



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“MEDICIÓN ESPECTRAL PARA EL ANÁLISIS DE LA  
DISPONIBILIDAD DE CANALES EN LA BANDA ISM DE WI-FI  
(2400 – 2484 MHz) PARA MODELAR EL USO POTENCIAL DE  
DISPOSITIVOS CON ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO  
AL NORTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL EN LA TORRE A  
DEL WORLD TRADE CENTER”

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

GARCÍA ZAMBRANO JOSÉ GABRIEL  
GONZÁLEZ ESPINOZA GERSON WLADIMIR

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por la vida y permitirme lograr esta meta, a mis padres quienes me guiaron con la educación y sus consejos para ser un profesional, a mis tíos quienes me apoyaron durante toda mi carrera, a mis amigos y las personas que me han ayudado en mi etapa laboral, en especial al Ing. Washington Medina quien me guio en la realización del proyecto integrador y a todos mis profesores quienes durante toda la carrera me han brindado sus conocimientos y consejos.

A mi novia Andrea Pino quien durante estos años con sus consejos y apoyo he podido ser una mejor persona y culminar mi carrera para ser un profesional.

**José Gabriel García Zambrano**

Agradezco a Dios y a todas personas que durante el periodo de estudio me acompañaron dándome ánimos para que no desmayara y luche día a día para llegar a alcanzar la meta final. Un agradecimiento especial a todos los profesores que con sus enseñanzas y consejos pude superar cada materia tomada para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

**Gerson Wladimir González Espinoza**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a Dios, a mis padres, mis tíos, a toda mi familia por el apoyo brindado durante todo este tiempo, han sido un pilar fundamental para la realización de este logro, objetivo, meta propuesta al ingresar a la universidad y lo cual fue un éxito. Gracias a todos

A Andrea Pino quien durante mi carrera me ha apoyado siempre, me ha dado consejos para mejorar cada día y culminar esta etapa.

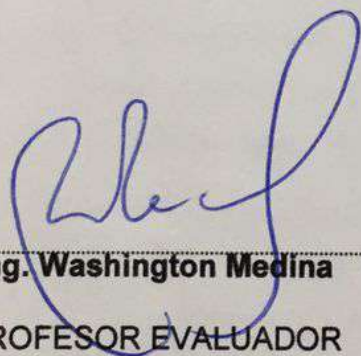
**José Gabriel García Zambrano**

El presente proyecto lo dedico a mis padres y hermana por todo el apoyo, comprensión y tiempo brindado para que pueda llegar a mi meta con éxito. Siempre estaré agradecido a mi madre por el apoyo desde mucho antes de tomar la decisión de que carrera estudiar y siempre brindarme apoyo a pesar de varios intentos fallidos y tiempo desperdiciado en varias cosas.

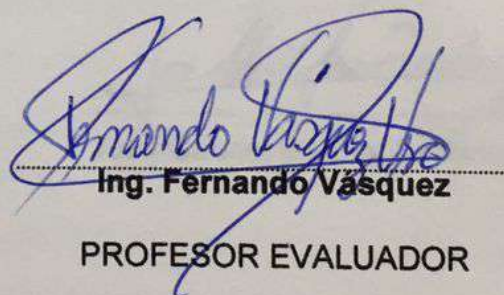
**Gerson Wladimir González Espinoza**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

El presente Tribunal de Evaluación de este Trabajo de Titulación, con el propósito de evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos establecidos en el Reglamento de la Ley de la Universidad, se conforma de la siguiente manera:




-----  
**Ing. Washington Medina**  
PROFESOR EVALUADOR

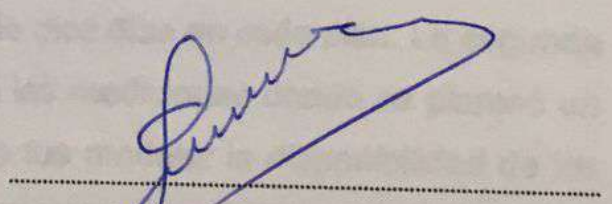


-----  
**Ing. Fernando Vásquez**  
PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

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

  
.....  
José Gabriel García Zambrano

  
.....  
Gerson Wladimir González Espinoza

## RESUMEN

Debido al incremento de usuarios con dispositivos inalámbricos en los últimos años, que ocupan más espectro radioeléctrico por lo cual existe una saturación del mismo, en las distintas bandas de frecuencias, dicha saturación crea problemas a los usuarios principalmente de bandas licenciadas como celulares y en bandas no licenciadas como WI-FI, que hace que la calidad del servicio disminuya y que los niveles de interferencia sean mayores.

Por la escasez del espectro debido a la demanda de los usuarios se han hecho estudios sobre la implementación de nuevas tecnologías que resuelvan el problema, una de esas tecnologías es el acceso oportunista al espectro (OSA), la cual es una buena alternativa para disminuir la saturación y hacer más eficiente el uso del mismo. OSA verifica el espectro libre que no está siendo utilizado para que sea usado por los usuarios de bandas licenciadas y no licenciadas, sin causar interferencia en los usuarios principales a los cuales les pertenece esa banda.

Para la realización del estudio propuesto, que verifica la disponibilidad de canales en la Banda ISM de WI-FI debemos hacer mediciones, análisis y modelamiento del espectro, por lo que se hizo en varias etapas, donde la primera fue la medición del espectro en la banda asignada al estudio, dichas mediciones fueron hechas en una zona con gran cantidad de edificios, escogiendo tres pisos: un piso en la parte baja, un piso intermedio y un piso en la parte más alta.

Las mediciones fueron hechas por un periodo de diez días en cada piso. La segunda etapa fue el análisis de los datos obtenidos en las mediciones donde se planteó un modelo estadístico predictivo y la tercera etapa fue modelar la disponibilidad de los canales asignados a la Banda ISM y hacer la comparación del modelo de los datos obtenidos, con el modelo propuesto.

La conclusión del estudio determina que en la Banda ISM de WI-FI (2400-2484 MHz) hay una disponibilidad promedio de 10 canales que equivale a 66 MHz, otro resultado importante es que existe un 87% de probabilidad de ocurrencia con un ancho de banda disponible entre 55 y 77 MHz

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
CAPÍTULO 1.....	1
1. GENERALIDADES .....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación .....	3
1.3 Antecedentes.....	4
1.4 Objetivos de la Investigación .....	6
1.4.1 Objetivo General .....	6
1.4.2 Objetivos Específicos .....	6
1.5 Metodología .....	6
1.6 Alcance .....	7
CAPÍTULO 2.....	9
2. ESTADO DEL ARTE .....	9
2.1 Estándares de las WLAN .....	9
2.1.1 IEEE 802.11a .....	12
2.1.2 IEEE 802.11b .....	12
2.1.3 IEEE 802.11c .....	12
2.1.4 IEEE 802.11g .....	12
2.1.5 IEEE 802.11n .....	13
2.1.6 IEEE 802.11ac .....	13
2.2 Esquemas de asignación de canal.....	13
2.2 Interferencia de las WLAN .....	15
2.2.1 Efectos causados por las interferencias .....	16

2.2.2	Fuentes de interferencias .....	17
2.2.3	Entorno doméstico y laboral .....	17
2.2.4	Factores que afectan la transmisión de datos .....	18
CAPÍTULO 3.....		21
3.	DESCRIPCION DEL ENTORNO DE ESTUDIO .....	21
3.1	Descripción donde se desarrolla el estudio .....	21
3.2	Interferencia en redes .....	23
3.3	Localización del entorno de las mediciones .....	24
3.4	Procedimiento de Medición .....	24
3.4.1	Etapa de Captación de Espectro .....	26
3.4.2	Etapa de Captura de Datos .....	26
3.4.3	Etapa de Comprobación.....	27
3.5	Modelamiento estadístico .....	31
CAPÍTULO 4.....		37
4.	EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS .....	37
4.1	Parámetros de configuración .....	37
4.2	Análisis previo de los datos .....	38
4.3	Modelamiento estocástico de los datos .....	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		56
BIBLIOGRAFÍA.....		57
ANEXOS .....		63



## CAPÍTULO 1

### 1. GENERALIDADES

En la actualidad una de las plataformas fundamentales para el proceso de la globalización son las telecomunicaciones, donde los cambios tecnológicos que crecen vertiginosamente cada día hacen de ellas una parte importante en cada país. La interdependencia económica y social de los países a nivel global se ha basado en un sistema estratégico de las telecomunicaciones para el crecimiento que ha sido impulsado a lo largo del tiempo por el cambio tecnológico [1].

El desarrollo de nuevas tecnologías y dispositivos inalámbricos en los últimos años ha saturado el espectro por la utilización de los distintos usuarios de diferentes tecnologías. La liberación y privatización de los servicios gracias a los convenios alcanzados ha generado en la cultura del consumo en América Latina un reflejo de su incremento al uso de la telefonía móvil y de internet antes que la telefonía fija y servicios audiovisuales.

Ecuador no es ajeno a estas aseveraciones donde los operadores con intereses de liberar el mercado han reducido sus costos fijos para alcanzar una mayor participación impulsando el interés de seguir endeudándose y promoviendo altos niveles de saturación en los canales [2].

La creciente madurez de los requerimientos en los consumidores beneficia enormemente al sector de las telecomunicaciones pues impulsa a la innovación y competencia en las operadoras, no obstante la presencia de fallos de las redes y la escasa cobertura en las zonas rurales o no rentables, nos permite plantear un estudio y análisis sobre la saturación [3], [4], [5].

Mundialmente hay 3.200 millones de personas que tienen acceso a la banda ancha según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [1]. A medida que aumenta la cantidad de personas que demandan este servicio, también se requiere mayor velocidad para en los servicios por parte de las empresas, en [6] se observa la cantidad de personas de los distintos países que tienen acceso a la banda ancha.

Para que el espectro sea mejor aprovechado se están desarrollando nuevas tecnologías de asignación de espectro dinámicamente, en [7] se desarrollan 3 modelos y determina que el DSA significa lo mismo que CR que indica que es un radio inteligente que se reconfigura a medida que verifica el espectro. Los dispositivos (OSA) Acceso Oportunista al Espectro se presentan como una solución al problema de escasez al espectro por el funcionamiento donde verifican el espectro que no está siendo utilizado por los usuarios de bandas licenciadas y accedan al espectro de forma oportunista los usuarios que lo necesiten sin interferir en los usuarios principales de la banda [8], [9], [10].

### **1.1 Planteamiento del Problema**

El interés por el estudio que permita reconocer y simular las condiciones de los diversos sistemas de comunicaciones inalámbricas han tomado gran auge los últimos tiempos, por su parte, los servicios que operan en la banda no licenciadas de 2400 MHz, han tenido un importante crecimiento debido a la demanda en redes locales inalámbricas (WLAN); lo que hace necesario que el análisis de su funcionamiento, siendo motivo de estudios.

El uso del espectro está regulado por diferentes organismos para que no exista interferencia entre los diferentes servicios, organismos como la FCC para USA, la ETSI para Europa y ARCOTEL [2] para citar a Ecuador son los que dan las licencias a las diferentes empresas mediante concesiones. Debido a la gran cantidad de usuarios con tecnologías inalámbricas que demandan el uso del espectro, existe una saturación en las bandas de operación, lo que hace la disminución de la calidad de servicio.

Otro problema es que parte del espectro disponible no está siendo utilizado por lo cual se han hecho muchos estudios como [11], [12], en [13] destacan a los WS en televisión como una de las mejores opciones para el desarrollo nuevos dispositivos que reúsen el espectro no utilizado, el acceso oportunista al espectro es una opción para mitigar los problemas de eficiencia y hacer un buen uso del espectro.

## 1.2 Justificación

La creciente demanda de servicios inalámbricos de telecomunicaciones ha generado la creación de nuevas estructuras y nuevas reformas en el sector, esto ha creado nuevas oportunidades de estudio a nivel nacional como internacional, el avance de nuevas tecnologías que exploten el espectro radioeléctrico al máximo son de gran importancia hoy en día donde el acceso oportunista al espectro (OSA) es una solución para futuras implementaciones de redes [14], donde se debe eliminar la interferencia entre las distintas tecnologías para su implementación.

El desarrollo de dispositivos que asignen dinámicamente el espectro dependiendo de los parámetros solicitados son necesarios para el futuro de las redes inalámbricas y mejorar el servicio a los usuarios. Una solución para la saturación y escasez del espectro son los dispositivos con acceso oportunista al espectro (OSA) que verifican el espectro que no está siendo utilizado por usuarios de bandas licenciadas para que los usuarios de bandas sin licencia accedan al espectro libre sin interferir a los usuarios principales de las bandas[7].

Los estudios de [15] y [16] determinan los conceptos más importantes del acceso oportunista al espectro (OSA), en [17] se analiza las Radios Cognitivas (CR) donde usuarios de bandas no licenciadas accedan a bandas que no están siendo usadas por los usuarios de bandas licenciadas sin causar interferencia en los usuarios principales . Y en [18] se verifica la disponibilidad del espectro radioeléctrico en la ciudad de Bogotá donde realizan mediciones por 10 meses de las bandas VHF hasta SHF y determinan que hay mucho espectro que no está siendo usado.

El desarrollo del estudio propuesto es muy importante ya que verifica la disponibilidad de canales en el espectro, en una zona con gran cantidad de edificios y en especial la banda ISM, donde los efectos de las interferencias son mayores debido a las ventanas, puertas, equipos de oficina, dispositivos eléctricos que poseen los edificios que las interferencias que tiene una zona rural. La determinación de espacios en blanco (WS) es importante para nuestro estudio

por lo cual la determinación de modelos estadísticos son necesarios son necesarios para verificar la disponibilidad del espectro en nuestro entorno.

En [19] se desarrolló un estudio del funcionamiento de WI-FI en espacios en blanco (WS) de TV, para compararlo con el trabajo de WI-FI en su tradicional banda de funcionamiento ISM, y se determinó que los espacios en blanco de TV se pueden usar configurando los parámetros de transmisión dependiendo del entorno.

Para el estudio a desarrollar es importante medir el espectro de la Banda ISM en el escenario propuesto para verificar el espectro libre y la disponibilidad de canales en nuestro entorno de estudio el cual es una zona con gran cantidad de edificios en el sector norte de Guayaquil, para compararlo con modelos estadísticos y determinar cual sigue el modelo propuesto, lo cual servirá para el desarrollo de dispositivos con acceso oportunista (OSA) en la región, debido a que en otras partes del mundo ya se están estudiando y desarrollando.

### **1.3 Antecedentes**

Debido al avance de la tecnología de dispositivos inalámbricos y la creciente demanda del espectro por parte de los usuarios, que producen interferencias entre las distintas redes, y la saturación del espectro donde antes no se tenía tanta demanda del mismo porque no se desarrollaban a un ritmo acelerado como hoy en día, donde el espectro no era totalmente explotado, se han desarrollado estudios para el mejor uso del espectro.

El desarrollo de las redes inalámbricas que tienen mejor rendimiento y se adaptan al entorno, y cumplen con la satisfacción de los usuarios. La conexión de dispositivos mediante ondas electromagnéticas se desarrollado enormemente, lo cual facilita la movilidad.

Según [20], que establece la distribución del espectro en Ecuador y la forma de integrar tecnologías actuales y el cambio de las mismas, garantiza el acceso al espectro para los distintos servicios de telecomunicaciones que lo requieran. La UIT [21] que es la encargada de los lineamientos de la gestión del espectro en sus distintas bandas, también ha hecho estudios

Los problemas que tiene el uso del espectro tanto la escasez como la saturación de las distintas bandas por la gran cantidad de dispositivos y el aumento de usuarios convergen en la baja calidad del servicio por problemas de interferencia y conexión. Por lo que se requiere explotar el espectro al máximo para que los servicios no tengan problemas para su operatividad, por lo cual el desarrollo de nuevas tecnologías está en marcha.

Los cambios tecnológicos durante los últimos años son muy grandes, existen muchos usuarios con la necesidad de servicios de telecomunicaciones en la actualidad, donde las empresas no explotaban los distintos servicios por su acceso. Hoy en día existen muchas empresas y alta competitividad entre ellas que ofrecen servicios de telecomunicaciones donde las comunicaciones inalámbricas tanto en el pasado como ahora son destacadas por la facilidad de trasladarse de un lugar a otro sin perder la comunicación.

Según [22], hubo un desarrollo de espectro sin ningún orden con respecto a las frecuencias en USA y en otros países, en 1920 no estaba licenciada ninguna banda por lo que hubo saturación e interferencia a gran escala y en 1930 se determinó el uso de licencias para el espectro radioeléctrico. La Banda ISM se utilizó para diversas áreas que no requerían licencias.

En el 2000 según [23], las WLAN se comenzaron a desarrollar con el estándar IEEE 802.11, donde Wi-Fi fue de gran ayuda para operar entre las distintas redes, el desarrollo de los dispositivos con estándar IEEE 802.11 ha sido muy grande en los últimos años. CR es una gran opción para el uso eficiente del espectro, donde su concepto fue definido por Joseph Mitola alrededor del año 2000 que lo determina como un Radio que mide el entorno y cambia su parámetro verificando los demás sin que haya interferencia, Joseph Mitola alrededor del año 1991 incluyó el nombre de Software Radio que es un radio que se puede configurar [24].

Los comienzos de la verificación del uso del espectro en zonas con muchos edificios fue hecha en [25], luego se procedieron a hacer múltiples estudios de las distintas bandas en otros lugares, la gran cantidad de servicios inalámbricos se encuentra distribuidos en las distintas bandas donde en [26] se compara la

disponibilidad del espectro en entornos con gran cantidad de edificios y entornos abiertos o sectores rurales.

El desarrollo de dispositivos con acceso dinámico al espectro ha promovido el estudio del uso del espectro en diferentes países [27] y [28] para verificar el espectro que no está siendo utilizado. En Estados Unidos es donde se han desarrollado la mayor cantidad de estudios, así como también en el continente Europeo, pero no existen muchos estudios en Latinoamérica sobre la escasez del espectro en las distintas zonas por lo cual se desarrolla el estudio propuesto.

La mejora de los servicios de telecomunicaciones así como el manejo del espectro de parte del Estado requieren mejorar por la creciente demanda del mismo, para asegurar una buena calidad de servicio a todos los usuarios, así como el desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden a hacer un mejor uso del espectro y mitigar las interferencias presentes.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

Medir el espectro para el análisis de la disponibilidad de canales en la banda ISM de WIFI (2400 – 2484 MHz) para modelar el potencial uso de dispositivos con acceso oportunista al espectro electromagnético al norte de la ciudad de Guayaquil en la torre A del edificio World Trade Center.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Medir las potencias a través del tiempo del espectro electromagnético de la Banda ISM.
- Analizar los datos obtenidos del espectro para el modelamiento estadístico.
- Verificar la disponibilidad de los canales de la Banda ISM.
- Modelar la disponibilidad de canales para el uso de dispositivos con acceso oportunista al espectro en una zona llena de edificios.

## **1.5 Metodología**

Para la realización del estudio propuesto seguimos la siguiente metodología, cuyo inicio del trabajo consistía en instalar los equipos dentro del edificio en los

pisos escogidos por un periodo de 10 días. Comenzamos desde el piso 16 por ser el piso más alto, luego el piso 9 por ser un nivel intermedio y por último el piso 1 por estar en la parte baja del edificio.

Los equipos instalados realizaran las mediciones de las potencias de la señal a través del tiempo en la banda asignada, donde previamente se parametrizó el software LabView para la captación del espectro, el software escoge la potencia máxima y la frecuencia correspondiente a dicha potencia y la almacena en un archivo de Excel, donde el mínimo número de muestras a tomar debe ser 60.000.

Luego de terminar las mediciones en todos los pisos y tener el umbral procedemos a realizar el análisis de los datos para verificar la disponibilidad de canales.

Con la verificación de la disponibilidad de canales realizaremos el modelamiento a través de graficas de Densidades de Probabilidad y Densidades Acumuladas de los datos obtenidos y compararlo con el modelo propuesto para determinar cuál es el modelo que mejor se ajusta, el estudio propuesto es de gran ayuda para verificar el espectro libre y la ocupación de canales en la banda ISM e implementarlo para el desarrollo de dispositivos con acceso oportunista.

## **1.6 Alcance**

El estudio a desarrollarse tiene un gran alcance para el sector de las telecomunicaciones inalámbricas, el trabajo de realizar mediciones, analizar los datos y modelar la disponibilidad de canales tiene como finalidad verificar la ocupación de espectro, para explotarlo al 100%.

Los espacios en blanco (WS) son de mucho interés en el estudio propuesto, ya que para el desarrollo de dispositivos con Acceso Oportunista (OSA), es necesario conocer el espectro libre que existe en las diferentes bandas de frecuencias

El número de usuarios seguirá creciendo por el avance de la tecnología de dispositivos inalámbricos, lo cual hará que el espectro se congestione, por ello el desarrollo de estudios a nivel de Latinoamérica deber ser primordial, como los realizados en otros países desarrollados.

La verificación de la disponibilidad de Canales en el entorno donde se desarrolla el estudio, servirá para la implementación de dispositivos con acceso oportunista (OSA), donde deben participar los entes como el Estado y las Empresas prestadoras de servicios de telecomunicaciones para que los usuarios tengan una mejor calidad de servicio.



## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE

Las redes de área local inalámbricas o WLAN por sus siglas en inglés (Wireless Local Area Network) son sistemas de comunicación inalámbricos, estas redes permiten al usuario tener una mayor movilidad por el uso de tecnologías de radiofrecuencia sin necesidad de vínculos por cables. Este tipo de redes cumple ciertos estándares desarrollados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). La más usada de estas tecnologías inalámbricas es la transmisión en la frecuencia de 2400 MHz correspondiente a Wi-Fi.

En la actualidad la mayoría de los equipos electrónicos poseen conectividad inalámbrica a través de Wi-Fi ya sea para navegar o brindar el servicio de Internet, así también para poder conectarse con otros dispositivos, esto hace que los canales disponibles para el uso de este servicio se vean saturados en ciertas horas del día principalmente en zonas urbanas [29]. Esto también se debe a que la frecuencia correspondiente a Wi-Fi está en la banda Industrial, Científica y Médica (ISM) la cual internacionalmente está reservada para ser de uso libre definida en el artículo 5 específicamente en los puntos 5.138 y 5.150 de las Regulaciones de Radio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) [30].

La distribución de los canales de Wi-Fi en el ancho de banda es el principal problema del congestionamiento de transmisión de datos ya que los canales se solapan entre sí y un dispositivo que envía tiene que estar en el mismo canal del que recibe los datos para que exista comunicación entre ambos.

#### 2.1 Estándares de las WLAN

La banda ISM posee varias frecuencias, especificadas en la Tabla 1 [31], en donde trabajan las redes WLAN las cuales deben de cumplir un estándar, este es el IEEE 802.11 el cual rige desde el año de 1997, a partir de ese año se vinieron desarrollando varias versiones dependiendo de la frecuencia en que se trabaje y las velocidades de transmisión de datos [32].

<b>Banda de transmisión</b>	<b>Frecuencia inicial</b>	<b>Frecuencia final</b>	<b>Ancho de banda</b>
<b>900 MHz</b>	902 MHz	928 MHz	26 MHz
<b>2400 MHz</b>	2401 MHz	2484 MHz	83 MHz
<b>5000 MHz</b>	5150 MHz	5350 MHz	200 MHz
<b>5000 MHz</b>	5725 MHz	5825 MHz	100 MHz

**Tabla 1. Frecuencias de transmisión de la banda ISM**

Cada una de estas bandas poseen características y conductas diferentes, mientras menor sea la frecuencia tienen un mayor rango de cobertura pero observamos que el ancho de banda es limitado por este motivo las velocidades de transmisión no son muy buenas. Para mayores frecuencias el rango de cobertura es menor y esto también se ve afectado por las obstrucciones como lo son las paredes.

En la banda 2400 MHz el estándar IEEE 802.11 define 14 canales pero dependiendo de la zona geográfica varían entre 11 y 14 canales, con frecuencias centrales separadas por 5 MHz pero cada ancho de banda por canal es de 22 MHz. Con esta arquitectura los canales que no se solapan son el 1, 6, 11 y 14.

A su vez podemos armar otras combinaciones de canales que no se solapen entre sí las cuales pueden ser 2, 7, 12 o 3, 8, 13 o 4, 9, 14 o por último 5, 10, 14 en las zonas donde existe el uso de este último canal, en la Tabla 2 podemos ver como se distribuyen los canales en el ancho de banda de 2400 MHz [33], su frecuencia inicial, central y final. Entre canales adyacentes se observa que sus frecuencias están dentro del ancho banda de la siguiente como se había mencionado.

Un claro ejemplo de este efecto lo apreciamos en la figura 2.1 donde los canales se interfieren por la gran demanda de redes Wi-Fi, a esto se añade que no todos los canales son usados sino que existe preferencia de unos más que otros, al momento de realizar la asignación.

Canal	Frecuencia inicial	Frecuencia central	Frecuencia final
1	2401 MHz	2412 MHz	2423 MHz
2	2404 MHz	2417 MHz	2428 MHz
3	2411 MHz	2422 MHz	2433 MHz
4	2416 MHz	2427 MHz	2438 MHz
5	2416 MHz	2432 MHz	2443 MHz
6	2426 MHz	2437 MHz	2448 MHz
7	2431 MHz	2442 MHz	2453 MHz
8	2436 MHz	2447 MHz	2458 MHz
9	2441 MHz	2452 MHz	2463 MHz
10	2446 MHz	2457 MHz	2468 MHz
11	2451 MHz	2462 MHz	2473 MHz
12	2456 MHz	2467 MHz	2478 MHz
13	2461 MHz	2472 MHz	2483 MHz
14	2473 MHz	2484 MHz	2495 MHz

Tabla 2. Distribución de los canales en la banda de Wi-Fi

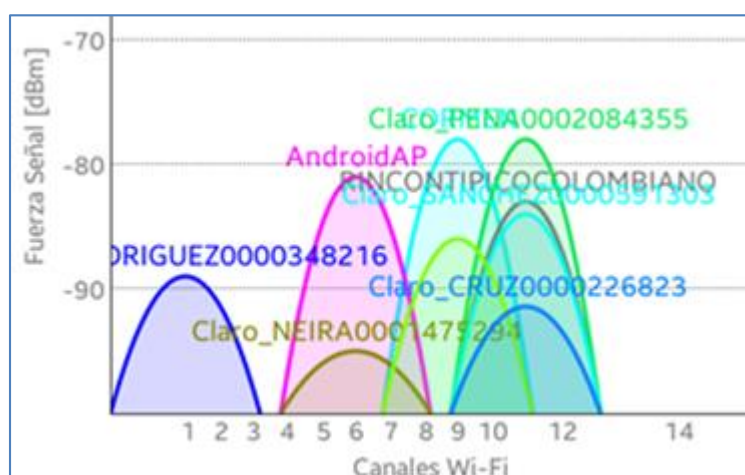


Figura 2.1: Redes inalámbricas

La tecnología 802.11 se creó con el fin de evitar problemas de compatibilidad entre los dispositivos y la interoperabilidad de las diferentes redes, esta tecnología diferencio las frecuencias y las velocidades de transmisión de datos por medio de estándares como 802.11a, 802.11b, 802.11c, 802.11g, 802.11h.

#### **2.1.1 IEEE 802.11a**

Basado en el estándar original este fue aprobado en 1999 para operar en la frecuencia de 5000 MHz el cual utiliza acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDM) con 52 subportadoras a velocidades máximas de 54 Mbits por segundos. Las velocidades reales de este estándar son de 20 Mbits por segundos aproximadamente el cual hace que este sea muy usado por diferentes dispositivos.

Este estándar posee 12 canales sin soperarse uno al otro, de los cuales 8 son usados para redes inalámbricas y las restantes 4 para conexiones de punto a punto. A menos que el dispositivo tenga la capacidad de operar en varios estándares este no es compatible con el 802.11b.

#### **2.1.2 IEEE 802.11b**

Al igual que el estándar anterior este fue aprobado en 1999 e igualmente basado en el estándar original de acceso múltiple con escucha de portadora y evasión de colisiones (CSMA/CA) con velocidad de transmisión de datos de hasta 11 Mbits por segundos.

Este estándar fue diseñado para funcionar en la banda de 2400 MHz y proporciona conectividad en hogares, oficinas o lugares públicos.

#### **2.1.3 IEEE 802.11c**

Este estándar es poco usado a diferencia de los dos primeros, y usualmente usado para la comunicación de redes de distinta topología a través de conexión inalámbrica.

#### **2.1.4 IEEE 802.11g**

Este estándar es una evolución a partir del estándar 802.11b que se aplica en la banda de 2400 MHz con la diferencia que trabaja en un mayor

frecuencia, aproximadamente 54 Mbits por segundos en estado óptimo pero en promedio la transmisión de datos es de 22 Mbits por segundos. Al ser basado en el estándar 802.11b y trabajar en la misma frecuencia es compatible con este, pero las velocidades de transmisión de datos se ven afectadas cuando interactúan estas tecnologías.

#### **2.1.5 IEEE 802.11n**

Esta tecnología también es conocida como Wireless N, nace a partir de la 802.11g mejorando la cantidad de ancho de banda gracias al apoyo de las antenas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) generando velocidades de hasta 300 Mbits por segundos.

Este estándar ofrece velocidades más rápidas y un mejor alcance de la señal gracias a la resistencia de interferencia de objetos externos a la red.

#### **2.1.6 IEEE 802.11ac**

Este estándar ofrece que las nuevas tecnologías para Wi-Fi tengan conectividades inalámbricas de banda dual tanto para la banda de 2400 MHz así como para la de 5000 MHz en un mismo equipo ofreciendo velocidades hasta 450 Mbits por segundos y 1300 Mbits por segundos para cada banda respectivamente.

### **2.2 Esquemas de asignación de canal**

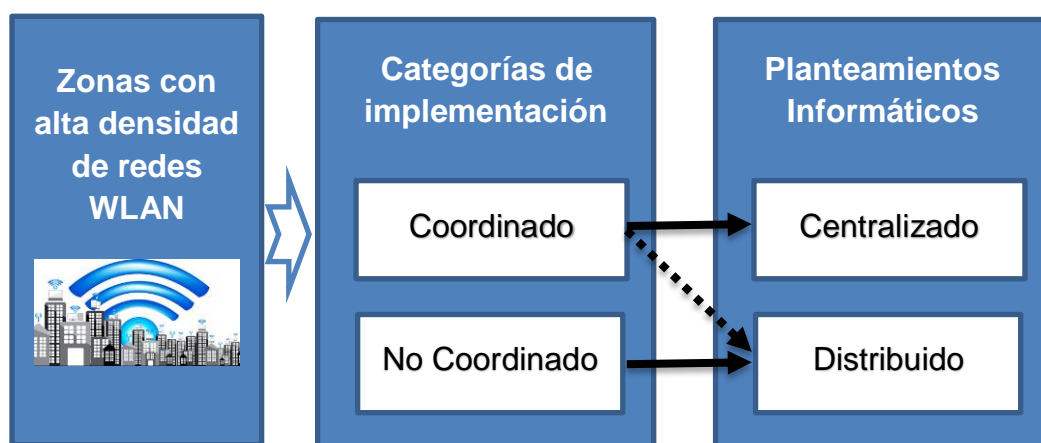
En las zonas urbanas las redes WLAN basadas en el estándar 802.11 han tenido gran acogida, esto ha causado uno que otro problema en el rendimiento de estas redes especialmente de congestión o interferencia dado a que pertenecen a la banda ISM. Por este motivo es necesario tener formas de mejorar el rendimiento y una de estas es encontrar técnicas de asignación de los canales la cual aproveche al máximo el rendimiento.

Como se gestionen las redes WLAN las implementaciones se pueden categorizar como coordinado o no coordinado [34].

Las redes coordinadas son las que tienen supervisión total la cual puede ser vigilada por algún medio, para una correcta asignación de los canales de

frecuencia para cada AP o a su vez buscar los medios para resolver la correcta asignación de los canales la cual evite la interferencia entre las redes. Esta solución se la conoce como informática centralizada y la podemos encontrar en aeropuertos.

Mientras que las implementaciones no coordinadas son las que trabajan sin un medio de control externo, estas redes solo conocen los parámetros y topología de su red sin importar las redes externas u otros puntos de acceso [35]. Dicho esto cualquier medio puede resolver el problema de asignación de canales pero lo haría uno por uno, esto se conoce como informática distribuida. Este ejemplo podemos observar en las redes de los operadores de telecomunicaciones. Vale mencionar que las implementaciones regularizadas también pueden realizar informática distribuida. En la figura 2.2 se observa un esquema gráfico de cómo se verían las implementaciones de las redes WLAN.



**Figura 2.2: Implementaciones de las WLAN**

Con el fin de obtener mejores soluciones al problema de asignación de canales se implementaron técnicas de optimización en despliegues WLAN, una de estas técnicas es la programación lineal entera (PLE) la cual es una técnica matemática la cual resuelve los problemas generales de optimización. Los algoritmos para resolver este problema de asignación de canales de manera óptima existen [36], pero no alcanzan debido al gran número de puntos de acceso ya que se requiere altos esfuerzos computacionales [37]. Dentro de la práctica estos resultados se

los utiliza como un punto de referencia para otras soluciones con complejo computacional menor. De tal modo que estas categorías de implementación son técnicas coordinadas, centralizadas y distribuidas.

Dentro de [38] se plantea la asignación de canales como un problema de programación lineal entera (PLE) el cual tiene como objetivo minimiza la cantidad de interrupciones del tráfico hacia los clientes con un nuevo proceso de asignación de canales pero manteniendo el tiempo de uso del canal por debajo del canal anteriormente usado. Algo parecido se encuentra en [39], al asignar canales de manera de PLE, esto hace que solo se asigne un canal para cada punto de acceso manteniendo el resto por debajo de un umbral así se minimiza la cantidad de interrupción.

Una mejor apreciación en la asignación de canales WLAN en la banda ISM para la comparación cualitativa entre diferentes esquemas en la ejecución de algoritmos, comportamientos, complejidad y escalabilidad se puede leer en [39].

Otro ejemplo está en [40] de modelos y métodos para la asignación de canales en redes inalámbricas, aquí se presenta una amplia descripción de escenarios prácticos donde se realiza asignación de canales, además como una clasificación de diferentes modelos y formulaciones.

Los autores de [41] presentan enfoques utilizados por otros investigadores los cuales tratan de resolver el problema de asignación de un canal en redes inalámbricas teniendo presente los varios problemas de interferencia y la correcta utilización de la disponibilidad de los mismos.

## **2.2 Interferencia de las WLAN**

La señal recibida por una red inalámbrica es medida por un indicador de fuerza RSSI (por sus siglas en inglés Received Signal Strength Indicator), la cual es una escala de referencia que sirve para medir la potencia de las señales que un dispositivo recibe. El valor de cero es usado como centro o valor ideal, en la práctica este valor es casi imposible de obtener por ello la escala usa valores negativos pero cuanto más negativo sea existe mayor pérdida de la señal recibida.

Estos valores se expresan como RSSI o más conocido como dBm (decibelio – milivatio) que es una de las unidades de medida de potencia utilizada en las redes inalámbricas [42]. Cabe recalcar que estas unidades indican la intensidad de señal recibida y no de la calidad de la misma ya que esta se obtiene verificando la intensidad con respecto de la relación señal/ruido. En la Tabla 3 se observa esta escala la cual varía en algunos dispositivos [42], ya que dependen de las especificaciones técnicas de los fabricantes o el tipo de modulación empleado.

<b>Intensidad [dBm]</b>	<b>Calidad</b>
<b>0</b>	Señal ideal, casi imposible de lograr en la práctica.
<b>-40 a -60</b>	Señal eficiente con tasas de transmisión constantes.
<b>-60</b>	Señal para un buen enlace, ajustando la transmisión se puede lograr una estabilidad al 80% en la conexión.
<b>-70</b>	Señal medianamente buena, está sujeta a mayores problemas externos.
<b>-80</b>	Esta es la señal mínima que se acepta para establecer una conexión inalámbrica.

**Tabla 3. Escala de referencia de la intensidad de la señal y la calidad**

La potencia se ve afectada, puesto que las redes inalámbricas por lo general se causan interferencia entre sí mismo por el uso de canales adyacentes pero casi siempre son por entes externos.

### **2.2.1 Efectos causados por las interferencias**

Los dispositivos se ven afectados por la disminución del alcance inalámbrico entre ellos.

Dependiendo del tipo de conectividad dentro de la red Wi-Fi la tasa de transferencia de datos se ve disminuida.

La intermitencia o pérdida total de la conexión inalámbrica.



Al querer enlazar los diferentes dispositivos para su conectividad la fase de detección se vuelve lenta.

### **2.2.2 Fuentes de interferencias**

Algunos de los dispositivos que pueden causar interferencia en la banda de los 2400 MHz, en algunos casos estos describen que funcionan sobre esta banda mientras que otros no lo mencionan directamente. A continuación mencionamos los más comunes:

El uso de hornos microondas puede causar interferencias al ser usados muy cercanos a los puntos de acceso o dispositivos Wi-Fi.

Algunas redes eléctricas externas como son las líneas de alta tensión o las centrales energéticas.

Los parlantes inalámbricos, cámaras, intercomunicadores o cualquier dispositivo que funcione de manera inalámbrica y que opere en la banda de los 2400 MHz.

Fugas de RF por medio de cables coaxiales o conectores en mal estado de algunas antenas parabólicas que brindan servicio por satélite directo pueden ser la causa de interferencia.

Los teléfonos inalámbricos que funcionan en la banda ISM de 2400 y 5000 MHz pueden causar interferencia en las redes inalámbricas o afectar el rendimiento del dispositivo mientras estos son usados.

Ciertos transmisores o receptores de videos que trabajen en la banda no licenciada.

### **2.2.3 Entorno doméstico y laboral**

En el entorno doméstico o laboral las interferencias son comunes por la ubicación de los puntos de acceso, los cuales no pueden desplegar una trayectoria eficaz dentro de un edificio, también se suma los materiales de construcción utilizados los cuales son el principal problema que afecta las conexiones Wi-Fi. En la Tabla 4 [38] se aprecian los materiales más comunes en el interior de las edificaciones, que causan obstrucciones

absorbentes o reflectantes de radiofrecuencia (RF) los cuales impiden una buena conexión y llegan a causar interferencias.

<b>Material</b>	<b>Nivel de potencia de la interferencia</b>
<b>Madera</b>	Bajo
<b>Material sintético</b>	Bajo
<b>Cristal</b>	Bajo
<b>Agua</b>	Medio
<b>Ladrillos</b>	Medio
<b>Mármol</b>	Medio
<b>Hormigón</b>	Alto
<b>Cristal blindado</b>	Alto
<b>Metal</b>	Muy alto

**Tabla 4. Nivel de interferencia de ciertos materiales**

#### **2.2.4 Factores que afectan la transmisión de datos**

Se recuerda que la transmisión inalámbrica se realiza por medio de RF, las cuales son ondas electromagnéticas que viajan en el aire de manera libre por lo cual las fuentes de interferencias mencionadas anteriormente disminuyen la calidad.

A continuación mencionaremos los factores más importantes que afectan al momento de realizar una transmisión por medios inalámbricos:

**Atenuación.-** A medida que la distancia crece la potencia de la señal decrece cuando esta es propagada en el aire. Para ello se debe de tomar en cuenta que la señal debe mantener una potencia mayor al ruido para recibir sin errores al momento de comunicación y tener la suficiente fuerza

para que el receptor interprete claramente lo que se está transmitiendo. En altas frecuencias con alta atenuación causa distorsión, esto ocurre cuando la señal emitida tiene varias frecuencias que la componen por lo tanto están a diferentes velocidades y retardos; finalmente la señal en el receptor no será la misma que al inicio.

**Ruido.-** En las telecomunicaciones el ruido se mezcla con la señal que deseamos transmitir, esta es una señal no deseada pero que se encuentra por lo general casi siempre presente al momento de transmitir. Existen varias causas por las que se genera por lo que existe ruido térmico (a causa de la temperatura), ruido inducido (producido por inducción electromagnética de los motores), ruido impulsivo (se debe a picos de corriente o de las altas tensiones de la electricidad) o diafonía (se produce cuando un cable esta sobre otro). Este efecto hace que la señal transmitida no sea igual a la señal recibida. La figura 2.3 muestra un esquema gráfico de lo mencionado con respecto al ruido.



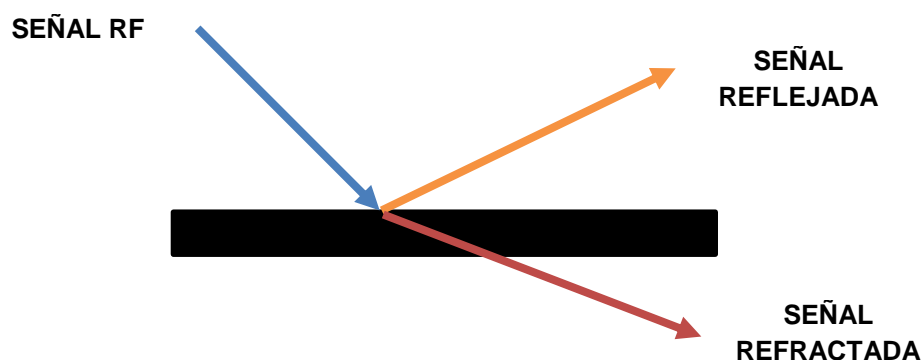
**Figura 2.3: Esquema de introducción del ruido**

**Pérdidas en el libre espacio.-** En varios tipos de comunicación inalámbrica la señal se dispersa con la distancia sin necesidad que exista alguna fuente de interferencia esta se ve afectada por el área de recorrido.

**Multi trayecto.-** Al momento de transmitir existen varios obstáculos entre un punto a otro en donde la señal se ve reflejada causando que existan

varias copias de la misma y estas tengan múltiples trayectos con diferente retardos al momento de ser recibidas. Al momento de recibir la señal directa esta puede ser más larga o más corta que la señal compuesta, esto se debe básicamente a la diferencia entre las longitudes de onda directa y reflejada.

**Refracción.-** Las señales de radiofrecuencia al momento de pasar de un medio con una densidad diferente al de otro medio con cierta inclinación se reflejan alejándose del camino correcto para que la señal llegue al destino tomando cualquier otra dirección con una velocidad mayor o menor a las original.



