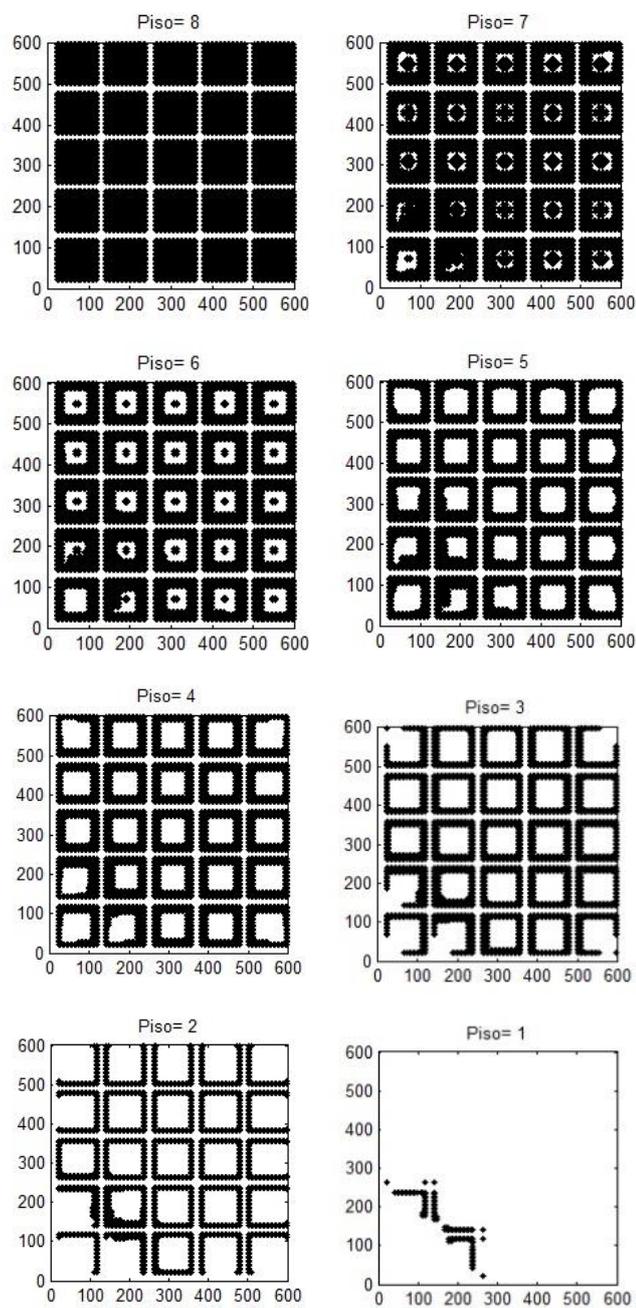
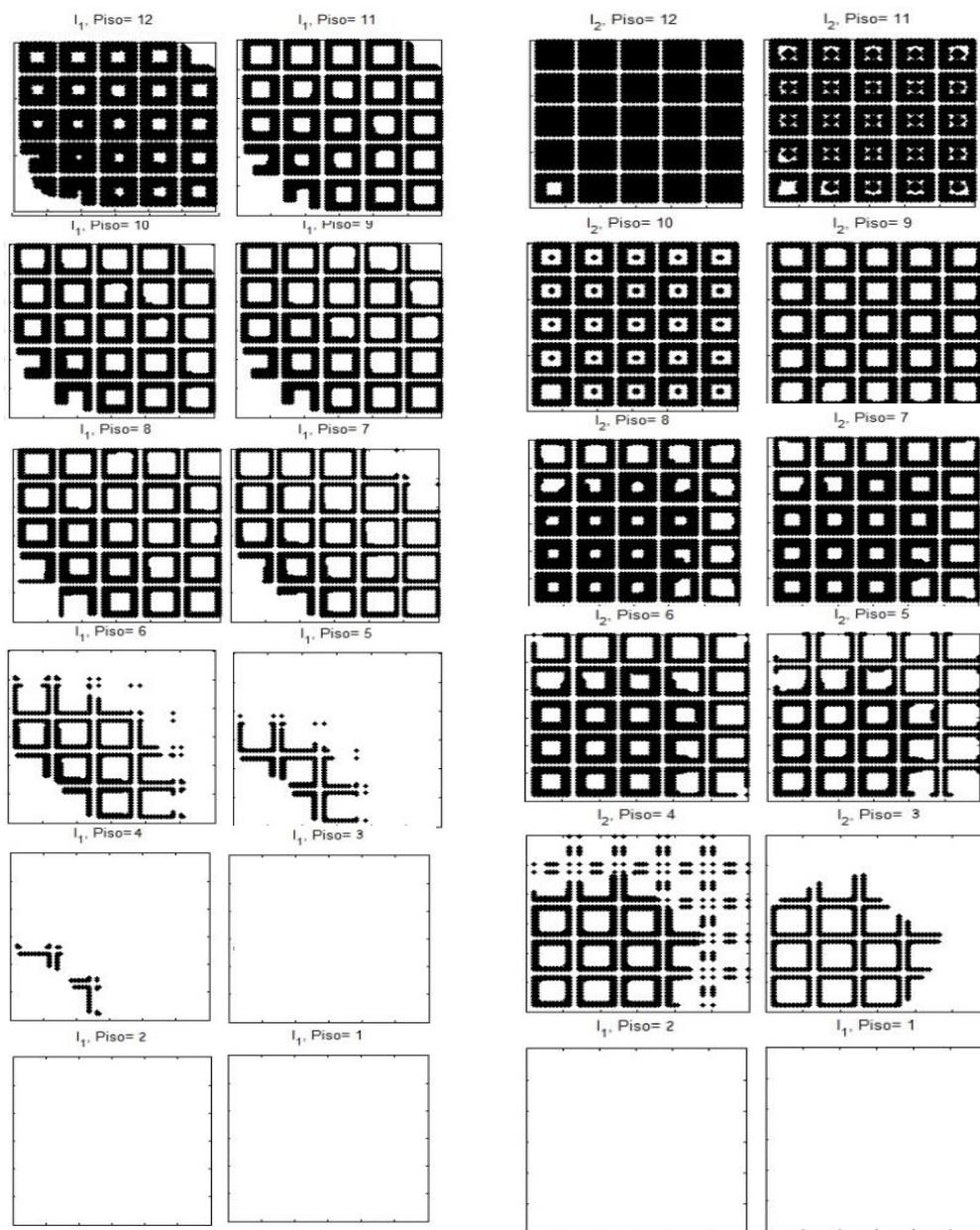


