



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DE LOS
CANALES DE LA BANDA GSM 850 DE UNA OPERADORA EN UN
EDIFICIO UBICADO EN LA ZONA CÉNTRICA DE GUAYAQUIL”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**FRANKLIN WILLIAM REVELO HERAS
DANIEL FRANCISCO CHÁVEZ CARTAGENA**

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

GÓMEZ PONCE JORGE, M.Sc.

PROFESOR EVALUADOR

VALDIVIESO ARMENDARIZ CARLOS, M.Sc.

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"

.....
REVELO HERAS FRANKLIN

.....
CHÁVEZ CARTAGENA DANIEL

RESUMEN

Dada la creciente demanda del uso del espectro radioeléctrico en distintas bandas, se prevé la saturación de varios sistemas de telecomunicaciones, siendo uno de ellos los utilizados para la comunicación celular, tanto de voz como de datos.

El estudio realizado en este trabajo tuvo como objetivo prioritario determinar la disponibilidad de los canales de la banda del sistema global para las comunicaciones móviles 850 en tres distintas instancias de un edificio, el cual se encuentra ubicado en una zona urbana de casco comercial.

Para poder llevar a cabo el trabajo se hizo uso de un sistema de medición, que estuvo ubicado tanto en la planta baja, en la planta media y en la planta alta del edificio, durante un tiempo determinado en cada instancia.

La información obtenida por parte del sistema de medición nos muestra el comportamiento de la disponibilidad en un prolongado periodo de tiempo, presente para cada canal en cada una de las tres instancias del edificio.

Mediante la data obtenida se puede constatar que el nivel de disponibilidad tiene una tendencia a incrementar a medida que la distancia entre la antena transmisora y el sistema de medición aumenta.

Teniendo conocimiento de cómo se comporta la disponibilidad de cada canal del sistema, se pueden hacer uso los canales que presenten disponibilidad por parte de otros sistemas, permitiéndoles descongestionar el tráfico que puedan presentar.

Los resultados que se obtuvieron son concluyentes, la mayor cantidad de canales disponibles se encuentran en el piso 17, siendo estos 26 canales que presentan una alta disponibilidad temporal, mientras que en el piso 1 y 11 solo se tienen dos canales con una baja disponibilidad temporal.

ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN EXPRESA	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
CAPÍTULO 1	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.....	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Identificación del Problema.	2
1.3 Justificación.	3
1.4 Objetivos del Proyecto.	4
1.4.1 Objetivo General.	4
1.4.2 Objetivos Específicos.	4
1.5 Metodología.	5
1.6 Alcance.	5
CAPÍTULO 2	6
2. ESTADO DEL ARTE	6
2.1 Sistema de Telecomunicaciones de la Tecnología 2G-GSM.	7
2.1.1 Características Principales.	8
2.1.2 Topología de la red.	10
2.1.3 Estructura de la red GSM.	13
2.1.4 Mapa de estaciones Base.	14
2.1.5 Reglamentación en Ecuador.	16
2.1.6 Parametrización Transmisor y Receptor.	18
2.2 Conceptos.	19
2.2.1 White Spaces.	19
2.2.2 DSA (Dynamic Spectrum Access).	20
2.2.3 Radio Cognitivo.	22
2.3 Estudios Realizados de Uso del Espectro.	22
CAPÍTULO 3	24
3. DETALLE DEL ESCENARIO Y SISTEMA DE MEDICIÓN	24
3.1 Escenario	24

3.2	Metodología	26
3.3	Modelamiento	27
3.4	Sistema de medición	28
CAPÍTULO 4		31
4.1	Ubicación del sistema de medición y antena transmisora	31
4.2	Configuración de parámetros	32
4.3	Gráficos	33
4.3.1	Niveles de potencia y disponibilidad	33
4.3.2	Ajuste estadístico de la disponibilidad	45
CONCLUSIONES		52
RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA		54

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Antecedentes.

Desde el invento del teléfono celular en el año de 1979, se abrió una brecha para el desarrollo de lo que se denomina comunicación inalámbrica, teniendo una gran acogida, por ser una alternativa útil para la telefonía convencional por cables. La primera generación de los teléfonos móviles se caracterizaba por ser analógicos y exclusivamente para voz, pero no fue hasta que surgió la segunda generación, que se implementó el cambio de analógico a digital, además de contar con una mayor velocidad en lo que se refiere a voz y la aparición del servicio de SMS (short message service). Esta generación empezó a usar tecnología GSM que se mantiene hasta estos días [3], la cual posee una gran cantidad de usuarios según el reporte de Ericsson, 4000 millones de 7100 millones de usuarios [1].

La tecnología GSM (Global Systems for Mobile communications), es una de las que genera mayor demanda en la actualidad hacia el espectro radioeléctrico. Esto es aún más notorio en lo que se refiere a eventos que acaparan atención de multitudes, como es el caso de los eventos deportivos. Se toma en cuenta el reporte de Ericsson de junio del 2015, que muestra las estadísticas del uso de servicios de telefonía móvil en dicho evento, detallando los puntos más importantes a continuación.

El mayor evento que se tuvo en el 2014 fue el mundial de futbol, en donde sólo en la final se registraron 4.5 millones de llamadas de voz. Así también, se registró que el uso de smartphones para llamadas fue del 75%, con respecto al uso en general de los servicios telefónicos durante los partidos [1]. Este tipo de demanda provoca una escasez en la frecuencia que tiene disponible el sistema en distintos sectores, generando que la calidad del servicio se degrade en ciertas zonas mientras que en otras se generen espacios en blanco [2].

Un aspecto importante en las redes celulares es la cobertura de las estaciones bases. Esta zona se limita en el número de conexiones simultáneas y a la atenuación de la señal, por lo que para las zonas de mayor densidad de población, o concurrencia, y en lugares con edificios altos, se necesita un número mayor de estaciones bases, como lo es en las ciudades [4]. En este aspecto, mientras mayor sea el número de estaciones bases, mejor será la calidad y mayor

alcance de la red, como lo atribuyen los artículos [5] y [6], dando como resultado que los equipos empleen menos potencia al trabajar.

Con el pasar del tiempo el uso de diferentes frecuencias se ha vuelto sumamente necesario para la comunicación y otros propósitos, además existe un crecimiento exponencial de los dispositivos inalámbricos, es de ahí que se han planteado alternativas para poder explotar los segmentos de espectro que se encuentren disponibles siendo utilizados para otras finalidades de las que les fueron asignadas, como se lo menciona el estándar desarrollado por la **IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) IEEE 802.11af de compartición de los espacios en blanco del espectro de televisión [7].

1.2 Identificación del Problema.

La banda de frecuencias asignada a la tecnología GSM puede presentar problemas que son típicos para la propagación de las señales, u otros que son específicos para este tipo de señales o comunicaciones.

Un problema que surge cuando se habla de comunicación móvil, es el alcance que se pueda tener para proveer de servicio a los usuarios, una estación base tiene un determinado rango de distancia para el cual el usuario puede tener un óptimo uso de la misma. En los sistemas que operan en bandas licenciadas como es el caso de la telefonía móvil celular, que poseen una región particular del espectro radioeléctrico, se pueden presentar situaciones donde el sistema empleado no sea capaz de solventar un problema que se incurra; este caso puede surgir al encontrar un número de usuarios mayor al número de canales que tiene disponible el sistema celular, donde se produce un congestionamiento masivo de la banda. Teniendo como evidencia un evento ocurrido en Chile en el 2012, donde se sufrió una caída de la red móvil después de un sismo y se calificó como congestionamiento leve debido a exceso de llamadas [8]. Otro de los problemas se tendría en un sistema que da servicio multiusuarios mediante la aplicación de canales dentro de una banda como GSM se puede presentar el problema de interferencia por canal adyacente [9].

La atenuación es importante a la hora de determinar la distancia que puede cubrir la señal irradiada, esta señal puede ser afectada por las edificaciones que se encuentren a los alrededores. Estas edificaciones evitan que la señal llegue con la misma potencia que pueda llegar en un espacio vacío, y a su vez dentro de las mismas, la señal se recepta con menor intensidad, con la posibilidad de encontrar lugares en donde la señal es casi o totalmente nula. El degrado de la señal dentro

de los edificios es una parte importante para tomar en cuenta, ya que estos lugares alojan gran cantidad de usuarios que requieren de los servicios, en estos lugares la atenuación varía, los aspectos que se toman en cuenta son tanto el material o la arquitectura de la construcción, así como también la ubicación vertical en donde se encuentre el dispositivo, siendo mayor en el piso más bajo [10].

La transmisión de datos también toma partido en el uso de diferentes frecuencias [11], con lo que se han buscado alternativas que permitan la implementación de sistemas, para acceder a bandas que se encuentren en desuso, una de las principales bandas candidatas identificadas es el espacio blanco de GSM [2]. La problemática que surge cuando sistemas que operan en bandas de frecuencias de uso exclusivo es de sumo interés, debido a la necesidad de tener un buen control y uso del espectro radioeléctrico que tienen asignado; dado que, si el sistema utilizado no responde de la manera adecuada ante distintas situaciones se puede presentar problemas como el degrado, la interrupción e incluso limitar el rendimiento del sistema empleado [1] que pueda ocasionar un uso ineficiente del espectro; dando lugar a una alternativa para combatir la escasez de frecuencia disponible.

1.3 Justificación.

La importancia de este proyecto radica en determinar la posibilidad de encontrar bandas disponibles en escenarios indoor en una zona urbana. Estudiando la influencia que tiene la posición de una antena dentro de un edificio, en la recepción de la señal, y ver qué porcentaje de uso tiene el espectro estudiado. Además se va a tratar de encontrar la mejor manera de optimizar el uso del espectro radioeléctrico, y a través del análisis, constatar cómo se comporta la potencia que se presenta en este tipo de escenarios.

La señal que puede ser receptada en los edificios es escasa en algunas partes esto también depende del piso en que se encuentre el usuario, esto es debido a que las antenas se encuentran en las partes más altas de los edificios y la señal va siendo atenuada por cada uno de los pisos, este estudio ayudaría a poder determinar de qué manera influye la posición de la persona, en el plano vertical del edificio, en la potencia de la señal receptada por el equipo. En este caso, existe un nivel de potencia que tienen que llegar al equipo para que este pueda hacer uso de la misma, si la potencia de la señal no supera este límite, no se va a poder tener un buen uso del servicio.

En una de las zonas urbanas con mayor afluencia de Guayaquil se podrá estudiar cuánta es la disponibilidad del espectro que se tiene, dentro de una edificación. Se conoce que las antenas pueden proveer del servicio a un número limitado de usuarios, por lo que en un lugar tan visitado se puede tener problemas al momento de acceder al servicio, por lo que con los resultados podremos darnos cuenta que tanto está siendo solicitado el segmento de espectro estudiado. Igualmente se va a determinar si las antenas presentes en la zona ayudan o abastecen al edificio bajo estudio.

Un problema muy común en la actualidad que es la escasez de frecuencias del espectro radioeléctrico; tanto así, que en el año de 1999 la FCC (Federal Communications Commission) se había encontrado con una cuantiosa regulación en la gestión del espectro radioeléctrico debido a la evolución de las tecnologías inalámbricas. Los problemas que surgieron se debieron a la estimación de los servicios que seguirían disponibles, y los venideros, para así poder posicionar las nuevas tecnologías, de manera que se minimice o elimine la interferencia, y tener un uso eficiente de este espectro [12].

Además, dado a la migración de distintos sistemas, como es el caso del que va a ocurrir en Ecuador, de televisión analógica a televisión digital [13] existirán bandas del espectro radioeléctrico que dejarán de ser utilizadas las cuales quedarán disponibles para la implementación de nuevos sistemas.

1.4 Objetivos del Proyecto.

1.4.1 Objetivo General.

- Determinar la disponibilidad de canales de subida y de bajada, en de la banda GSM-850 de una operadora de Guayaquil, en escenarios indoor de un edificio ubicado en una zona urbana.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Medir el nivel de potencia dentro de un edificio en una zona urbana de los canales delanteros de la banda GSM-850.
- Comparar el nivel de potencia recibido con el umbral usado por el sistema GSM-850.
- Calcular la probabilidad de disponibilidad existente por canal.
- Modelar estadísticamente la disponibilidad que existe en cada canal.

1.5 Metodología.

Para poder cumplir con los objetivos anteriormente detallados se harán estudios en escenarios interiores de diferentes pisos de un edificio ubicado en una zona urbana de Guayaquil, sitio donde el servicio tiene una mayor exigencia debido a la afluencia de personas y la atenuación que la señal pueda sufrir. Luego, se tomarán medidas de niveles de potencia, que a su vez mostrarán la calidad de señal que se está recibiendo. Con el objetivo de mejorar la precisión se tomará una gran cantidad de muestras para así proceder a comparar con el umbral utilizado por el sistema GSM-850, que es el límite que se tiene de una señal para saber si la misma está siendo utilizada, y así determinar la disponibilidad de los canales pertenecientes a la banda GSM-850, además de poder evaluar algún efecto que se tenga al momento de estar accediendo al servicio.

1.6 Alcance.

Una vez terminado el análisis, los resultados obtenidos permitirán ofrecer información para que la empresa proveedora del servicio tenga conocimiento de la calidad del servicio de telefonía celular brindado. Este punto es muy importante debido a que el lugar de estudio posee clientes potenciales, al ser un sitio en el que funcionan empresas, además de ser muy visitado. En el caso de que no se esté teniendo un rendimiento satisfactorio para los usuarios, es decir que no se tenga una adecuada recepción de la señal, se puede implementar alguna medida necesaria para solucionar los inconvenientes.

Otro punto que se podrá cubrir con este proyecto es el de constatar o refutar si el sistema utilizado en la banda GSM-850 trabaja de manera óptima en el espectro de frecuencia asignado en el sitio donde se tomaron los datos y dado a recientes estudios que demuestran que aún existen espacios en blanco [11] nos da lugar al desarrollo de nuevos sistemas que aprovechen este recurso poco perceptible pero disponible.

En este caso se podrá tener como resultado, la medida en que afecta la ubicación a la que llegue a señal dentro del edificio, porque que la señal no será la misma para cada piso. Esto se debe a que la distancia y los obstáculos que tenga que atravesar la señal variarán.

Si se diera la posibilidad, de que en el piso en el que se están tomando las muestras la potencia disminuye, debido a los diferentes efectos de atenuación. Se puede tomar este estudio para encontrar una solución que ayude a que la señal tenga mejor recepción, este es el caso del uso de femtoceldas.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

Para poder cumplir con los objetivos anteriormente trazados, es necesario conocer conceptos, los cuales ayudarán en el entendimiento y comprensión del sistema a analizar. Esto lleva a hacer énfasis en temas que puedan aportar información, teniendo en cuenta, la disponibilidad de los canales enfocados al estudio, en donde es importante saber en qué condiciones puede existir. También se considerará el escenario presente debido a su influencia en el estudio, además de entrar en detalle al sistema sobre el que se está trabajando y las diferentes características que de una u otra manera son relevantes, obteniendo los datos necesarios, como lo es la potencia con el umbral en el que se trabaja, para poder realizar el modelado estadístico y obtener un comportamiento de los resultados.

Como evidencia de la importancia del sistema de comunicación utilizado, se presentan las declaraciones que se dieron recientemente en la LTE WORLD SUMMIT 2015 por parte de distintas marcas mundialmente conocidas como lo son: Nokia, EE, Orange, entre otras. Donde la mayoría de estas empresas, muestran que están de acuerdo en que la tecnología 2G aún tiene mucho que aportar, y por lo tanto permanecerá algunos años más en el mercado de las telecomunicaciones, junto a la tecnología 4G, esto se puede sostener de acuerdo con el reporte de junio de Ericsson, en donde se prevé que los suscriptores GSM/EDGE serán de 1500 millones en el 2020[1]. Es más proclive que la tecnología 3G se vaya ausentando de manera continua, en vez de la 2G, debido a que esta tecnología es considerada como un intermedio poco óptimo entre la voz y los datos, prestados de mejor manera por la segunda generación y LTE (Long Term Evolution) respectivamente. Se puede notar la importancia que aún se le presta a la tecnología 2G al observar como EE, una compañía de comunicaciones móviles mundialmente reconocida, actualmente actualiza sus instalaciones de segunda generación mientras instala sus redes de LTE [14].

Como GSM es el estándar utilizado comúnmente para comunicación M2M (Machine to Machine) por una densa población de compañías y no se puede determinar la ubicación de los módulos que se utilizan para la misma, para poder renovarlos; esto da lugar a que se busque un desarrollo del modelo GSM, lo cual ya está siendo solicitado por las operadoras móviles [14]. Poniendo en evidencia que los estudios que se realicen con esta tecnología podrían ayudar y ser útiles en un futuro.

2.1 Sistema de Telecomunicaciones de la Tecnología 2G-GSM.

La tecnología GSM para la comunicación móvil, es una de las que más abarca territorio a nivel mundial [15]. Este sistema fue desarrollado y estandarizado por la ETSI (**E**uropean **T**elecommunicatios **S**tandarts **I**nstitute) con la finalidad de reemplazar un conjunto de sistemas de tecnología analógica en la década de los 80 y principios de los 90 [16].

La telefonía móvil tuvo sus principios siendo analógica, en donde los mercados norteamericanos y europeos peleaban por sobresalir en el mercado. Un nuevo teléfono móvil surgió en el continente Europeo, con el propósito de tener un estándar común, ser digital y que sea utilizada en toda la región, el cual fue desarrollado por el Grupo Especial Móvil GSM (Group Special Mobile), este sistema acogió tanto éxito que fue rebautizado como Sistema Global para Móvil o GSM [17]. La banda utilizada para este servicio empezó siendo la de 900 MHz, pero debido a la cantidad de usuarios que se iban integrando, esta no pudo abastecerse, por lo que pronto se acogió un nuevo sistema europeo con los mismos estándares denominado DCS1800, en la banda de 1800 MHz, que se conoce como GSM 1800.

Actualmente en diferentes partes del mundo existe una banda asignada para GSM, que se encuentran en versiones: GSM-850 (850 MHz), GSM-900 (900 MHz), GSM-1800 (1.8 GHz), GSM-1900 (1.9 GHz). En Ecuador se usa GSM en la banda de 800 y 1900, frecuencias en la que trabaja el sistema acogido en la mayor parte de américa latina [18]. Las bandas en las que opera el sistema GSM-850 son las siguientes: desde el transmisor móvil hasta el receptor base de 824-849 MHz, y desde el transmisor base al receptor móvil de 869-894 MHz [19]. La tabla 1 nos muestra las bandas en las que opera GSM en los diferentes continentes.

Banda de frecuencia GSM	Bandas disponibles	Disponibilidad
400 MHz	450.4-457.6 MHz / 460.4-467.6 MHz 478.8-486.0 MHz / 488.8-496.0 MHz	Europa
800 MHz	824-849 MHz / 869-894 MHz	América
900 MHz	880-915 MHz / 925-960 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África
1800 MHz	1710-1785 MHz / 1805-1880 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África
1900 MHz	1850-1910 MHz / 1930-1990 MHz	América

Tabla 1: Bandas de frecuencias [18].

2.1.1 Características Principales.

GSM puede ofrecer diversos servicios agregados a los que ofrece la telefonía fija en los que se puede enviar datos a una velocidad baja sin utilizar un módem externo, permite enviar y recibir faxes y mensajes de correo electrónico, como también el acceso a internet, se pueden enviar SMS (Short Message Service) de 160 caracteres alfanuméricos como límite. El redireccionamiento de llamada hacia otro número sea red móvil o fija, identifica una llamada en espera, restringe y retiene llamadas, identifica la línea que llama, ofrece multiconferencia, indica costo de llamada, consulta a buzón de voz, y oculta la propia identidad [17].

