

UNIVERSIDAD APEC



DECANATO DE INGENIERÍA

**“Propuesta de mejora a la administración del Espectro Radioeléctrico
en la banda de 470Mhz a 6GHz en La República Dominicana”**

**Trabajo de Grado para Optar por el Título de:
INGENIERO ELECTRONICO MENCION COMUNICACIONES**

Sustentando por:

Br. Mercedes Alexandra Arias Domínguez 2004-1738

Br. José Antonio García Ramírez 2004-1980

Asesor:

Ing. Porfirio Sánchez Ureña

“Los conceptos emitidos en el presente Trabajo de Grado son de la exclusiva responsabilidad de los sustentantes

Santo Domingo, República Dominicana

2008

DEDICATORIA

A Dios

A Mi Familia

Mercedes Alexandra Arias Domínguez

Dedico esta tesis A Dios, A Mi Familia y a todos aquellos que me motivaron a llegar a este punto de mi vida.

José Antonio García Ramírez

INDICE

DEDICATORIA INTRODUCCION METODOLOGIA

CAPITULO I: EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO. GENERALIDADES

| | |
|--|----|
| 1.1 El Espectro Radioeléctrico | 1 |
| 1.1.1 Características del Espectro como Recurso..... | 1 |
| 1.1.2 Distribución del Espectro Radioeléctrico | 7 |
| 1.1.3 Atenuación de las Ondas Electromagnéticas..... | 11 |
| 1.1.4 Interferencias..... | 13 |
| 1.2 Gestión del Espectro Radioeléctrico | 16 |
| 1.2.1 Funciones de la Regulación del Espectro..... | 19 |
| 1.2.2 Organismos Internacionales | 22 |

CAPITULO II: SITUACIÓN ACTUAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO DOMINICANO

| | |
|--|----|
| 2.1 Marco Regulatorio | 24 |
| 2.2 Atribución Nacional de Frecuencias | 26 |
| 2.3 Análisis De Los Servicios en el Segmento de 470MHz a 6GHz y sus Comportamientos | 28 |

CAPITULO III: ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SEGMENTO DE 470 MHZ A 6 GHZ DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO NACIONAL