Figura 4.4 Resultado total de disponibilidad para edificios de 8 pisos



a) $I_{BS \rightarrow SU}$

b) $I_{SU \rightarrow RXiv}$

Figura 4.5 Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 12 pisos

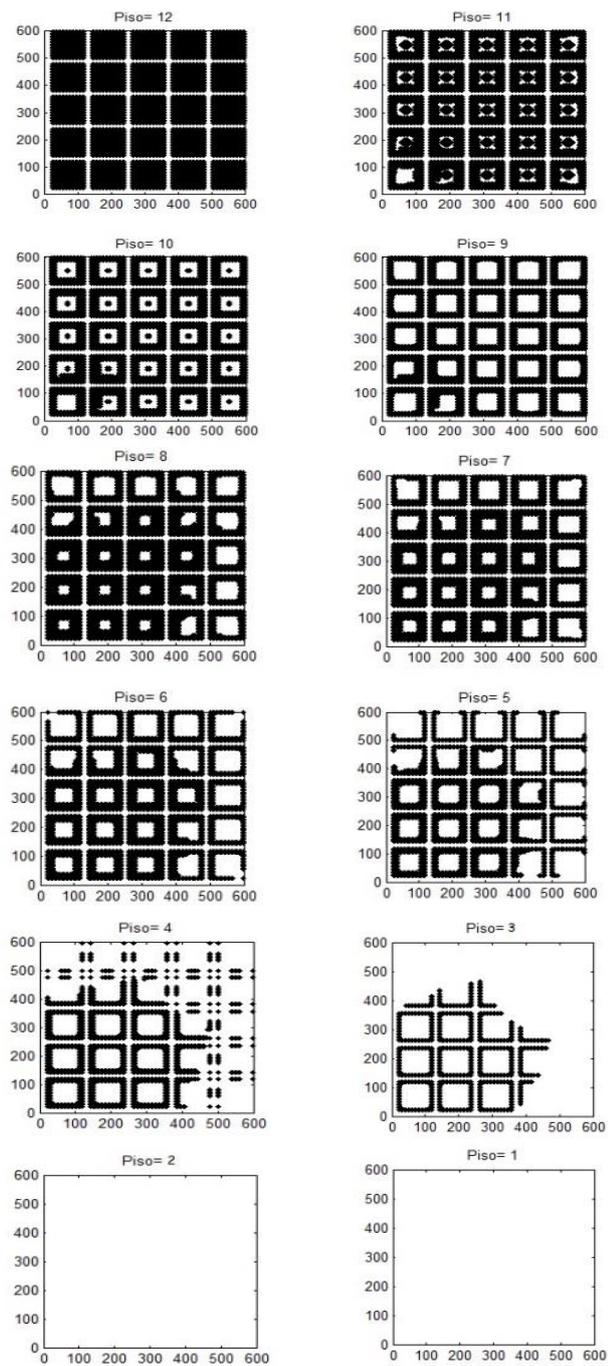


Figura 4.6 Resultado de disponibilidad total para edificios de 12 pisos

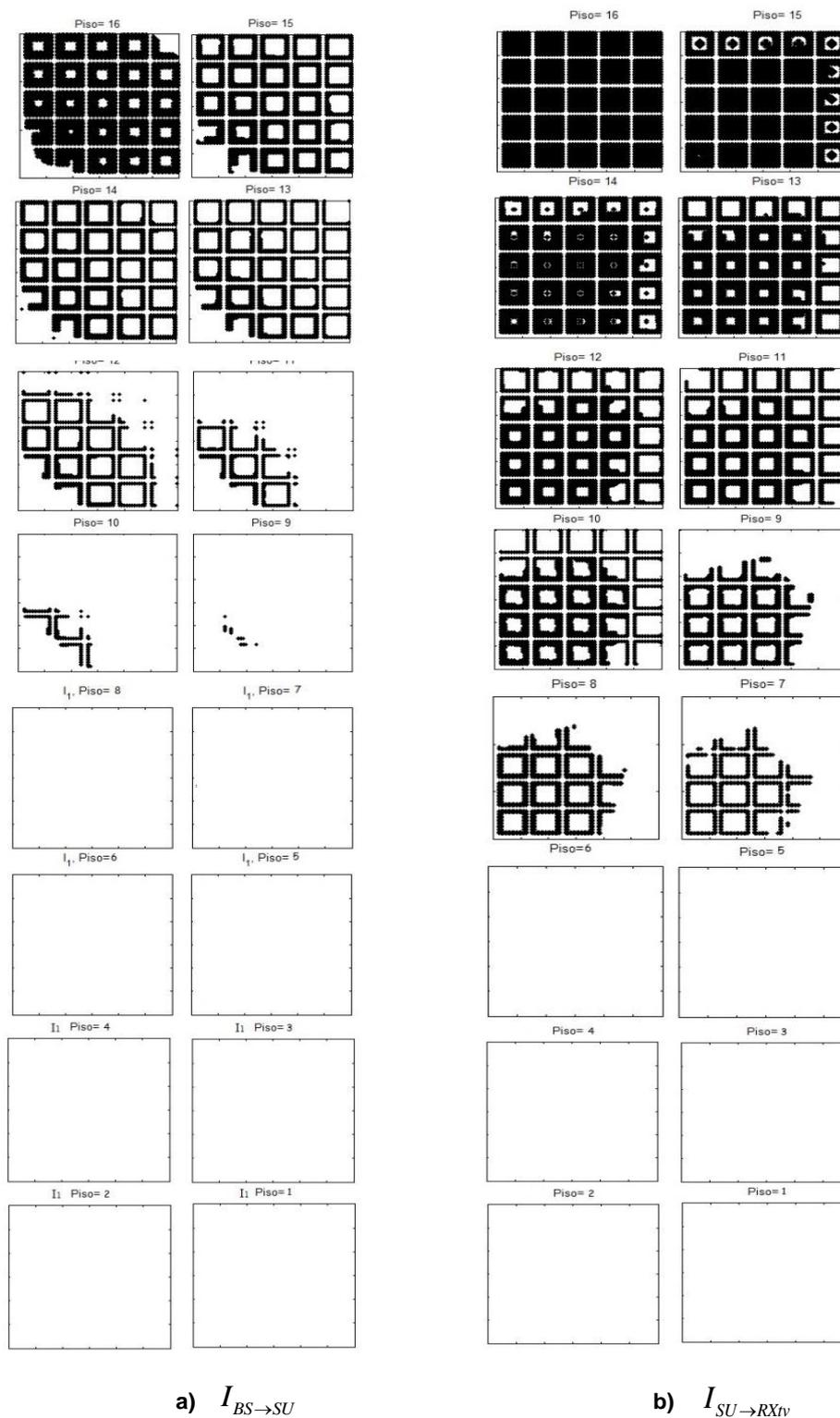


Figura 4.7 Resultado de cada condición de interferencia para edificios de 16 pisos