En este sistema se empieza a usar el módulo de identidad del suscriptor SIM (Subscriber Identity Module) que es la tarjeta para la identificación del usuario, aquí se almacena la información del cliente, esto ayuda a la seguridad ya que se le asigna un código para que si se extravía la tarjeta nadie pueda acceder a la información. Esta tarjeta puede autenticar la validez de la llamada, realiza el encriptado, lo cual lo hace más confiable en cuanto a identidad del abonado, voz y datos [18].

El acceso múltiple es la técnica en la que se basa GSM para que los usuarios puedan realizar una llamada, ya que en el momento de que se requiere de hacerla, el móvil se conecta con la antena que esté más cerca,

por lo cual en un determinado espacio van a existir varios usuarios que deseen tener acceso a la misma antena, esta técnica se la usa para poder acoger varios usuarios sin que exista algún problema. En la tabla 2 se detallan otras propiedades.

Propiedades de GSM	
Tipo de acceso múltiple	FDMA & TDMA
Separación de portadoras	20 KHz
Total de canales	124
Ancho de banda	25KHz
Usuarios por canales	8
Capacidad	200 Earlangs/Km2
Modulación	0.3 GMSK

Tabla 2: Propiedades de GSM [17].

Existen diversos tipos de acceso múltiple que se usan para que no se cree interferencia entre usuarios, el sistema puede ofrecer diferentes rangos de frecuencia para cada cliente que requiera del servicio. El espectro se divide en canales, en estos canales a su vez se crean segmentos más pequeños de frecuencias, es decir que los beneficiarios pueden compartir un canal pero son separados en cada uno de estos segmentos, esto se da en el acceso múltiple por división de frecuencia o FDMA (Frequency Division Multiple Access) como se observa en la figura 2.1.

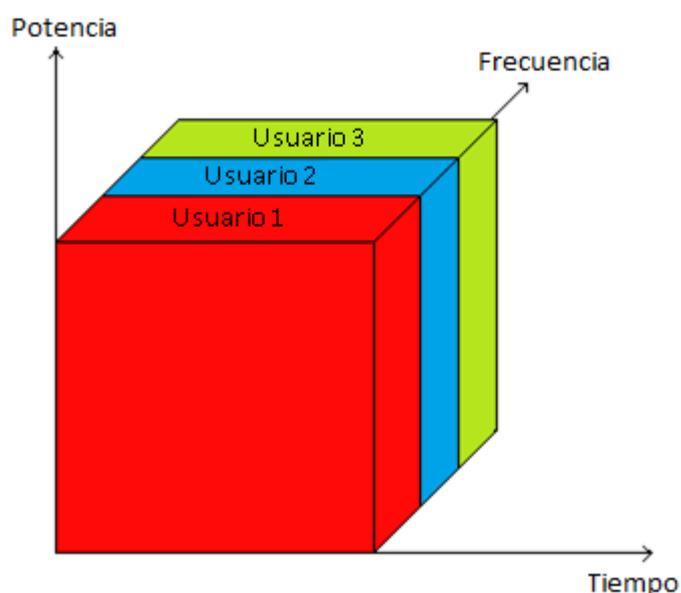


Figura 2.1: FDMA [20].

El sistema también puede otorgar diferentes segmentos de tiempo para poder tener acceso, con esto se reduce el rango de frecuencia utilizado por la misma cantidad de usuarios que en el modo anterior, en donde cada frecuencia puede transmitir más de una conversación, a esto se le denomina acceso múltiple por división de tiempo TDMA (Time Division Multiple Access) observado en la figura 2.2 [20]. El sistema de GSM europeo emplea estos tipos de acceso ya que al realizar una llamada se otorga un espacio de tiempo en una frecuencia determinada.

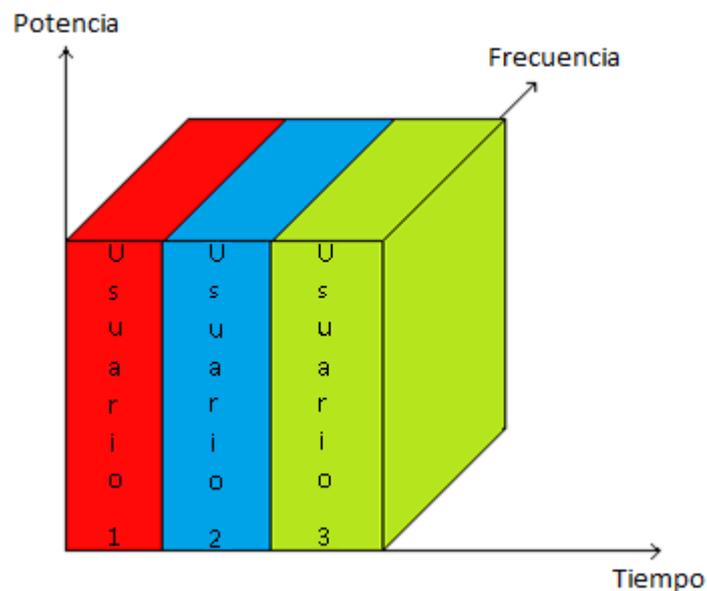


Figura 2.2: TDMA [20].

La modulación 0.3 GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), es un tipo de modulación FM (Frequency Modulation), donde la relación entre el ancho de banda del filtro Gaussiano, y la tasa de bit de la señal es de 0.3. Aquí se representan los unos y ceros binarios como desplazamientos de frecuencia de 67.708 KHz. La señal modulada pasa por un filtro Gaussiano que atenúa variaciones de frecuencia rápidas que podrían esparcir energía a los canales adyacentes [18].

2.1.2 Topología de la red.

La tecnología GSM se implementa mediante una topología de red celular, la cual consiste en dividir en sectores con forma hexagonal la zona geográfica donde se utilizará la tecnología. La utilización de áreas hexagonales permite tener una aproximación a una cobertura circular pero

sin dejar espacios sin cobertura. Estas celdas tienen generalmente en su centro una estación de radio, con un alcance de radiación electromagnética limitado. El tipo de celdas utilizado se muestran en la figura 2.3 donde se puede apreciar lo antes mencionado.

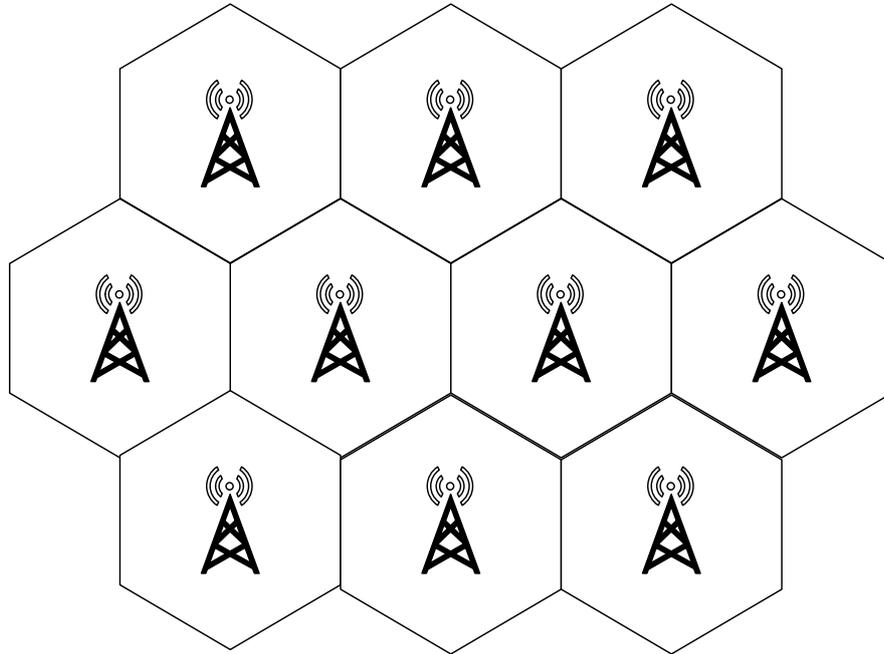


Figura 2.3: Estructura celular [17].

La topología de red que se utiliza ayuda a que el espectro de frecuencia pueda ser reutilizado, es decir, que dos celdas pueden utilizar el mismo espectro de frecuencias o también los mismos canales, pero este aspecto debe ser tomado en cuenta por la interferencia que se pueda tener entre celdas próximas. Un rango de frecuencias puede ser asignado para una estación de una celda, estas frecuencias se encuentran disponibles para los usuarios que demanden el servicio celular dentro de la zona geográfica correspondiente a la celda. Utilizando esta estructura se obtiene un mayor número de canales disponibles a medida que se reduce el área de cobertura de las celdas. Con esto se puede aumentar en gran cantidad el número de usuarios que es capaz de soportar el sistema, debido principalmente a que estos no poseen una frecuencia exclusiva y tomando en cuenta las diferentes celdas o diferentes secciones de la región donde se encuentra implementado el sistema.

Esto es, debido a que los rangos del espectro de frecuencias se pueden reasignar en más de una ocasión, siempre y cuando el nivel de interferencia sea tolerado, lo cual es un aspecto importante para el servicio

público [17]. Se denomina clúster al conjunto de celdas entre las cuales contienen todo el espectro de frecuencias disponibles para la red celular, teniéndose como primer aspecto que un canal de frecuencia específico solo puede ser utilizado por una sola celda del clúster a la vez [20]. (Ver figura 2.4).

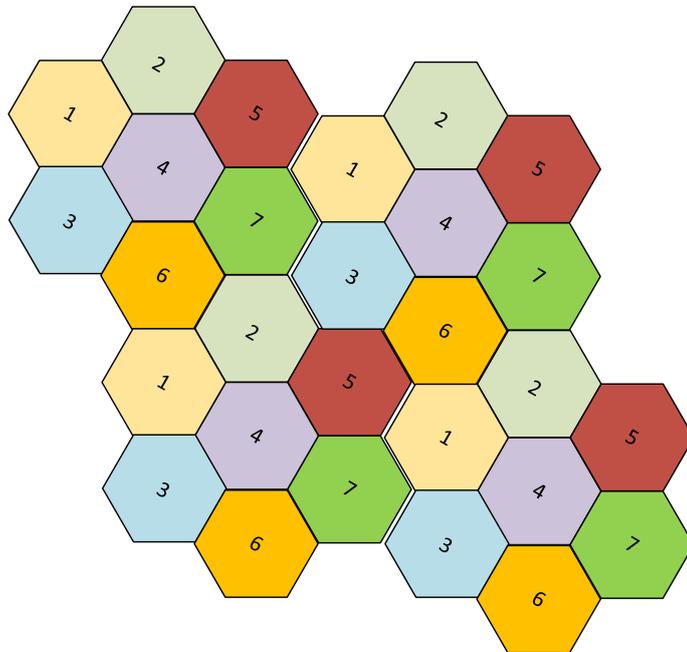


Figura 2.4: Asignación de frecuencias [20].

Otro aspecto importante es la cobertura, la cual corresponde al área en la cual un móvil puede comunicarse con la estación base y viceversa. El área de cobertura de una celda celular se obtiene tomando en cuenta la potencia con la que transmite la estación base y el límite a partir de la estación base donde todavía se sea capaz de percibir la potencia de la señal transmitida y que el sistema celular logre operar. De acuerdo a la zona geográfica que el sistema celular vaya a cubrir, se tendrá un número específico de celdas necesarias.

A su vez no solo la potencia de transmisión que se debe tomar en cuenta es a la cual transmite la estación base hacia el móvil, sino también a la cual pueda llegar a transmitir el móvil, para que los datos transmitidos sean capaces de llegar a su destino en ambos sentidos.

Tomando en cuenta el trayecto que presentan las ondas radioeléctricas, la cobertura puede representarse estadísticamente, es decir que las áreas que en teoría están totalmente cubiertas, solo se presentan en un

determinado porcentaje, teniendo en consideración tanto la ubicación como el tiempo. Además se pueden presentar limitaciones debido a la interferencia, por lo cual las celdas que utilicen radiocanales iguales deben transmitir a una potencia lo suficientemente baja para limitar la interferencia entre sí. Por lo tanto, el máximo alcance que puede tener una estación base será en una zona donde haya una baja densidad de tráfico.

Cuando se habla de propagación se pueden prever correcciones en el sistema celular con respecto a la atenuación, las cuales se deben hacer para mantener una cobertura específica por parte de la estación base.

Los sistemas celulares, tienen la capacidad de utilizar el limitado espectro radioeléctrico que se les ha asignado, de una forma más eficiente en las zonas que se tiene una gran densidad de tráfico, en comparación a otros sistemas, [17].

2.1.3 Estructura de la red GSM.

En la estructura de la red GSM se encuentran presentes 3 subsistemas:

- **BSS** (Business Support Systems)
- **NSS** (Network and Switching Sub-System)
- **OSS** (Operations Support Systems)

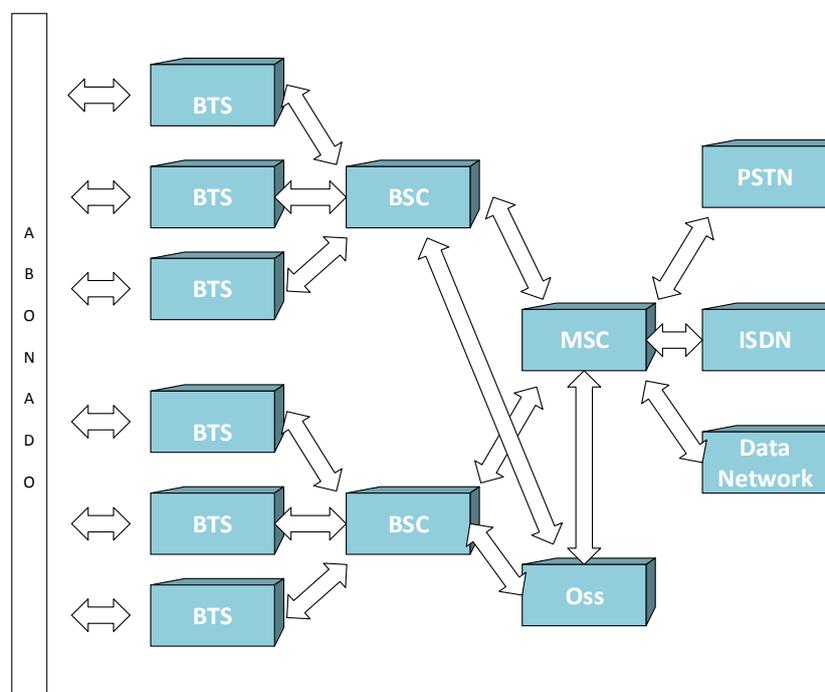


Figura 2.5: Estructura de red GSM.

En la figura 2.5 podemos ver cada uno de los subsistemas antes mencionados, pero nos vamos a centrar en el BSS que es donde se da la interacción entre el abonado y la estación base (BTS).

Este subsistema está formado por las BTS (Base Transceiver Station) y BSC (Base Station Controller), en donde el BSC se encarga del proceso de handover del móvil además de controlar las potencias de las BTS o de los móviles, controla la red de radio [21].

Para la utilización de los canales, la estación móvil memoriza el último canal de control asignado, construyendo una tabla de las ubicaciones para para que se utilicen los canales de control disponibles. Una vez que se inicializa la estación móvil, ésta espera a recibir o realizar una llamada, luego de lo cual procede a acceder al sistema por un canal de control, para poder enviar un mensaje de asignación de canal de tráfico digital lo solicita a la BTS, e indicar que es un canal de comunicación abierto, entonces este cambia del canal de control al canal de voz, el canal entra en modo conversación. La BTS y móvil tienen una comunicación periódica, para que el móvil pueda cambiar las frecuencias, realizar ajustes de potencia, o requerir algún servicio, además determina si el canal esta libre [20].

2.1.4 Mapa de estaciones Base.

En la figura 2.6 se muestra un mapa de estaciones base de la ciudad de Guayaquil perteneciente a la operadora dueña de las frecuencias en estudio.

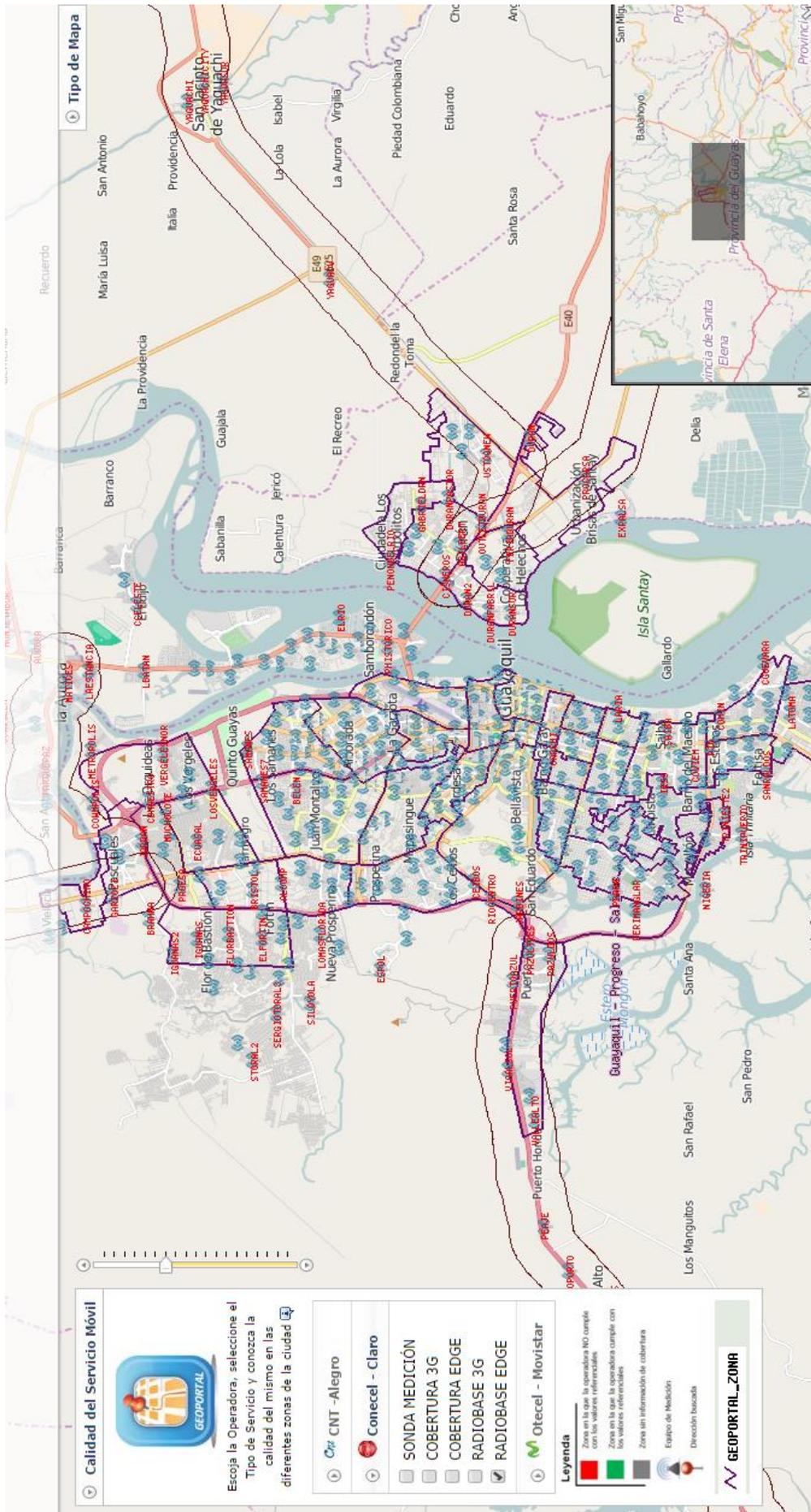


Figura 2.6: Mapa de estaciones base Guayaquil [31].