| | |
|--|----|
| 3.1 Estudio de Modelos Aplicados en otros Países | 34 |
| 3.1.1 Televisión Digital Terrestre (TDT) | 34 |
| 3.1.1.1 Modelo Americanos ATSC | 34 |
| 3.1.1.2 Modelo Europeo DVB-T | 36 |
| 3.1.1.3 Modelo Japonés ISDB-T | 37 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.1.2 | Diferencias Técnicas entre los Modelos ATSC y DBV-T | 40 |
| 3.1.3 | La transición a TDT en diferentes países | 43 |
| 3.1.4 | Comunicaciones Móviles | 45 |
| 3.1.4.1 | GSM | 46 |
| 3.1.4.2 | GPRS | 46 |
| 3.1.4.3 | EDGE | 47 |
| 3.1.4.4 | HSCSD | 49 |
| 3.1.4.5 | HSDPA | 49 |
| 3.1.4.6 | HSUPA | 51 |
| 3.1.4.7 | HSPA | 51 |
| 3.1.4.8 | UMTS | 51 |
| 3.1.4.9 | EVDO | 52 |
| 3.1.4.10 | WCDMA | 53 |
| 3.1.4.11 | LTE | 54 |
| 3.2 | Desarrollos Técnicos Que Habilitan Nuevas Posibilidades en el Segmento Radioeléctrico Estudiado (470MHz A 6GHz) | 56 |
| 3.2.1 | Tecnologías de información Eficiente..... | 56 |
| 3.2.1.1 | Código Fuente (Source Coding)..... | 56 |
| 3.2.1.2 | Reducción de Redundancia | 57 |
| 3.2.1.3 | Compresión de Datos | 58 |
| 3.2.1.4 | Corrección de Error | 58 |
| 3.2.2 | Tecnologías de Eficiencia del Espectro..... | 59 |
| 3.2.2.1 | Modulación Avanzada..... | 60 |
| 3.2.2.2 | Formación de Pulso | 61 |
| 3.2.2.3 | Receptores | 62 |
| 3.2.2.4 | Tradeoffs..... | 62 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.2.3 | Tecnologías Procesamiento Digital de Señales..... | 63 |
| 3.2.3.1 | Identificadores de Contenido de Frecuencia | 64 |
| 3.2.3.2 | Radio Definido por Software | 66 |
| 3.2.4 | Tecnologías de Rehuso del Espectro..... | 66 |
| 3.2.4.1 | Antenas Direccionales | 67 |
| 3.2.4.2 | Redes | 68 |
| 3.2.4.3 | Comunicaciones con Espectro Ensanchado | 71 |
| 3.2.4.4 | Antenas Inteligentes | 75 |
| 3.2.5 | Administración Dinámica del Espectro..... | 77 |
| 3.2.4.1 | Spectrum Mining..... | 78 |
| 3.2.4.2 | Asignación Dinámica de Canales..... | 79 |
| 3.2.6 | Alternativas para el Manejo Eficiente del Espectro | 82 |
| 3.2.7 | Servicios en el Segmento de 470Mhz A 6Ghz y sus Comportamientos.... | 84 |
| 3.2.7.1 | Bluetooth | 85 |
| 3.2.7.2 | RFID | 86 |
| 3.2.7.3 | Dispositivos de Corto Alcance (SRD) | 86 |
| 3.2.7.4 | WIBRO | 87 |
| 3.2.7.5 | WIFI | 87 |
| 3.2.7.6 | WIMAX..... | 89 |
| 3.2.7.7 | ZIGBEE..... | 90 |
| 3.3 | Propuesta de Mejora de la Atribución del Segmento de 470MHz A 6GHz del Espectro Radioeléctrico en República Dominicana | 91 |

CONCLUSION

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INTRODUCCION

El espectro radioeléctrico se define, desde un punto de vista técnico, como el conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial. Dichas ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y su potencia (energía) lo que condiciona su modo de propagación y les confiere propiedades distintas.

El espectro radioeléctrico puede ser uno de los recursos más estrictamente regulados de todos los tiempos. Ha existido tradicionalmente un interés en lograr técnicas que permitan que varios servicios de radiocomunicaciones utilicen de manera efectiva la misma banda de frecuencias. Esta necesidad de compartición está aumentando, y con ella el interés en nuevas técnicas que la mejoren, dado el atractivo de algunas bandas de frecuencias.

Así, las denominadas genéricamente como técnicas de acceso múltiple al medio físico permiten este mejor aprovechamiento de los recursos radioeléctricos. Dichas técnicas están basadas en separar las transmisiones mediante la diferenciación de una de las componentes que intervienen en la transmisión (frecuencia, tiempo, código, espacio o polarización). En particular la técnica de división en frecuencia asigna a cada usuario una fracción del ancho de banda total, de forma que es posible la transmisión continua sobre ese canal; la técnica de división en tiempo otorga a cada usuario el ancho de banda total durante una fracción de tiempo limitada, de forma que cada usuario transmite su información en instantes de tiempos diferentes; la técnica de división en código permite

separar usuarios que transmiten en la misma frecuencia y al mismo tiempo, siempre y cuando cada uno de ellos utilice un código distinto, y estos códigos resulten distinguibles entre sí; la técnica de división en espacio realiza la separación de las comunicaciones mediante el uso de antenas capaces de dirigir su radiación hacia zonas concretas del espacio; y, finalmente, la técnica de división por polarización emplea distintas polarizaciones para separar la transmisión de cada usuario.

La técnica adecuada en cada caso depende de varios factores, tanto técnicos como económicos, como son el tipo de comunicaciones e información a transmitir, la frecuencia propia y las de otros servicios cercanos, la ubicación espacial, la disponibilidad y coste de la tecnología, así como el nivel de interferencias posible y la compatibilidad con otros servicios.