**Figura 2.4: Esquema de refracción y reflexión**

**Desvanecimiento (Fading).-** Este término se refiere cuando la señal se ve perdida en el espacio debido a la larga trayectoria que esta tiene, a los obstáculos que se le presentan en el camino y a toda la resistencia que debe de traspasar para llegar al lugar de recepción.

## CAPÍTULO 3

### 3. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE ESTUDIO

En este capítulo se detalla la metodología que se usó para obtener los resultados posteriores de acuerdo al análisis de los datos recolectados en el entorno de estudio.

En el presente capítulo se describirá las mediciones realizadas en el entorno donde se colocaron los equipos; el cual es un edificio con 15 pisos y una terraza, la forma en que se realizaron las mediciones, así como el análisis de los datos obtenidos en dichas mediciones. Con el desarrollo del estudio podremos hacer un modelamiento del sistema analizado.

Se detallara los equipos utilizados, el software utilizado para la recepción de los datos, los diferentes modelos propuestos para el sistema analizado.

#### 3.1 Descripción donde se desarrolla el estudio

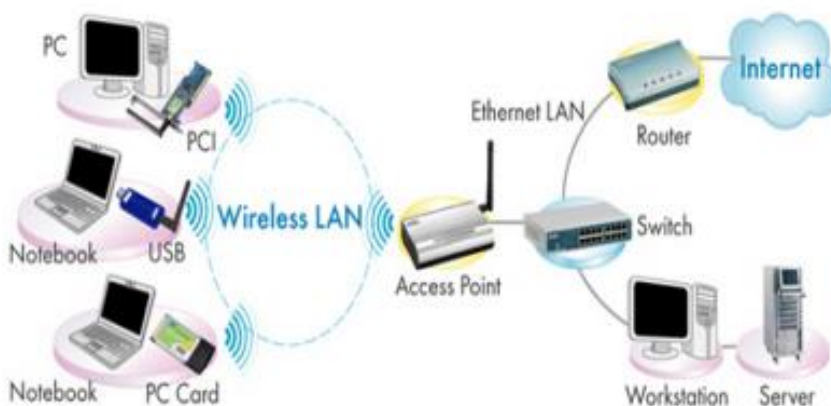
El entorno en el cual fue realizado el trabajo fue en una zona urbana con una considerable cantidad de edificios, ubicado en el norte de la ciudad de Guayaquil, el cual tiene 15 pisos y una terraza.

En el entorno donde se desarrolló el estudio existen diferentes tipos de interferencia en el interior de edificios, así como en el exterior, entre ellos está el de dispersión, difracción que son notables por las paredes, puertas, ventanas, equipos de oficina como la Figura 3.1.



Figura 3.1: Entorno Urbano con Muchos Edificios

En el interior de los edificios existen muchos AP que corresponden a cada uno de las oficinas de los edificios, esto se debe al rango de cobertura que abarca cada uno. Estos A.P. son utilizados por muchos usuarios según Figura 3.2, los cuales saturan los canales para su uso y causan interferencia.



**Figura 3.2: Access Point con distintos usuarios [43]**

Como el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado [20], hay que aprovecharlo, pero hay parte del espectro que no está siendo utilizado, esto hace que haya espectro libre para el cual se proponen diversos estudios para desarrollar dispositivos con acceso oportunista al espectro (OSA).

En el estudio a desarrollarse, se verifica la disponibilidad de canales del rango de frecuencias asignadas, se analizarán casos de estudio de sistemas (OSA), las mediciones fueron hechas en el Edificio World Trade Torre A en tres partes del edificio, los equipos estuvieron instalados 10 días en cada piso, verificando que las mediciones se hagan correctamente. Luego con los datos obtenidos se realiza una comparación con el umbral de nuestro estudio para así poder concluir que canales se encuentran libres u ocupados.

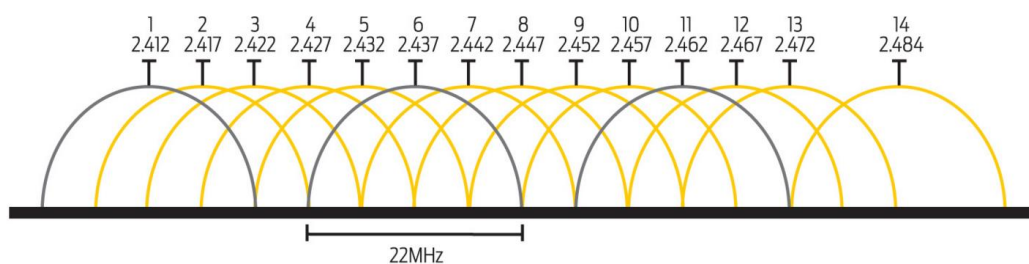
Con los resultados se verifican los espacios en blanco que hay en el espectro electromagnético para proceder al desarrollo de distintos sistemas.

### 3.2 Interferencia en redes

Hoy en día existen muchas redes en un solo sitio por lo cual existe muchas más posibilidades de tener interferencia. En el entorno de estudio propuesto el cual es una zona urbana densamente poblada se basa en el estándar IEEE 802.11 [44], existe interferencia co-canal [45], que se produce cuando se utiliza el mismo canal en transmisión o recepción de señales y para disminuir dicha interferencia se colocan A.P. con una mayor distancia lo cual no es óptimo.

Existen muchos estudios en los cuales mitigan la interferencia con distintos métodos o sistemas. Una propuesta a la problemática de la interferencia es hacer antenas inteligentes, este nuevo sistema cambia el patrón de las antenas cuando se produce alguna interferencia, en la cual también se controla la relación señal-ruido y hace que la capacidad del canal sea mejor [45].

Según el estudio realizado en Colombia sobre la forma de cuantificar la interferencia en WIFI por la sobreposición de canales, en el cual hacen dos escenarios con redes WIFI, uno con un canal solapado y uno con un canal sin solapar, indican que sistema WIFI tiene solo tres canales sin interferencia según Figura 3.3, por lo que otra red necesariamente tendrá que usar algunos de los canales usados y provocar interferencia [46].



**Figura 3.3: Canales en WIFI [47]**

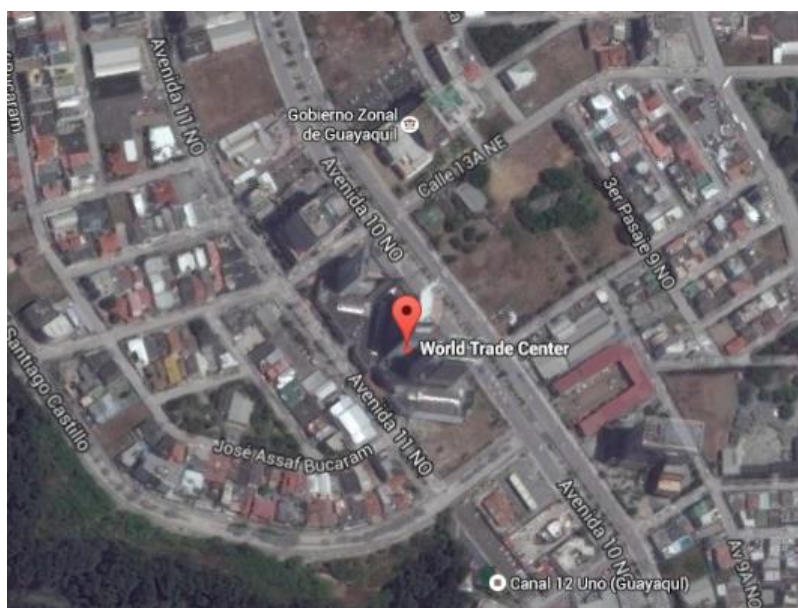
WIFI que opera en la banda ISM consta de 14 canales, cada canal ocupa 22 MHz, pero hay 3 canales que no se solapan los cuales son: el canal uno en 2,412 GHz, el canal seis en 2,437 GHz y el canal 11 con 2,462 GHz.

### 3.3 Localización del entorno de las mediciones

Nuestras mediciones se realizaron en una zona urbana densa con gran cantidad de edificios, dicha zona se ubica en el sector norte de la ciudad de Guayaquil, dentro del edificio World Trade Center en la torre A, el cual cuenta con 15 pisos y una terraza. Las mediciones fueron hechas en distintos pisos para un mejor modelamiento, los pisos escogidos fueron:

- **Piso 1:** ACE Seguros
- **Piso 9:** Notaria del cantón Guayaquil
- **Piso 16:** Terraza de ACE Seguros.

Nuestras mediciones fueron hechas en un lapso de 10 días por cada piso, la localización donde se realizaron las mediciones del estudio son: Latitud: 2°9'49"S y Longitud: 79°53'52"W según Figura 3.4.



**Figura 3.4: Localización del entorno de estudio**

### 3.4 Procedimiento de Medición

Para el estudio desarrollado utilizamos distintos equipos para realizar las mediciones y los cuales se observan en la Figura 3.5.



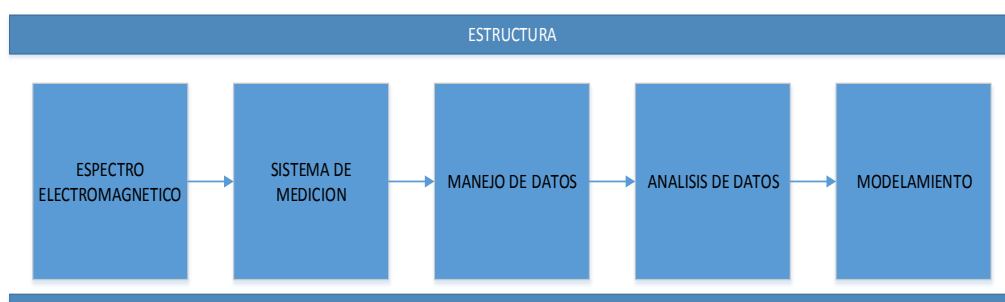


**Figura 3.5: Equipos de Medición**

La medición tendrá como estructura lo realizado en [48], donde se ejecutan mediciones y análisis del espectro radioeléctrico, que constara de varias etapas:

- Etapa de captación
- Etapa de captura
- Etapa de comprobación

Dichas etapas seguirán la estructura como la Figura 3.6, donde se detalla cada etapa más a fondo



**Figura 3.6: Estructura para las mediciones**

El espectro electromagnético es censado por los equipos de medición que son: la antena Discone SIRIO SD-3000N y el USRP-N210, luego capturamos los datos en un archivo XLS. Para la captura de los datos utilizamos el software LabView donde se desarrolló el algoritmo con lo cual configuramos los equipos para la

captura de los datos, luego analizamos los datos y usamos el software MATLAB con lo cual realizaremos el modelamiento de la disponibilidad de canales.

### 3.4.1 Etapa de Captación de Espectro

En esta etapa se utilizó la antena tipo Discone SIRIO SD-3000 N (Ver anexo), dicha antena fue utilizada por el rango de frecuencia que puede medir que es de 300 a 3000 MHz, dado que el estudio desarrollado es en la banda ISM de WIFI (2400-2484 MHz).

Sus características principales son: patrón de radiación Omnidireccional, acero inoxidable, aluminio anodizado, polarización vertical

### 3.4.2 Etapa de Captura de Datos

Para la captura de los datos se utilizó el equipo USRP-N210 que posee un rango de procesamiento para trabajar en muchas bandas, es un dispositivo lógico programable.

El equipo se conecta a través de un cable Giga bit-Ethernet que transmite información a 400 MS/s para muestrearse a 1000 S/s. Este dispositivo fue escogido por la facilidad de cambiar de frecuencia y verificar la potencia en los canales asignados.

Tiene una tarjeta FPGA que procesa hasta 100MS/s y una configuración MIMO. Para realizar la captura de los datos se utilizó un cable Wilson 400 de ultra baja pérdida para que no existan pérdidas muy grandes.

Para medir las pérdidas de los conectores, así como la de los cables, hay que tener en cuenta la potencia de transmisión como de recepción.

$$PR = PR_{ant} + G_{ant} - L_{cab} - L_{con} + G_{usrp} \quad (3.1)$$

$$G_{usrp} = G_{ant} - L_{cab} - L_{con} \quad (3.2)$$

Dónde:

PR: Potencia de recibida por el equipo

PRant:	Potencia que llega a la antena
Gant:	Ganancia de la antena
Lcab:	Pérdida del cable
Lcon:	Perdida de conectores
Gusrp:	Ganancia del USRP-N210

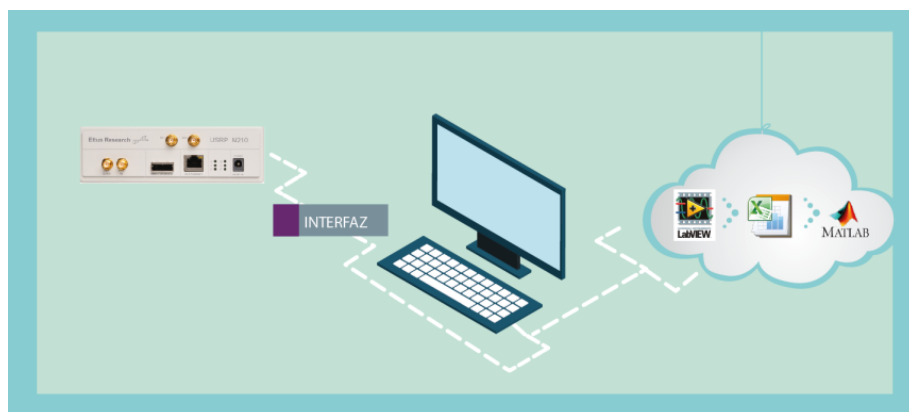
El interés es que la PR sea igual a PRant y hacer que las pérdidas sean cero.

$$PR = PRant \quad (3.3)$$

### 3.4.3 Etapa de Comprobación

Esta etapa es la encargada de comprobar que la obtención de datos del USRP-N210 hacia la laptop sea óptima (Figura 3.7). Los datos capturados por el USRP-N210 son guardados en un libro de Excel donde todos los datos tengan la menor pérdida posible.

El software LabView donde consta el algoritmo de captura de datos será el encargado de obtener la información de frecuencia como de potencia, saltando cada canal y volviendo a repetir la secuencia.



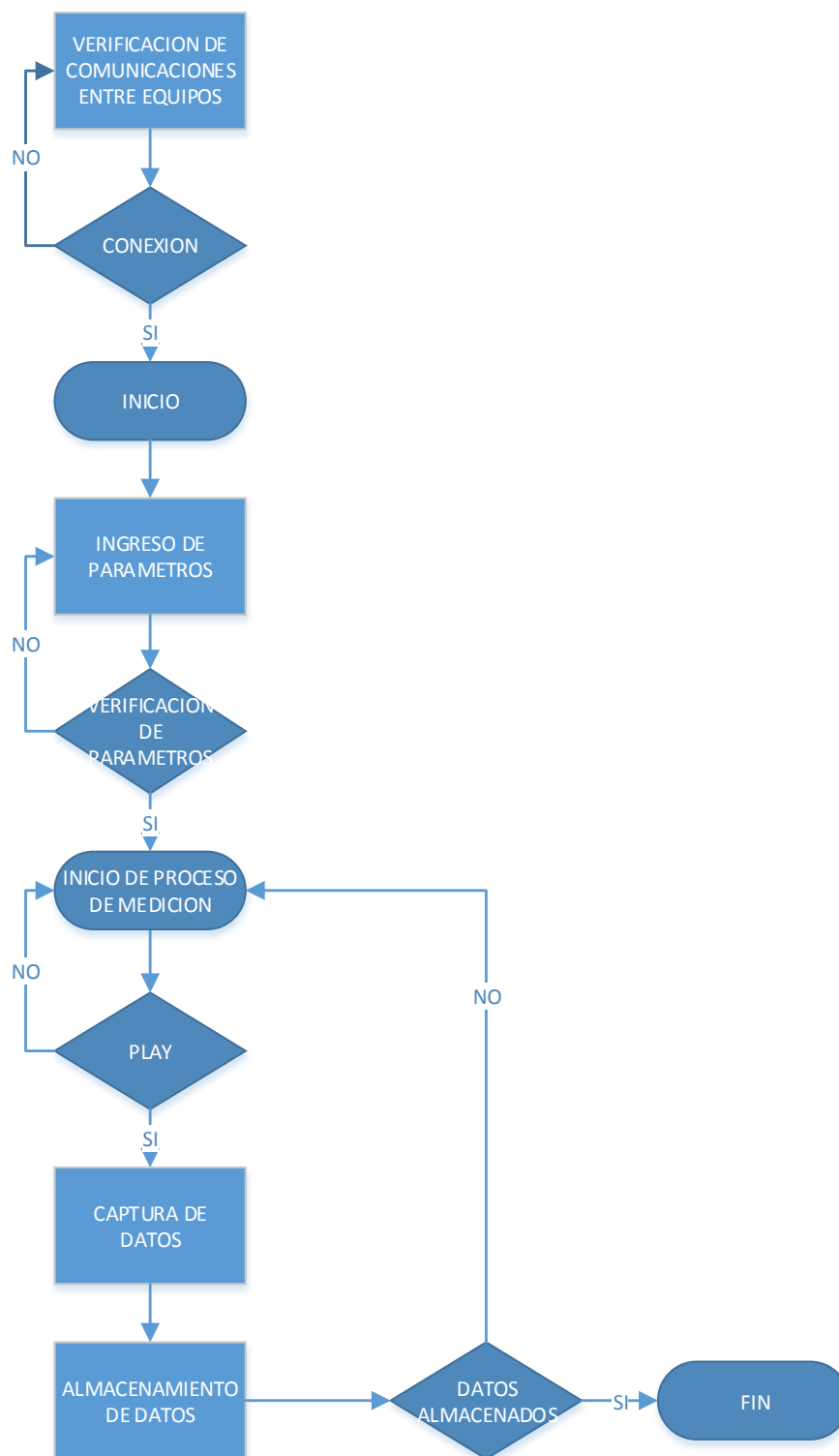
**Figura 3.7: Etapa de Comprobación**

Se describe a continuación el algoritmo utilizado para la captura de datos en el software LabView.

### **Algoritmo de Captura de Datos**

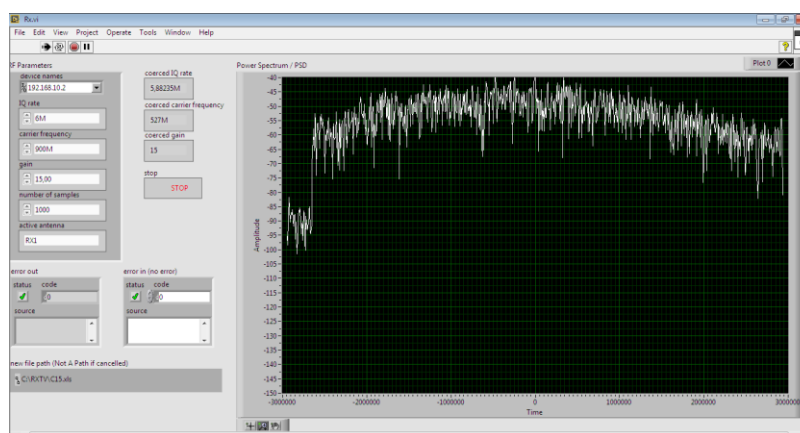
Para capturar los datos requeridos como son: el nivel de potencia de la señal, así como la frecuencia central se requiere la frecuencia inicial ( $f_i$ ), la frecuencia final ( $f_n$ ), que para el caso del estudio desarrollado es desde los 2400 a los 2484 MHz que comprenden la banda ISM, el tiempo de muestra por cada canal ( $T_s$ ), Frecuencia de muestreo ( $f_s$ ), Ganancia del equipo ( $G$ ), Dirección IP ( $IP$ ), Disposición del programa ( $status$ ) que nos indica si está corriendo el programa o se ha detenido, Cantidad de Canales asignados a nuestro estudio ( $N$ ).

El algoritmo de la Figura 3.8 muestra el procedimiento a seguir, lo primero que se procede a hacer es verificar que haya comunicación entre los equipos a través del cable Giga Bit- Ethernet, luego abrir el programa y configurar los parámetros requeridos.



**Figura 3.8: Algoritmo de Captura de Datos**

Para llenar los parámetros requeridos según Figura 3.9, se coloca la Dirección IP (IP) del equipo que se la puede obtener en NI-USRP Configuration y se la coloca en Device Names, luego colocamos la potencia portadora (IQ Rate) la cual depende de la banda y tiene que ser suficientemente grande para las mediciones, colocamos la frecuencia de portadora ( $f_s$ ), colocamos la Ganancia del equipo (G), el número de Muestras, y se escoge que antena esta activa.



**Figura 3.9: Parámetros en LabView**

Luego se inicializa el programa y se lo hace correr. Comienza a muestrear canal por canal las potencias que en para el caso del estudio desarrollado son 14 canales [46], cada canal ocupa 22 MHz de ancho de banda y una separación de 5 MHz que van desde los 2400 a los 2484 MHz.

El programa cuando muestrea el canal escoge la frecuencia central para la captura de los datos la cual se realiza con un Tiempo de muestreo ( $T_s$ ), de las 1000 muestras el software escoge la Potencia Máxima y la Frecuencia que corresponde a dicha Potencia, luego se mueve el ancho de banda luego de la primera medición.