2.1.5 Reglamentación en Ecuador.

La constitución de la República del Ecuador establece el acceso universal a información y comunicación en lo que se refiere a tecnología y el derecho para tener acceso a servicios y bienes públicos y privados, dando la obligación a los proveedores de los servicios de telecomunicaciones de ofrecerlos con eficiencia y calidad [22].

El reglamento general a la Ley Especial de Telecomunicaciones, define como un recurso natural limitado al espectro radioeléctrico, y especifica que las concesiones priorizan el interés público. El cual busca una administración eficiente, donde las frecuencias asignadas, deben ser utilizadas estrictamente para el uso asignado, especificando que los usuarios deberán eliminar en lo posible las interferencias perjudiciales.

Para realizar una petición para concesiones, se debe contar con área de cobertura e indicarlo al organismo encargado. El CONATEL (consejo nacional de telecomunicaciones), es el organismo que se encarga de regular y controlar el servicio de telecomunicaciones en Ecuador.

Además se especifica que los equipos terminales deben ser homologados y normalizados. La homologación es el proceso para determinar si un equipo terminal de telecomunicaciones es adecuado para su operación, en donde se especifica marca, clase y modelo, estos equipos superan una potencia de 50 mW utilizada [23].

En el reglamento para prestación del servicio móvil avanzado, se define al SMA (servicio móvil avanzado), en telecomunicaciones como: el servicio que permite transmisión, y recepción de cualquier tipo de información. En donde define a las frecuencias de este servicio de acuerdo a la reglamentación ITU (International Telecommunications Union) y el Plan Nacional de Frecuencias en el Ecuador mostrado en la tabla 3.

Asignación de frecuencias GSM		
GSM-850(MHz)	Subida	824-849
	Bajada	89-894
GSM-1900(MHz)	Subida	1710-2025
	Bajada	2110-2200

Tabla 3: Asignación de frecuencias GSM [24].

La calidad del servicio a ofrecer se establecerá en el título habilitante cordado del SMA para la prestación del mismo definiendo los parámetros y metas recomendados por la UIT [24]. En las resoluciones del CONATEL establecen como parámetro de calidad para el SMA el nivel mínimo de señal de cobertura de acuerdo a la tecnología 2G un nivel de recepción mayor o igual a -85 dBm [22].

Respecto al espectro, En la figura 2.7 se muestra en el dominio del tiempo la portadora, esto trabaja en estado de "on", "off", para evitar las interferencias, este tiene una amplitud de 60 dB y ancho de banda de 200 KHz [19].

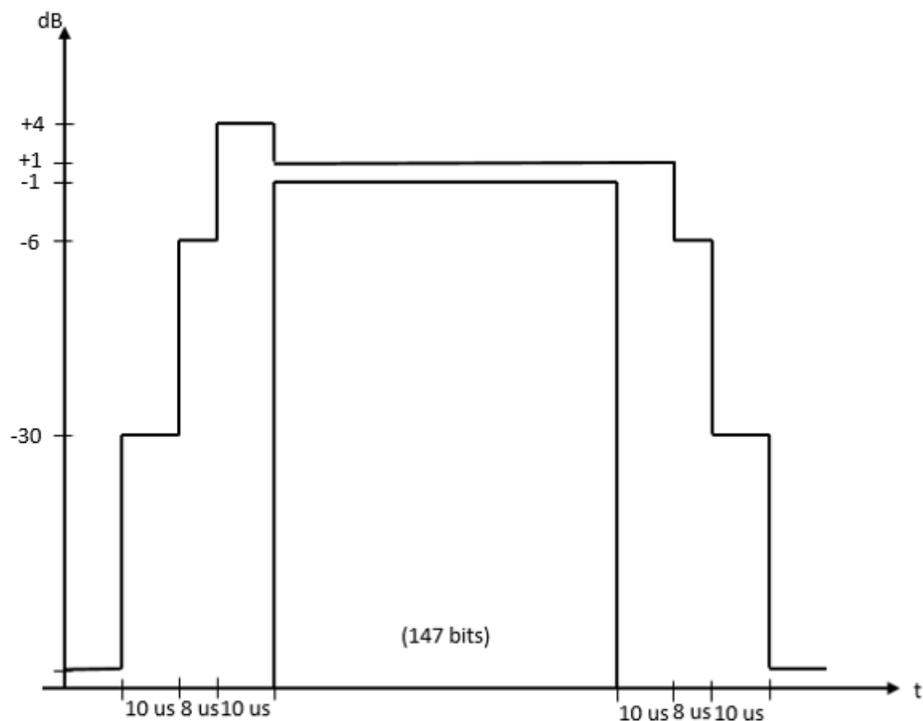


Figura 2.7: Espectro GSM.

En la tabla 4 se encuentra detallado el contenido de los 147 bits.

Número de bits	Descripción
3 bits de cola	Los cuales esperan a que la potencia en el transmisor sea estable.
57 bits de formato	Este es el bloque de la información, donde se encuentra la voz digitalizada, se repite antes y después de los bits de secuencia de entrenamiento
1 bit de bandera	Indica el tipo de dato enviado.
25 bits de secuencia de entrenamiento	Es un tipo de secuencia para referenciar el tiempo y la ecualización.
3 bits de cola	Se encuentran al final para que se neutralice la potencia.

Tabla 4: Contenido de espectro GSM [19].

2.1.6 Parametrización Transmisor y Receptor.

La parametrización de la tabla 5 y 6 están basadas en las recomendaciones ETSI en donde se toman en cuenta tanto la potencia del transmisor como la del receptor específicamente para equipos determinados y operantes en la banda GSM-850, y están definidos tomando como referencia la antena, tomando la ganancia de la antena como 0dBi [19].

Estaciones móviles

Estaciones móviles	
Potencia máxima de salida	0.8 W (29 dBm) - 2 W (33 dBm)
Tolerancia	±2 dB
Ganancia con antena	≤ 7 W (38.5 dBm)
Sensibilidad	- 102 dBm

Tabla 5: Parámetros estaciones móviles.

Estaciones base

Estaciones base	
Potencia máxima de salida	20 W - (\leq 80) W
Sensibilidad	- 104 dBm

Tabla 6. Parámetros estaciones base.

2.2 Conceptos.

2.2.1 White Spaces.

Los White Spaces son los espacios del espectro de un determinado sistema, que se encuentran libres o no están siendo utilizados.

Para el estudio realizado es importante considerar los White Spaces que son bandas de frecuencias establecidas para un propósito, el cual no se está cumpliendo. Para lo cual se tiene una ilustración de la figura 2.7, en donde nos muestra los espacios en uso, y los espacios vacíos en la frecuencia.

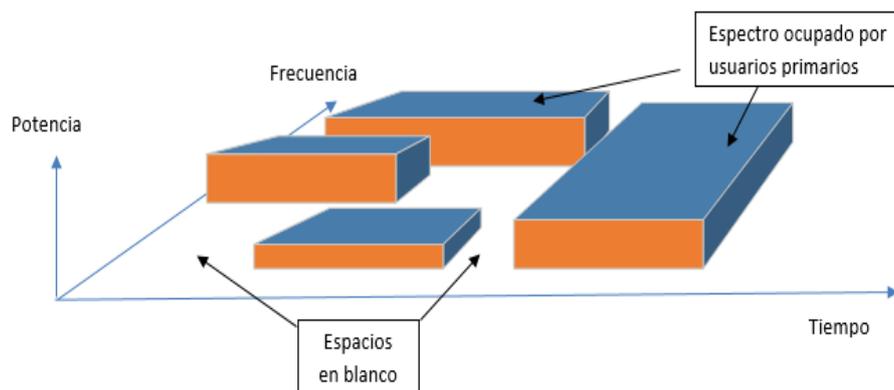


Figura 2.7: White spaces.

Según el estudio realizado en [25], los White Spaces pueden ser una gran alternativa debido al crecimiento del tráfico de datos en las redes móviles por lo que en Estados Unidos la FCC ha abierto el espectro de televisión que no se use para uso libre y esto puede llevar al surgimiento de un nuevo uso para este espectro.

Este estudio se basa en que los usuarios de los servicios móviles se ven cada vez más atraídos por las diferentes aplicaciones lo cual crea un crecimiento exponencial del tráfico de datos. Además menciona estudios relacionados a los smartphones que dicen que en Estados Unidos en un cuarto de los hogares se lo tienen y que cada año la tasa de vistas de videos online sube un 51.2%, una cifra muy alta considerando. Al tráfico de los teléfonos móviles se suman las laptops, tablets, e incluso las consolas de juego que de una u otra manera cumplen con el perfil de móviles además de tener la capacidad de interactuar con los smartphones [25].

El aprovechar los espacios en blanco dentro de los espectros se ha convertido en un tema para desarrollar futuros avances en lo que se refiere a las redes inalámbricas así se lo demuestra en [26] donde se ha experimentado con una red inalámbrica Wi-Fi en un espacio en blanco, tomando en cuenta el espectro UHF (Ultra High Frequency) para implementarla.

2.2.2 DSA (Dynamic Spectrum Access).

En la actualidad las radio frecuencias son utilizadas para diferentes propósitos, tanto así que existen algunas restringidas, por ejemplo para uso militar, o para empresas específicas. Como el caso de compañías de telefonía móvil, que se les otorga una parte del espectro para que puedan ofrecer sus servicios, en donde solo esta puede hacer uso del mismo. Pero la pregunta que surge es si el espectro de radio es realmente aprovechado en cuanto a su capacidad. Según el grupo de trabajo de políticas de espectro de la FCC y su medición de uso obtenida, en cualquier localización o momento gran parte de este se encuentra inutilizado. Esto ha llevado a que los diferentes campos como son la ingeniería, economía y regulación, a quienes les compete, lleguen a la búsqueda de un mejor manejo político y técnico del espectro.

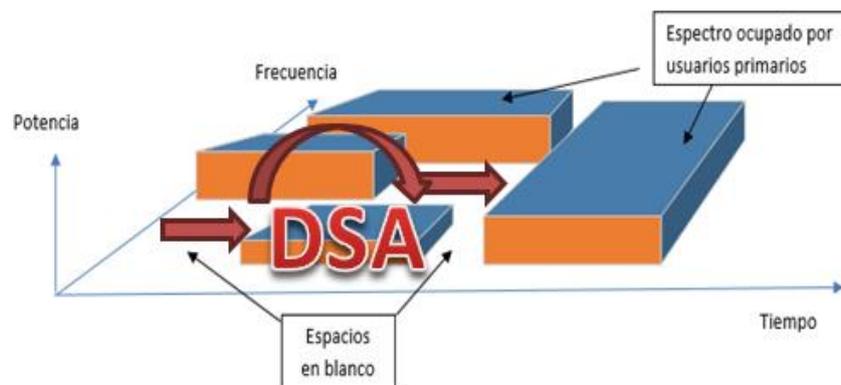


Figura 2.8: DSA

Al contrario de la política del manejo estático del espectro, ha surgido el término acceso dinámico al espectro (DSA) ilustrado en la figura 2.8, en donde se puede hacer uso de las frecuencias no ocupadas, que acoge varias ventajas en cuanto a reformas de este espectro, las estrategias para el DSA pueden ser separadas en tres modelos [27].

Modelo dinámico de uso exclusivo

Este modelo se basa en las políticas de regulación, ya que existen bandas del espectro licenciadas para uso exclusivo, que se basa en que haya más flexibilidad para mejorar la eficiencia del espectro para lo que se han plantado dos enfoques, los derechos de propiedad del espectro y la asignación dinámica del espectro. La primera se basa en comercializar la parte del espectro que se le ha sido asignada, en las que se pueda tener una libre elección de la tecnología a utilizar, con lo cual a su vez se pueden obtener ganancias. El otro punto trata de asignar dinámicamente el espectro de acuerdo a las estadísticas que se tengan del tráfico en tiempo y lugares determinados [27].

Modelo de intercambio abierto

Este modelo trata de juntar las tecnologías comunes basándose en el manejo espectral de regiones enfocándose en los servicios inalámbricos sin licencia como lo son los industriales, científicos y médicos ISM (Industrial, Scientific and Medical) [27].

Modelo de acceso jerárquico

Este modelo tiene una estructura de acceso enfocándose en los usuarios primarios y secundarios, en donde se incluye a los usuarios secundarios teniendo en cuenta la interferencia que estos le puedan originar a los principales propietarios de las bandas [27].

2.2.3 Radio Cognitivo.

Las radios cognitivas son sistemas inteligentes de comunicación inalámbrica, que buscan aprovechar el espectro electromagnético. Tal como se lo trata en [28], el propósito fundamental de estas radios es combatir los problemas de acceso al espectro, donde los usuarios no logran tener ingreso a las bandas de frecuencias que desean utilizar. Pero existen bandas, que la mayor parte del tiempo no están siendo ocupadas, o están ocupadas parcialmente, y otras que son bastante usadas. Esta es una metodología, que aprende y se adapta a las condiciones del medio ambiente, creando una facilidad de uso de espectro en cualquier momento y lugar, que básicamente es implementado por un sistema de radio definida por software SDR (Software Defined Radio) que combina radio digital y software de computadora. Su forma de trabajo incluye un censado del espectro, con el cual encuentra vacíos, y así determinar el estado y capacidad del canal, para luego poder tener un manejo dinámico del espectro.

2.3 Estudios Realizados de Uso del Espectro.

En el estudio tomado [29] se basa en el aspecto de que las estaciones bases utilizan el acceso dinámico para tener acceso al espectro sin crear interferencia principalmente causada por la movilidad de los dispositivos, nuevos métodos de acceso dinámico se han introducido no solo para eliminar interferencia, sino también para tener acceso a las mismas bandas de espectro en determinado tiempo para las estaciones localizadas en la misma variedad de interferencia.

En el mismo se diseñó un método de acceso oportunista que asigne bandas seguras el cual se basa en la compartición de espectro usando la técnica de multiplexación por división en dominio de tiempo donde se incluye un tiempo de espera para mejorar el resultado. El método que se uso fue la cadena de Markov donde se usan distribuciones exponenciales y Poisson para el acceso y espera de dos usuarios y se estudió la probabilidad de que no haya bandas de espectro asignadas a las estaciones base. Se hicieron pruebas donde las estaciones móviles tenían movimiento constante, en donde se obtuvo como resultado que las

estaciones móviles con la misma variación de interferencia tenían la misma probabilidad de acceso. Obteniendo que el nuevo esquema es más imparcial que el convencional [29].

En [30], se encuentra un estudio que se basó en los espacios en blanco de la banda GSM, para el cual se tomó en cuenta el crecimiento de usuarios en telefonía móvil en espacios rurales. En estos lugares las operadoras no encuentran beneficios al colocar las estaciones base, debido a la poca cantidad de usuarios. Entonces se propuso crear estaciones que puedan ser operadas y creadas por los usuarios que vivan en estas zonas, es decir, los equipos son elaborados y controlados por los habitantes. Con el fin de que los usuarios tengan acceso a una buena calidad en cuanto a comunicación. Además para poder controlar la interferencia se realiza un censo del espectro, y envío de datos, que fomenta la coexistencia de los usuarios primarios y secundarios.

El diseño de la estación base cumple con funciones de detección de interferencia de usuarios secundarios, ajuste las frecuencias para evitar interferencias, reporte el uso de frecuencias; para lo cual existirá una base de datos mediante la conexión a Internet. En el estudio se pudo realizar la implementación de la estación base, teniendo reportes constantes, sin requerir cambios en los teléfonos móviles actuales.

CAPÍTULO 3

3. DETALLE DEL ESCENARIO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

En esta parte del documento se detallará el lugar donde se realizó el proceso de medición, de igual manera se especifican cada uno de los pasos a ejecutar para el funcionamiento del sistema medición. Adicionalmente se toma en consideración las características propias del sistema utilizado para realizar el análisis de los datos obtenidos.

3.1 Escenario

El estudio a realizar se llevará a cabo en una zona urbana que consta con una alta densidad de edificios con gran altura, como se observa en la figura 3.1. Los edificios que se encuentran posicionados entre la antena transmisora y el sistema receptor generan un desvanecimiento de la señal propagada. Esto se debe a las pérdidas que se dan en la señal transmitida por tener que atravesar paredes, pisos y distintos obstáculos de varios materiales que degradan la señal de una manera relativa a la ubicación del dispositivo receptor. En consecuencia, debido a los factores antes mencionados existirán segmentos del espectro que no están siendo utilizados.

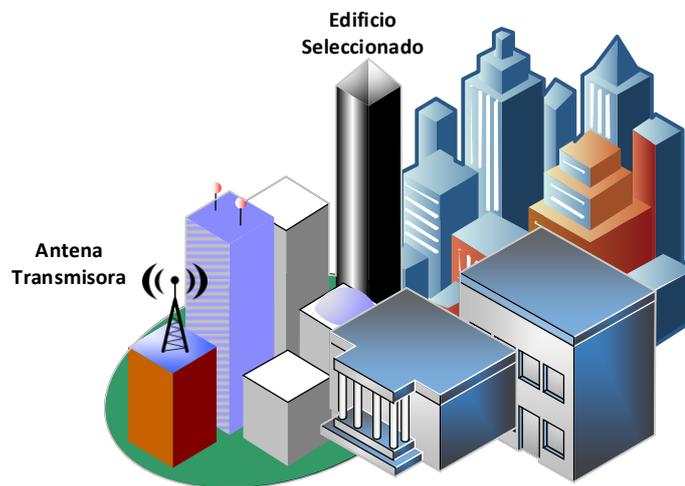


Figura 3.1: Escenario de estudio

En la figura 3.1 se puede observar el escenario donde se realizará la operación de medición, correspondiente a un escenario de tipo OUTDOOR. Aunque el sistema con el cuál se trabaja presenta una gran cobertura, existirán zonas de sombra o

con baja o incluso nula disponibilidad, que equivale a que el nivel de potencia de la señal recibida por el equipo de medición dentro del edificio es menor al nivel de potencia mínimo requerido, para que el sistema de telecomunicación no se vea afectado.

La pérdida de la capacidad del sistema de telecomunicación para poder interpretar y procesar la señal da como resultado un espacio libre del espectro electromagnético, el cual podría ser aprovechado por algún otro sistema pertinente, el cual haga uso de estos recursos de forma eficiente.

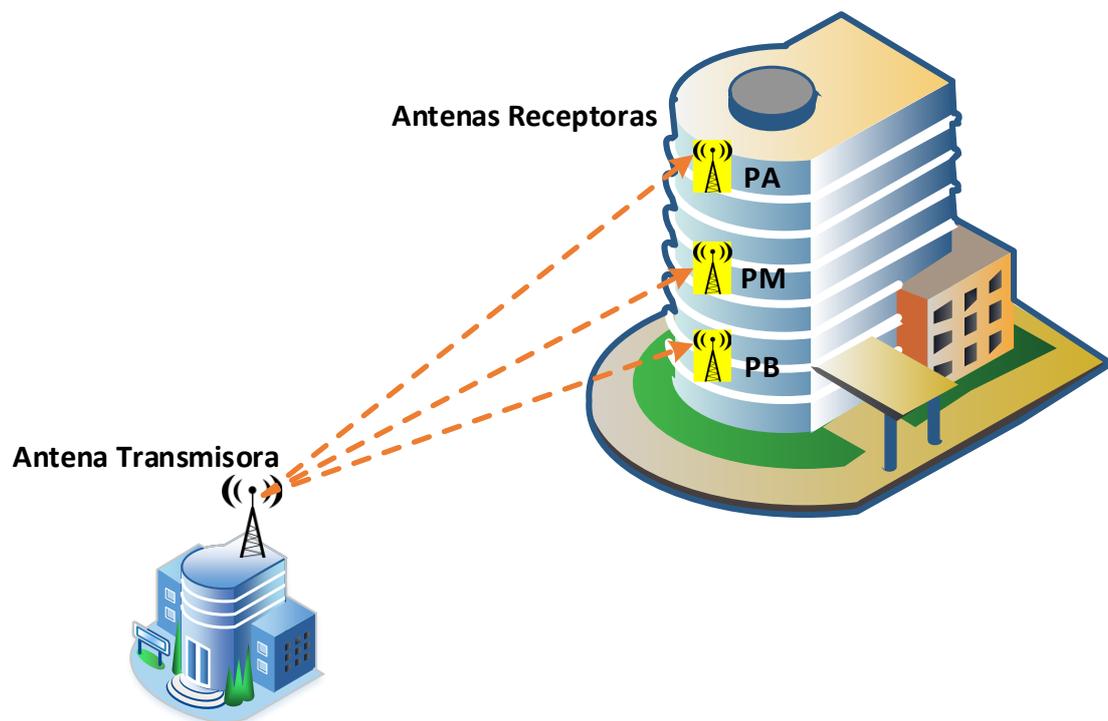


Figura 3.2: Posicionamiento de las antenas.