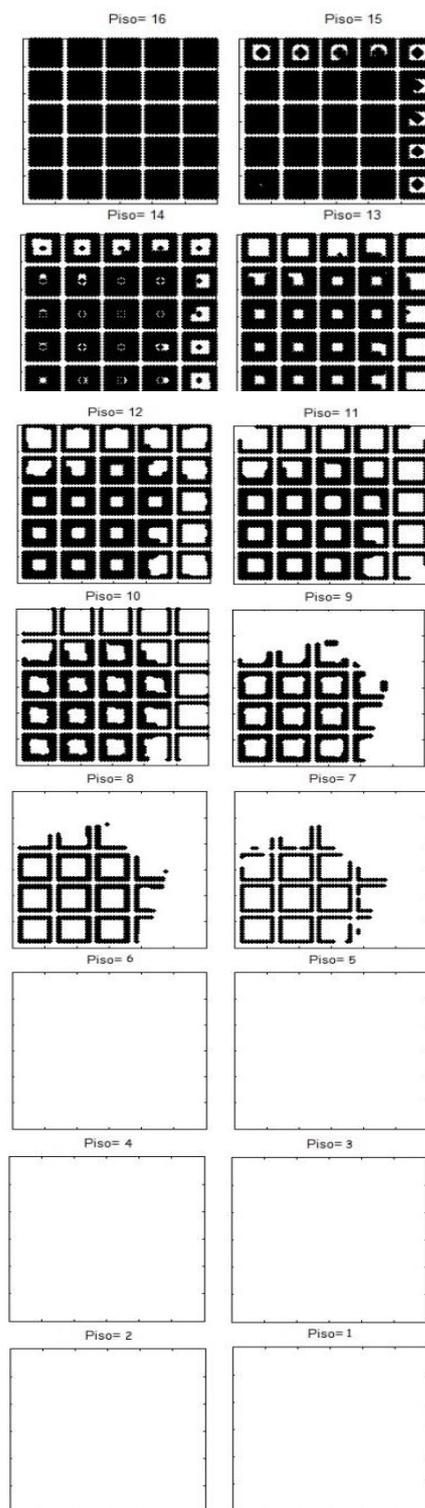


Figura 4.8 Resultado de disponibilidad total para edificios de 16 pisos

De manera general en la Figura 4.9, se muestra la disponibilidad espacial del espectro para todos los pisos de los diferentes escenarios. De la gráfica observamos que la disponibilidad en el último piso es del 0% para todos los edificios debido a la cantidad de dispositivos RX_{TV} que se encuentran en la azotea de los edificios, además podemos observar que para edificios de ocho pisos el 50% de disponibilidad se encuentra en la mitad del número pisos (i.e. 4to piso) y va aumentando a medida que van aumentando el número de pisos teniendo 7 pisos con más del 50% de disponibilidad para un escenario de 12 pisos y 11 pisos para un escenario de 16 pisos. Además podemos observar que para edificios de 12 pisos, los tres primeros pisos tienen 100% de disponibilidad y para edificios de 16 plantas los seis primeros pisos tienen de la misma manera 100% de disponibilidad

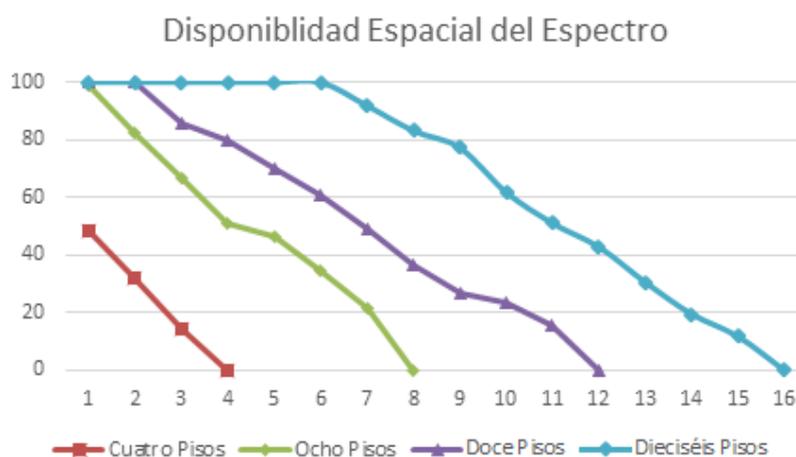


Figura 4.9 Disponibilidad Espacial del Canal para Escenarios de Varios Pisos

4.5 Análisis Caso B

En el caso B se realiza un análisis espacial y temporal de la disponibilidad de un canal de un canal de TV en la de UHF. Para el estudio espacial se ha considerado los resultados obtenidos en el caso A en el cual se obtuvo que la disponibilidad total para edificios de cuatro pisos es de 23.72% para edificios de ocho pisos 50.27% para edificios de doce pisos 55.99% y finalmente para edificios de diez y seis pisos 66.88%. Para el estudio temporal se has considerado un estudio de disponibilidad temporal en la banda UHF de Televisión realizado en la ciudad de Guayaquil - Ecuador [13], dicho estudio provee la disponibilidad temporal que puede existir de cierto canal en una zona urbana, debido principalmente a la intermitencia que presentan ciertos canales en una zona determinada. De manera que a más de la disponibilidad espacial ya encontrada en el caso A, temporalmente esta puede verse incrementada. La Figura 4.10 muestra la disponibilidad temporal de tres canales de TV, a) un canal totalmente ocupado b) un canal intermitente y c) un canal totalmente disponible, los mismos que corresponden a los canales de TV 42, 43 y 44.