METODOLOGIA

Durante esta investigación se buscaron todas informaciones relacionadas con el Espectro Radio Eléctrico y las tecnologías que nos permitirán hacerlo mas eficiente. En primera instancia se buscó en la Biblioteca virtual de INDOTEL, en la cual obtuvimos toda la información actualizada sobre el espectro Radioeléctrico Dominicano.

En la segunda fase, se comparó el sistema de atribución del espectro dominicano con los atribuidos actualmente en Europa, Asia, América Latina y Norte América, donde se buscó afinidad regional y económica; los datos obtenidos de esta investigación fueron tomados como modelo para realizar nuestra propuesta. Posteriormente se buscó en el Internet información clave que nos ayudó a formular las pautas para nuestras soluciones.

Debido a que la reestructuración del espectro es un tema que requiere de un análisis regional, económico y técnico, el tipo de investigación que usamos fue, la investigación de campo, ya que esta nos brindó las facilidades necesarias para formular una propuesta de la cual el ente Gestor Dominicano pueda tomar de referencia a la hora de aplicarlo y desarrollarlo en nuestro país.

Los métodos utilizado fue el inductivo histórico: Donde se explica la historia y el estado actual del espectro en el país; y el método deductivo: en el cual se analizó y propuso una posible atribución de frecuencias en la cual se satisfacen las necesidades actuales y futuras de la República Dominicana.



***Capítulo I:
El espectro radioeléctrico.
Generalidades***

1.1 El Espectro Radioeléctrico

1.1.1 Características del Espectro como Recurso.

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado. Abarca las ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas entre 9 Khz. y 3,000 GHz, y el espacio por el que se propagan tales ondas sin guía artificial, constituyendo el medio de transmisión y recepción de los servicios de radiocomunicaciones.

La propagación en el espacio libre responde a un modelo ideal análogo a las condiciones de propagación en el vacío. En el entorno terrestre muy pocas situaciones se ajustan a este modelo. La presencia de la tierra, la atmósfera y la ionosfera alteran en la mayoría de los casos reales las condiciones de propagación.

Las características eléctricas de la tierra y su orografía influyen en la propagación de las ondas electromagnéticas. Al incidir una onda electromagnética sobre la tierra se produce una reflexión. La superposición de la onda directa y la reflejada da lugar a la llamada onda de espacio. La formación de la onda de espacio puede ser constructiva o destructiva en función de las fases de la onda directa y la reflejada, lo que puede resultar en variaciones apreciables de la potencia recibida respecto al valor esperado en espacio libre. La presencia de obstáculos y la propia esfericidad de la tierra limitan la visibilidad entre antena transmisora y receptora. Al incidir una onda electromagnética sobre un obstáculo se produce un fenómeno de difracción por el cual el obstáculo rerradia parte de

la energía interceptada. La difracción posibilita la recepción aun en el caso de que no exista visibilidad, si bien con una atenuación adicional respecto al espacio libre. A frecuencias bajas la tierra se comporta como un buen conductor, por lo que es posible inducir corrientes superficiales sobre la superficie de la tierra. A estas corrientes superficiales está asociada la onda de superficie que podrá recibirse aunque no exista visibilidad entre las antenas.

La concentración de gases en la atmósfera introduce diferencias entre la propagación en el vacío y la atmósfera. La mayor concentración de gases se da en la capa más baja de la atmósfera, llamada troposfera, que se extiende desde el nivel del mar hasta unos 10 km de altitud aproximadamente. En condiciones atmosféricas normales la concentración de gases disminuye con la altura, lo que provoca una variación del índice de refracción de la atmósfera en función de la altura. Por tanto, la atmósfera constituye un medio de propagación no homogéneo, lo que provoca una curvatura de las trayectorias de propagación o refracción. Además, la presencia de gases introduce atenuación, especialmente importante en las frecuencias de resonancia de las moléculas de oxígeno y del vapor de agua, que son los gases con mayor presencia en la atmósfera. Un tercer elemento que se debe considerar en la propagación en el entorno terrestre es la presencia de la ionosfera. La ionosfera es una capa de la atmósfera comprendida entre los 50 y los 2.000 km de altitud por encima de la superficie terrestre y que se caracteriza por contener densidades importantes de moléculas ionizadas. La propagación por medios ionizados está sujeta a fenómenos de reflexión, absorción y refracción en función de parámetros tales como la frecuencia y la densidad de ionización.