Los datos son guardados en un archivo de Excel, se genera un archivo por cada canal muestreado y captura los datos hasta que detengamos la medición,

Como estuvieron instalados los equipos en cada piso por diez días, el número de datos varía dependiendo de la hora a la cual paramos la medición. Los datos obtenidos en el piso dieciséis fueron: 62.985, los del piso nueve fueron: 63.495 y los del piso uno fueron: 66.266

Los datos capturados serán analizados y se procederá a realizar un modelamiento para compararlos con modelos estadísticos determinados, y se procederá determinar si los canales se encuentran ocupados durante el tiempo de la medición.

### 3.5 Modelamiento estadístico

Después de obtención de los datos y su análisis se procede a modelar los datos para lo cual se determina modelos probabilísticos que nos afirmara cuál es el mejor.

En el modelo estocástico tomamos en cuenta la Potencia de la señal como una variable aleatoria  $X$ , donde el ruido y la interferencia las cuales son independientes.

$$X = \{X_1, X_2, X_3, \dots \dots X_n\} \quad (3.4)$$

$$Y = X + \text{Ruido} + \text{Interferencia} \quad (3.5)$$

El ruido y la interferencia que existen en las mediciones tienen características Gaussianas con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ . Podemos decir que la variable aleatoria sigue una distribución Normal con parámetros  $\mu$  y  $\sigma^2$

$$X \rightarrow N(\mu, \sigma^2) \quad (3.6)$$

Pero como en el estudio desarrollado con la banda de frecuencia, asignada posee interferencia co-canal por el solapamiento de canales [45], se expresa que la

variable  $X$  que corresponde a la potencia de la señal, se distribuye como una variable Normal Tipificada o Standard, denotada:

$$X \rightarrow N(0,1) \quad (3.7)$$

Conociendo dichos parámetros y el umbral de sensibilidad ( $\lambda$ ) se considerara como estados los siguientes intervalos, siendo ( $X$ ) la potencia de la señal:

$$\delta = \begin{cases} 1, & X < \lambda \\ 0, & X \geq \lambda \end{cases} \quad (3.8)$$

La disponibilidad del canal está definido por la variable  $\delta$  que representa 2 estados, los cuales son: ( $\delta = 1$ ) que significa que el canal se encuentra disponible debido a que la potencia de la señal es menor que el umbral, y ( $\delta = 0$ ) que significa que el canal se encuentra ocupado debido a que la potencia de la señal es mayor o igual que el umbral.

De acuerdo al modelo matemático definido por los parámetros que siguen una distribución Gaussiana, así como también una tipo Bernoulli con dos resultados que pueden suceder: éxito o fracaso, que en el estudio desarrollado sería de canal disponible o no disponible.

Donde su función de densidad viene dado por (3.9):

$$P(x) = p^x(1 - p)^{1-x}; \text{ donde } x = 0,1 \quad (3.9)$$

La función  $P(\delta = 0) = 1 - p$  y  $P(\delta = 1) = p$  y sus parámetros de esperanza o media (3.10) y de varianza (3.11) son:



$$E[X] = \mu = \sum_{x=0}^1 xP(X = x) = p \quad (3.10)$$

$$Var(X) = E[X^2] - (E[X])^2 = \sum_{x=0}^1 x^2 P(X = x) - p^2 = p(1 - p) \quad (3.11)$$

Y con respecto al estudio realizado sobre la banda FM para la utilización dinámica del espectro, donde se toman datos por un periodo en Kansas, donde luego se analizan los datos [48], y asumen que presenta una distribución Gaussiana la cual usamos y donde sus características son:

Función de densidad:

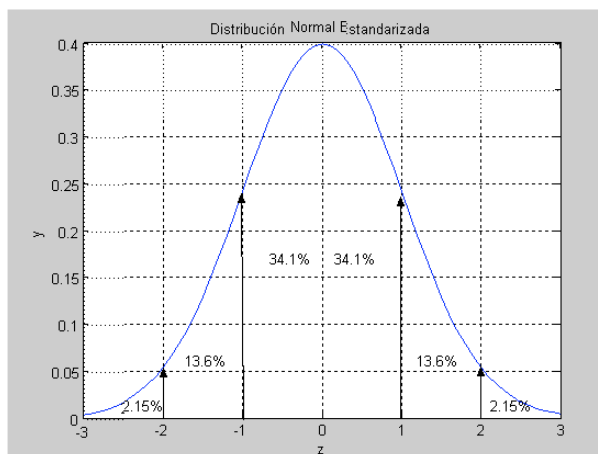
$$f(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (3.12)$$

Como X presenta una distribución Gaussiana donde  $X \rightarrow N(\mu, \sigma^2)$ , procedemos a estandarizar su variable aleatoria en:

$$Z = \frac{X-\mu}{\sigma} \quad (3.13)$$

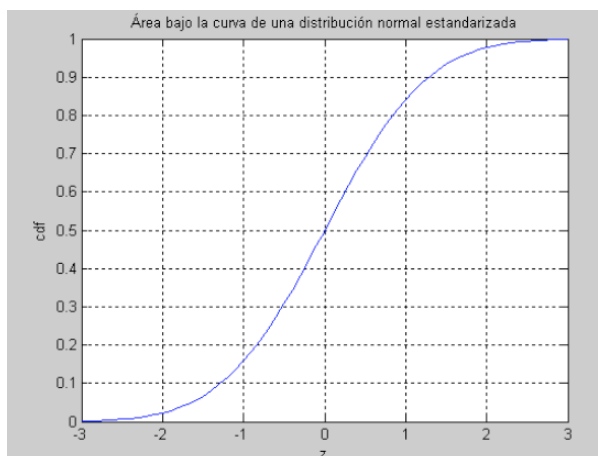
Con el valor de Z se encuentra el área bajo la curva dada en la Figura 3.9 donde muestra lo calculado según los parámetros y respecto a la potencia de la señal y el umbral.

$$P(X \leq \lambda) = P\left[Z \leq \frac{(\lambda-\mu)}{\sigma}\right] \quad (3.14)$$



**Figura 3.10: Función de densidad**

En la Figura 3.10 se muestra la Función de Distribución acumulada



**Figura 3.11: Función de Distribución Acumulada**

Otra distribución que se utilizó es la de Valores Extremos Generalizada o GEV [49], que es llamada como Distribución Fisher-Tippett donde las potencias de la señal son nuestras variables aleatorias  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

$$M_n = \text{Max}\{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (3.15)$$

Donde su función de Distribución de  $M_n$  es:

$$P[M_n \leq z] = P[X_1 \leq z, X_2 \leq z, \dots, X_n \leq z] = P[X_1 \leq z] \cdot P[X_2 \leq z] \dots P[X_n \leq z] = F(z) \cdot F(z) \dots F(z) = (F(z))^n \quad (3.16)$$

Se procede a estandarizar  $M_n$  con una transformación lineal; existen tres tipos de Distribuciones en la Distribución de valores Extremos que son: Gumbel, Frechet y Weibull, con sus parámetros:  $b$  de ubicación,  $a$  de escala y un parámetro  $\alpha$ .

Todas las familias de la Distribución se pueden generalizar en una función la cual es:

$$G(z) = \exp \left[ - \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{z-\mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \right] \right], \text{ para } \begin{cases} x \in \left[ \mu - \frac{\sigma}{\varepsilon}, +\infty \right]; \text{ si } \varepsilon > 0 \\ x \in [-\infty, +\infty]; \text{ si } \varepsilon = 0 \\ x \in \left[ -\infty, \mu - \frac{\sigma}{\varepsilon} \right]; \text{ si } \varepsilon < 0 \end{cases} \quad (3.17)$$

Sus parámetros son: ubicación ( $\mu$ ), escala ( $\sigma$ ) y forma ( $\varepsilon$ ), cuya función de densidad es:

$$g(z) = \frac{1}{\sigma} \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{z-\mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \right]^{\frac{1}{\varepsilon}-1} \exp \left\{ - \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{z-\mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \right] \right\} \quad (18)$$

Dichas funciones expresadas anteriormente para hallar las PDF de los datos analizados nos permitirán observar la disponibilidad de los canales, con el modelo estadístico debemos verificar las PDF con las PDF de los datos de la potencia de la señal y utilizamos Pruebas de Normalidad que indican si los datos experimentales son similares con la distribución propuesta por lo cual se usara una prueba que es: Kolmogórov – Smirnov test.

La finalidad de la prueba es la comparación de las CDF teóricas con las CDF observadas, su función de distribución empírica se muestra en la ecuación (19).

$$F_N(x) = P(X_i \leq x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(X_i \leq x) \quad (19)$$

$$T_{ks} = \sup_{x \in \mathbb{R}} \{|F(x) - G(x)|\} = \max_i \{|F(x_i) - G(x_i)|\} \leq (\alpha, N_s)$$

Entre la comparación de las distribuciones se observa el máximo y se la verifica con los parámetros  $\alpha$  que quiere decir la confiabilidad que aspira y  $N_s$  es la cantidad de experimentos.

## CAPÍTULO 4

### 4. EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Con la configuración de los equipos y uso de los software adecuados se obtuvo una base de datos los cuales se procedieron a experimentar para encontrar el mejor modelo estocástico y realizar el análisis de este estudio.

#### 4.1 Parámetros de configuración

Para el análisis de los datos inicialmente se configuró una serie de parámetros los cuales permiten desarrollar el experimento en la banda ISM de Wi-Fi que comprende desde los 2401 MHz hasta los 2495 MHz repartidos en 14 canales con un ancho de banda de 22 MHz y la frecuencia central separada por 5MHz. Tomaremos un número de 22 muestras para verificar la disponibilidad comparada con una potencia umbral de -85 dBm. En la Tabla 5 se observa un resumen de lo indicado.

PARÁMETROS	VALORES
Ancho de banda	2401 – 2495 MHz
Ancho de banda del canal	22 MHz
Separación de la frecuencia central del canal	6 MHz
Frecuencia central inicial	2412 MHz
Frecuencia central final	2484 MHz
Número de canales	14
Número de muestras (Disponibilidad)	22
Potencia umbral	-85 dBm
Ganancia de la antena	10 dB

Tabla 5: Parámetros de configuración

Con estos parámetros se configuro el USRP de tal forma que este recorra automáticamente cada uno de los 14 canales en sus ancho de banda y realizando los saltos de 5 MHz entre cada frecuencia central para encontrar la potencia promedio de la señal en el intervalo de tiempo de muestreo por canal.

#### **4.2 Análisis previo de los datos**

Las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 muestran los niveles de potencia obtenidos en el primero, noveno y dieciseisavo piso respectivamente, en estas se observa el comportamiento de los 14 canales a través de la potencia recibida.

Para realizar la interpretación de las gráficas tendremos presente los colores, en el cual el color azul representa el nivel más bajo de potencia, mientras que el color rojo representa el nivel más elevado de potencia para luego ser comparado con el umbral de potencia fijado en -85 dBm.

En los tres casos se observa que existe mucha tonalidad azul, esto permite señalar que existe una buena disponibilidad de los 14 canales de Wi-Fi dentro de la edificación.

En los canales 1 y 2 existe una tonalidad total del color azul para los tres pisos, esto se debe a que estos canales son muy poco usados a la hora de configurar los equipos que brindan el servicio de Wi-Fi.

Al observar la figura 4.1 los canales 6, 9 y 11 presentan niveles más elevados durante el transcurso de la semana teniendo valores entre -70 a -50 dBm. Canales como el 3, 4 o 7 no poseen muchos cambios y teniendo valores muy bajos, menores que -85dBm, para estos canales son factibles el uso de los sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA).

En la figura 4.2 del noveno piso se observa que los canales tienen una mayor variabilidad, porque tienen valores de potencia por debajo o sobre el umbral pero existen lapsos en donde se puede hacer uso de la disponibilidad que poseen en ese momento. Esto se debe a una mayor cantidad de dispositivos con acceso Wi-Fi conectados en esta planta.

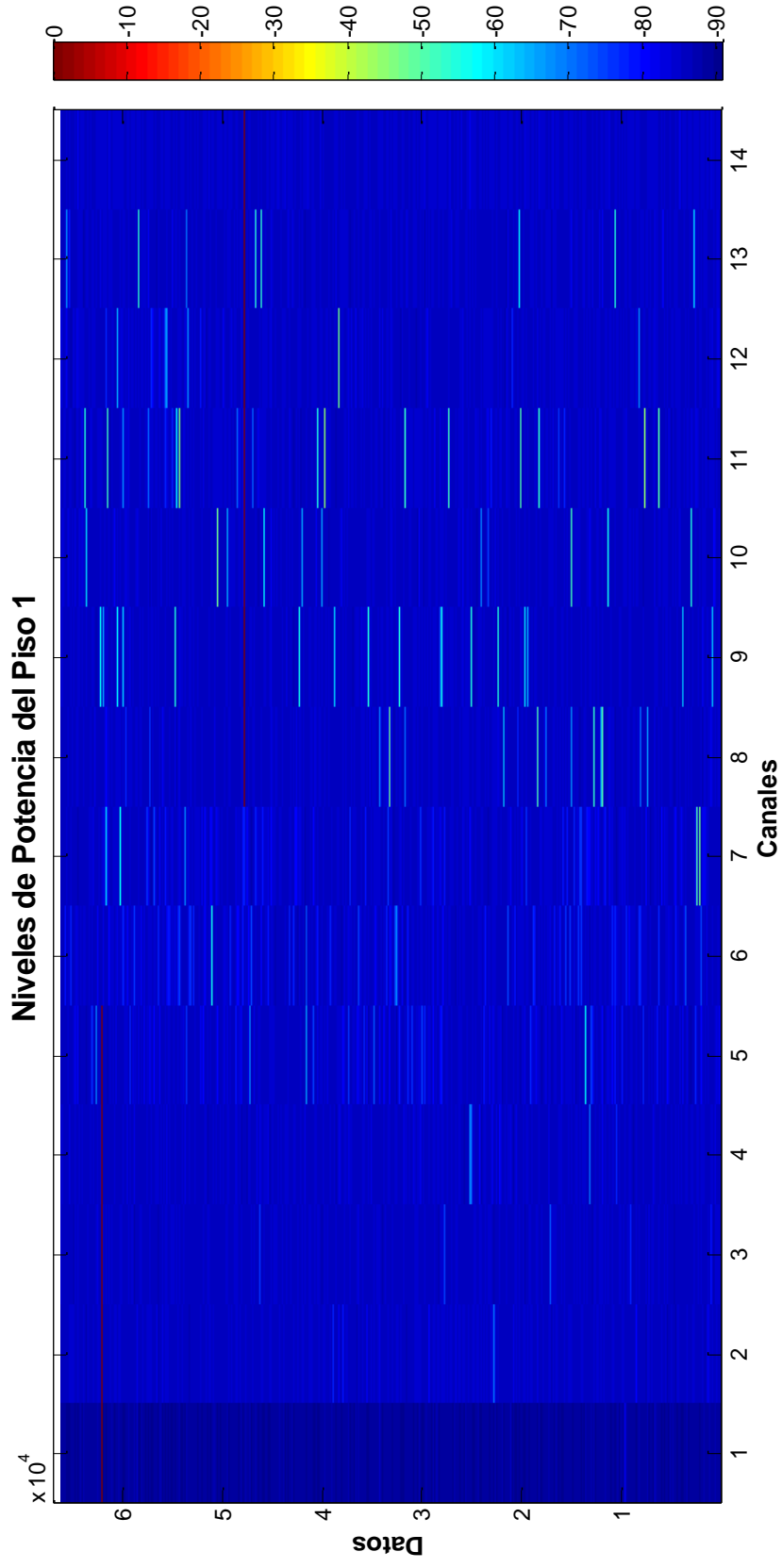


Figura 4.1: Niveles de potencia de los 14 canales de Wi-Fi del primer piso.

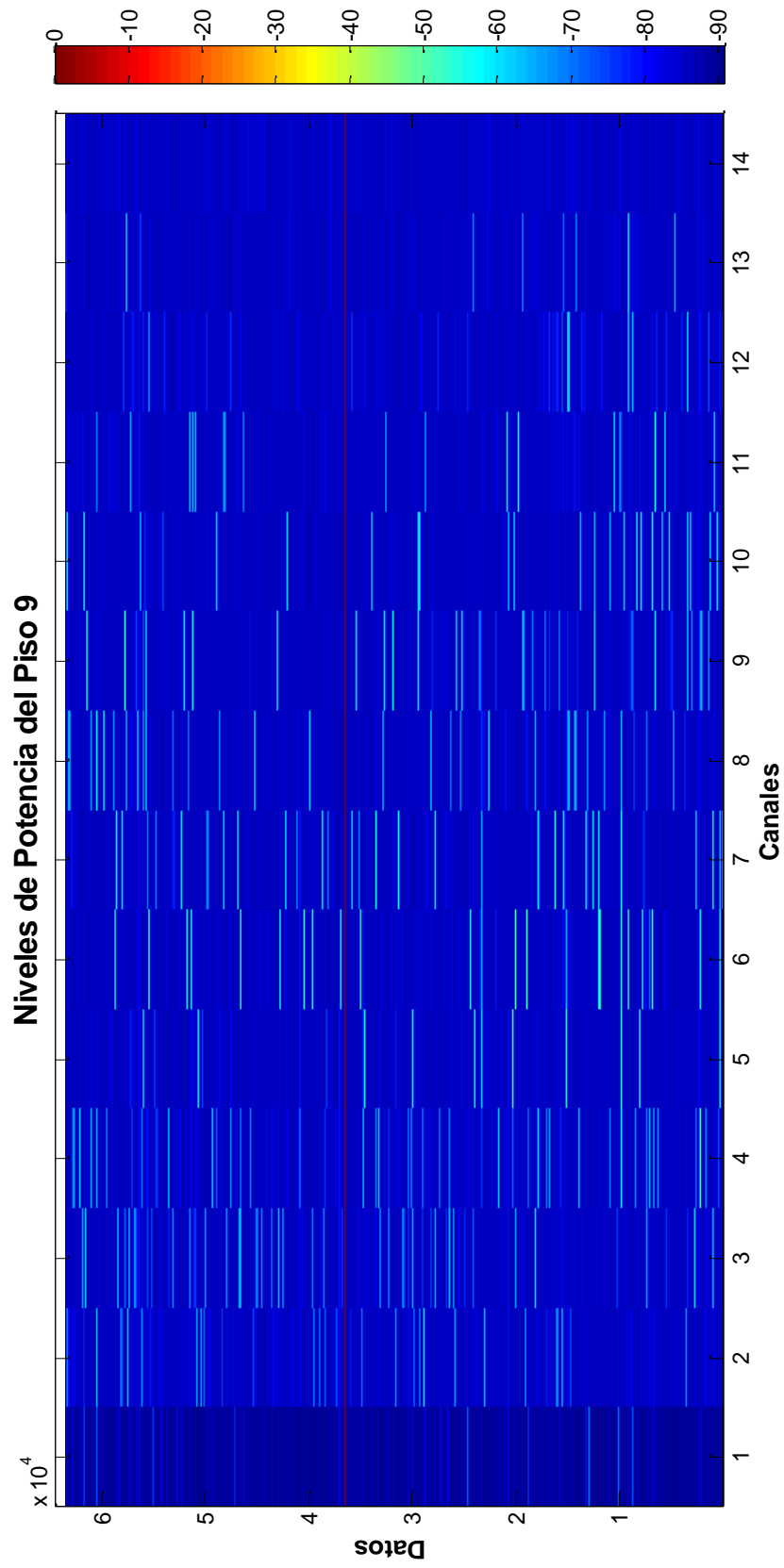


Figura 4.2: Niveles de potencia de los 14 canales de Wi-Fi del noveno piso.