El sistema de medición se encontrará ubicado en tres instancias del edificio seleccionado; siendo estas, una en la planta baja (PB), otra en una planta en la mitad (PM) y la última en la planta alta (PA) del edificio, como se puede observar en la figura 3.2.

3.2 Metodología

El sistema de medición estará colocado dentro de un edificio, el cual está ubicado en una zona urbana en el centro de la ciudad de Guayaquil. En la figura 3.3 se muestra una fotografía del equipo utilizado, tomada en el interior de un piso del edificio, donde se observan las partes principales, que incluye el módulo SDR a igual que la antena para la recepción de la señal de telefonía móvil y el computador portátil que se utilizará para el procesamiento de la información y lograr obtener los datos correspondientes a los niveles de potencia máxima de la señal captada para finalmente pasar a ser almacenados en una base de datos.

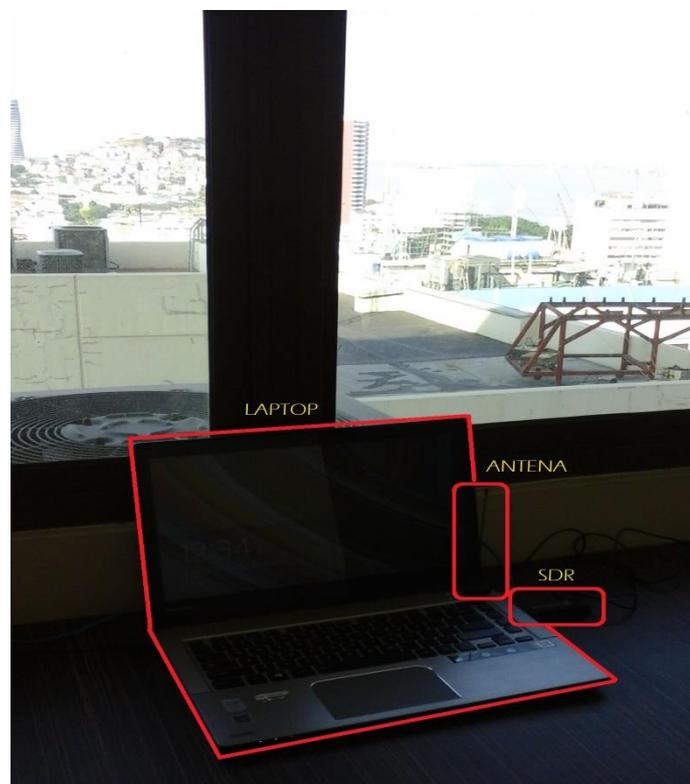


Figura 3.3: Sistema de medición.

El sistema de medición hace uso de una antena con 5 dBi de ganancia para la recepción de la señal. Esta señal está conformada por todas las que son transmitidas por parte de todos los sistemas que operan en el rango de frecuencias que es capaz de captar la antena, y que además la señal no se haya desvanecido por factores como la atenuación debida a la distancia.

La señal recibida por la antena se transmite al dispositivo SDR a través de un cable de poca longitud; lo cual nos permite despreciar la pérdida producida por este. Posteriormente el dispositivo SDR se encargará de procesar la señal recibida tomando sólo los niveles de potencia que se encuentran en el ancho de banda correspondiente al sistema con el cual se encuentra trabajando, siendo en este caso GSM-850.

Finalmente, la información obtenida correspondiente a los niveles de potencia de la señal recibida es procesada por un computador. Este equipo selecciona los canales respectivos que se encuentran dentro la banda con la cual se está trabajando, uno a uno. Luego se procede a obtener los máximos del nivel de potencia por canal, la cual pasa a ser almacenada en una base de datos. Posteriormente se vuelve a repetir el ciclo para un nuevo registro en la base de datos, correspondiente al máximo de nivel de potencia de cada canal de la banda GSM-850, en un nuevo instante de tiempo; todo este proceso se resume en la figura 3.4.

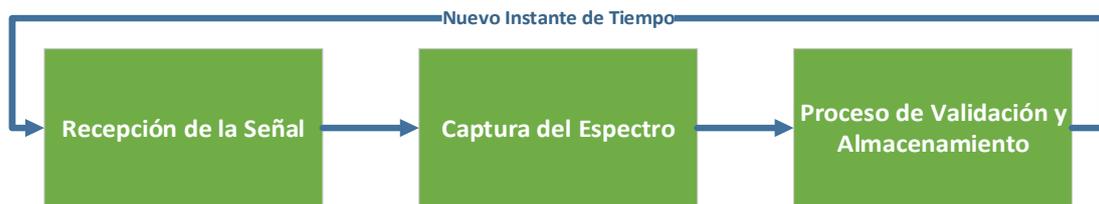


Figura 3.4: Metodología de medición.

3.3 Modelamiento

El proceso comenzó con la captura de los niveles de potencia mediante el uso del sistema de medición.

El conjunto de datos obtenidos presenta un comportamiento estadístico normal gaussiano, lo cual es constatado en la figura 3.5, donde se representan los datos de potencia en dBm adquiridos de un solo canal, en un histograma. En la misma figura se observa la gráfica de la distribución normal, con los parámetros de la media y desviación estándar que tienen los datos adquiridos, en rojo.

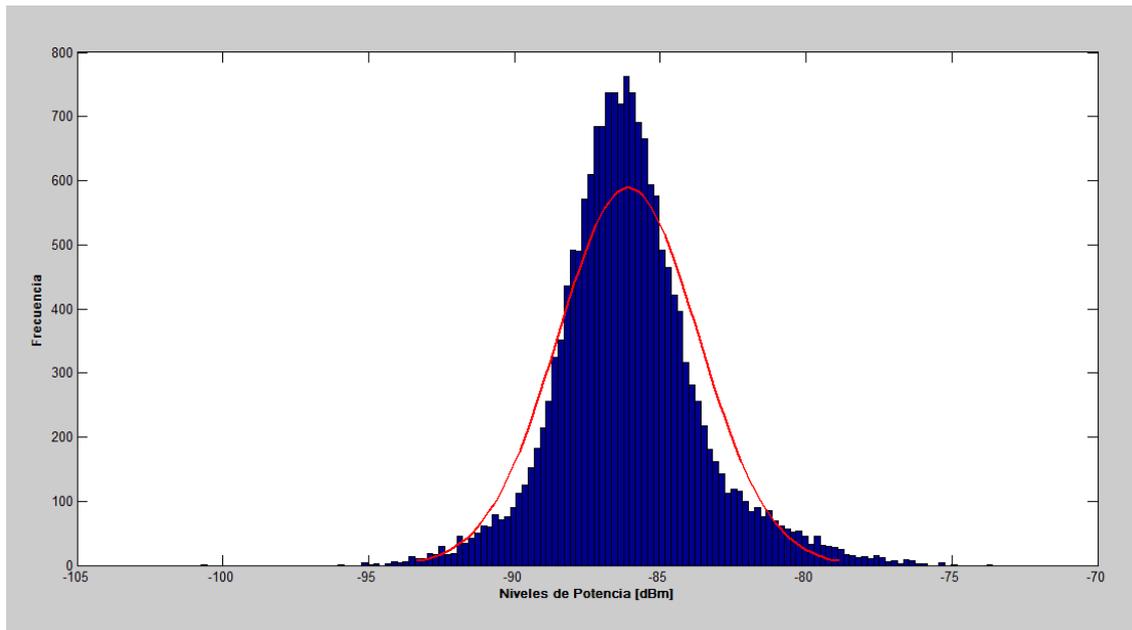


Figura 3.5: Comportamiento de los niveles de potencia.

Luego, cada uno de los datos de potencia son comparados contra el umbral del sistema GSM-850 para cerciorarse si se presenta o no disponibilidad.

Finalmente se aplica la fórmula de probabilidad, para lo cual se genera una muestra, tomando un número determinado de datos capturados por el sistema de medición consecutivamente para un mismo canal, y se determina cuantas de estos presentan disponibilidad, para luego pasar a dividir este resultado para el tamaño de la muestra tomada, obteniendo el porcentaje de disponibilidad presente en la muestra tomada. Este proceso se repite hasta haber determinado el porcentaje de disponibilidad para todas las muestras que se puedan generar con todos los datos de potencia capturados por el sistema de medición.

Los nuevos datos generados de porcentajes de disponibilidad probablemente presenten un comportamiento estadístico distinto al que se presenta con los datos de niveles de potencia. En el siguiente capítulo será contrastado el comportamiento que presentan los canales con tres modelos estadísticos definidos.

3.4 Sistema de medición

El equipo utilizado para el sistema de medición fue descrito en el punto 3.2 y se lo puede observar en la figura 3.3.

En esta parte del documento se va a describir con mayor detalle cómo se procesa la señal recibida, y las validaciones que se tomarán en cuenta para obtener la información relevante para el posterior análisis. Para esto se hará uso de un algoritmo representado mediante un diagrama de flujo, el cual está presente en la figura 3.6.

Existen varios factores importantes que son precisos identificar antes de empezar a detallar el algoritmo de medición, estos serán representados mediante diferentes variables, las cuales son utilizadas en el algoritmo de la figura 3.6.

Primero el número de canales (NC) que son utilizados en la banda del espectro radioeléctrico seleccionada, en este caso la banda del sistema GSM-850, segundo el número total de registros (NTR), correspondiente al total de capturas de niveles de potencias que se tendrá en la base de datos por canal, en el cual consta por cada registro la potencia máxima percibida por el sistema de medición para cada uno de los canales; y por último la frecuencia central (f_c) y el ancho de banda (Bw) que capturarán el sistema de medición, que corresponden a datos específicos del sistema GSM-850.

El dispositivo SDR es el encargado de captar la señal de los niveles de potencia para cada canal de la banda del sistema GSM-850.

Una vez que se ha parametrizado el dispositivo SDR con la frecuencia central (f_c) y el ancho de banda (Bw) se procede a inicializar el equipo, obteniendo como respuesta de éste la captura de los niveles de potencia de la banda del espectro radioeléctrico. Luego esta información se la procesa tomando solo los niveles de potencia correspondiente a cada canal (A), seleccionando de cada uno el máximo (MP).

Finalmente esta nueva información se almacena en un registro de la base de datos (NR) y se procede a repetir nuevamente todo el proceso desde la captura de la banda del espectro radioeléctrico, para generar como resultado final un nuevo registro (NR) correspondiente a un nuevo instante de tiempo.

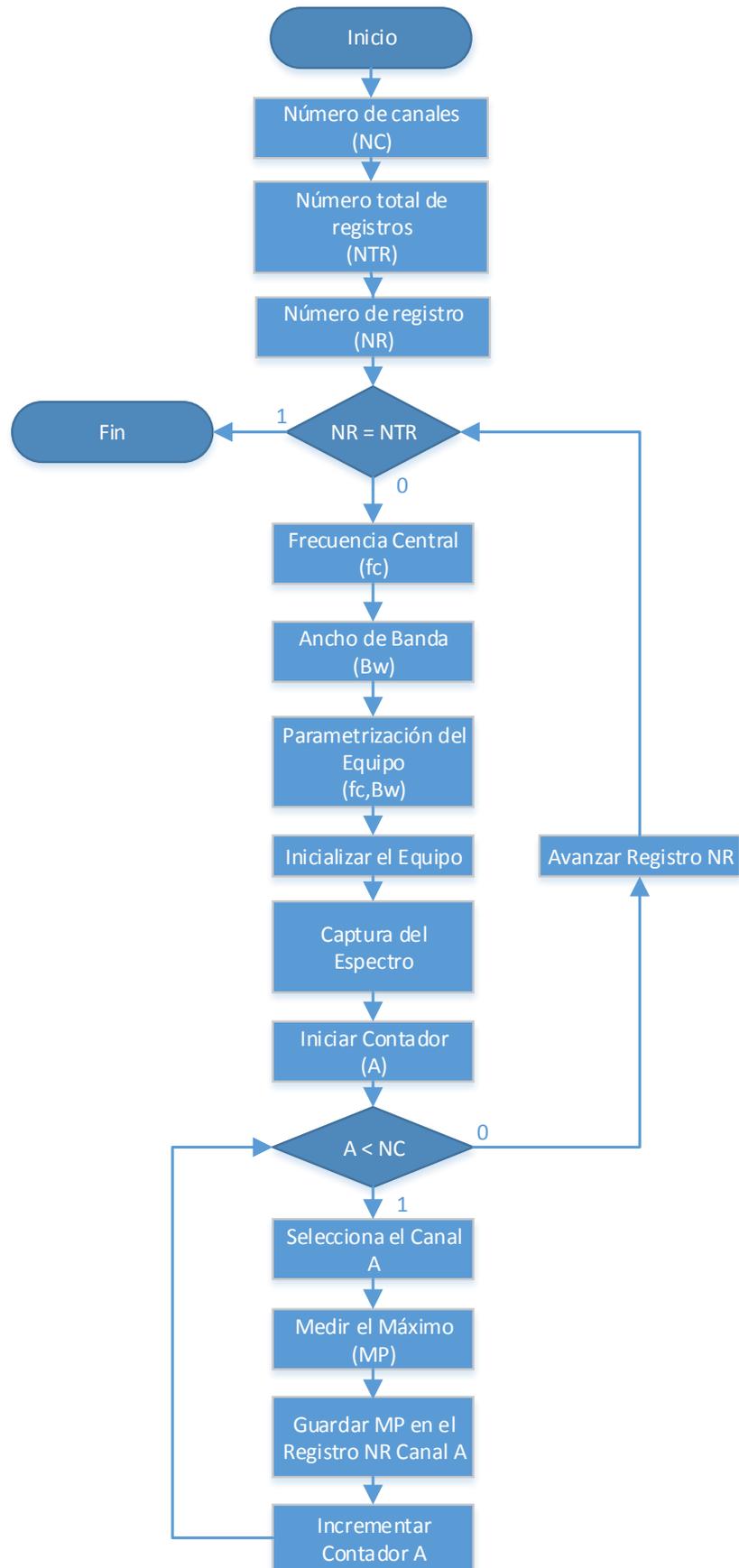


Figura 3.6: Algoritmo de medición.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

En este capítulo se especificará la ubicación exacta donde se realizaron las mediciones, también se muestran los parámetros de configuración para la captura de la señal de potencia, para finalmente mostrar los resultados obtenidos a través de gráficas representativas.

4.1 Ubicación del sistema de medición y antena transmisora

En la figura 4.1 se puede observar la ubicación exacta mediante coordenadas de latitud y longitud, tanto del edificio en donde estuvo posicionado el sistema de medición como de la antena transmisora de la señal celular GSM-850 más cercana al edificio. Se puede observar en esta misma gráfica que el lugar de la medición cuenta con una densa cantidad de construcciones, de las cuales algunas son edificios de gran altura. Esto tendrá una relación directa con los resultados que se obtendrán.



Figura 4.1: Vista satelital.

La variación de la distancia entre el nivel del mar y la superficie de la corteza terrestre a medida que se recorre desde la ubicación de la antena transmisora hacia el edificio donde se encuentra el sistema de medición es relevante, porque esta información nos proporciona la distancia relativa que habrá entre la antena transmisora y el equipo receptor, lo cual a su vez nos presta conocimiento sobre la atenuación que se tendrá debida a la distancia que recorrerá la señal (ver Figura 4.2).



Figura 4.2: Vista del relieve.

4.2 Configuración de parámetros

Para realizar las mediciones, se tomaron en cuenta los parámetros técnicos correspondientes a la banda GSM-850 y la operadora que fue seleccionada.

Uno de los parámetros se refiere a los cuatro segmentos del espectro radioeléctrico que son utilizados por la operadora donde se incluyen los canales de subida como de bajada, presentándose un total de 72 canales con un ancho de banda de 200 kHz cada uno.

En la tabla 2 se muestran los parámetros técnicos del sistema GSM-850, de los que se hicieron uso para la configuración de la SDR.

Para poder generar la disponibilidad de cada canal fue necesario tomar un número de datos (N_s) capturados por canal, con el fin de determinar el porcentaje de disponibilidad dentro de un periodo equivalente al número de capturas por el tiempo de muestreo por canal ($N_s \times T_s$).

Parámetros	Valores
Bandas de operación, $BW_{1U,2U,3D,4D}$	BW_{1U} 824-830 MHZ
	BW_{2U} 845-846.5 MHZ
	BW_{1D} 869-875 MHZ

	BW_{2D} 890-891.5 MHz
Ancho de banda del canal, Δf	200 kHz
Frecuencia inicial subida, f_{0su}	824 MHz
Frecuencia inicial bajada, f_{0d}	869 MHz
Frecuencia final subida, f_{NU}	846.5 MHz
Frecuencia final bajada, f_{ND}	891.5 MHz
Canal Inicia subida, Ch_{1u}	1
Canal Inicia bajada, Ch_{1d}	1
Canal final subida, Ch_{NU}	36
Canal final bajada, Ch_{ND}	36
Número de canales de subida, N_U	36
Número de canales de bajada, N_D	36
Numero de capturas (Disponibilidad), N_s	12
Nivel de referencia de sensibilidad, λ	-88 dBm
Tiempo de captura por canal, T_c	0,174 s
Tiempo de muestreo por canal, T_s	12,5 s

Tabla 7: Parámetros de captura

4.3 Gráficos

Las gráficas que se mostrarán constan de dos ejes, uno horizontal, el cual representa los canales del sistema GSM-850 que estuvieron involucrados en el proceso de medición, un eje vertical que muestra el tiempo en minutos, refiriéndose al instante que se realizó la medición de potencia de un canal; y por último también se muestra una barra con un rango de colores desde el azul hasta el rojo, lo cual representa el estado que tiene un canal en un instante de tiempo, ya sea de nivel de potencia o de disponibilidad.

4.3.1 Niveles de potencia y disponibilidad

El sistema de medición realizó la captura de los niveles de potencia de los canales de subida y bajada de la banda GSM-850 durante un periodo aproximado de 3400 minutos, tanto en el primer piso, en el piso 11 y en el piso 17 del edificio.

En las figuras 4.3, figuras 4.4, y figuras 4.5 se muestran los niveles de potencia capturados de los canales de subida en los pisos 1, 11 y 17 respectivamente.