La tierra, la troposfera y la ionosfera son los responsables de una serie de fenómenos que deben considerarse al planificar un sistema de radiocomunicaciones y para realizar una distribución eficiente del espectro radioeléctrico.

La tierra es un medio dieléctrico con pérdidas cuyas constantes dieléctricas varían en función del tipo de suelo, el grado de humedad del mismo y la frecuencia.

La tierra perturba la propagación de las ondas electromagnéticas, de forma que al establecer cualquier tipo de radiocomunicación en el entorno terrestre aparecerán una serie de fenómenos que modificarán las condiciones ideales de propagación en el vacío. Estos fenómenos son básicamente tres: onda de superficie, difracción y formación de la onda de espacio.

De forma general puede establecerse que la onda de superficie es un fenómeno que sólo afecta a bajas frecuencias, o sea, banda de 0,3 -3 MHz e inferiores.

Se considera la formación de la onda de espacio como una interferencia entre la onda directa y la reflejada. La interferencia puede ser tanto constructiva como destructiva, es constructiva cuando la onda directa y la reflejada están en fase; mientras la interferencia destructiva ocurre cuando la onda directa y reflejada presenta una diferencia de fase de 180. En esta situación el mecanismo de propagación más relevante es la onda de superficie (sin considerar posibles efectos ionosféricos). La atenuación de la onda de superficie esta dada en función de la frecuencia y del tipo de terreno.

La difracción es el fenómeno que ocurre cuando una onda electromagnética incide sobre un obstáculo. La difracción permite comunicar dos puntos sin que exista visibilidad directa entre ellos; sin embargo, al aumentar la frecuencia este efecto tiene menos relevancia y para frecuencias dentro del rango de 0,3 -3 GHz y superiores la presencia de un obstáculo (montañas, edificios, etc.) que obstruya la trayectoria de la onda puede limitar gravemente las posibilidades de comunicación.

La absorción molecular de los gases contenidos en la atmósfera y la atenuación producida por los hidrometeoros son las principales causas de la atenuación atmosférica.

La atenuación por absorción molecular se debe principalmente a las moléculas de oxígeno y vapor de agua. Para frecuencias inferiores a 10 GHz es prácticamente despreciable, mientras que a frecuencias superiores presenta un comportamiento creciente con la frecuencia y la aparición de rayas de atenuación asociadas a las frecuencias de resonancia de las moléculas. A 22,3 GHz y 60 GHz aparecen las primeras rayas asociadas al vapor de agua y al oxígeno respectivamente. La correspondiente al oxígeno es especialmente importante ya que a nivel del mar presenta atenuaciones del orden de 15 dB/km, lo que imposibilita las comunicaciones a grandes distancias a esta frecuencia. A frecuencias superiores existen otros picos de absorción. A frecuencias de infrarrojo y visible existe una fuerte atenuación por parte del vapor de agua, hecho de sobras conocido por fenómenos tales como nubes o niebla.

En cuanto a la atenuación por hidrometeoros, es especialmente importante la lluvia, ya que la niebla, la nieve y el granizo producen atenuaciones mucho menor en las bandas de SHF e inferiores. La atenuación por lluvia depende de la intensidad y de factores tales como el tipo de lluvia, el tamaño y la velocidad de las gotas de agua.

El índice de refracción de la atmósfera varía en función de la concentración de gases. Es por este motivo, para una atmósfera normal, que el índice de refracción disminuye con la altura.