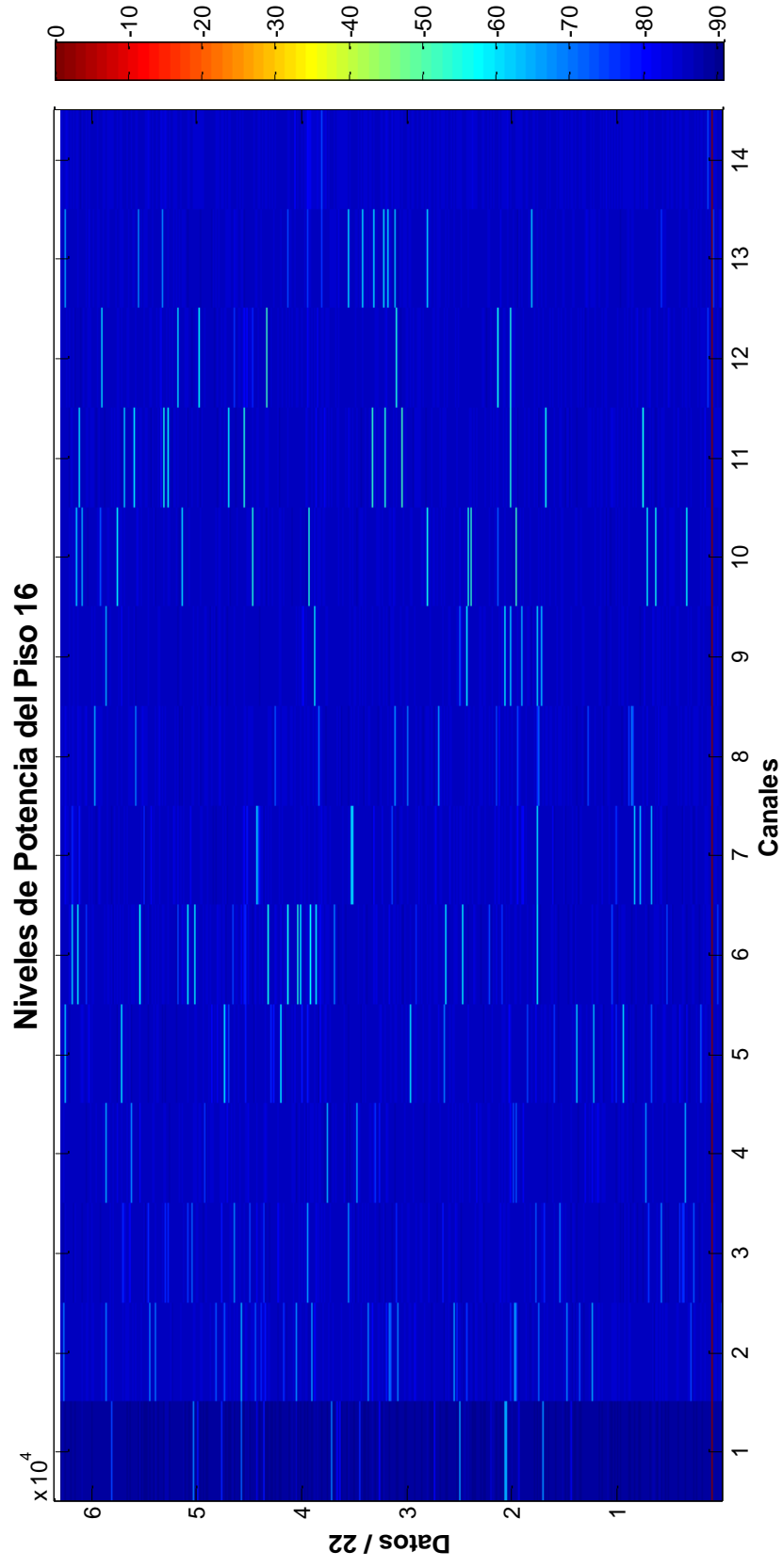


Figura 4.3: Niveles de potencia de los 14 canales de Wi-Fi del dieciseisavo piso.

Para el dieciseisavo piso, los niveles de potencia observados en la figura 4.3 refleja que los canales tienen un uso constante durante cierto periodo, pero luego pasan a ser desocupados por un tiempo igual o mayor reflejado por la tonalidad azul más oscura representado valores muy cercanos alrededor de -88 dBm.

En las figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran la disponibilidad de los canales en el primero, noveno y dieciseisavo piso respectivamente, estas gráficas fueron creadas a partir de una matriz de estados (disponible u ocupado), luego se agrupo los datos de acuerdo al número de muestras (22) para encontrar los promedios de los mismos.

A simple vista, se aprecia en la figura 4.6 que en el dieciseisavo piso existe una gran disponibilidad de los canales de Wi-Fi con respecto a los demás pisos, un motivo se debe a la poca cantidad de usuarios para esta banda con respecto a los demás pisos. Para el canal 1, se observa una disponibilidad casi total de este; así también, ocurre en los otros 2 pisos para este canal. El canal 3 posee una gran variabilidad de los datos ya que se encuentra constantemente cambiando de estado. El canal 2 y el 10 tienen poco uso y son factibles para aplicar el uso de sistemas OSA dentro de este piso.

Para el primer piso, se observa en la figura 4.4 que existe buen uso de algunos canales pero aun así se aprecia una tonalidad roja, indicando disponibilidad en ciertos periodos para todos los canales de este piso. Al canal 3 es al que se le puede sacar un mayor provecho en este piso.

Para realizar el análisis de disponibilidad buscando un modelo predictor usaremos el canal 3, canal 6 y canal 11; ya que estos representan de la mejor manera los escenarios de alta, mediana y baja disponibilidad.

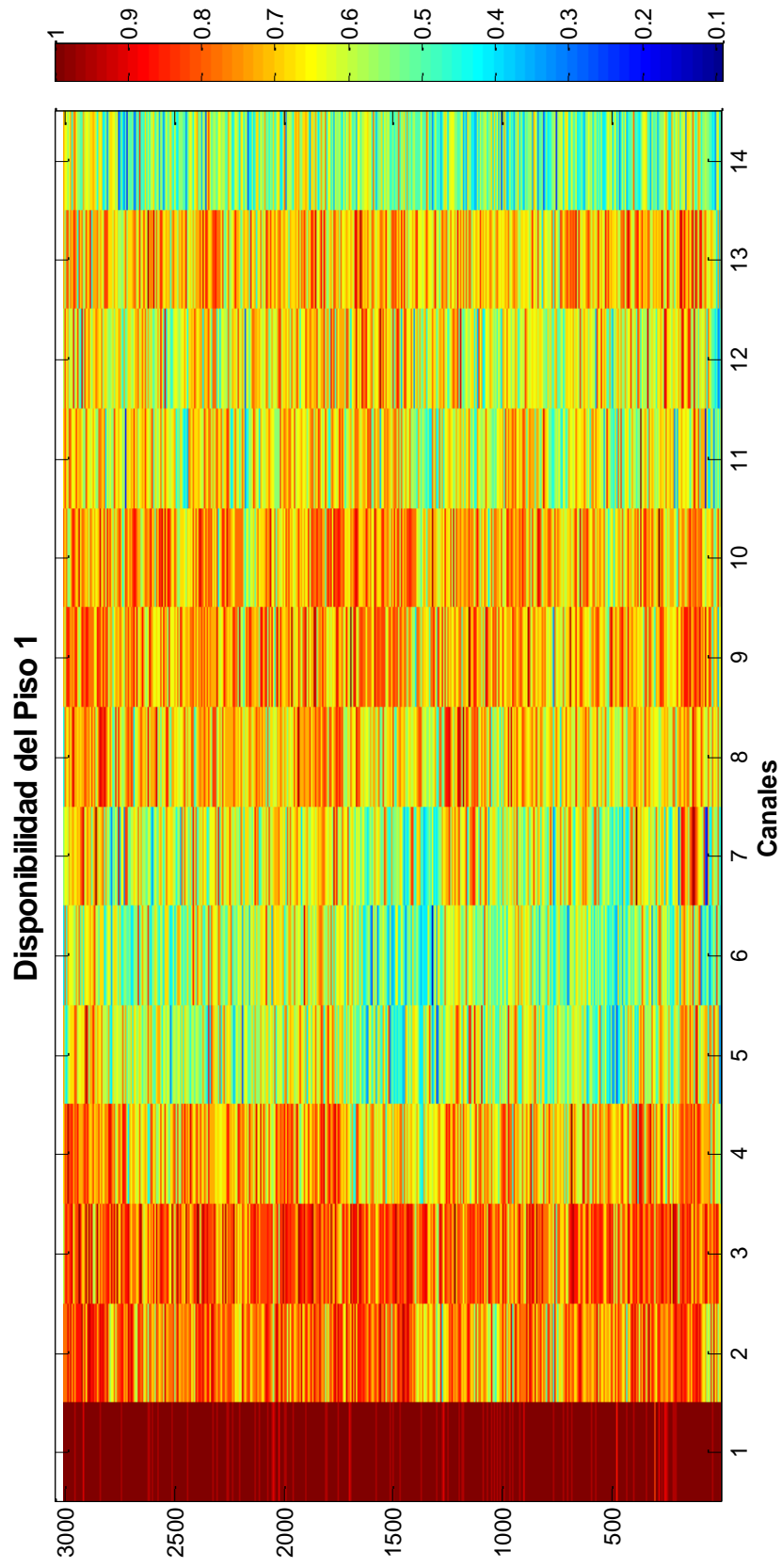


Figura 4.4: Disponibilidad temporal de los canales de Wi-Fi del primer piso.

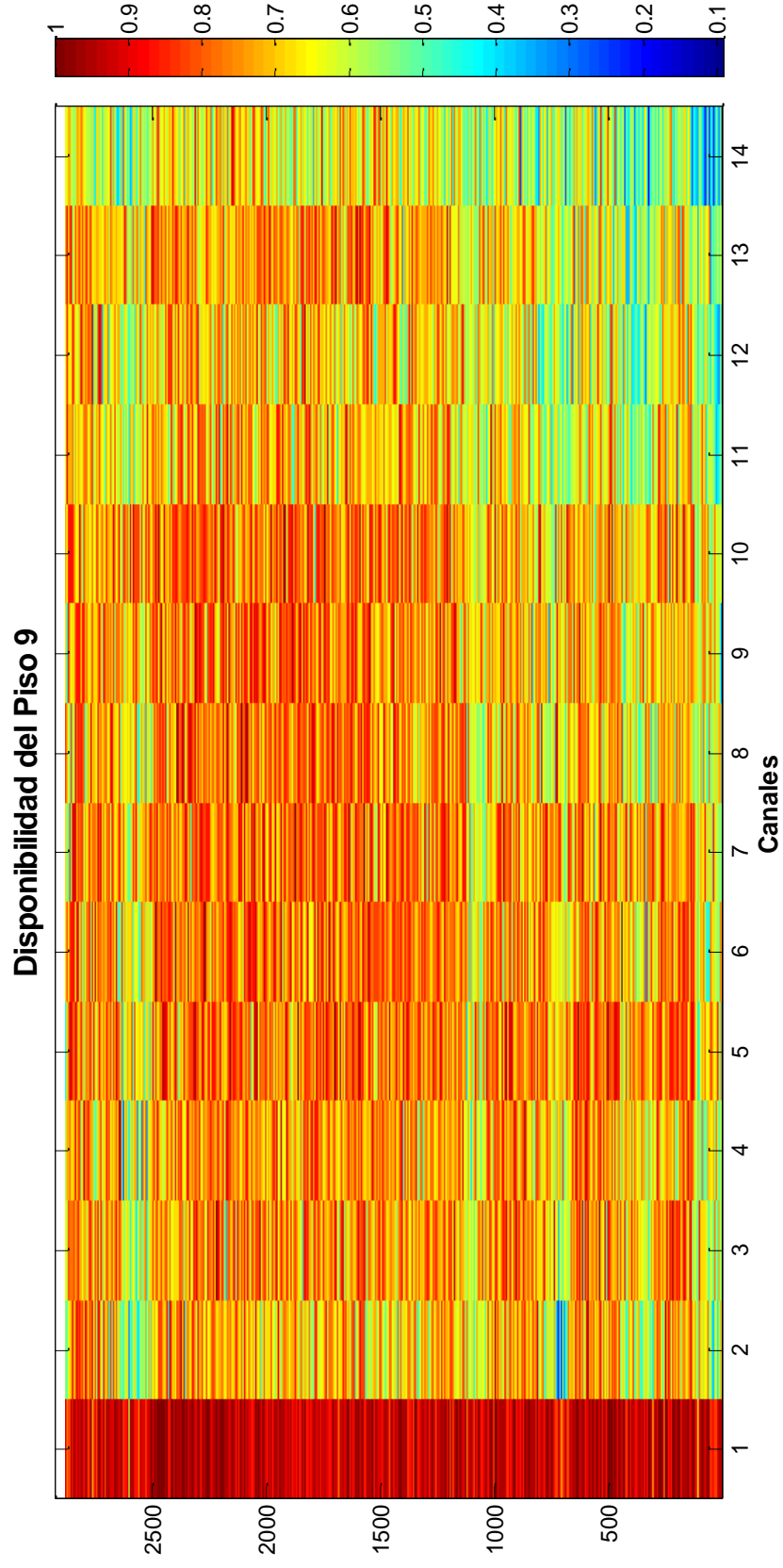


Figura 4.5: Disponibilidad temporal de los canales de Wi-Fi del noveno

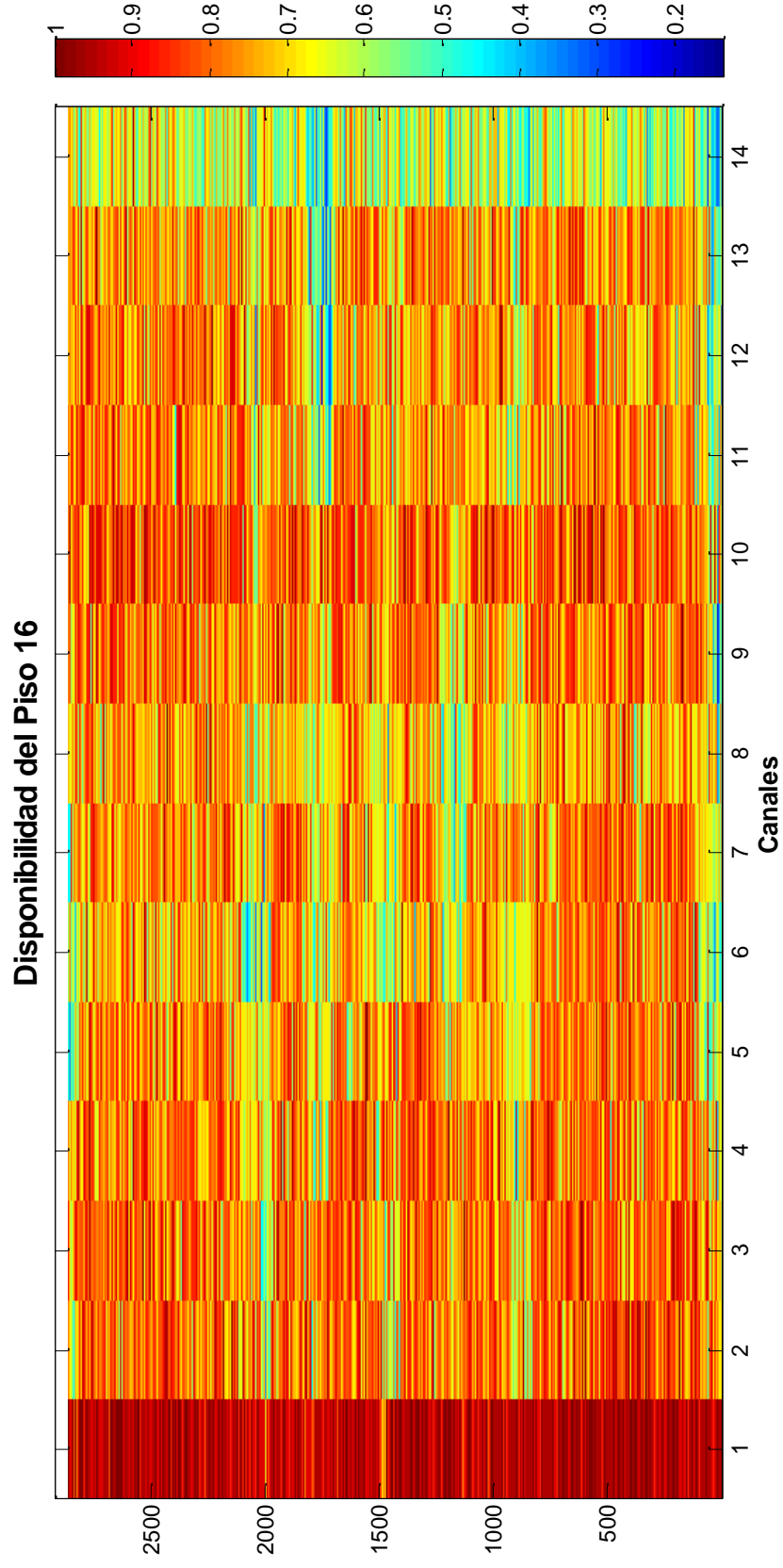


Figura 4.6: Disponibilidad temporal de los canales de Wi-Fi del dieciseisavo piso.

### 4.3 Modelamiento estocástico de los datos

Con lo descrito anteriormente, se procederá a realizar un análisis de los datos para encontrar un modelo probabilístico que se ajuste lo más cercano al comportamiento de los datos tomados.

Por cada piso se contó la disponibilidad de los canales por medio de la matriz de estados representada por 0 y 1, donde 0 significa ocupado y 1 disponible. Por ello se lo realizó en todo el ancho de banda por cada muestra tomada durante los 10 días que duró la medición.

En la figura 4.7 observamos la disponibilidad de los canales por piso, el color azul representa la gráfica de la medición del primer piso, la de color verde representa el noveno piso y la de color rojo representa al dieciseisavo piso.

Comparando las tres gráficas observamos que el dieciseisavo piso posee mayor disponibilidad con respecto a las demás teniendo una media de 10 canales (66 MHz) disponibles pudiendo obtener entre 8 y 12 canales disponibles equivalente 76,76% de probabilidad de ocurrencia, esto equivale entre 56 y 77 MHz disponibles para el uso de sistemas con acceso oportunista OSA.

Para el noveno piso también se dispone de una media de 10 canales correspondiente a 66 MHz disponibles, pero la probabilidad de ocurrencia varía ya que se puede obtener entre 7 y 11 canales disponibles equivalente a 67,34% de probabilidad de ocurrencia, esto equivale a 51 y 71 MHz disponibles.

Para el primer piso se dispone de una media de 9 canales correspondiente a 61 MHz disponibles pudiendo obtener entre 7 y 10 canales libres equivalente a 54,36% de probabilidad de ocurrencia, equivalente a 51 y 66 MHz disponibles.

Si la banda de Wi-Fi transmitiera datos de manera ordenada y continua canal tras canal se aprovecharía un mayor beneficio de esta, pero aún con estas irregularidades y desorden los porcentajes de disponibilidad son efectivos para realizar un buen uso con un modelo estadístico que advirtiera el momento de disponibilidad sin que otros canales o usuarios se vean afectados por el uso en ese instante de canal.

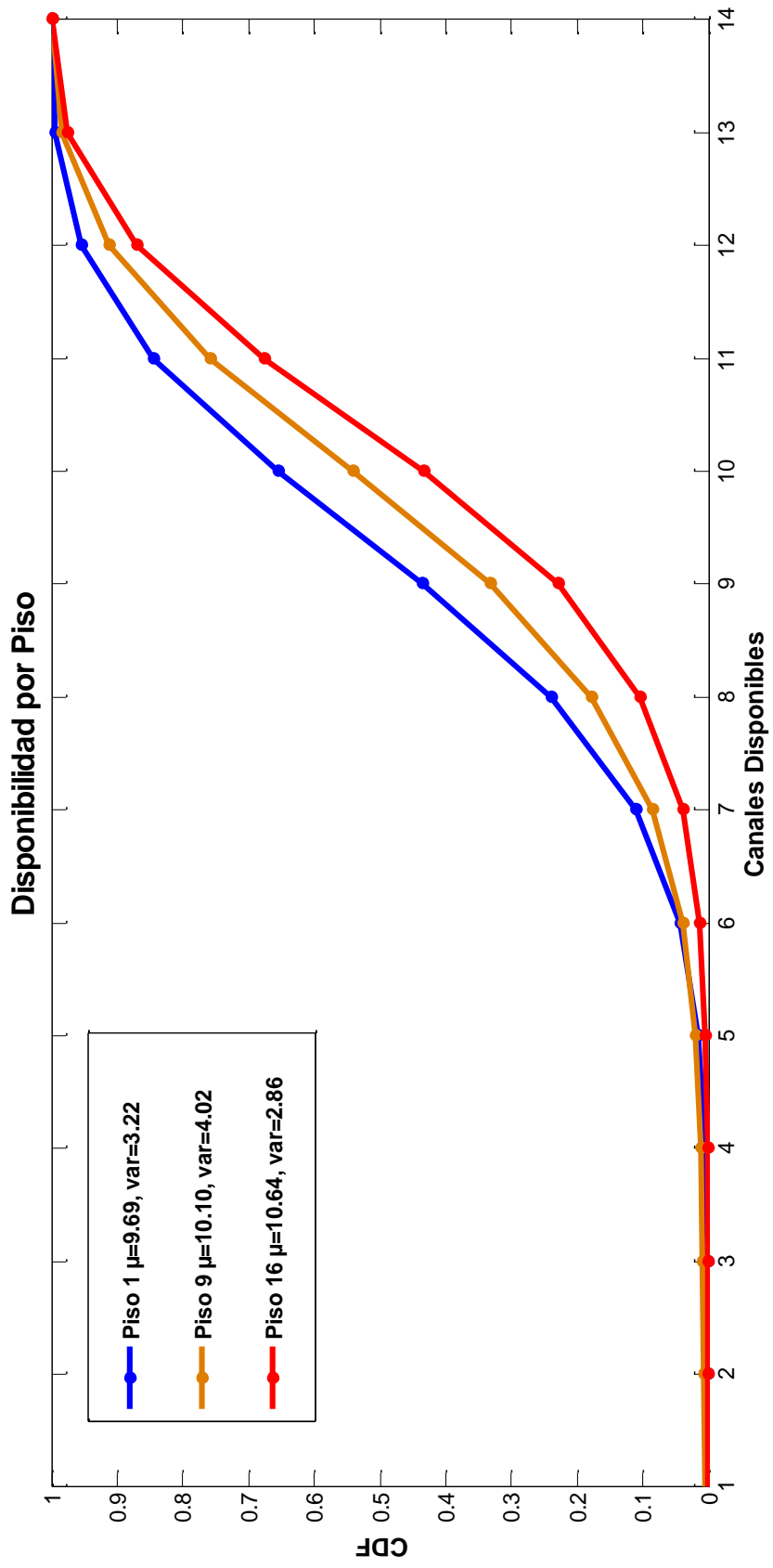


Figura 4.7: Número de canales disponibles por piso al mismo tiempo.