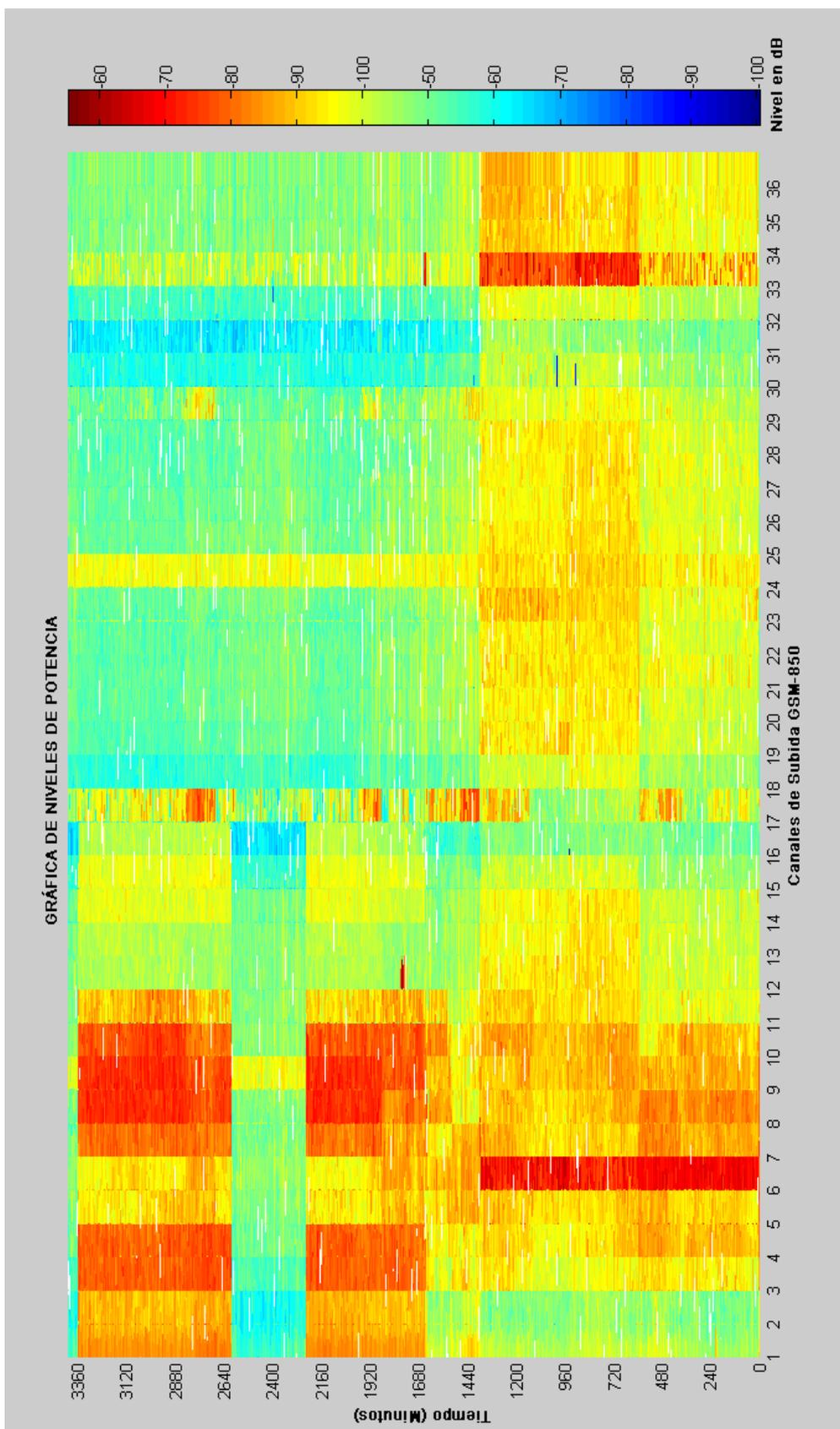


Figura 4.3 Niveles de potencia de los canales de subida de GSM-850 (PISO 1).

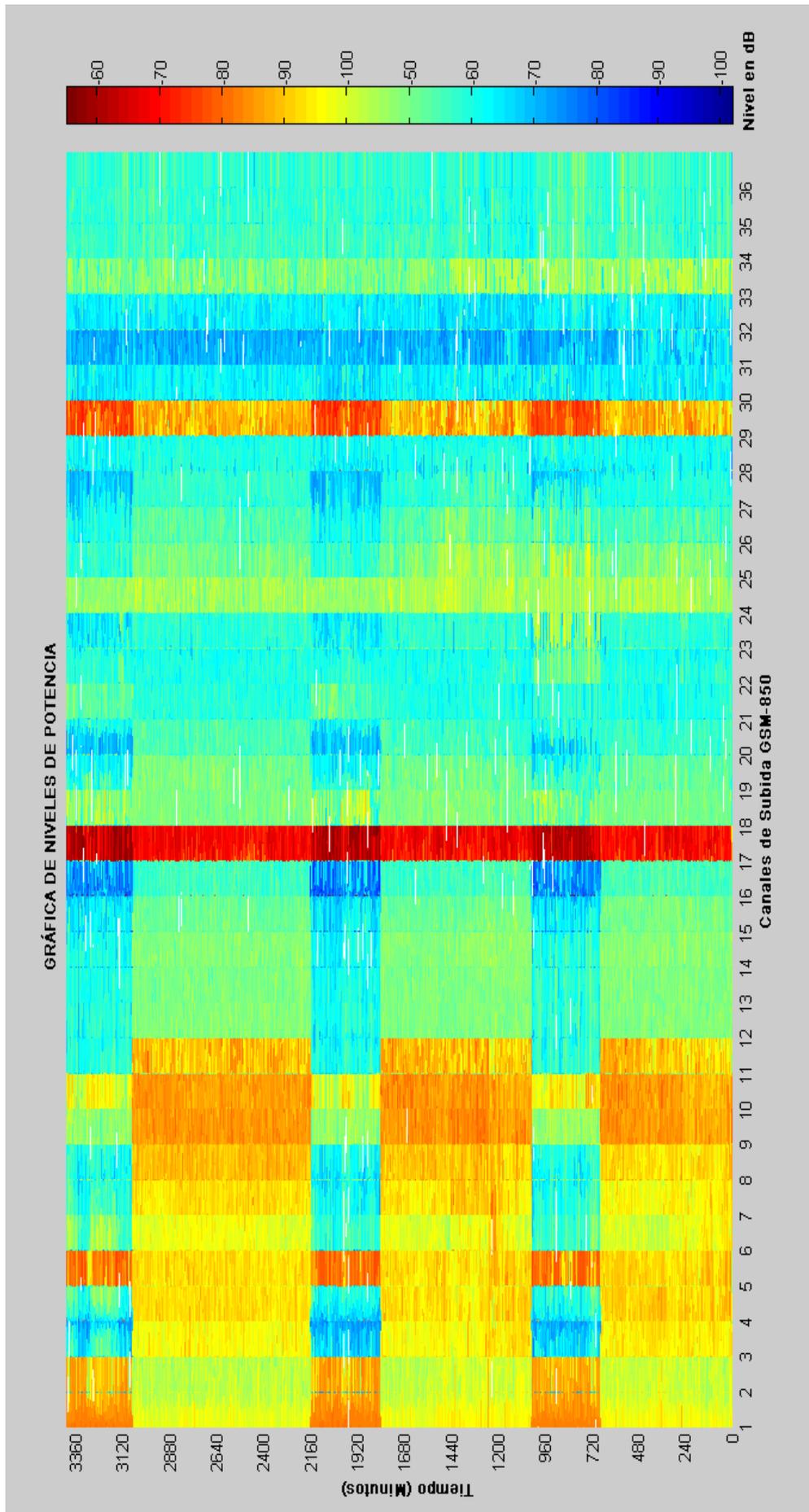


Figura 4.4: Niveles de potencia de los canales de subida de GSM-850 (PISO 11).

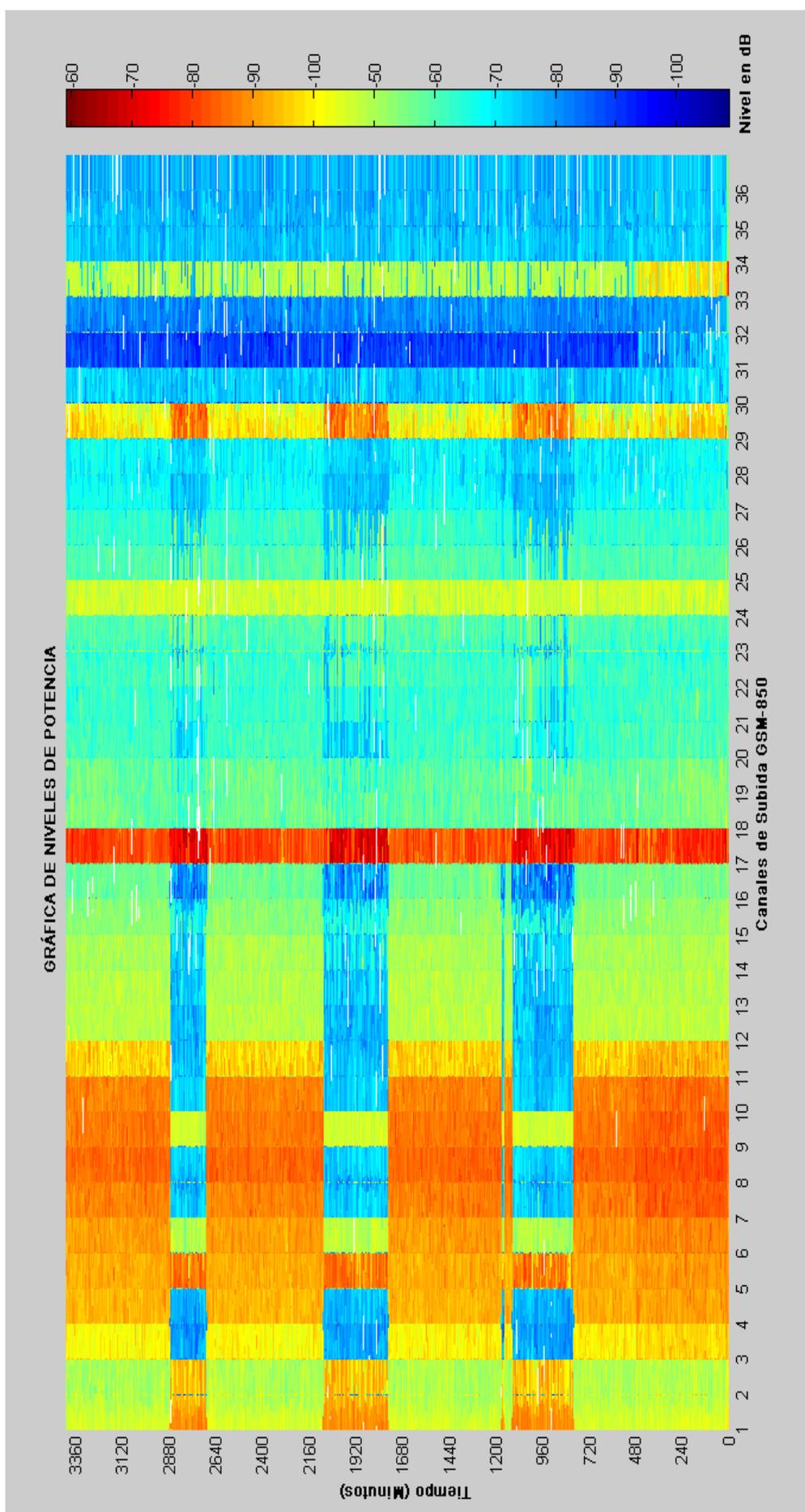


Figura 4.5: Niveles de potencia de los canales de subida de GSM-850 (PISO 17).

Los niveles de potencia se representan con un código de colores, teniendo los niveles de potencia más altos alrededor de -60 dBm distinguidos con una tonalidad roja oscuro y los niveles más bajo alrededor de -100 dBm representados con un color azul oscuro.

Dado que en las gráficas de las figuras 4.3 y 4.4 existe una predominancia de colores que se encuentran por encima de la banda de color azul, y teniendo en cuenta que estas mediciones fueron tomadas en los pisos 1 y 11, se puede argumentar que se dispondrá de una baja disponibilidad en estos pisos.

La figura 4.5 corresponde a las capturas de potencias de los canales de subida en el piso 17, en la cual se presenta la mayor cantidad de canales con niveles de potencia por debajo del umbral ($Potencia < -88dBm$), de entre estos canales sólo el canal 31 presenta niveles de potencias considerablemente menores al umbral durante casi todo el transcurso de la medición. De igual forma los canales 32, 34, 35 y 36 también presentan bajos niveles de potencia durante la mayor parte del tiempo que se llevó a cabo la medición, pero más próximos al nivel del umbral.

En la misma figura 4.5 se observan canales que presentan niveles de potencia por debajo del umbral pero por ciertos lapsos del tiempo que se realizó la medición, en ellos se observa un comportamiento repetitivo que sigue un patrón, los canales en el que se observa este patrón son: 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27 y 28.

Los canales mencionados en el párrafo anterior presentan intermitencia en sus niveles de potencia, lo que quiere decir que por ciertos periodos de tiempo los canales presentan niveles de potencia superiores al umbral, ocasionando que el canal se encuentre ocupado, y en otros lapsos de tiempo los niveles de potencia se encuentra por debajo o cercano al umbral, permitiendo la disponibilidad del canal.

Mediante la observación y el estudio mencionado de las gráficas de los niveles de potencia se puede deducir que tipo de comportamiento presentará la disponibilidad de los canales en las tres diferentes instancias del edificio.

La captura de los niveles de potencia de los canales de bajada en los tres pisos generó resultados similares, donde prácticamente todos las potencias capturadas eran mayores al nivel del umbral.

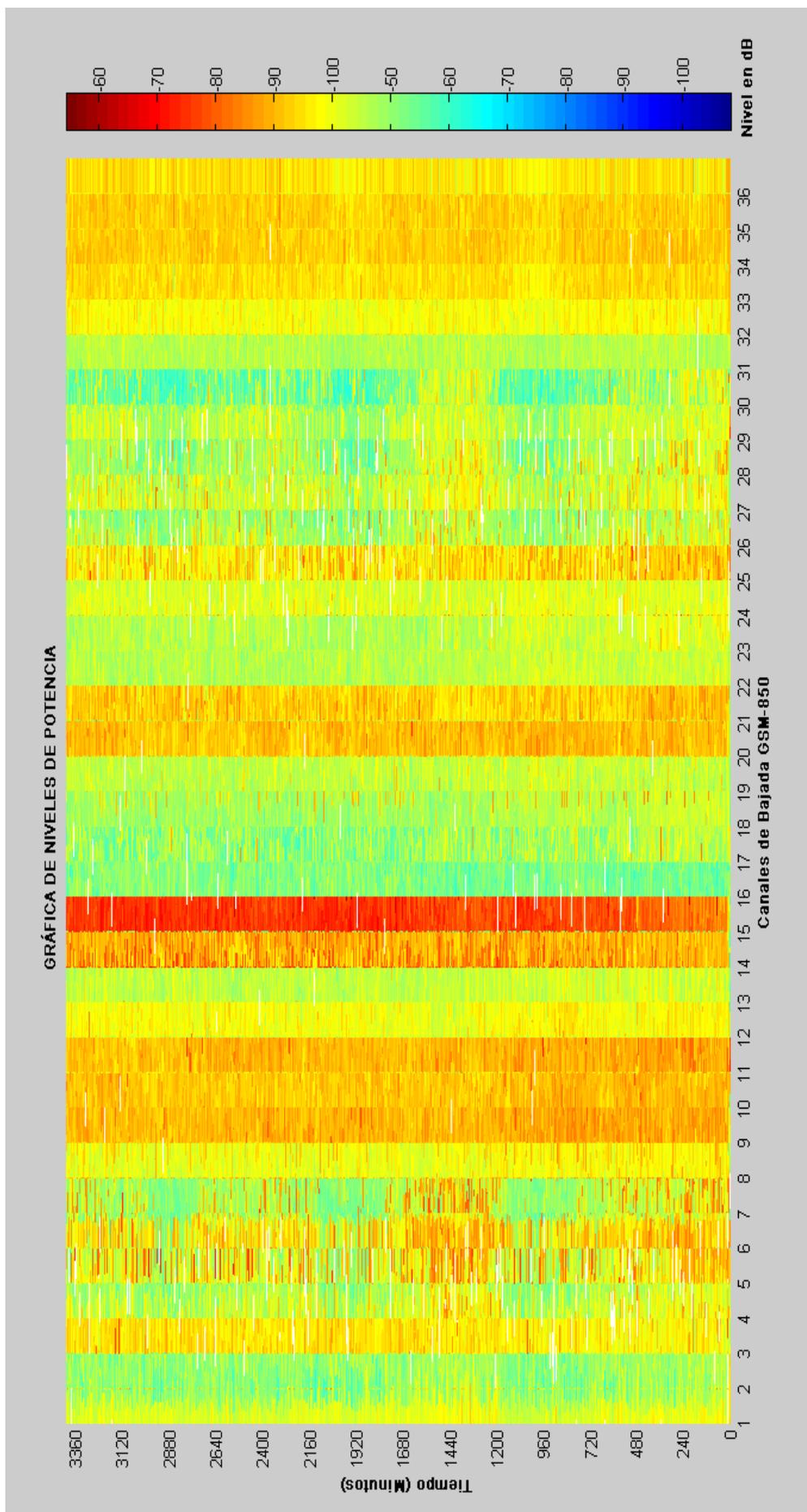


Figura 4.6: Niveles de potencia de los canales de bajada de GSM-850 (PISO 17).

Se tomará en cuenta la figura 4.6 como representativa del comportamiento de los canales de bajada del sistema GSM-850.

En la figura 4.6 se observan los niveles de potencia de los canales de bajada capturados en el piso 17, en esta gráfica se puede apreciar una predominancia de los colores amarillo y turquesa, lo que quiere decir que los niveles de potencia son considerablemente mayores en cada uno de los canales, lo que nos permite concluir que la disponibilidad para estos canales será prácticamente nula.

Mediante la observación de las gráficas de disponibilidad temporal de los canales de subida en la figura 4.7, figuras 4.8 y figura 4.9, se puede ver el comportamiento que tiene la disponibilidad a medida que se ubica el equipo receptor en los distintos niveles del edificio.

La variación que presenta la disponibilidad comparándola en las tres distintas instancias del edificio se debe a que la antena transmisora se encuentra fija a casi el mismo nivel de altura que el primer piso, dando como resultado una menor distancia entre la antena transmisora y el equipo receptor cuando se ubicó en este piso, obteniendo como resultado un mayor nivel de potencia en la recepción para todos los canales, esto debido a que la atenuación por la distancia recorrida de la señal es la menor, comparada que cuando el equipo receptor se ubicó en las otras dos instancias del edificio. Esto nos da a su vez una mayor predisposición a que los canales en el primer piso se encuentren ocupados, como se puede observar en la figura 4.7, donde casi todos los canales se encuentran completamente pintados de color azul, referente a un porcentaje de disponibilidad de cero. Esto da también lugar a considerar que a medida que se asciende de nivel en el edificio la disponibilidad tiende a incrementarse, tal como se puede constatar al observar la figura 4.8 y la figura 4.9.

En la figura 4.9, tal como se había tomado en cuenta, en el piso 17 se presenta el mayor número de canales con disponibilidad, y además en la mayoría de ellos el color que predomina es el rojo, que equivale a un porcentaje alto de disponibilidad.

Al menos 5 canales en la figura 4.9 tienen una probabilidad considerable de disponibilidad durante casi todo el intervalo de tiempo que se tiene en cuenta en la gráfica, y otros 19 canales presentan una alta probabilidad de

disponibilidad, pero presente solo en alrededor del 50% del lapso del tiempo que se llevó cabo la medición.

El menor número de canales disponibles se presenta en el piso 1 como se ve en la figura 4.7, y no se nota una diferencia relevante en cuanto al número de canales que presentan un grado de disponibilidad con la gráfica de la figura 4.8 perteneciente al piso 11, sino solo un incremento del porcentaje de disponibilidad de los canales. Como ejemplo se tomará el canal 16 tanto de la figura 4.7 como de la figura 4.8, en la figura 4.7 el canal presenta un porcentaje de disponibilidad de alrededor del 23%, mientras que este mismo canal tiene un 53% de disponibilidad en la figura 4.8, notando que todos los canales en ambos pisos (1 y 11) tienen un comportamiento similar exceptuando por el grado de disponibilidad, se puede deducir que el incremento de la disponibilidad en la figura 4.8 se debe en gran medida por la atenuación debida a la distancia que se tuvo entre la antena transmisora y el equipo receptor.