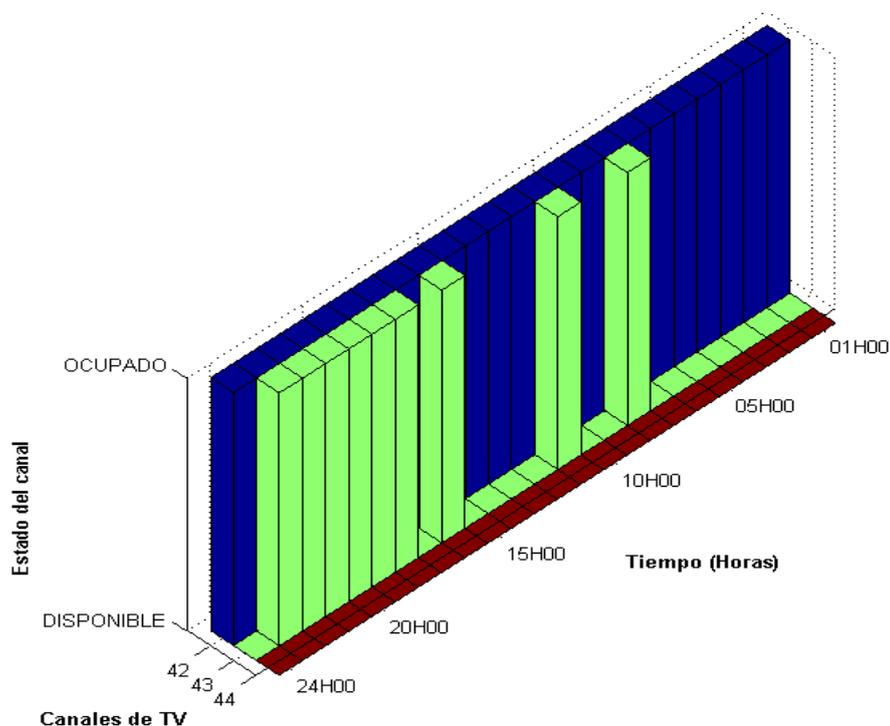


Figura 4.10 Disponibilidad temporal de tres canales de TV

Ésta disponibilidad se determinó mediante el cálculo del ciclo de trabajo (DC) [13]. De manera que, se estableció que aquellos canales que poseen un DC inferior al 50% se encuentran disponibles, caso contrario se encuentran ocupados. Por lo tanto, si un canal de TV se encuentra disponible temporalmente en la banda UHF de TV, su disponibilidad espacial será 100 % caso contrario, su disponibilidad se restringe estrictamente a las condiciones de reuso de canal mencionadas previamente. En este estudio, nos centraremos particularmente en el canal 43 ya que tiene una frecuencia de 647

MHz, frecuencia usada para el análisis espacial. Este canal presenta un comportamiento intermitente en cuanto a la transmisión de la señal de TV, la Figura 4.11 muestra el porcentaje de disponibilidad del canal en función del tiempo, vemos así que desde la 1:00 hasta las 7:00 la disponibilidad del canal ha aumentado a un 100% para todos los pisos de los diferentes edificios ya que el canal no está siendo usado, mientras que a las 8:00 la disponibilidad del canal se restringe a la disponibilidad que éste presente espacialmente.