En la figura 4.8 se observa la distribución acumulada del canal 3 en cada piso, este canal posee similar comportamiento tanto en el primer y dieciseisavo piso, cuentan con una disponibilidad del 78%; mientras que en el noveno piso el canal es más usado por los usuarios pero aun así cuenta con una buena disponibilidad del 72%.

La figura 4.9 representa la distribución acumulada del canal 6 en los pisos estudiados, este canal en el noveno y dieciseisavo piso tienen una semejanza en sus gráficas mientras que su disponibilidad son del 71% y 73% respectivamente; estos poseen mayor disponibilidad con respecto al primer piso en donde este canal tiene buen uso por los diferentes dispositivos del área y solo cuenta con un 57% de disponibilidad.

En la figura 4.10 se muestra la distribución acumulada del canal 11, este canal en los tres pisos posee variabilidad en la disponibilidad teniendo en el dieciseisavo piso 75% de disponibilidad el mayor con respecto a los demás pisos. Para el primer piso de menor disponibilidad con un 54,76% mientras que con un 67% de disponibilidad del canal en el noveno piso.

Los porcentajes muestran que los tres canales poseen más del 50% de disponibilidad, esto deja la probabilidad de hacer un uso eficiente de los canales en cada piso. Para esto por medio de la prueba de bondad de ajuste del test de Kolmogórov – Smirnov (Ver Tablas en Anexo) se buscará matemáticamente un modelo estocástico basado en alguna distribución de probabilidades conocida que pueda predecir el comportamiento del uso de estos canales.

Los datos obtenidos durante los días de medición se procedieron a comparar con las distribuciones de probabilidades de la Normal o Gaussiana y de Valores de Extremos Generalizados. De estas dos distribuciones la que mejor similitud tienen con los datos empíricos es la Gaussiana con una media y desviación estándar variable para cada canal en su respectivo piso. Gráficamente los observamos en las figuras 4.11, 4.12 y 4.13 representan cada piso donde se realizó la medición y en cada piso los tres canales elegidos para el estudio, este modelo permite confirmar que se puede representar el comportamiento estadístico de la disponibilidad de un canal en base a esa distribución.



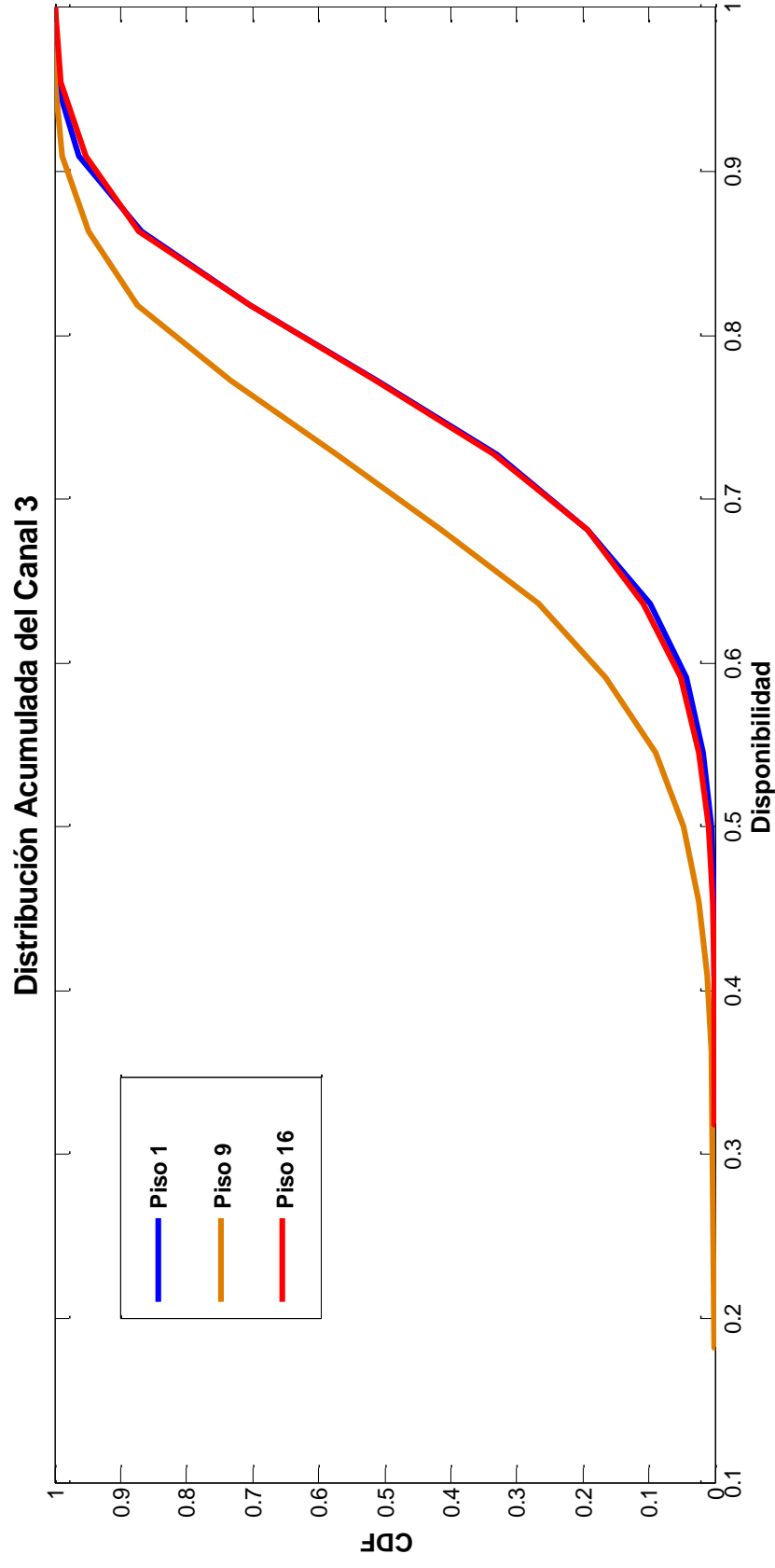


Figura 4. 8: Distribución Acumulada de cada piso del Canal 3.

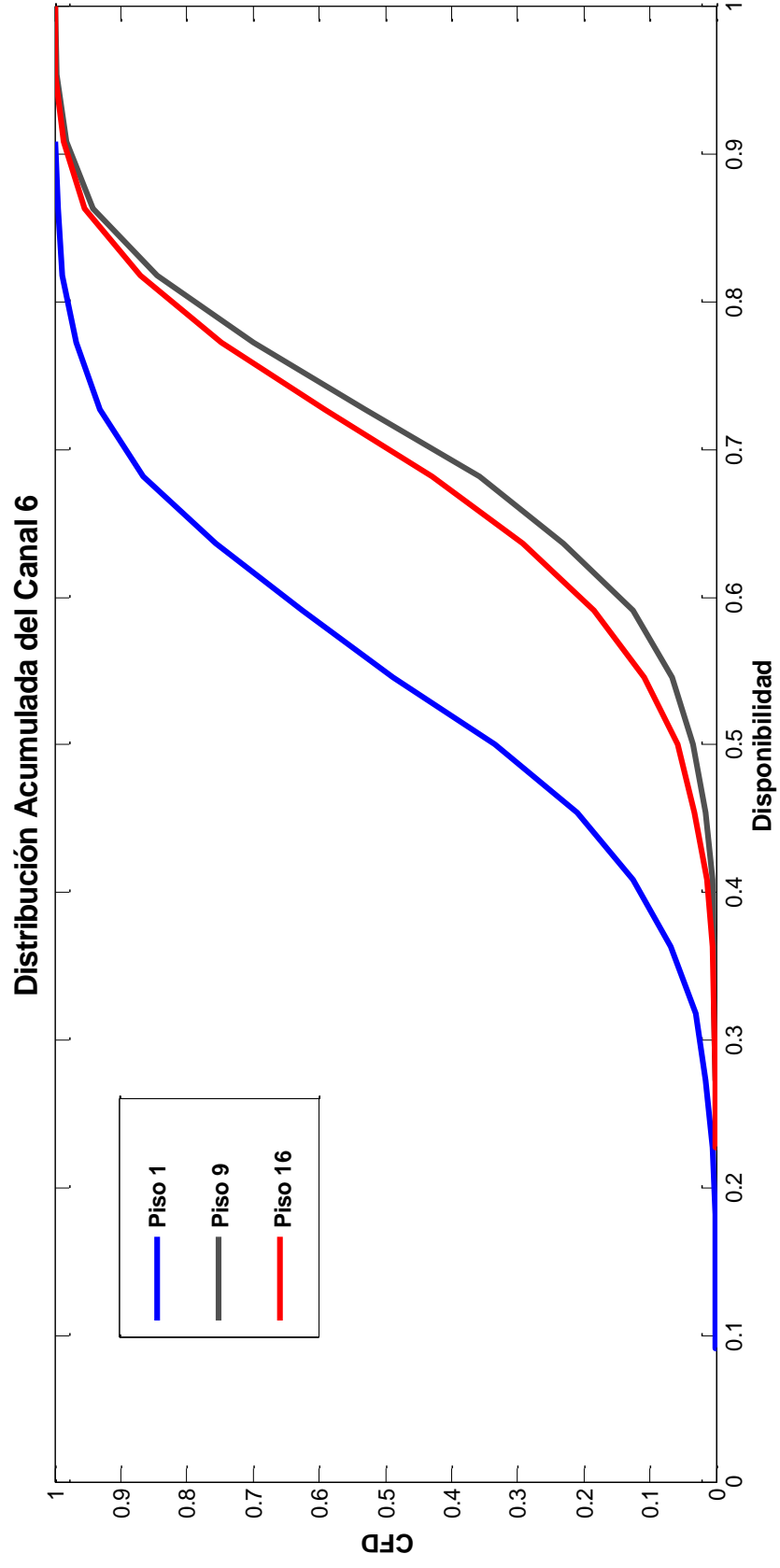


Figura 4. 9: Distribución Acumulada de cada piso del Canal 6.

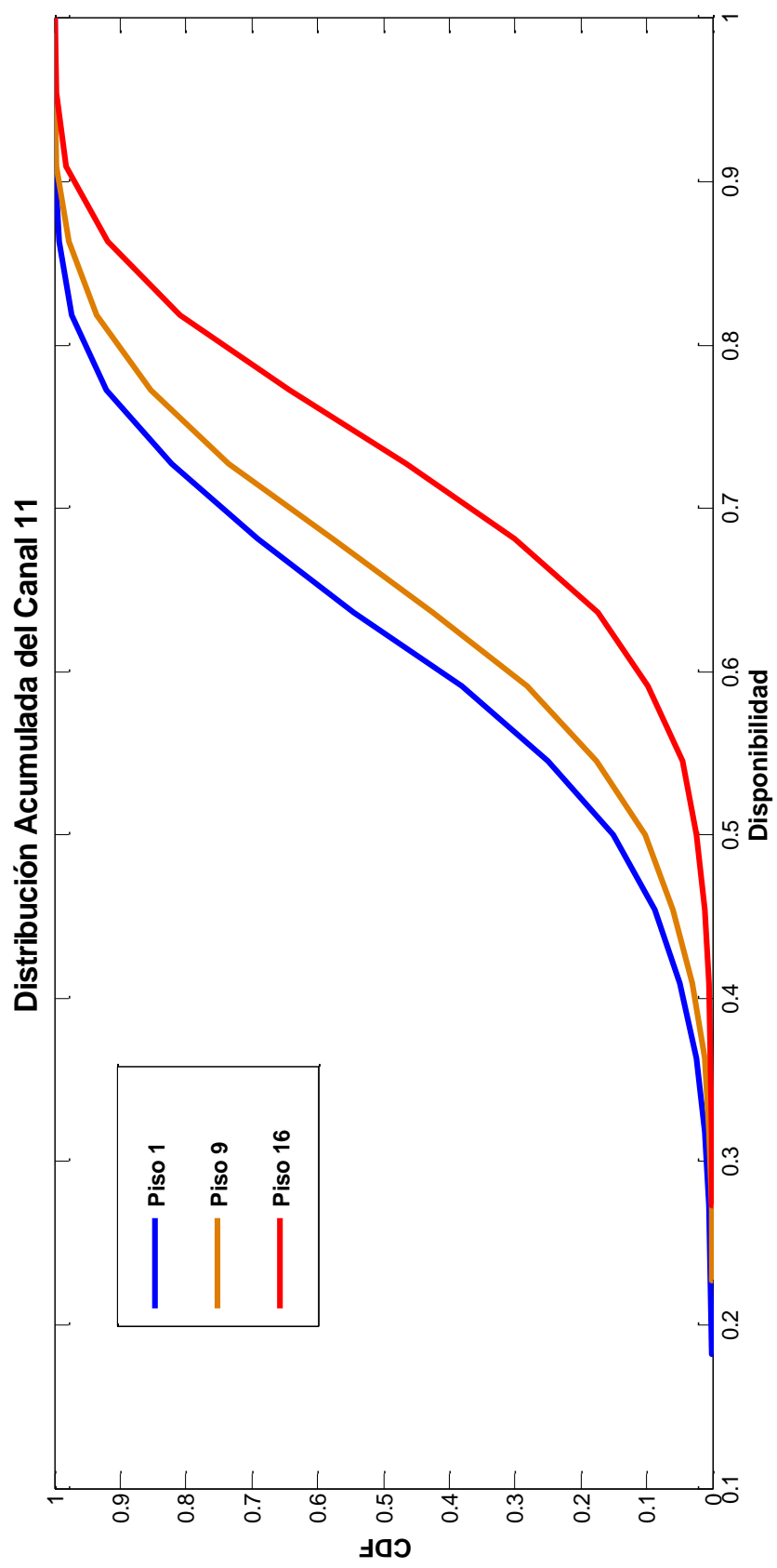


Figura 4. 10: Distribución Acumulada de cada piso del Canal 11.

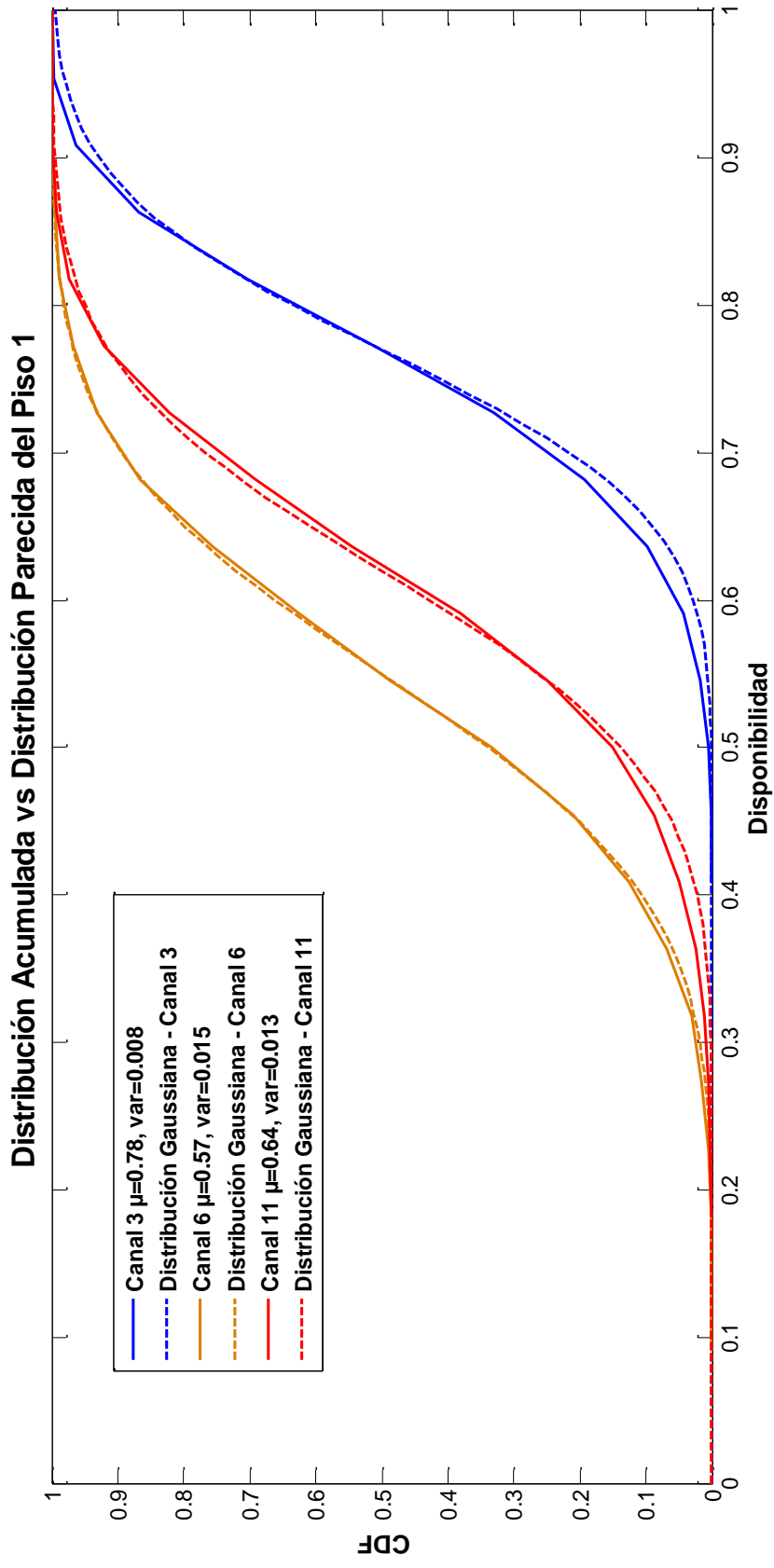


Figura 4. 11: Distribución Acumulada vs Distribución Gaussiana del primer piso.

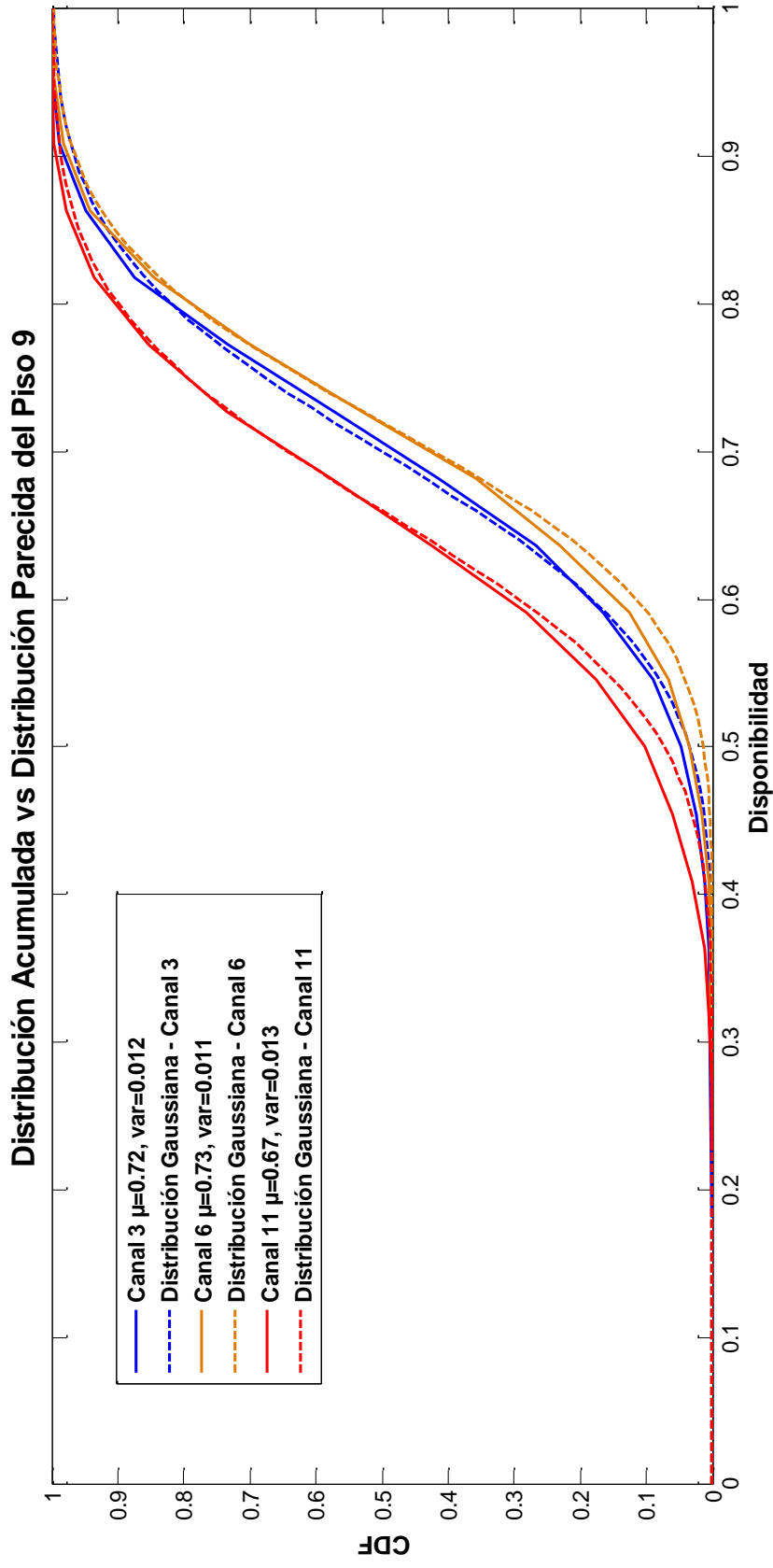


Figura 4. 12: Distribución Acumulada vs Distribución Gaussiana del noveno piso.