Como se detalló para los niveles de potencia de los canales de bajada en las tres instancias donde se tomaron las mediciones, ahora se obtiene un resultado concluyente como se ve en la figura 4.10, donde se observa la probabilidad de la disponibilidad de los canales de bajada en el piso 17, estando prácticamente toda la gráfica de color azul, lo cual se refiere a un porcentaje de probabilidad de cero, tal como se esperaba a partir de la gráfica de potencia. Se toma este caso en referencia para denotar que este mismo resultado se tiene para los canales de bajada tanto en el piso 1 como en el piso 11, ya que el comportamiento de estos canales era muy similar en todos los pisos.

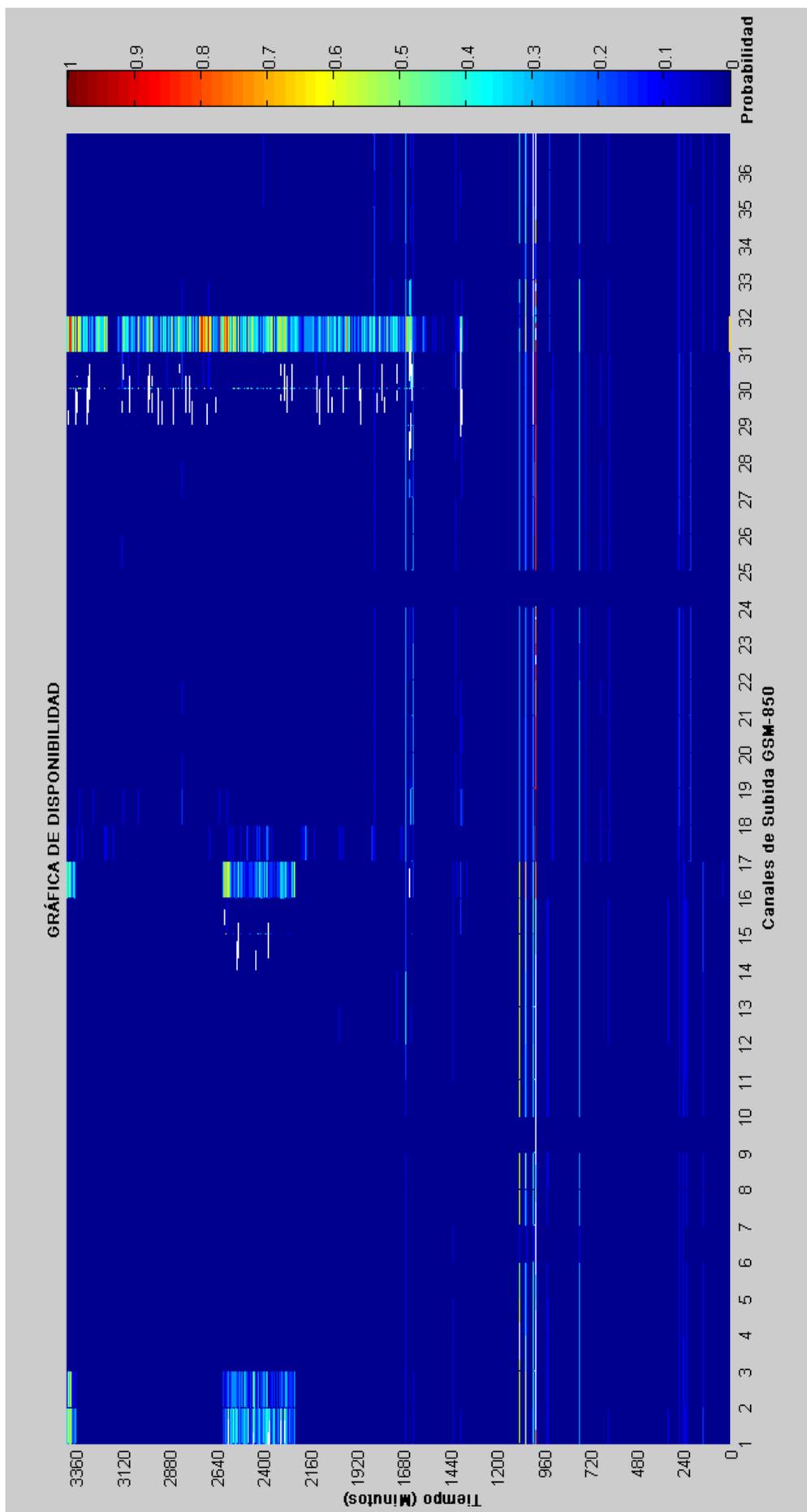


Figura 4.7: Porcentajes de disponibilidad temporal de los canales de subida de GSM-850 (PISO 1).

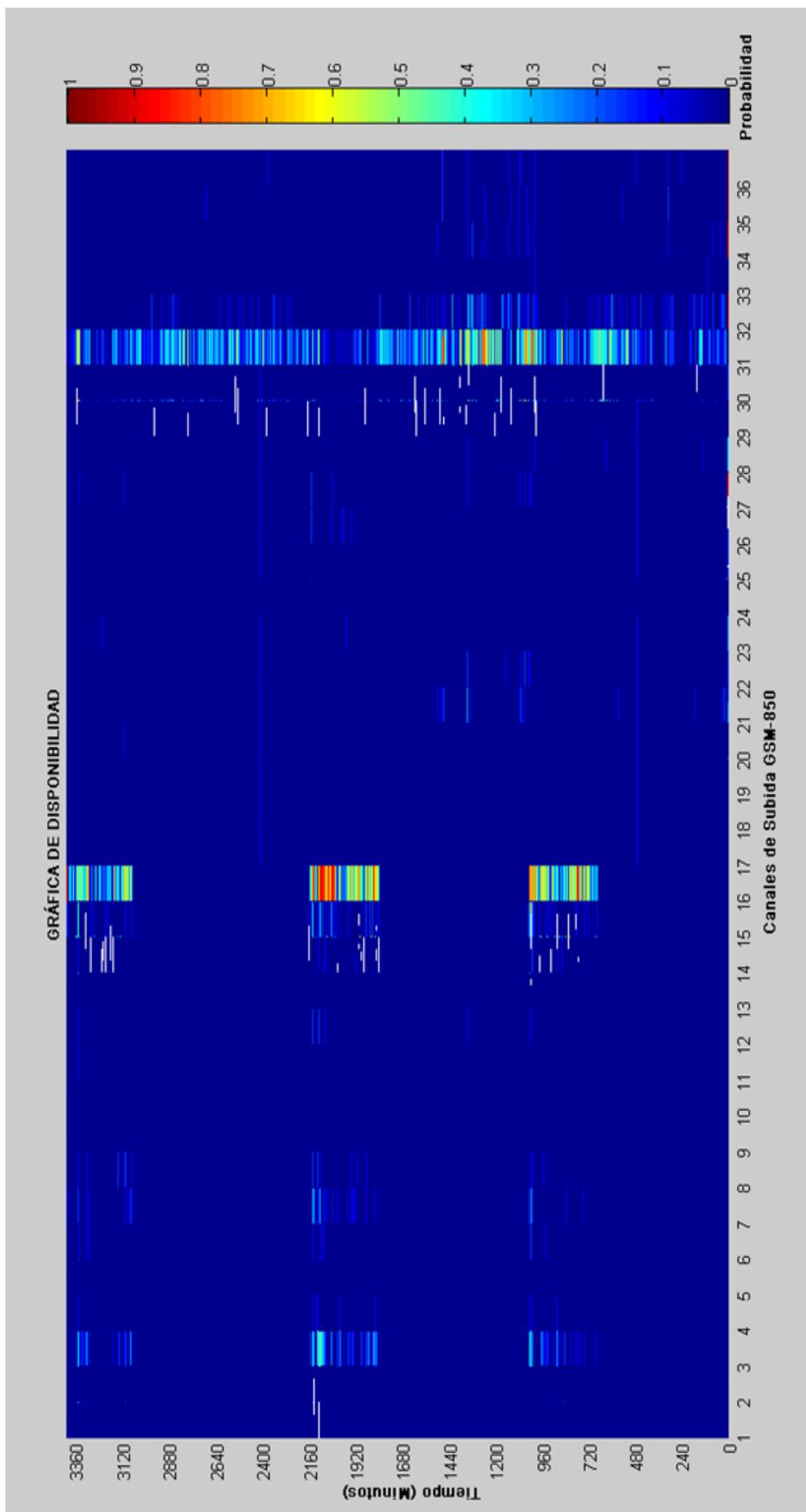


Figura 4.8: Porcentajes de disponibilidad temporal de los canales de subida de GSM-850 (PISO 11).

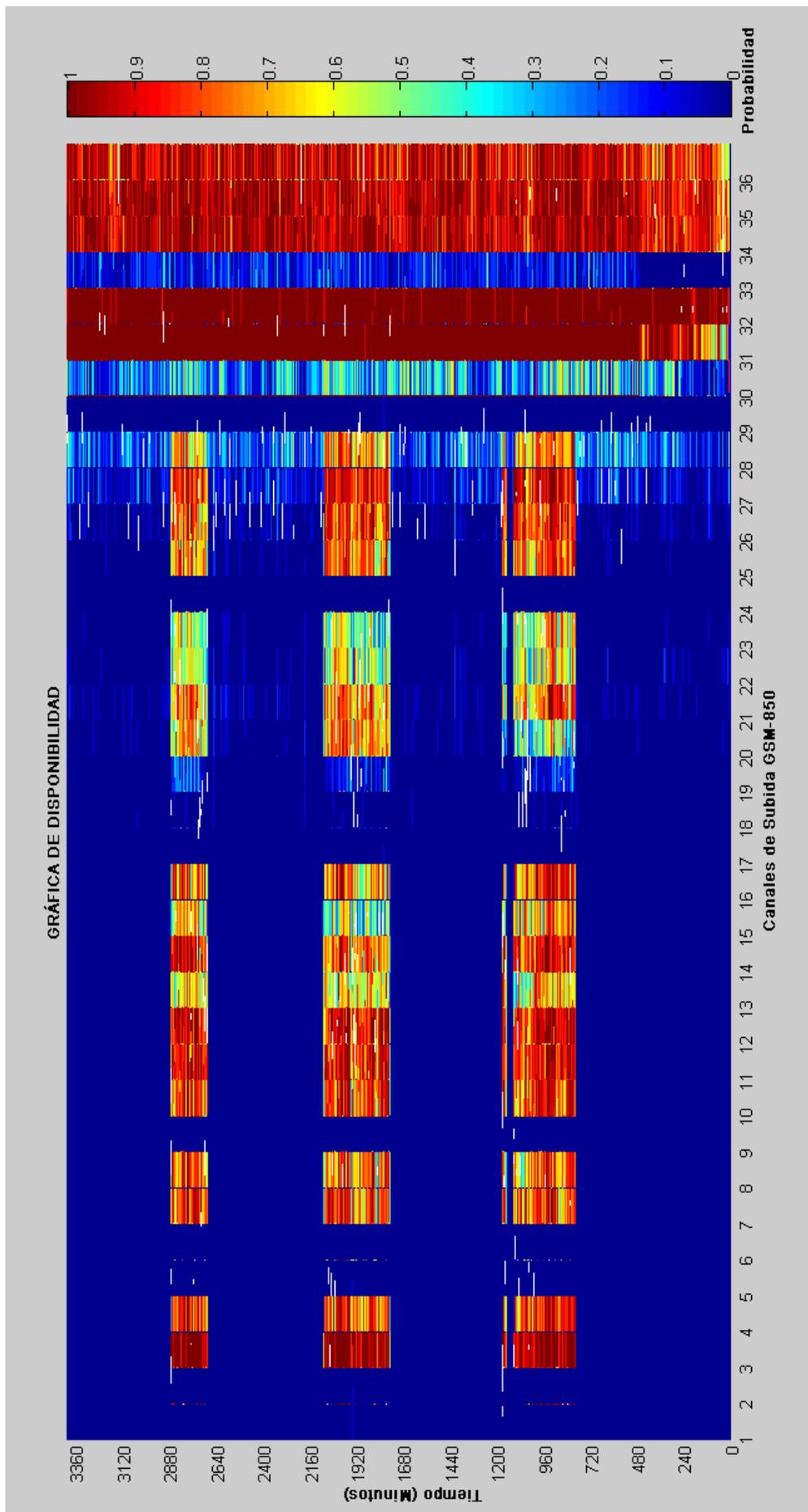


Figura 4.9: Porcentajes de disponibilidad temporal de los canales de subida de GSM-850 (PISO 17).

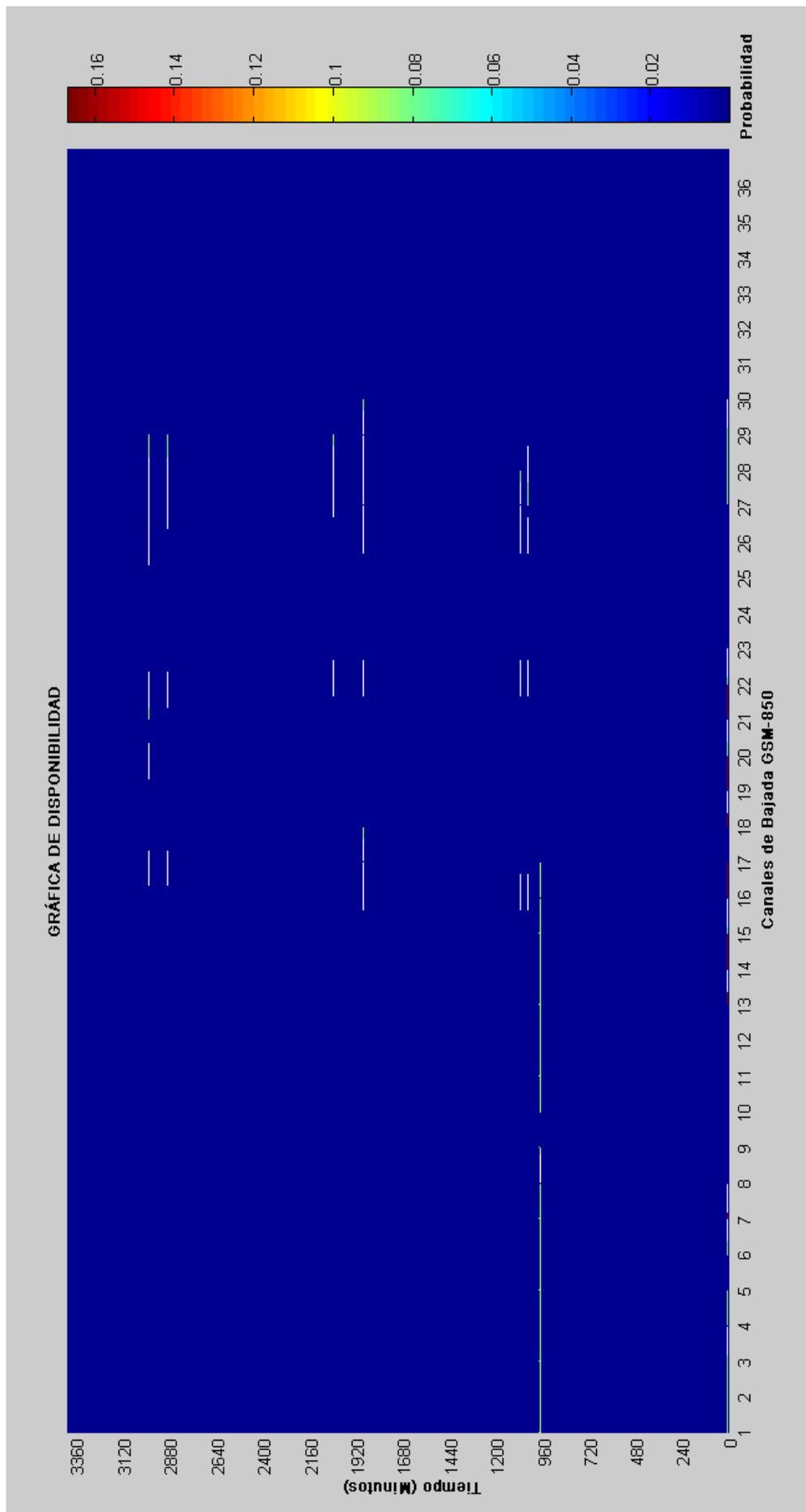


Figura 4.10: Porcentajes de disponibilidad temporal de los canales de bajada de GSM-850 (PISO 17).

4.3.2 Ajuste estadístico de la disponibilidad

En los tres pisos existen canales que prácticamente no presentan disponibilidad durante todo el intervalo del tiempo que se llevó a cabo la medición, como es el caso de todos los canales bajada de la banda GSM-850 como se ve en la figura 4.10 y un grupo muy considerable de los canales de subida en el primer piso y en el piso 11 vistos en las figuras 4.7 y 4.8 respectivamente, donde solo en cuatro canales se puede considerar un grado de disponibilidad, pero durante una proporción baja del tiempo total de la medición; por lo tanto, sólo este grupo de canales en estos pisos serán tomados en cuenta como disponibles para realizar el ajuste estadístico.

En la figura 4.9 del piso 17 se tiene el mayor número de canales que presentan una alta disponibilidad durante intervalos de tiempos e incluso hay canales para los cuales se puede considerar una alta disponibilidad durante todo el intervalo del tiempo que se llevó a cabo la medición; todos los canales que presentan estas características en este piso pasarán por el proceso de ajuste por parte de un modelo estadístico.

En la figura 4.11 y figura 4.12 se puede observar la gráfica de la función de distribución acumulada (CDF) de la disponibilidad, con relación a los datos obtenidos empíricamente por el sistema de medición, de los canales de subida 15 y 30 respectivamente, en el primer piso del edificio. También en estas mismas figuras se observan las CDF de los tres modelos estadísticos seleccionados, para los cuales se estimaron sus parámetros, permitiendo el mayor ajuste posible por parte de cada modelo estadístico hacia la gráfica de la CDF de los canales. Como se puede observar en cada figura existe un modelo estadístico que se asemeja o se aproxima de mejor manera al comportamiento que tienen las CDF empíricas de los canales seleccionados, lo cual nos permitiría de manera relativa y aproximada expresar mediante una función estadística el comportamiento que presenta la disponibilidad de los canales.

Como se puede observar en las figuras, la disponibilidad que presentan los canales en el primer piso es baja, teniendo valores altos en la CDF durante todo el intervalo de tiempo.

Para verificar la parte del modelado estadístico se hizo uso de la prueba de bondad de ajuste kolmogorov-Smirnov, con lo cual se logra determinar si el

modelo que se encuentra utilizando se ajusta de manera apropiada al comportamiento real de los datos de la disponibilidad, los cuales se generaron en base a los datos de potencia obtenidos empíricamente.