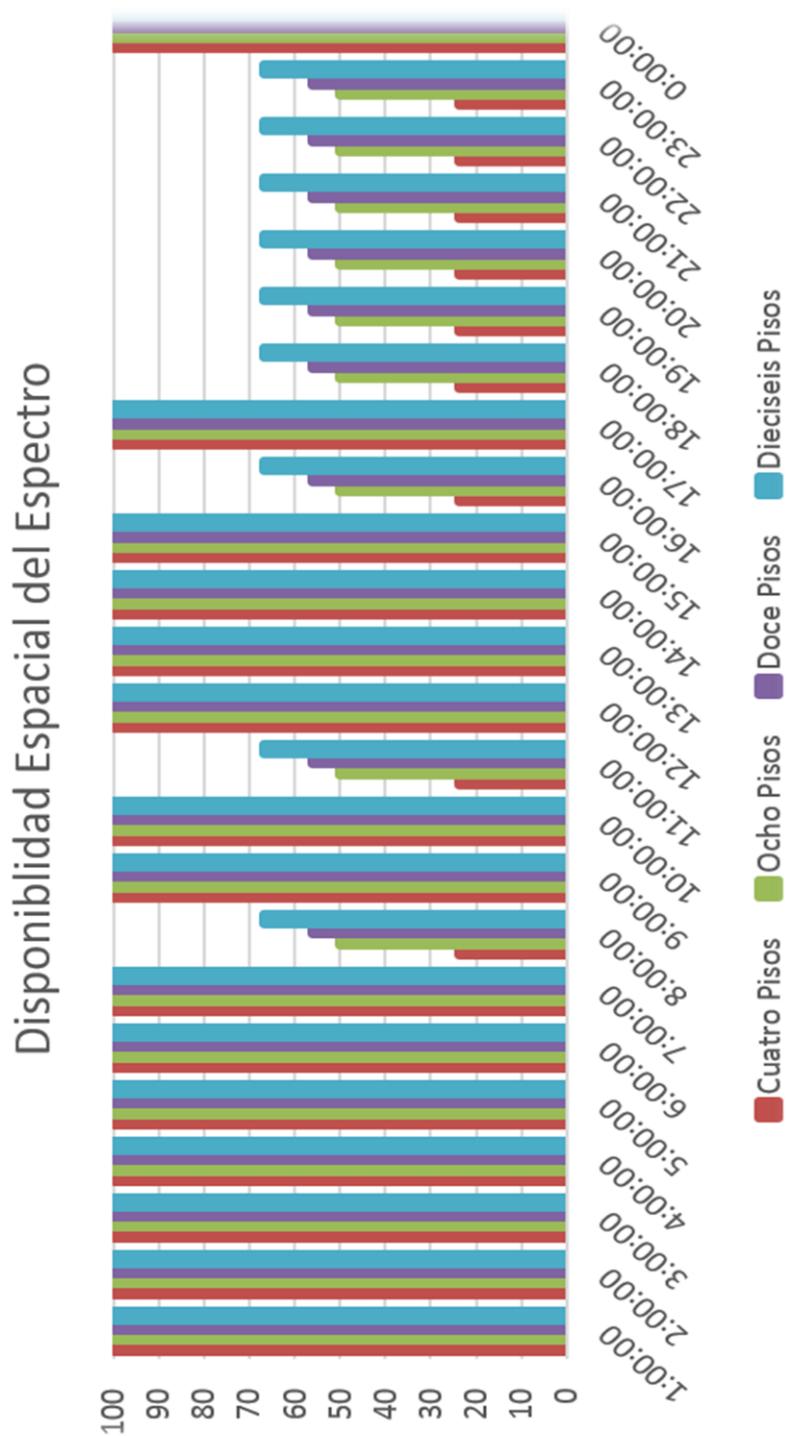


Figura 4.11 Disponibilidad espacial del canal para escenarios de varios pisos

La Figura 4.12 muestra los valores máximos y mínimos así como el promedio para todos los escenarios en estudio en un periodo de 24 horas vemos así que para 8 pisos se tiene un máximo de 100% de disponibilidad y un mínimo de 66.87% lo cual muestra que el escenario es altamente disponible para despliegue de sistemas con tecnología OSA, además vemos que para edificios de 8 y 12 pisos existe más del 50% del escenario que se encuentra disponible y finalmente para edificios de 4 pisos existe un mínimo de 23.72% y un promedio de 61.86%

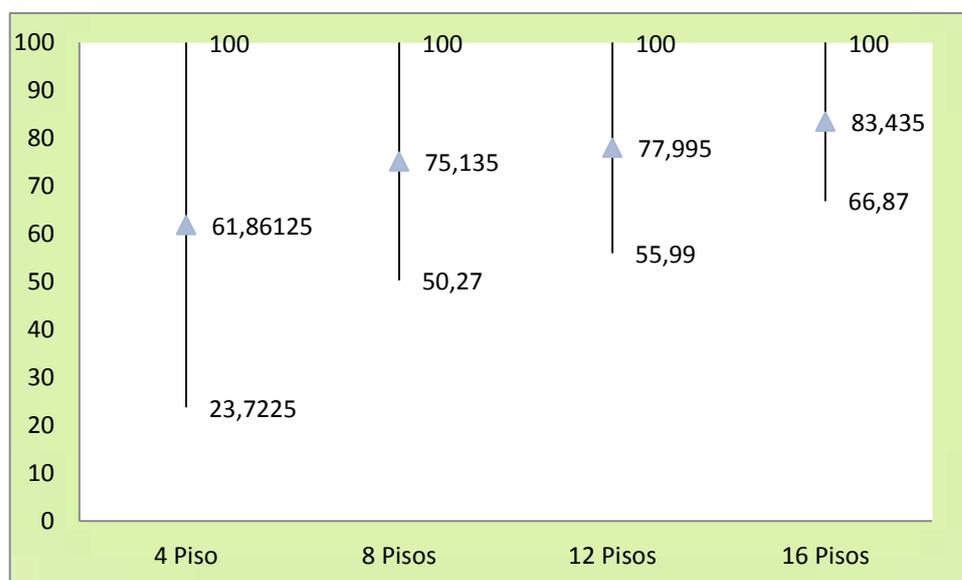


Figura 4.12 Máximos, Mínimos y Promedio de Disponibilidad Espacial del Canal para escenarios de 4, 8, 12 y 16 pisos

CONCLUSIONES

1. El estudio demostró que al menos el 66.87% del área se encuentra disponible en edificios de 16 pisos en un escenario urbano denso. Esto indica que este escenario se encuentra altamente disponible para el despliegue de tecnologías OSA.
2. Para edificios de cuatro, ocho y doce, la disponibilidad espacial dentro del escenario de estudio corresponde a 23.72%, 50.27% y 55.99% respectivamente. Lo cual indica que a medida que aumenta el número de pisos, la disponibilidad espacial se incrementa. Esto se debe a que los niveles de interferencia se reducen conforme aumenta la altura de los edificios en el escenario descrito en esta tesina.