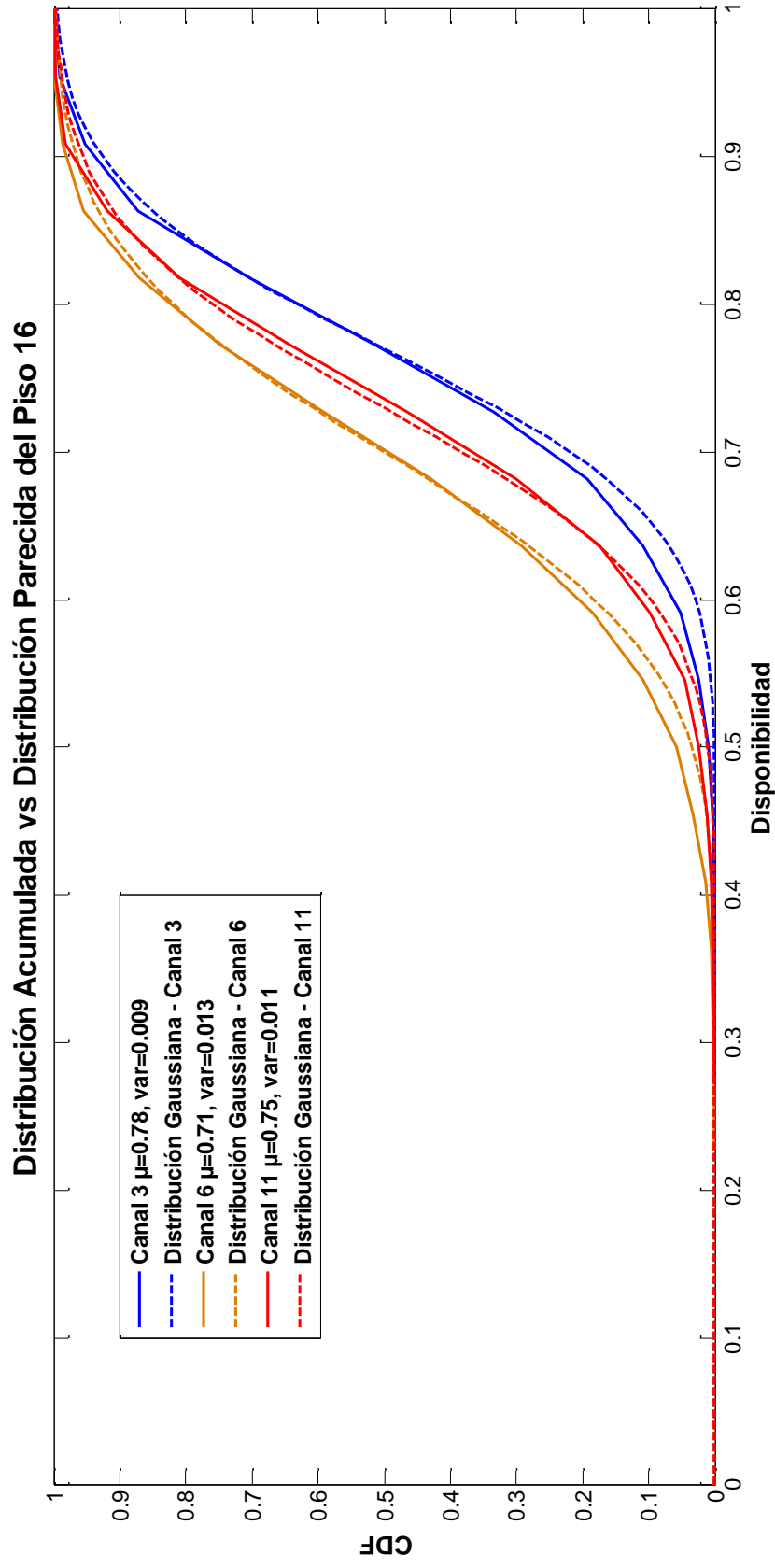


Figura 4. 13: Distribución Acumulada vs Distribución Gaussiana del dieciseisavo piso.

La figura 4.11 representa la disponibilidad de los canales de la planta baja (primer piso) con la respectiva distribución Gaussiana en línea punteada y en línea continua los datos empíricos de cada canal. La CDF del canal 6 de línea sólida de color amarilla con su respectivo modelo de línea segmentada del mismo color tiene una superposición casi perfecta quedando seguros que esta distribución puede predecir el comportamiento de este canal.

Para la gráfica de la planta media (noveno piso) se representa en la figura 4.12 de igual manera los datos empíricos de los canales poseen líneas continuas mientras que los modelos están en líneas segmentadas. En esta figura los modelos para cada canal se ven encimados con poca diferencia entre ellos para ratificar que el modelo escogido es el más preciso para determinar el comportamiento del mismo.

En la figura 4.13 se observa los canales de la planta alta (dieciseisavo piso) representado en líneas continuas los datos empíricos y el modelo en línea segmentada al igual que las figuras anteriores tanto datos como modelos tienen una similitud casi al 100% afirmando los resultados matemáticos de las pruebas K-S.

Al escoger un mismo modelo para el comportamiento estadístico de los canales solo varían los valores de la media y desviación estándar esto haría más sencillo la elaboración de equipos para aplicar los sistemas OSA en este tipo de edificación de la zona.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Al realizar las mediciones se observó que la banda designada para Wi-Fi es una banda desordenada y con buen uso se le puede sacar mayor provecho.
2. Al realizar la medición espectral de la banda ISM de Wi-Fi (2400 – 2484 Mhz) se logró encontrar que existe una disponibilidad promedio de 10 canales equivalente a 66 MHz con un 87% de probabilidad de ocurrencia tendremos un ancho de banda disponible entre 55 y 77 MHz.
3. Por medio de la prueba K-S se pudo comprobar matemáticamente lo que gráficamente se observa, que el mejor modelo de distribución que se acopla es la Gaussiana, pero a su vez se realizó pruebas con la distribución de Valores Extremos Generalizados.
4. Todos los canales escogidos para el estudio tienen una disponibilidad mayor al 50%, que haciendo buen uso de esta frecuencia se le puede sacar mayor provecho siendo una banda no licenciada.
5. El modelo estocástico escogido en base a los datos empíricos se asemejan casi a un 100% pudiendo predecir el comportamiento del canal para el uso de sistemas OSA.
6. Para todos los canales aplicaremos un único modelo solo variando el valor de la media y desviación estándar.

### Recomendaciones

1. En zonas donde el uso de frecuencia de 2400 MHz es muy alta existiendo altas interferencias se puede optar por hacer uso de la frecuencia de 5000 MHz designada para transmisión por Wi-Fi.
2. Hacer uso de combinaciones de los canales que no se solapan entre ellos para un mejor rendimiento en la transmisión de datos en la banda Wi-Fi.
3. Para aumentar la efectividad se puede usar repetidores de Wi-Fi dentro de la edificación los cuales estarán en un único canal y así evitar la creación de varias redes generando interferencia de canales.



## BIBLIOGRAFÍA

[1] ITU (2003, Septiembre). Banda Ancha – Disponibilidad y Acceso [Online]. Disponible en: <https://www.itu.int/osg/spu/spunews/2003/oct-dec/broadband-es.html>

[2] ARCOTEL Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2012

[3] M. McHenry, D. McCloskey, "Spectrum Occupancy Report for New York City," Republican National Convention, New York, Ago, 2015. [http://www.sharedspectrum.com/wp-content/uploads/4\\_NSF\\_NYC\\_Report.pdf](http://www.sharedspectrum.com/wp-content/uploads/4_NSF_NYC_Report.pdf)

[4] Jiantao Xue, Zhiyong Feng, Kai Chen, "Beijing Spectrum Survey for Cognitive Radio Applications," Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2103 IEEE 78th, pp. 1-5, 2013.

ISSN: 1090-3038, doi: 10.1109/VTCFall.2013.6692114

[5] A. Martian, C. Vladeanu, I. Marcu, I. Marghescu, "Evaluation of Spectrum Occupancy in an Urban Environment in a Cognitive Radio Context," International Journal on Advances in Telecommunications, Vol 3 no 3 & 4, 2010

[6] ITU and UNESCO. (2015, September). The State of Broadband 2015: Broadband as a Foundation for Sustainable Development [Online]. Disponible en: <http://www.broadbandcommission.org/Documents/reports/bb-annualreport2015.pdf>

[7] Q. Zhao, S. B.M., "A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing and Networking Perspectives," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), p.p. 1349-1352, Abr 2007.

[8] D. Ospina, A. Ocampo, R. Hincapié, "Aplicación de Esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en Ambientes Inalámbricos Heterogéneos," Revista en Telecomunicaciones e Informática, Vol. 1 No. 1, p.p. 49-71, Jun 2011.

ISSN: 0120-131X

[9] D. Barnes, P. Jansen van Vuuren, B. Maharaj. "Spectrum occupancy investigation: measurements in South Africa." Measurement 46.9, p.p. 3098-3112, 2013.

- [10] M. Wellens, J. Wu, P. Mahonen, "Evaluation of Spectrum occupancy in indoor and outdoor scenario in the context of cognitive radio," Second International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, p.p. 1-8, Ago 2007.
- [11] R. Broderson, A. Wolisz, D. Cabric, S. Mubaraq Mishra, D. Willkomm, "Corvus: A Cognitive Radio Approach for Usage of Virtual Unlicensed Spectrum," University of Berkeley and Universidad de Berlin, Jul 2004.
- [12] A. Petrin, P. Steffes, "Analysis and Comparison of Spectrum Measurements performed in Urban and Rural Areas to Determine the Total Amount of Spectrum Usage," International Symposium on Advanced Radio Technologies, Boulder, USA, p.p. 9-12, Mar 2005,.
- [13] M. Hernández, J. Perez, M. Perez, F. Ramirez, "ASCII-32: Monitoreo de Espacios en Blanco de Televisión en Mérida," [online], Disponible en: [https://www.academia.edu/10933571/Monitoreo\\_de\\_espacios\\_en\\_blanco\\_de\\_televisi%C3%B3n\\_en\\_M%C3%A9rida](https://www.academia.edu/10933571/Monitoreo_de_espacios_en_blanco_de_televisi%C3%B3n_en_M%C3%A9rida)
- [14] A. Galvis, "Acceso Dinámico al Espectro: Estado Actual, Tendencias y Retos," Entre Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367, Año 2 no.4, p.p. 38-57, Ago 2008.
- [15] Q. Zhao, B. Sadler, "A survey of dynamic spectrum access: Signal processing, networking, and regulatory policy", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 24, p.p. 79-89, May 2007.
- [16] I. Akyildiz, W. Lee, M. Vuran, S. Mohanty, "A survey on spectrum management in cognitive radio networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 46, no. 4, p.p. 40-48, 2008.
- [17] R. García, "Análisis y Caracterización de la Ocupación Espectral en Diversos Escenarios Urbanos Exteriores en el Contexto de Redes Cognitive Radio de Acceso Dinámico al Espectro", Tesis de Doctorado. Dept. de Teoría de Señales y Comunicaciones. Barcelona, España, 2009.
- [18] L. Pedraza, F. Forero, I. Páez, "Evaluación de Ocupación del Espectro Radioeléctrico en Bogotá-Colombia", Ingeniería y Ciencia, ISSN: 1794-9165, V Vol. 10, no, 19, p.p. 127-142, Ene 2014.

doi:10.17230/ingciencia.10.19.6

[19] Y. Yang, L. Shi, J. Zander, "On the Capacity of WI-FI in TV White Space with Aggregate Interference Constraint," Cognitive Radio Oriented Networks (CROWNCOM) 2013 8<sup>th</sup> International Conference on. p.p. 123-128, Jul 2013.

doi: 10.1109/CROWNCom.2013.6636805

[20] Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2012, Disponible en: [http://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/07/plan\\_nacional\\_frecuencias\\_2012.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf)

[21] ITU (2011, Septiembre). Manual comprobación Técnica del Espectro [Online]. Disponible en: <http://www.broadbandcommission.org/Documents/reports/bb-annualreport2015.pdf>

ISBN: 92-61-13503-X

[22] Mc. Foster & Co, M. Cave, R. Jones, "Gestión del Espectro Radioeléctrico, Modulo 5, Conjunto de Herramientas para la Reglamentación de las TIC," Spectrum Management, Telecom and Energy Regulatory Management Consultants, Nov 2009, <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/Section.1247.html>

[23] O. Sallent, J. Valenzuela, R. Agustí, "Principios de Comunicaciones Móviles," U Politécnica de Cataluña, Cap. 1 p.p. 37–40, Sep. 2003.

ISBN: 84-8301-715-6

[24] J. Mitola, "Cognitive radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio," Tesis de Doctorado. I. de Tecnología Royal; Suecia, mayo 8 de 2000. 313p.

[25] F. Sanders, B. Ramsey, V. Lawrence, "Broadband spectrum survey at Los Angeles, California," Dept. of Commerce National Telecommunications and Information Administration, Estados Unidos, p.p. 1–105, 1997.

[26] A. Petrin, P. Steffes, "Analysis and comparison of spectrum measurements performed in urban and rural areas to determine the total amount of spectrum usage," Proc. International Symposium on Advanced Radio Technologies (ISART 2005), p.p. 9–12, 2005.

- [27] K. Patil, K. Skouby, A. Chandra, R. Prasad, "Spectrum occupancy statistics in the context of cognitive radio," 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), p.p. 1–5, 2011.
- [28] M. Islam, "Spectrum Survey in Singapore: Occupancy Measurements and Analyses," Proc. 3rd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom 2008), p.p. 1–7, 2008.
- [29] J. Pierre De Vries, Ljiljana Simic, Andreas Achtzehn, Marina Petrova, and Petri Mahonen. The emperor has no problem: Is Wi-Fi spectrum really congested? In TPRC 41: The 41st Research Conference on Communication, Information and Internet Policy, March 2013
- [30] ITU, "Reglamento de las Radiocomunicaciones", edición 2012, disponible en: <http://www.itu.int/en/publications/ITU-R/pages/publications.aspx?parent=R-REG-RR-2012&media=paper>
- [31] Cisco Systems, Enterprise Mobility 4.1 Design Guide, Cisco Validated Design I, Revised: April 13, 2012.  
<http://cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Mobility/emob41dg/eMob4.1.pdf>.
- [32] W. Stallings, "IEEE 802.11: Wireless LANs from a to n", presented at IT Professional, 2004.
- [33] IEEE Computer Society, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std 802.11™-2012, 29 March 2012.
- [34] Chiochan, 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.
- [35] A.Mishra and V. Shrivastava, D. Agrawal, S. Banerjee, and S. Ganguly, "Distributed Channel Management in Uncoordinated Wireless Environments," in Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 170–181, 2006.

- [36] J. Patel and J. W. Chinneck, "Active – Constraint Variable Ordering for Faster Feasibility of Mixed Integer Linear Programs", *Mathematical Programming Series A*, vol. 110, pp. 445 – 474. 2007.
- [37] Novillo, F.; Churchman, M.; Ferrus, R.; Agusti, R., "A channel allocation algorithm for OSA – enable IEEE 802.11 WLANs", *Wireless Communication Systems*, 2009. 6<sup>th</sup> International Symposium on, vol. no., pp. 468 – 472, Sept. 2009.
- [38] Youngseok Lee; Kyoungae Kim; Yanghee Choi, "Optimization of AP placement and channel assignment in wireless LANs," *Local Computer Networks*, 2002. Proceedings. LCN 2002. 27<sup>th</sup> Annual IEEE Conference on, vol., no., pp. 831- 836, 6- 8 Nov. 2002.
- [39] 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.
- [40] K. I. Aardal, S. P. M. van Hoesel, A. M. C. A. Koster, C. Mannino, and A. Sassano, "Models and solution techniques for frequency assignment problems," *Annals of Operations Research*, vol. 153, no. 1, pp. 79-129, 2007.
- [41] Audhya, G. K.; Sinha, K.; Ghosh, S. C. & Sinha, B. P. A survey on the channel assignment problem in wireless networks *Wireless Communications and Mobile Computing*, John Wiley & Sons, Ltd., 2010.
- [42] Carr, J., "RF Componets and Circuits" Newnes, First Edition 2002. [http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9780080498072\\_sample\\_792934.pdf](http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9780080498072_sample_792934.pdf)
- [43] P. Jara, P. Nazar, "Estándar IEEE 802.11 X de las WLAN," Dept. de Ingeniería en Sistemas de Información, Univ. Tecnológica Nacional, 2009
- [44] IEEE Std 802.11™, 2007 Edition, IEEE Standard for Information Technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements

[45] David Callisch, "Lidiando con el problema más grande de Wi-Fi: La interferencia", CIO PERU, Art: 5005, Ago. 2010

[46] Roberto Guevara, "Cuantificación experimental de la interferencia entre redes WIFI causada por el solapamiento de canales," Cuaderno Activa, ISSN 2027-8101. 5, No. 5, pp. 23-29, Jul. 2013.

[47] B. Collins, J. Bray, N. Kobie (2011, Diciembre). How to Keep your home WI-FI running fast [Online]. Disponible en:  
<http://www.pcauthority.com.au/Feature/282025,how-to-keep-your-home-wi-fi-running-fast.aspx/5>

[48] F. Weidling, D. Datla, V. Petty, P. Krishnan, J. Minden, "A framework for R.F. Spectrum Measurements and Analysis," First IEEE International Symposium on New Frontiers in Access Networks, pp. 573-576, 2005. DySpan 2005.

ISBN 1-4244-0013-9,

[49] A. I. Rosales, "Análisis Estadístico de valores extremos y aplicaciones," Departamento de Estadística e Investigación., Granada, España, Oct, 2011.