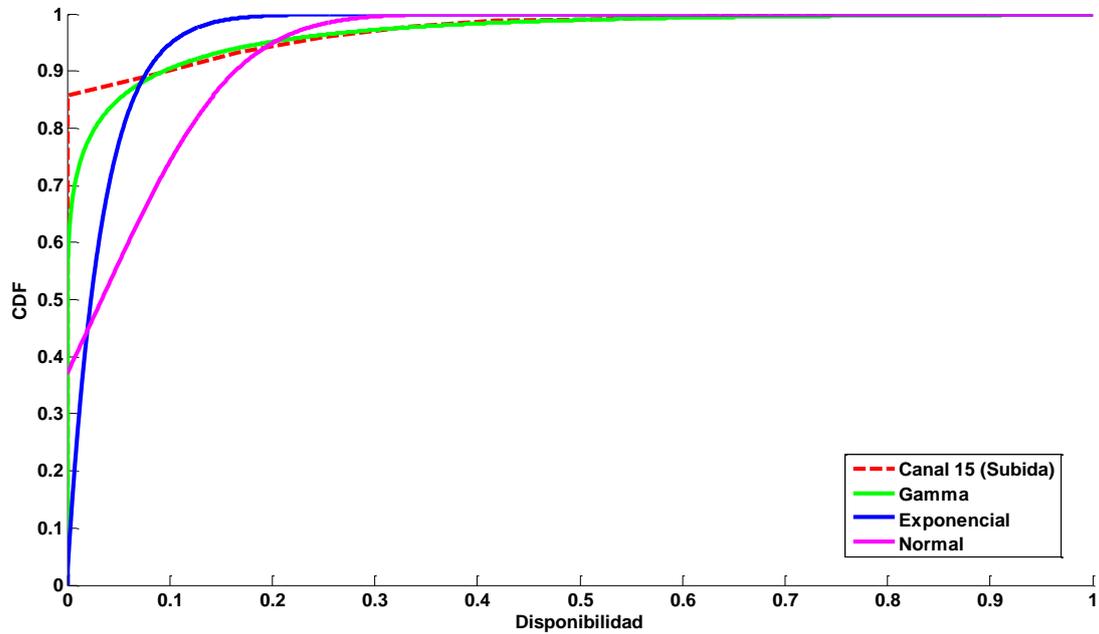


Figura 4.11: Ajuste de tres funciones estadísticas al canal 15 (PISO 1).

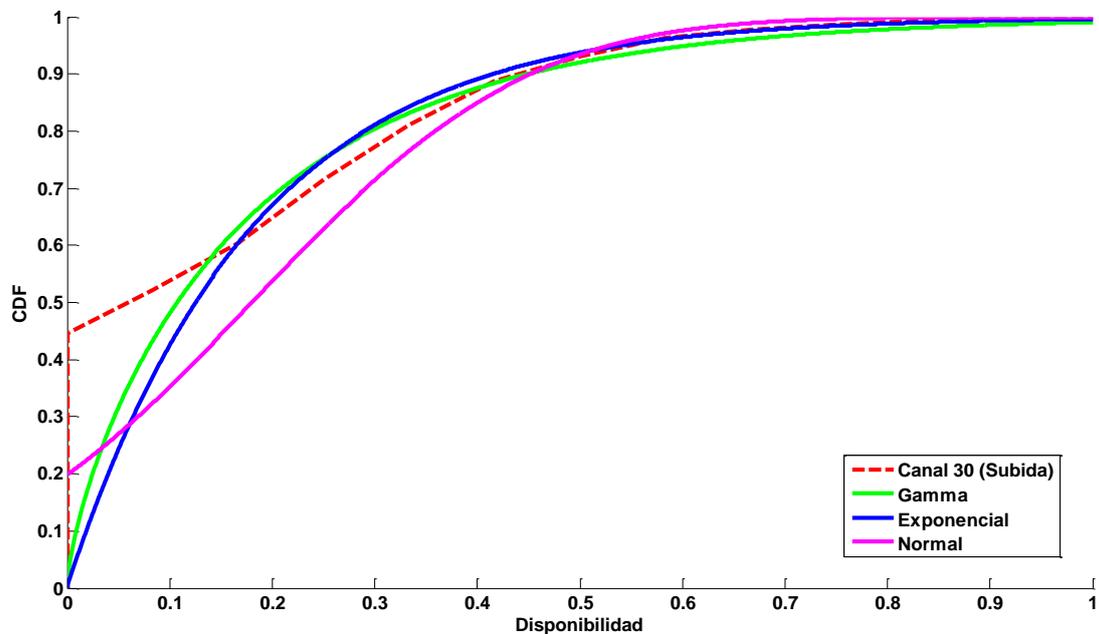


Figura 4.12: Ajuste de tres funciones estadísticas al canal 30 (PISO 1).

En la figura 4.13, figura 4.14, figura 4.15 y figura 4.16 se representa lo mismo descrito para las figuras 4.11 y 4.12 e incluso los mismos canales, excepto que para estas figuras se tomaron en cuenta los datos obtenidos en los pisos 11 y 17 respectivamente.

De estas figuras se puede destacar que el valor de la CDF es más alto en el piso 11 que en el piso 17, cosa más perceptible para el canal 30, donde se observa que la CDF empírica del canal 30 en el piso 11 tiene una forma convexa, mientras que al pasar al piso 17 este mismo canal pasa a tener una representación cóncava.

El canal 30 de subida como se puede observar en la figura 4.16 es uno de los que presentan una mayor disponibilidad durante todo el intervalo de tiempo, por lo que se puede considerar este canal como ejemplo como uno de los cuales tiene disposición a una transmisión ininterrumpida en su segmento de frecuencia por parte de otro sistema.

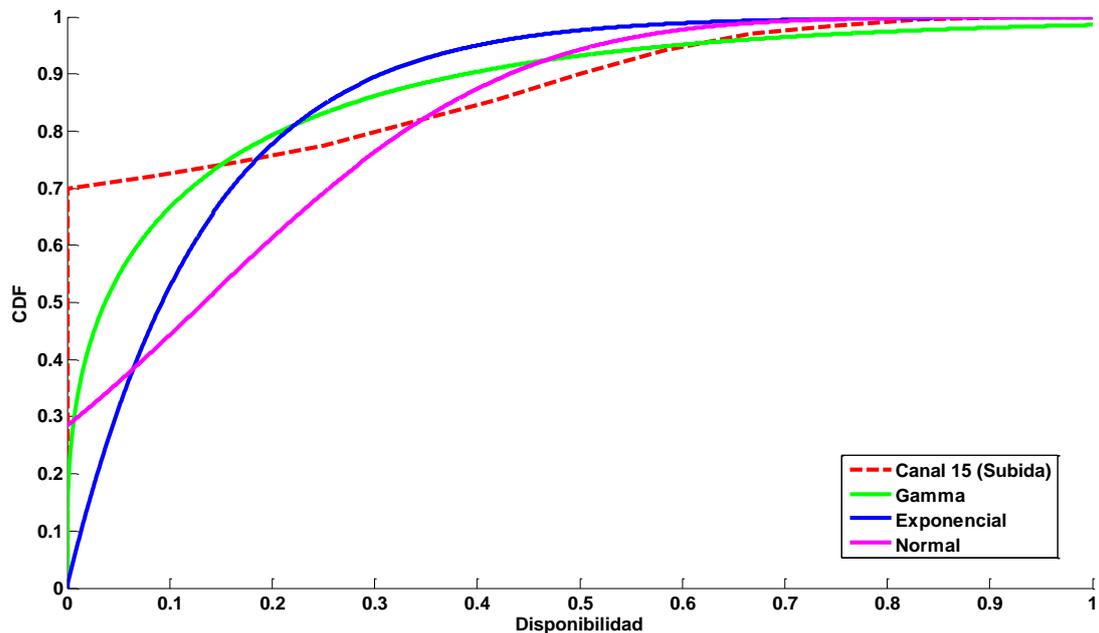


Figura 4.13: Ajuste de tres funciones estadísticas al canal 15 (PISO 11).

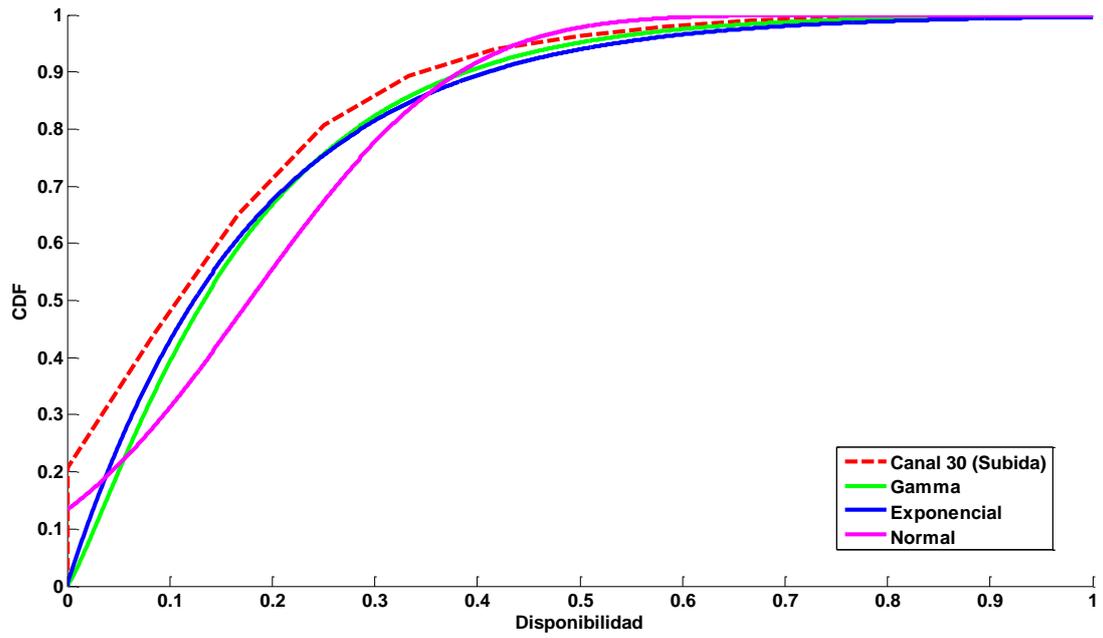


Figura 4.14: Ajuste de tres funciones estadísticas al canal 30 (PISO 11).

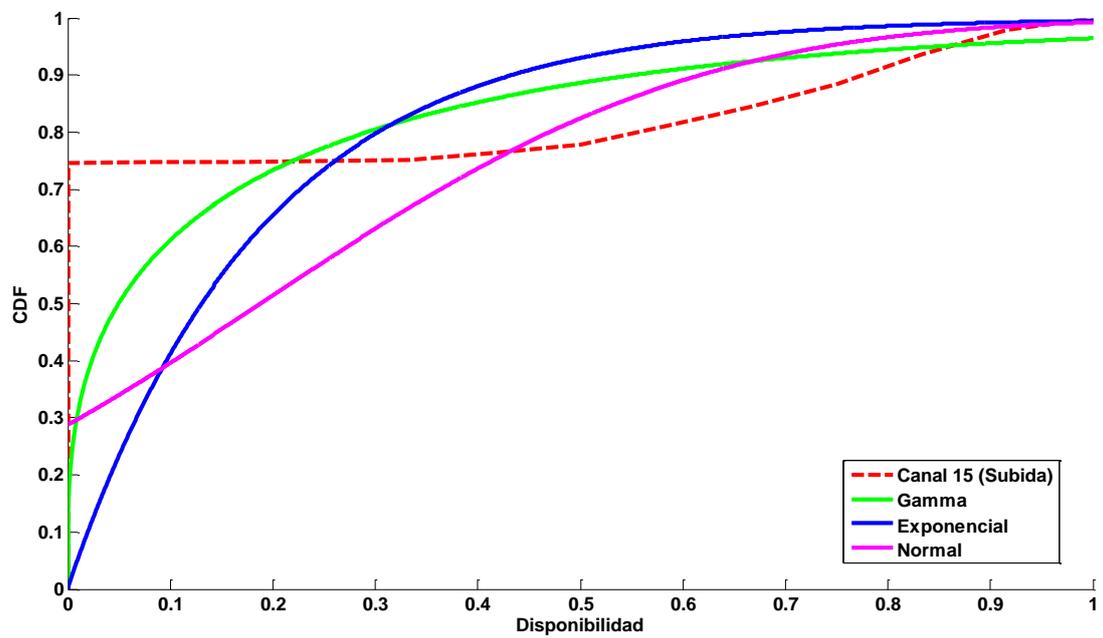


Figura 4.15: Ajuste de tres funciones estadísticas al canal 15 (PISO 17).

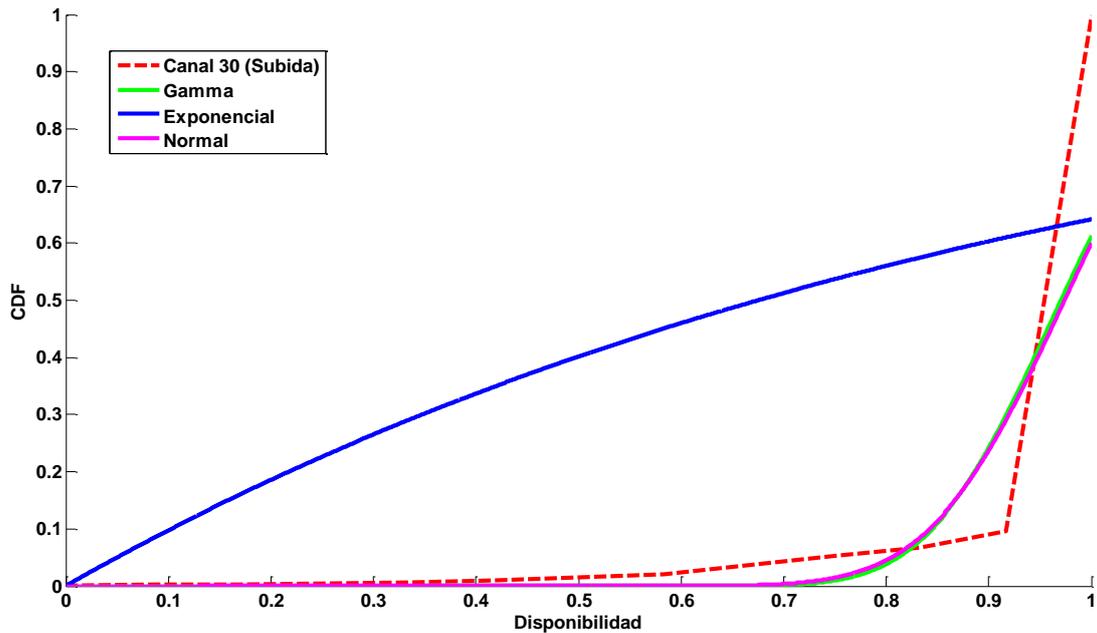


Figura 4.16: Ajuste de tres funciones estadísticas al canal 30 (PISO 17).

En la figura 4.17 y figura 4.18 se presenta la disponibilidad que tienen los canales 15 y 31 respectivamente en cada una de las tres instancias del edificio, gracias a estas gráficas se puede constatar visualmente del incremento que presenta la disponibilidad a medida que se asciende de nivel en el interior del edificio.

En la figura 4.17 se observa un incremento proporcional de la disponibilidad para el canal 15, tomando el punto de tener una disponibilidad menor o igual al 50%, en el piso 1 se presenta esta disponibilidad el 98% del tiempo, mientras que en el piso 11 el 89% y en el piso 17 el 78% del tiempo, con lo cual se observa un decremento alrededor del 10% del tiempo que se presenta una disponibilidad menor o igual al 50% para este canal, a medida que se asciende en los niveles seleccionado del edificio.

El canal 31 presenta un comportamiento menos secuencial, como se puede ver en la figura 4.18, este canal presenta una similiar baja disponibilidad en los pisos 1 y 11 pero al pasar al piso 17 su disponibilidad se incrementa considerablemente, teniendo al menos una disponibilidad del 95% durante el 50% del tiempo.

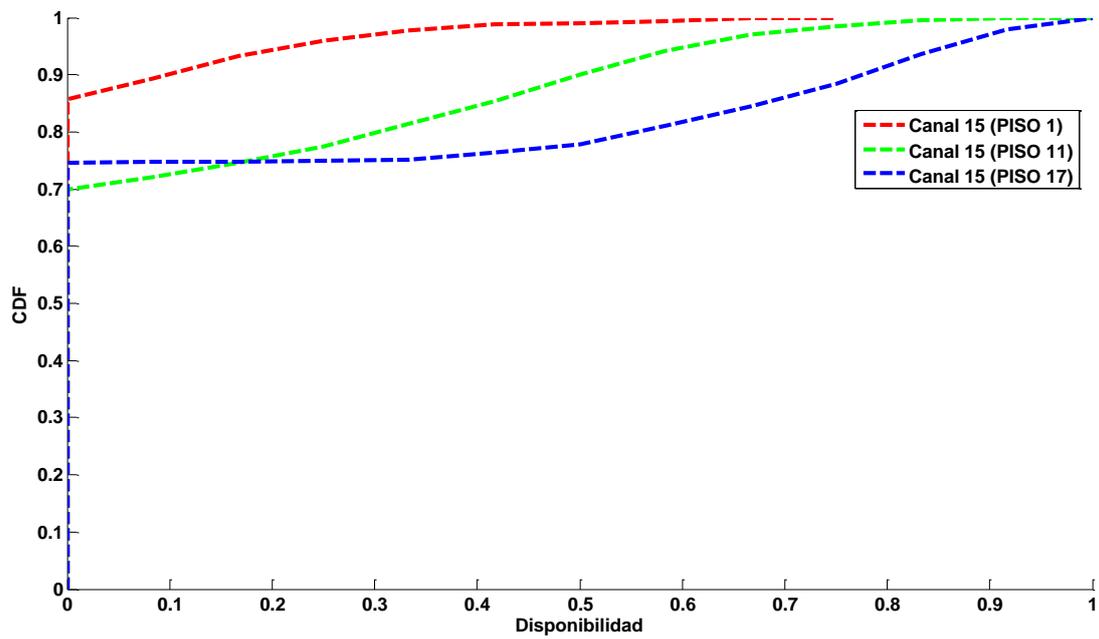


Figura 4.17: Contraste del canal 15 en las tres instancias del edificio.

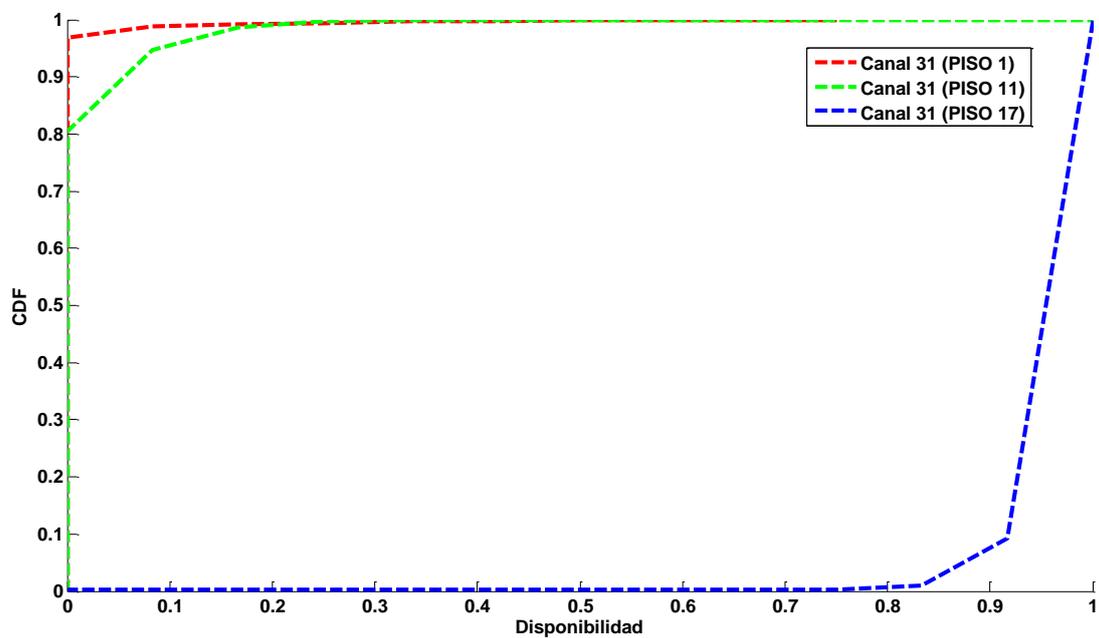


Figura 4.18: Contraste del canal 31 en las tres instancias del edificio.