3. El análisis previo demostró que para un escenario urbano con edificios de dieciséis pisos, existe una disponibilidad espacial del 100% en los cuatro primeros pisos de cada edificio. Esto indica que en un futuro dichas zonas

serían ideales para el despliegue de tecnologías de radio cognitiva y de esta manera solucionar el problema de escasez espectral en las redes WLAN.

4. Para un escenario con edificios de ocho pisos, se determinó que al menos los cuatro primeros pisos cuentan con una disponibilidad espacial superior al 50%, mientras que para edificios de doce pisos al menos al menos 6 pisos van a tener más del 50% de disponibilidad espacial. Para el caso de edificios con dieciséis pisos, existen 11 pisos con más del 50% de disponibilidad. Como podemos observar, estos escenarios muestran una alta disponibilidad espacial donde en un futuro podrían desplegarse sistemas con tecnologías OSA.
5. Si un canal de TV está disponible temporalmente, es decir que no se encuentra emitiendo señal alguna, su disponibilidad espacial se va a ver incrementada en un 100%. Esto es debido a que a pesar de que no exista disponibilidad espacial, el canal no está haciendo uso de su frecuencia asignada lo cual permite reusar dicha frecuencia en su totalidad.
6. En este estudio se determinó que en 24 horas la disponibilidad promedio del canal de TV para edificios de cuatro, ocho, doce y dieciséis pisos es 61.86%, 75.14%, 78% y 83.44% respectivamente, lo cual muestra que la disponibilidad del canal aumenta si se considera tanto la disponibilidad espacial como la temporal.