## ANEXOS

### ABREVIATURAS

AP:	Access Point
CR:	Radio Cognitiva
DSA:	Acceso Dinámico al Espectro
DSSS:	Direct Sequence Spread Spectrum
ETSI:	European Telecommunications Standards Institute
FCC:	Federal Communications Commission
FHSS:	Frequency Hopping Spread Spectrum
GSM:	Global System for Mobile Communications
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM:	Industrial, Scientific and Medical
OSA:	Acceso oportunista al espectro
PLE:	Programación Lineal Entera
RSSI:	Received Signal Strength Indicator
UHF:	Ultra High Frequency
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
USRP:	Universal Serial Radio Peripheral
VHF:	Very High Frequency
WLAN:	Wireless Local area Network
WS:	White Space

### Función sacar promedio

```

clc
clc
MatrizPromEP1=[];
contador1=0;
contador2=0;

for columna=1:1:14
    for fila=1:1:66264
        contador1=contador1+1;
        if(MatrizEP1(fila,columna)==1)
            contador2=contador2+1;
        end

        if(contador1 == 22)
            contador1=0;
            MatrizPromEP1(fila/22,columna) = contador2/22;
            contador2=0;
        end
    end
end
end

```

### Grabar.vi

new file path (Not A Path if cancelled)

Magnitud

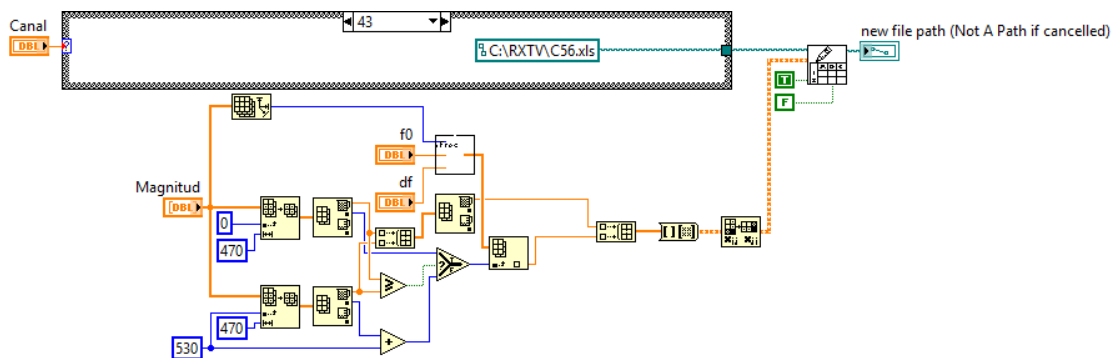
f0

df

Canal

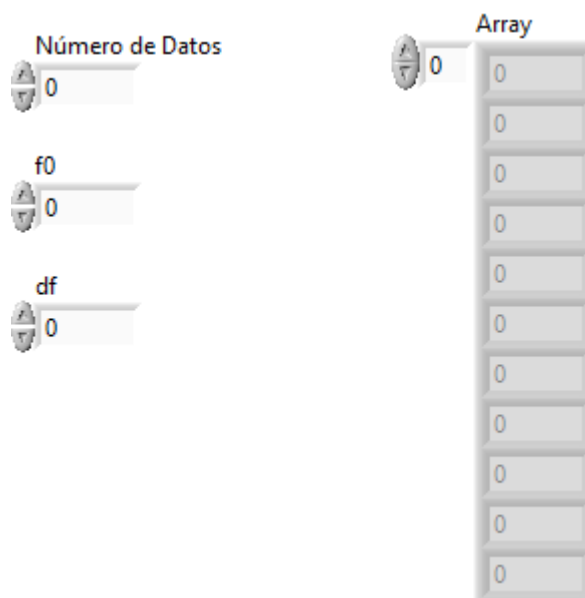
**Anexo 1: Panel frontal de Grabar.vi**



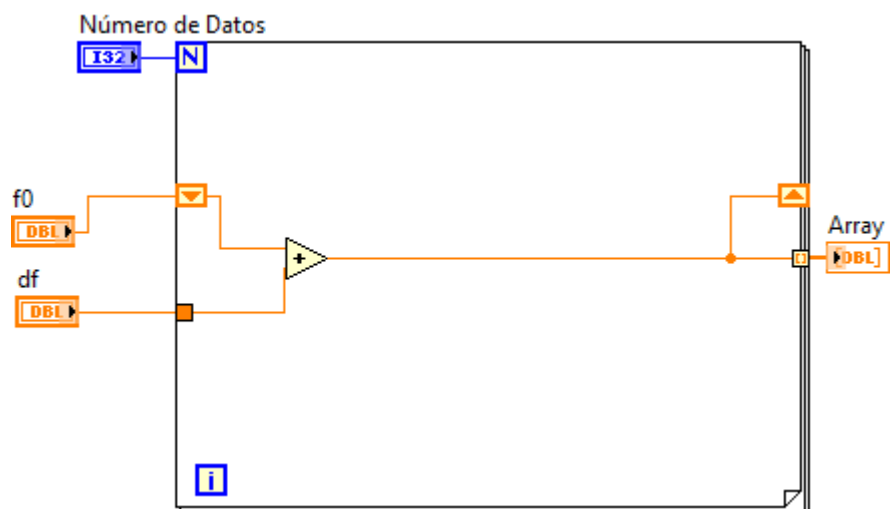


Anexo 2: Diagrama de bloques de Grabar.vi

### Generar frecuencia.vi

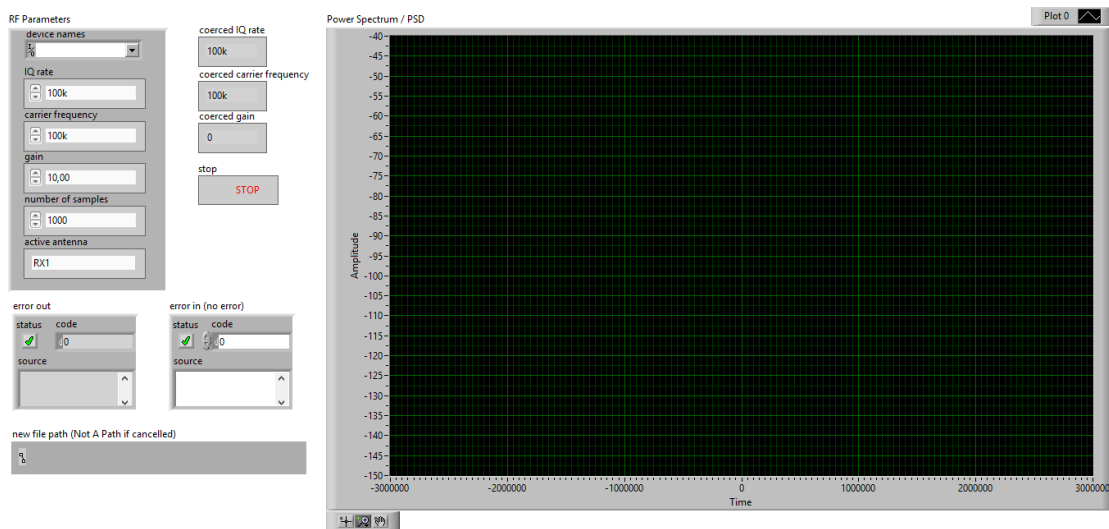


Anexo 3: Panel frontal de Gen\_Frec.vi

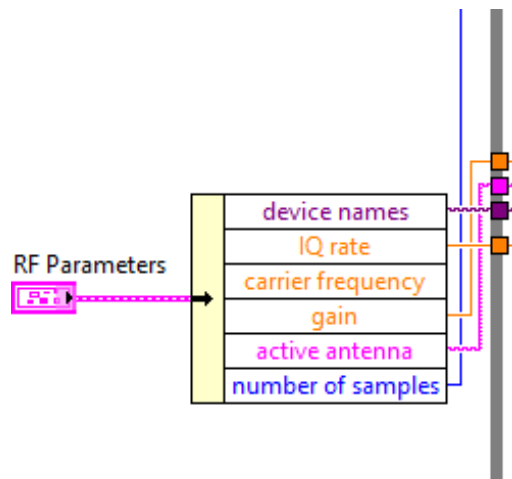
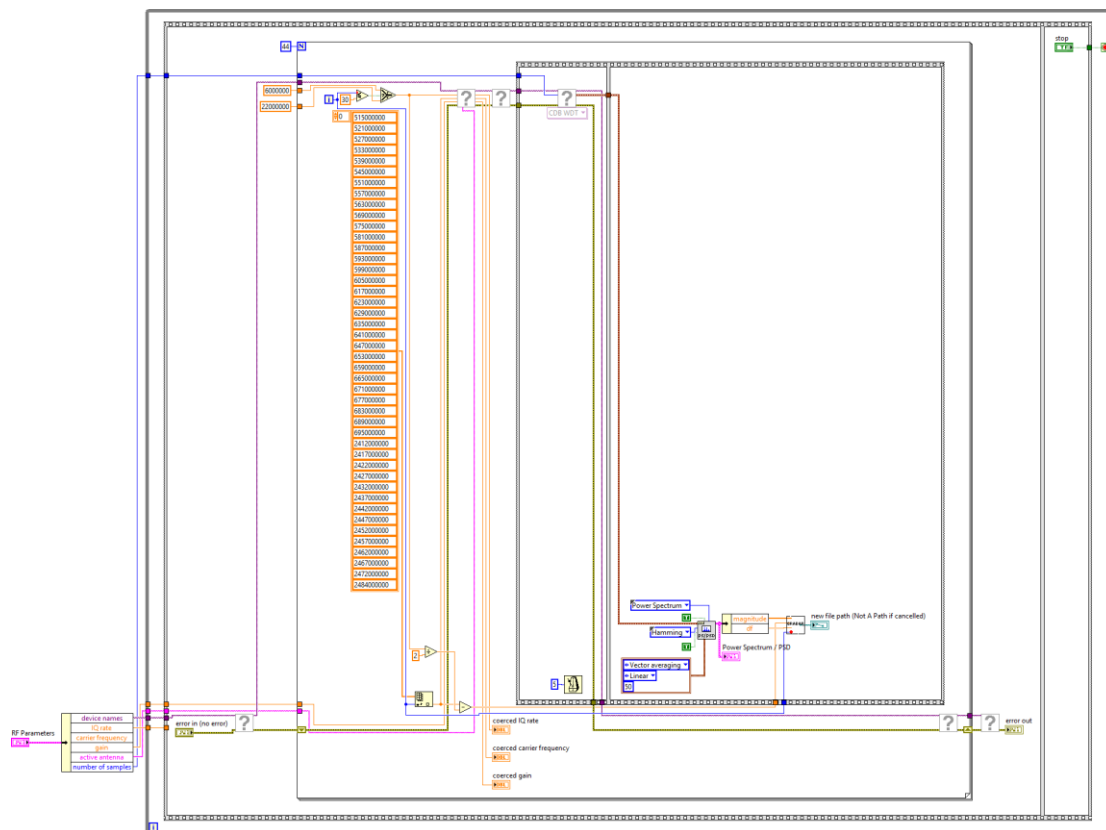


Anexo 4: Diagrama de bloques de Gen\_Frec.vi

## RX.vi



Anexo 5: Panel frontal de Rx.vi



Anexo 6: Diagrama de bloques de Rx.vi

Canal	Media	Desviación Estándar	D <sub>n</sub>	Estado de Test K-S
1	0,991	0,022	0,0068	ACEPTADO
2	0,762	0,099	0,0579	ACEPTADO
3	0,785	0,093	0,0561	ACEPTADO
4	0,704	0,104	0,0632	ACEPTADO
5	0,601	0,118	0,0812	ACEPTADO
6	0,572	0,123	0,0891	ACEPTADO
7	0,624	0,120	0,0856	ACEPTADO
8	0,695	0,105	0,0645	ACEPTADO
9	0,720	0,102	0,0611	ACEPTADO
10	0,715	0,102	0,0611	ACEPTADO
11	0,641	0,118	0,0812	ACEPTADO
12	0,651	0,111	0,0769	ACEPTADO
13	0,697	0,101	0,0601	ACEPTADO
14	0,540	0,112	0,0778	ACEPTADO

**Anexo 7: Prueba de Kolmogórov – Smirnov para el primer piso**

Canal	Media	Desviación Estándar	D <sub>n</sub>	Estado de Test K-S
1	0,926	0,063	0,0067	ACEPTADO
2	0,685	0,119	0,0986	ACEPTADO
3	0,721	0,111	0,0867	ACEPTADO
4	0,715	0,110	0,0865	ACEPTADO
5	0,751	0,103	0,0812	ACEPTADO
6	0,734	0,107	0,0832	ACEPTADO
7	0,748	0,103	0,0812	ACEPTADO
8	0,722	0,110	0,0865	ACEPTADO
9	0,736	0,108	0,0836	ACEPTADO
10	0,747	0,105	0,0839	ACEPTADO
11	0,674	0,117	0,0978	ACEPTADO
12	0,653	0,123	0,0997	ACEPTADO
13	0,690	0,117	0,0978	ACEPTADO
14	0,604	0,124	0,0998	ACEPTADO

**Anexo 8: Prueba de Kolmogórov – Smirnov para el noveno piso**

Canal	Media	Desviación Estándar	D <sub>n</sub>	Estado de Test K-S
1	0,945	0,055	0,0025	ACEPTADO
2	0,782	0,099	0,0155	ACEPTADO
3	0,784	0,097	0,0143	ACEPTADO
4	0,774	0,101	0,0716	ACEPTADO
5	0,755	0,105	0,0856	ACEPTADO
6	0,715	0,115	0,0967	ACEPTADO
7	0,756	0,104	0,0812	ACEPTADO
8	0,718	0,106	0,0878	ACEPTADO
9	0,770	0,105	0,0856	ACEPTADO
10	0,804	0,096	0,0140	ACEPTADO
11	0,751	0,104	0,0812	ACEPTADO
12	0,742	0,110	0,0922	ACEPTADO
13	0,746	0,108	0,0898	ACEPTADO
14	0,609	0,112	0,0945	ACEPTADO

**Anexo 9: Prueba de Kolmogórov – Smirnov para el dieciseisavo piso**

## Anexo 10: Datasheet USRP N200-N210



### featuRes:

- Use with GNU Radio, LabVIEW™ and Simulink™
- Modular Architecture: DC-6 GHz
- Dual 100 MS/s, 14-bit ADC
- Dual 400 MS/s, 16-bit DAC
- DDC/DUC with 25 mHz Resolution
- Up to 50 MS/s Gigabit Ethernet Streaming
- Fully-Coherent MIMO Capability
- Gigabit Ethernet Interface to Host
- 2 Gbps Expansion Interface
- Spartan 3A-DSP 1800 FPGA (N200)
- Spartan 3A-DSP 3400 FPGA (N210)
- 1 MB High-Speed SRAM
- Auxiliary Analog and Digital I/O
- 2.5 ppm TCXO Frequency Reference
- 0.01 ppm w/ GPSDO Option

### n200/n210 pRoduct oveRview:

The Ettus Research™ USRP™ N200 and N210 are the highest performing class of hardware of the USRP™ (Universal Software Radio Peripheral) family of products, which enables engineers to rapidly design and implement powerful, flexible software radio systems. The N200 and N210 hardware is ideally suited for applications requiring high RF performance and great bandwidth. Such applications include physical layer prototyping, dynamic spectrum access and cognitive radio, spectrum monitoring, record and playback, and even networked sensor deployment.

The Networked Series products offers MIMO capability with high bandwidth and dynamic range. The Gigabit Ethernet interface serves as the connection between the N200/N210 and the host computer. This enables the user to realize 50 MS/s of real-time bandwidth in the receive and transmit directions, simultaneously (full duplex).

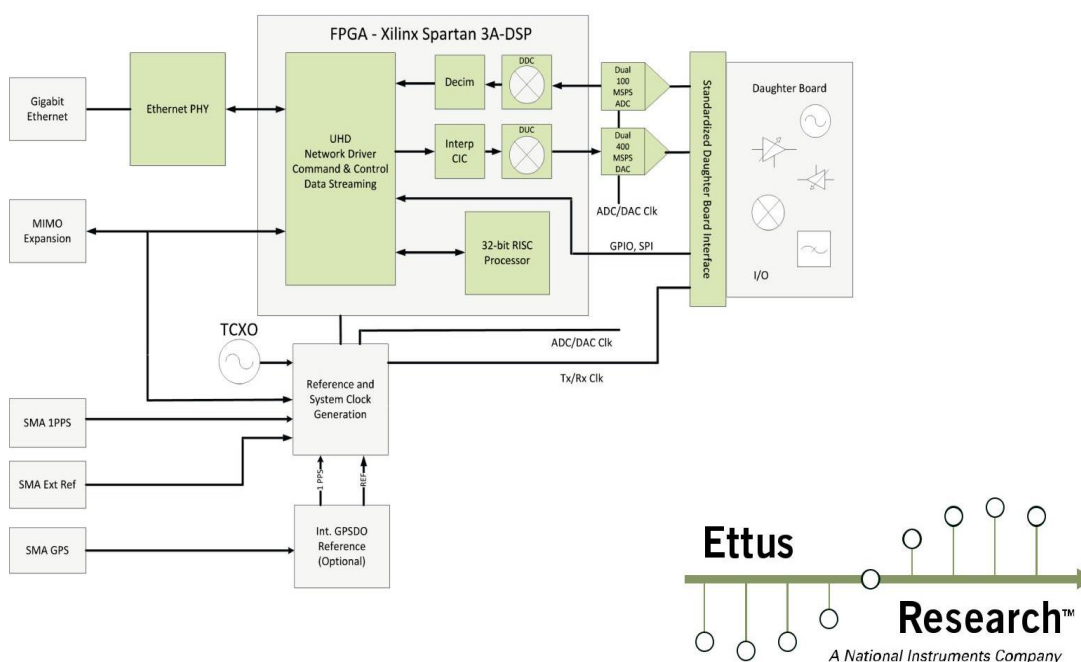
The Networked Series MIMO connection is located on the front panel of each unit. Two Networked Series units may be connected to realize a complete 2x2 MIMO configuration using the optional MIMO cable. External PPS and reference inputs can also be used to create larger multi-channel systems. The N200 and N210 are largely the same, except that the N210 features a larger FPGA for customers that intend to integrate custom FPGA functionality.

The USRP Hardware Driver™ is the official driver for all Ettus Research products. The USRP Hardware Driver supports Linux, Mac OSX, Windows.

## Specifications

Spec	Typ.	Unit	Spec	Typ.	Unit
<b>Power</b>			<b>RF Performance (w/ WBX)</b>		
DC Input	6	V	SSB/LO Suppression	35/50	dBc
Current Consumption	1.3	A	Phase Noise (1.8 GHz)		
w/ WBX Daughterboard	2.3	A	10 kHz	-80	dBc/Hz
<b>Conversion Performance and Clocks</b>			100 kHz	-100	dBc/Hz
ADC Sample Rate	100	MS/s	1 MHz	-137	dBc/Hz
ADC Resolution	14	bits	Power Output	15	dBm
ADC Wideband SFDR	88	dBc	IIP3	0	dBm
DAC Sample Rate	400	MS/s	Receive Noise Figure	5	dB
DAC Resolution	16	bits	<b>Physical</b>		
DAC Wideband SFDR	80	dBc	Operating Temperature	0 to 55°	C
Host Sample Rate (8b/16b)	50/25	MS/s	Dimensions (l x w x h)	22 x 16 x 5	cm
Frequency Accuracy	2.5	ppm	Weight	1.2	kg
w/ GPSDO Reference	0.01	ppm			

\* All specifications are subject to change without notice.



### About Ettus Research:

Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research products maintain support from a variety of software frameworks, including GNU Radio. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2004 and is based in Mountain View, California. As of 2010,



## Anexo 11: Manual Antena Modelo SD 3000 U/N

# Model SD 3000 U/N

Wide-band Base Station Antenna

## DESCRIPTION

Wide-band disccone antenna working on 300-3000 MHz in reception and on many amateur frequencies in transmission (70cm, 33cm, 23cm, 13cm). It is made of stainless steel, chromed brass and anodized aluminium to guarantee the best efficiency and performance. Easy to fit, it can be suitable for the installation everywhere. Two versions are available: SD 3000 U with UHF-female connection, and SD 3000 N with "N" female connection.

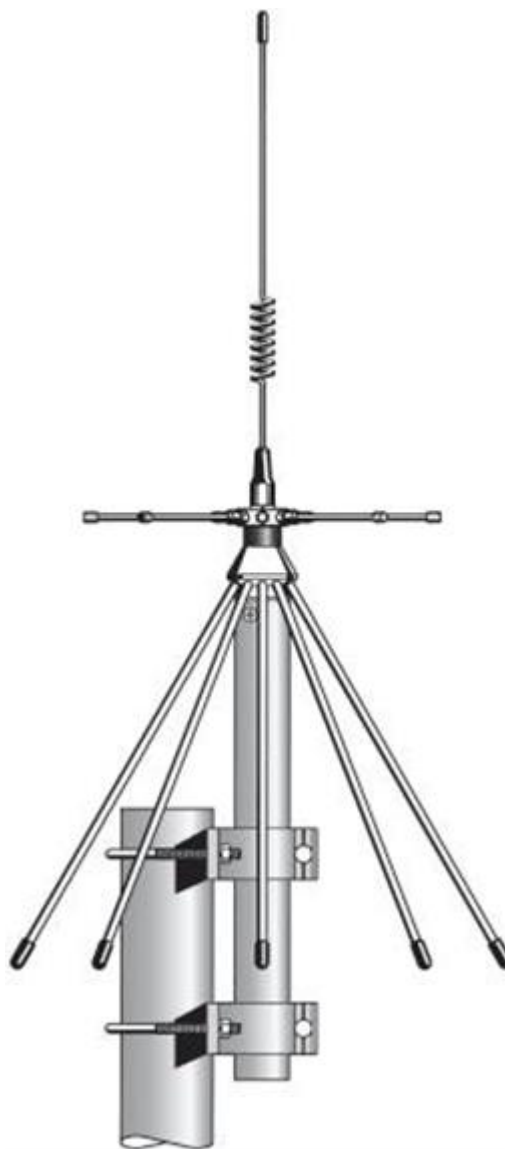
## SPECIFICATIONS

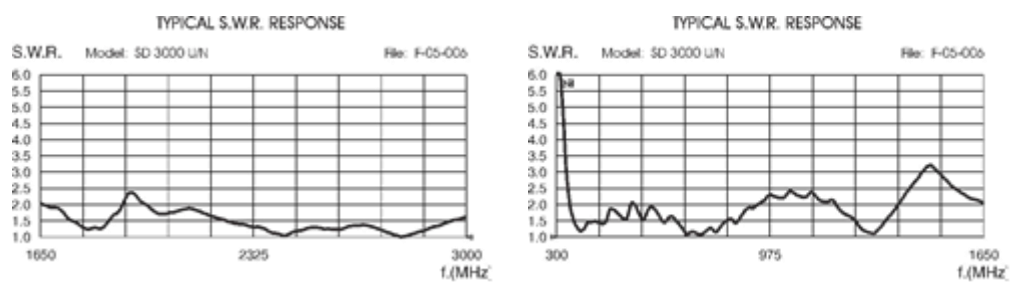
### Electrical Data

Type	:	Disccone
Frequency Range (RX band)	:	300-3000 MHz
(TX band) at VSWR ≤ 2:1	:	340...535; 545...960; 1180...1380; 1660...1910; 1980...3000 MHz
Impedance	:	50 Ω Unbalanced
Radiation (H-plane)	:	360° Omnidirectional
Polarization	:	Vertical
Gain	:	0 dBd - 2.2 dBi
Max Power	:	200 Watts
Feed System / Position	:	Direct / Center
Connection	:	SD 3000 N = N-Female SD 3000 U = UHF-Female

### Mechanical Data

Materials	:	Aluminium, Chromed Brass, Stainless steel, Nylon
Wind Load / Resistance	:	32 N at 150 Km/h / 150 Km/h
Wind Surface	:	0.03 m <sup>2</sup>
Height (approx.)	:	725 mm
Weight (approx.)	:	830 gr
Mounting Mast	:	∅ 25-54 mm





## MOUNTING INSTRUCTIONS