En la figura 4.19 se observan las gráficas del número de canales disponibles por instante de tiempo, tanto para el piso 1, 11 como el 17, en

la figura se describe con un código de colores la representación para cada una de las tres instancias. En esta figura también se contrasta el incremento de los canales disponibles a medida que se asciende de nivel, pero presentándose el mayor número de canales disponibles en el piso 17, teniendo un promedio de canales disponibles de 6 canales equivalentes a 1.2 MHz del espectro radioeléctrico disponible.

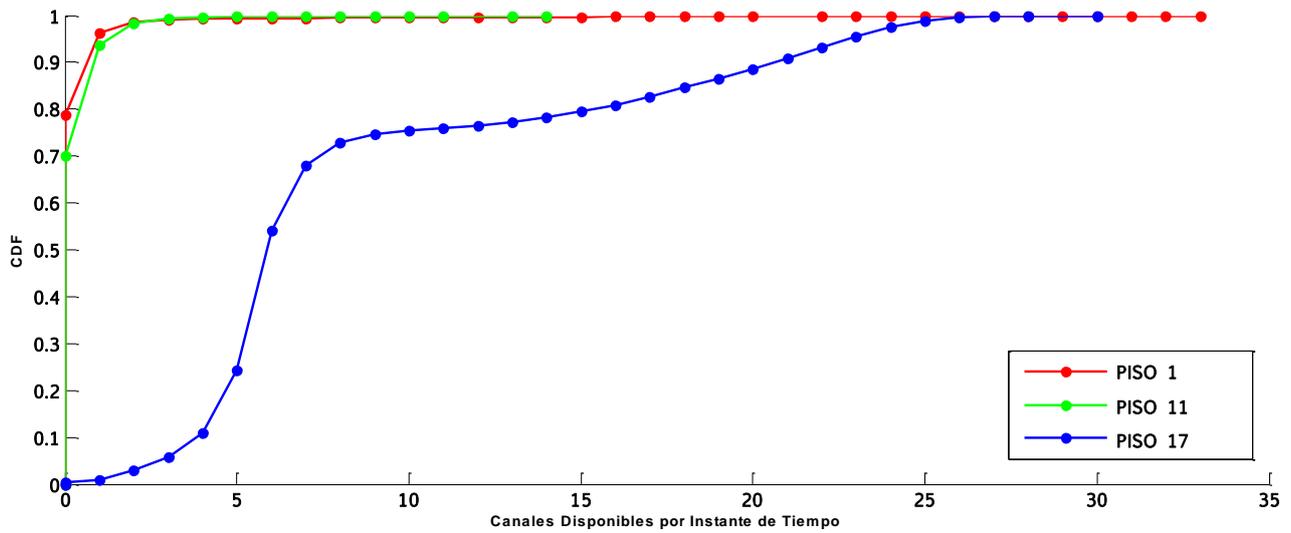


Figura 4.19: Disponibilidad de canales por piso en un instante de tiempo.

CONCLUSIONES

1. Los resultados mostrados en las gráficas nos llevan a concluir que el servicio de telefonía que se ofrece por la ubicación de la antena es apto para que la señal sea receptada por los usuarios que estén presentes en las instalaciones del edificio en la posición de consideración, en el piso 1, 11 y 17, debido a que la potencia que es receptada supera el umbral establecido por la ETSI.
2. En general, los canales de subida se encuentran más disponibles que los de bajada, es decir, la potencia que es emitida por la estación base, es mayor en el punto de toma de datos, que las potencias emitidas por los dispositivos móviles.
3. Se puede concluir que por algún factor se encuentra mayor disponibilidad en el piso de mayor altura en donde se realizaron las tomas de mediciones, presentándose disponibilidad en 24 de los 36 canales en consideración, obteniendo lapsos de tiempo donde más del 50% de los canales no cumplen con la función para la que es requerida.
4. La disponibilidad de los canales de subida se encuentran establecidos por horarios esto es mostrado en los canales de subida del piso 17 en donde se encuentran lapsos de tiempo en los que la disponibilidad tiene un porcentaje elevado, en la mayoría de los casos excede el 50%, pero en otros intervalos, la disponibilidad es casi o totalmente nula, tomando en cuenta el horario en el que empezaron las mediciones y la escala del tiempo, estos horarios pertenecen a horas en la madrugada.

RECOMENDACIONES

1. Para futuros estudios se recomienda tener una estructura homogénea en cuanto a construcción, para realizar la toma de datos, debido a que se notificó que el edificio en el que se basó el estudio, tenía un muro de concreto más grueso que las paredes exteriores por lo que existían lugares en donde no se receptaba la señal.
2. Para la toma de mediciones se recomienda que el número de datos sea mucho mayor a 17000, ya que esta cantidad de datos no ayudan a que se pueda escoger un modelo estadístico para los resultados.
3. El edificio en cuestión tiene 25 pisos para poder tener una mejor visión de cómo afecta la altura en la que se realizan las mediciones, se pudo haber tomado mediciones en el último piso, de esta manera se tenían otros datos acerca de las potencias.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ericsson Mobility Report, June 2015, ERICSSON.
- [2] Charles Thomas Mmary, "Cognitive Radio for Broadband Access in Rural Africa and other Developing Countries", Tesis de Maestría, Department of Electronics, University of York, UK, 2011
- [3] Evelio Martinez. (2001, Mayo 10). La evolucion de la telefonía móvil (1st ed.) [Online]. Disponible en: <http://www.eveliux.com/mx/La-evolucion-de-la-telefoniamovil.html>
- [4] Comunidad de Madrid. (2012, junio 16). 10 cuestiones básicas sobre telefonía móvil (1st ed.) [Online]. Disponible en:
http://www.madrid.org/cs/Satellite?pagename=PortalSalud/Page/PTSA_pintarContenidoFinal&cid=1162813783648
- [5] El Tiempo. (2013, diciembre 11). El 75% de las antenas de telefonía celular en Bogotá es ilegal. (1st ed.) [Online]. Disponible en:
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13274318>
- [6] GSMA. (2014, mayo 19). Las ciudades colombianas con más estaciones bases reciben menos emisiones electromagnéticas (1st ed.) [Online]. Disponible en:<http://www.gsma.com/latinamerica/es/las-ciudades-colombianas-con-mas-estaciones-bases-reciben-menos-emisiones-electromagneticas>
- [7] Flores, A.B.; Guerra, R.E.; Knightly, E.W.; Ecclesine, P.; Pandey, S., "IEEE 802.11af: a standard for TV white space spectrum sharing," in *Communications Magazine, IEEE*, vol.51, no.10, pp.92-100, October 2013
- [8] EMOL, (2012, octubre 11). Líneas telefónicas y de celulares sufrieron caídas tras sismo en zona central [online]. Disponible en:
<http://www.emol.com/noticias/tecnologia/2012/10/11/564279/se-presenta-caida-de-lineas-telefonicas-y-celulares-tras-sismo-en-zona-central.html>
- [9] Revista Española de Electrónica, (2004, septiembre). Medidas de Potencia en Canal y Canal Adyacente [online]. Disponible en:
<http://redeweb.com/articulos/articulo.php?id=831>.
- [10] Kenneth E. DePaul, Markus Berg, Supratim Deb and Vikram Srinivasan, White Spaces and Mobile Communications, Alcatel, France, 2011.

- [11] Cisco, (2014). VNI Mobile Forecast Highlights [online]. Disponible en: http://www.cisco.com/assets/sol/sp/vni/forecast_highlights_mobile/index.html.
- [12] WILLIAM E. KENNARD, (1999, junio). Guía regulatoria para la construcción de una comunidad global de información [online]. Disponible en: <https://transition.fcc.gov/ib/initiative/files/cg/spanish/1.pdf>
- [13] Ortiz Neiser, Trujillo Ximena, "Análisis de Modelos de Negocios Para la Transición a la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador Con Vista Al Apagón Analógico", Tesis de Maestría, Maestría en Gerencia de Redes y Telecomunicaciones, ESPE, Ecuador, Sangolquí, 2015.
- [14] Albert Cuesta. (2015, Junio 25). Operadoras y fabricantes pronostican larga vida a la 2G [Online]. Disponible en: <http://www.mobileworldlive.com/spanish/p2yt4k-snd/>
- [15] Monica Gorricho y Juan L. Gorricho, Comunicaciones móviles, 1ra ed. Cataluña: Edicions UPC, 2002
- [16] Oscar Gete y Alonso Roldán, "ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD DE SEÑALES DE LOCALIZACIÓN GPS/GSM", UPC., Barcelona, España, Rep. Dic. 2008.
- [17] José Manuel Huidobro Moya, "Redes por Radio" en Telecomunicaciones Tecnologías, redes y servicios, 2n ed. Bogotá, Colombia: Ra-ma Editorial, 2015, pp. xxx-xxx.
- [18] Amatrás Hernández Cardosa. (2003, Diciembre). Operación de una radio base celular cuando coexisten GSM & IS-54, IS-136 [Online]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/portada.html
- [19] European Telecommunications Standards Institute. (2014, Enero). Digital Cellular communications system (Phase 2+); Radio transmission and reception [Online]. Disponible en: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/145000_145099/145005/10.08.00_60/ts_145005v100800p.pdf
- [20] Patricia María Sánchez Gómez. (2005, Septiembre). Análisis del desempeño de las redes celulares GSM-GPRS [Online]. Disponible en: http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/LTesis_Patricia_Sanchez.pdf
- [21] Diego Tapia Paredes. (2009). Aspectos técnicos y legales para la aplicación de sistemas de interferencia para teléfonos celulares con tecnología GSM en el Ecuador [Online]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/107/1/T-ESPE-026600.pdf>

[22] CONATEL. (2014). RESOLUCIÓN TEL-042-0-CONATEL-2014 [Online]. Disponible en:

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Res-498-25-CONATEL-2012-Prestacion_SMA1.pdf

[23] Gustavo Noboa Bejarano. (2011). REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES [Online]. Disponible en:

<http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2015/04/REGLAMENTO-GENERAL-A-LEY-ESPECIAL-DE-TELECOMUNICACIONES.pdf>

[24] CONATEL. (2002). Reglamento para la prestación del servicio móvil avanzado [Online]. Disponible en:

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Res-498-25-CONATEL-2012-Prestacion_SMA1.pdf

[25] Paramvir Bahl, Ranveer Chandra, Thomas Moscibroda, Rohan Murty, Matt Welsh., "White Space Networking with Wi-Fi Connectivity" Microsoft Research, Redmond,WA, Agosto 2009.

[26] Kenneth E. DePaul, Markus Berg, Supratim Deb, Vikram Srinivasan. "White Spaces and Mobile Communications", Strategic White paper., 2011.

[27] Qing Zhao; Sadler, B.M., "A Survey of Dynamic Spectrum Access," in Signal Processing Magazine, IEEE , vol.24, no.3, pp.79-89, May 2007

[28] Haykin, Simon, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," in Selected Areas in Communications, IEEE Journal on , vol.23, no.2, pp.201-220, Feb. 2005.

[29] Arshpreet Kaur; Shashi Bhushan., "Secure TDMA Based Dynamic Spectrum Access with Mobile Base Stations" in Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), ISSN , vol.2, no.40, Agosto 2015

[30] Hasan, S.; Heimerl, K.; Harrison, K.; Ali, K.; Roberts, S.; Sahai, A.; Brewer, E., "GSM whitespaces: An opportunity for rural cellular service," in *Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN), 2014 IEEE International Symposium on* , vol., no., pp.271-282, 1-4 April 2014

[31] ARCOTEL. (2015). Geoportal [Online]. Disponible en:

<http://geoportal.supertel.gob.ec:7012/Geoportal/Visor.html>

[32] Edwin Giannine Valarezo Añazco; Daniel Alberto Zhunio Maldonado; Phd. Freddy Villao Quezada. "ESTRUCTURACIÓN DEL ENTORNO REGULATORIO ADECUADO DEL ECUADOR PARA FACILITAR LA IMPLEMENTACIÓN DE LA BANDA ANCHA MÓVIL" Escuela Superior Politécnica del Litoral, Julio 2013

ANEXOS

GSM	(Global Systems for Mobile communications)
SMS	(short message service)
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers)
FCC	(Federal Communications Commission)
LTE	(Long Term Evolution)
M2M	(Machine to Machine)
ETSI	(European Telecommunicatios Standarts Institute)
SMS	(Short Message Service)
SIM	(Subscriber Identity Module)
FDMA	(Frequency Division Multiple Access)
TDMA	(Time Division Multiple Access)
GMSK	(Gaussian Minumum Shift Keying)
FM	(Frequency Modulation)
BSS	(Business Support Systems)
NSS	(Network and Switching Sub-System)
OSS	(Operations Support Systems)
BTS	(Base Transceiver Station)
BSC	(Base Station Controler)
CONATEL	(consejo nacional de telecomunicaciones)
SMA	(servicio móvil avanzado)
ITU	(International Telecommunications Union)
WLAN	(Wireless Local Área Network)
WRAN	(Wireless Regional Área Network)
UHF	(Ultra High Frequency)
DSA	(Dynamic Spectrum Access)
ISM	(Industrial, Scientific and Medical)
SDR	(Software Defined Radio)

Captura_NivelIP.m

```
%%%%%%%%%% Capture Procedure %%%%%%%%%%%
%% Initialization
clear all;
radio=1;
format short;
dbcanales=[];
guard=1;
numd=0;
fincanal=15;
fcini=870.6e6;
BW=3e6;
bandadown=1;
for num=1:100000
    fprintf('Registro: %d',num);
    canal=1;
    numd=numd+1;
    fc=fcini;
    for i=1:3
        disp('Inicio');
        radio = comm.SDRRTLReceiver('0',...
            'CenterFrequency',fc,...
            'EnableTunerAGC',true,...
            'SampleRate',BW,...
            'SamplesPerFrame',256*15,...
            'OutputDataType', 'double');

        data=step(radio);
        [datafreq,f] = periodogram(data,hamming(length(data)),length(data),BW,'psd');
        datafreq=fftshift(datafreq);
        for avcan=1:fincanal
            potcanal=datafreq(avcan*256-255:256*avcan,1);
            maxi=max(potcanal);
            potmaxi=pow2db(maxi);
            dbcanales(numd,canal)=potmaxi;
            canal=canal+1;
            if canal==30 || canal>=37
                break;
            end
        end
        reset(radio);
        release(radio);
        fc=fc+BW*i;
        if i==3 && bandadown==1
            fc=891.6e6;
        elseif i==3
            fc=846.6e6;
        end
    end
end
if numd==10 && bandadown==1
    A=load('ArchivoDown.mat');
    AA=[A.AA;dbcanales];
    save('ArchivoDown.mat', 'AA');
    clear dbcanales;
```

```
numd=0;
bandadown=0;
fcini=825.6e6;
elseif numd==10
A=load('ArchivoUp.mat');
AA=[A.AA;dbcanales];
save('ArchivoUp.mat', 'AA');
clear dbcanales;
numd=0;
bandadown=1;
fcini=870.6e6;
end
end
```

Tabla 8: Bandas asignadas para sistema GSM-850 [32]

Operadora	Canales	Rango de frecuencias (MHz)
CONECEL	subida	824 - 835
		845 - 846.5
	bajada	869 - 880
		891.5 - 894
OTECEL	subida	835 - 845
		846.5 - 849
	bajada	880 - 890
		891.5 - 894

Tabla 15: Parámetros de Ajuste y Estado del Test Kolmogorov Smirnov (PISO 1, 1=ACEPTA, 0=NOACEPTA)

Canales de Subida	Gamma		Exponencial	Normal		Gamma	Exponencial	Normal	Gamma	Exponencial	Normal
	a	b	μ	μ	σ	Dn	Dn	Dn	KS Test	KS Test	KS Test
1	0,100	0,258	0,026	0,026	0,082	0,055	0,085	0,077	0	0	0
16	0,111	0,305	0,034	0,034	0,102	0,057	0,103	0,063	0	0	0
31	0,723	0,249	0,180	0,180	0,212	0,124	0,117	0,023	0	0	1

Tabla 16: Parámetros de Ajuste y Estado del Test Kolmogorov Smirnov (PISO 11, 1=ACEPTA, 0=NOACEPTA)

Canales de Subida	Gamma		Exponencial	Normal		Gamma	Exponencial	Normal	Gamma	Exponencial	Normal
	a	b	μ	μ	σ	Dn	Dn	Dn	KS Test	KS Test	KS Test
3	0,111	0,191	0,021	0,021	0,064	0,049	0,066	0,066	0	0	0
16	0,328	0,406	0,133	0,133	0,233	0,090	0,129	0,083	0	0	0
31	1,238	0,144	0,178	0,178	0,160	0,106	0,104	0,039	0	0	1
32	0,157	0,144	0,023	0,023	0,057	0,155	0,194	0,178	0	0	0

Tabla 17: Parámetros de Ajuste y Estado del Test Kolmogorov Smirnov (PISO 17, 1=ACEPTA, 0=NOACEPTA)

Canales de Subida	Gamma		Exponencial	Normal		Gamma	Exponencial	Normal	Gamma	Exponencial	Normal
	a	b	μ	μ	σ	Dn	Dn	Dn	KS Test	KS Test	KS Test
3	0,334	0,713	0,238	0,238	0,412	0,136	0,180	0,214	0	0	0
4	0,324	0,621	0,201	0,201	0,353	0,124	0,170	0,193	0	0	0
7	0,319	0,601	0,192	0,192	0,340	0,122	0,167	0,202	0	0	0
8	0,316	0,563	0,178	0,178	0,317	0,120	0,167	0,184	0	0	0
10	0,320	0,606	0,194	0,194	0,343	0,122	0,167	0,206	0	0	0
11	0,327	0,644	0,211	0,211	0,368	0,128	0,175	0,205	0	0	0
12	0,325	0,654	0,213	0,213	0,373	0,125	0,169	0,209	0	0	0
13	0,308	0,508	0,157	0,157	0,282	0,116	0,164	0,146	0	0	0
14	0,322	0,603	0,194	0,194	0,342	0,105	0,150	0,160	0	0	0
15	0,279	0,473	0,132	0,132	0,250	0,088	0,136	0,113	0	0	0
16	0,316	0,596	0,188	0,188	0,335	0,118	0,164	0,198	0	0	0
20	0,292	0,490	0,143	0,143	0,265	0,086	0,135	0,134	0	0	0
21	0,345	0,518	0,179	0,179	0,304	0,110	0,153	0,180	0	0	0
22	0,307	0,410	0,126	0,126	0,227	0,100	0,144	0,091	0	0	0
23	0,295	0,415	0,122	0,122	0,225	0,096	0,139	0,075	0	0	0
25	0,324	0,541	0,176	0,176	0,308	0,120	0,165	0,177	0	0	0
26	0,358	0,554	0,198	0,198	0,332	0,119	0,159	0,185	0	0	0
27	0,573	0,453	0,260	0,260	0,343	0,116	0,144	0,239	0	0	0
28	1,308	0,227	0,297	0,297	0,260	0,064	0,052	0,111	0	0	0
30	89,997	0,011	0,974	0,974	0,103	0,037	0,458	0,036	1	0	1
31	279,012	0,004	0,989	0,989	0,059	0,010	0,445	0,010	1	0	1
32	1,101	0,089	0,098	0,098	0,093	0,427	0,426	0,344	0	0	0
33	69,390	0,013	0,898	0,898	0,108	0,125	0,380	0,121	0	0	0
34	67,199	0,013	0,899	0,899	0,110	0,138	0,380	0,135	0	0	0
35	52,713	0,017	0,874	0,874	0,120	0,173	0,391	0,163	0	0	0
36	12,797	0,048	0,611	0,611	0,171	0,028	0,380	0,016	1	0	1