7. En un futuro, este estudio puede extenderse a zonas urbanas más extensas y en un escenario con edificios no homogéneos.

RECOMENDACIONES

1. Analizar y comparar los resultados obtenidos con mediciones de campo, ya que los valores pueden cambiar dependiendo de factores tales como el medio ambiente, reflexión de ondas y demás interferencias que no han sido consideradas en este estudio.
2. Variar el escenario de estudio con edificios no homogéneos, lo cual crearía un escenario más realista y extremo a la vez con nuevos parámetros a considerar.
3. Realizar variaciones en la posición de los dispositivos tanto del Sistema Primario como del sistema secundario lo cual proporcionaría nuevos valores de disponibilidad espacial.
4. Considerar que una altura mayor a 30 metros los valores de disponibilidad pueden variar debido a que el modelo de propagación para exteriores

presenta restricción en cuanto a la altura de los dispositivos como se muestra en la Tabla IV.

5. Analizar el estudio con un sistema multicanal, es decir con varias frecuencias como sistema primario, lo cual podría aumentar la posibilidad de reuso del espectro.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Cruz, A.; Melo, V.; Rodriguez, J "Ampliación de red inalámbrica de la universidad de Lucerna".

[2] Ospona, D.; Ocampo, F.; Hincapié R "Aplicación de Esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en Ambientes Inalámbricos Heterogéneos".

[3] Wifisafe, "Factores que afectan al funcionamiento de las redes wireless," <http://www.wifisafe.com/blog/factores-afectan-al-funcionamiento-de-las-redes-wireless/> fecha de publicacion noviembre del 2013.

[4] Unawong, S.; Miyamoto, S.; Morinaga, N., "Techniques to improve the performance of wireless LAN under ISM interference environments," Communications, pp.802, 805 vol.1.; 18-22 Oct. 1999.

[5] J. Galán-Jimenez.; J. L. González-Sánchez.; "Estudio analítico y evaluación de los efectos entre tecnologías de comunicaciones inalámbricas, 2007.

[6] Yue Ling Che; Rui Zhang; Yi Gong, "Opportunistic spectrum access for cognitive radio in the presence of reactive primary users," Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference, vol., pp.1,5, 5-9 Junio 2011.

[7] Rashid A. Saeedm,; Rania A. Mokhtar,; Technologies of information and telecommunications (SETIT), 6th International Conference on Sciences of Electronics, 2012.

[8] Miguel Lopez-Benitez and Fernando Casadevall "A Radio Spectrum Measurement Platform for Spectrum Surveying in Cognitive Radio"

[9] Dezhang Chen; Jingjing Yang; Jida Wu; Hao Tang; Ming Huang, "Spectrum occupancy analysis based on radio monitoring network," Comunicaciones en China (ICCC), 2012 Primera Conferencia Internacional IEEE, vol., pp.739,744, 15-17 Agosto 2012.

[10] Novillo, F.; Galeana, H.; Ferrus, R.; Agusti, R., "Spectrum availability in indoor locations for opportunistic spectrum access in dense urban scenarios," Conferencia de tecnología vehicular VTC, IEEE 69th , vol., pp.1,5, 26-29, Abril 2009.

[11] K. Nishimori.; H. Yomo.; “Cognitive radio operation under directional primary interference and practical path loss models,” IEICE Trans. Comu., Vol.E94-B, No.5 Mayo 2011.

[12] COST (European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research), COST 231 Book, Final Report. Chapter 4, Propagation Prediction Models.

[13] M. Coronel.; L. Artieda.; “Análisis espectral para la implementación del estándar IEEE 802.22 en el Ecuador”, publicado en 2014.

[14] SENATEL, Espectro Radioeléctrico en el Ecuador
<http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>

[15] CONATEL - SENATEL, Plan Nacional de Frecuencias,
http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf, Julio 2012

[16] T. X. Brown.; “An Analysis of Unlicensed Device Operation in Licencensed Broadcast Service Bands”, Interdisciplinary Telecommunication Program, Mayo 2004.

[17] D. Prendergast.; Y. Wu.; G. Gagnon.; “The effect of Unlicensed Cognitive Device Operation on Digitsl Television Performance in the VHF/UHF Band”, Communication Research Center (CRC), IEEE, 2008.

[18] M.Smolnikar.; M. Mihelin.; G. Berke.; G. Kandus.; M. Mohorcic.; “ISM Band Spectrum Sensing based on Versatile Sensor Nole Platform” Department of Communication System, IEEE 2010.

[19] D. Gasto.; “Overcoming Interference in the Spread Spectrum ISM Bands”, ISBN# 0-7803-2636-9.

[20] J. Gledhill.; “The Transmission of Digital Television in the UHF Band using Orthogonal Frequency Division Multiplexing”, NTL under contract to the ITC, 1992.

[21] F. Jaramillo.; C. Rosas.; O. Ramón.; L. Holguín.; E. Andrade.; P. Jarrín.; “Operación de las Estaciones de Televisión Abierta Analógica en Canales Adyacentes de la Banda III VHF”, SUPERTEL 2013.

- [22] V. Kone.; L.; Yang.; X. Yang.; B. Y. Ahao, H. Zheng.; “The Effectiveness of Opportunistic Spectrum Access: A Measurement Study”, *IEEE/ACM Transaction on Networking*, VOL. 20, NO. 6, Diciembre 2012.
- [23] H.-S. T. Le.; H. D. Ly.; “Opportunistic Spectrum Access Using Fuzzy Logic for Cognitive Radio Networks”, Department of Electrical Engineering, IEEE 2008.
- [24] T. W. C. Brown.; A. C. H. Tay.; “On the Benefits of Polarization for Fixed Area Television White Space Devices”, *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, VOL. 62, NO. 3, Marzo 2014.
- [25] S. Nagaraj.; F. Rassa.; “Cognitive Radio in TV White Space”, Department of Electrical and Computer Engineering, IEEE, 2014.
- [26] C. Wijenayake.; A. Madanayake.; J. Kota.; L. Bruton.; “Space-Time Spectral White Spaces in Cognitive Radio: Theory, Algorithms, and Circuits”, *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, VOL. 3, NO. 4, Diciembre 2013.
- [27] M. A. Yousuf.; Ch. Roblin.; “Tri-Band Antenna for WLAN IEEE-802.11 a/n, b/g/n and y”, A Generic Planar Antenna Design approach, Proceedings of the 5th European Conference on Antenna and Propagation (EUCAP).
- [28] M. Molina-García.; J. I. Alonso.; “Evolution of Mean Opinion Score due to Handover Events in IEEE 802.11 WLAN Networks”, E.T.S.I. Telecomunicación, TU1B-3, IEEE, 2009.
- [29] G. Dong.; H. Chen.; M. Yang.; J. Dai.; “Dynamic Frequency Selection (DFS) in IEEE 802.16.e OFDM System Working at Unlicensed Bands”, School of Electronic Information Engineering, Febrero 2007.
- [30] S. Bilging.; G. Bilgin.; Ö. H. Çolak.; E. Köklükaya.; “Detection of Frequency Sub-Bands on Heart Rate Variability in Supra-Ventricular Tachyarrhythmia Patients Using Artificial Neural Networks”, IEEE, 2009.
- [31] J. Walfisch.; H. L. Bertoni.; “A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments”, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* VOL. 36, Diciembre 1988.
- [32] N. Perez.; J. Herrera.; J. Uzcátegui.; J. Bernardo Peña.; “Modelo de Propagación en las Ciudades de Mérida (Venezuela) y Cúcuta (Colombia) para redes WLAN, Operando en 2.4GHz, en Ambientes Exteriores”, Grupo de Investigación, UCT VOL. 16, NO. 62, pp. 54-64. ISSN 1316-4821, Marzo 2012.

- [33] A. Altmtat, S. Topcu, A. Koymen, G. Moral, O. Yxlmaz.; “Outdoor Propagation Models: Applications and Considerations for Real Life Problems”, Communications and Spectrum Management Research Center (ISYAM), IEEE, 2013.
- [34] Guillaume de la Roche.; P. Flipo.; ZH. Lai.; G. Villemaud.; J. Zhang.; J.-M. Gorce.; “Combination of Geometric and Finite Difference Models for Radio Wave Propagation in Outdoor to Indoor Scenarios”, European FP7 funded research projects: the project “CWNETPLAN” on Combined Indoor and Outdoor radio propagation, and the project “IPLAN” on indoor wireless network planning, IEEE.
- [35] S. Ichitsubo, et al., “2GHz-Band Propagation Loss Prediction in Urban areas; antenna heights ranging from ground to building roof,” IEICE Technical Report, A-P 96-15, May, 1996.
- [36] K.-H Li.; M. A. Ingram.; A. V. Nguyen.; „Impact of Clustering in Statistical Indoor Propagation Models on Link Capacity”, IEEE Transaction on Communication, VOL. 50, NO. 4, Abril 2002.
- [37] M. Kochláň.; J. Miček.; “Indoor Propagation of 2.4GHz Radio Signal”, Propagation Models and Experimental Results, IEEE, 2014.
- [38] L. C. de Jong.; M. H. J. L. Koelen.; M. H. A. J. Herben.; “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells”, IEEE Transaction on Vehicular Technology VOL. 53, NO. 2, Marzo 2004.
- [39] Th. Schwengler.; M. Gilbert.; “Propagation Models at 5.8 GHz-Path Loss & Building Penetration”, U S WEST Advanced Technologies, IEEE, 2000.
- [40] G. Tejera.; C. Martinez.; Introducción al Infrarrojo / Radio Frecuencia, Emisor / Receptor Infrarrojo, Emisor / Receptor rf, Redes inalámbricas, 802. 11 y 802. 11b
<http://lib.convdocs.org/docs/index-6924.html>