Cuando la variación de la refractividad con la altura es significativa, el radio de curvatura no es muy grande y la trayectoria de las ondas no es recta sino que se curva debido a la refracción. Si el radio de la curvatura del rayo es inferior al radio de la tierra la trayectoria de la onda se curva de tal manera que incide sobre la superficie de la tierra. En esta situación puede producirse un guiado de la onda entre la superficie de la tierra y una capa atmosférica próxima. Este fenómeno se denomina propagación por conductos y permite la propagación de ondas electromagnéticas con atenuaciones muy inferiores a las correspondientes al espacio libre.

La formación de conductos está asociada a grandes variaciones del gradiente del índice de refracción, debidas a su vez a variaciones elevadas en la concentración de vapor de agua en las capas altas de la atmósfera. Es por este motivo que la formación de conductos es más probable sobre mares cálidos, mientras que sobre tierra es un fenómeno menos frecuente.

La propagación por conductos es suficientemente impredecible como para no constituir un modo de propagación sobre el que se pueda establecer un servicio fijo de radiocomunicaciones con parámetros de calidad aceptables; sin embargo, su probabilidad es suficientemente elevada como para considerarse, al evaluar las posibles interferencias causadas entre estaciones que comparten la misma frecuencia, que en situaciones normales no se interfieren pero que ante una eventual formación de conductos pueden dar sobre alcances anormales y producir interferencias.

En 1902 se postuló la existencia de una capa ionizada (ionosfera) en la parte alta de la atmósfera, quien era responsable de la reflexión de las ondas electromagnéticas.

A partir de la formación de interferencias constructivas y destructivas les fue posible determinar la altura de la capa ionizada. A esta capa la llamaron capa eléctrica, o abreviadamente capa E. Estudios posteriores revelaron la existencia de capas inferiores y superiores a la capa E, a las que manteniendo el orden alfabético se las denominó D y F respectivamente.

La ionosfera no es un medio estratificado, sino que presenta variaciones continuas de la densidad de ionización en función de la altura.

La causa primordial de ionización de la ionosfera es la radiación solar en la región del espectro de los rayos X y ultravioletas. También contribuyen a la ionización la incidencia de partículas cargadas (protones y electrones) de origen solar y los rayos cósmicos

galácticos. La creación de iones depende de la energía de las radiaciones y de la densidad de moléculas. Para alturas elevadas la energía de la radiación incidente es elevada pero la densidad de moléculas es baja, mientras que a alturas más bajas la densidad de moléculas es alta pero la energía de las radiaciones ha sido absorbida en gran parte, de modo que la densidad de ionización máxima se produce en un punto intermedio. La densidad de ionización existente es el resultado de un equilibrio dinámico entre la ionización y la desionización producida principalmente por la colisión entre iones.

1.1.2 Distribución Del Espectro Radioeléctrico.

Las ondas electromagnéticas en su proceso de difusión dentro del entorno terrestre, presentan comportamientos diferentes en función de los diferentes medios a través de los cuales las ondas viajan. Fenómenos como la reflexión, la refracción, la difracción e interferencia se presentan en el proceso de propagación de la onda por el medio. Basados en estos comportamientos se estableció una división que agrupo las características de respuesta al medio, las que permitieron establecer la distribución del espectro radioeléctrico en bandas.

La división de las bandas del espectro radioeléctrico fue establecida en 1953 por el CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones), como aplicación de los acuerdos de la Convención de Atlantic City en 1947.

Las características comunes de propagación que presentaban grupos de frecuencias así como la longitud de onda fueron las principales razones por las que se subdividió el espectro radioeléctrico.

Dichas ondas se caracterizan por su frecuencia y su potencia (energía) lo que condiciona su modo de propagación y les confiere propiedades distintas.

Tabla I- Distribución del Espectro Radioeléctrico

| Designación | Rango de Frecuencias | Ganancia de la Antena | Modos de Propagación |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| ELF(extremely low frequency) | 30 - 300 Hz | | |
| VF (voice frequency) | 300 - 3000 Hz | | |
| VLF (very low frequency) | 3 - 30 kHz | Baja | Onda Terrestre - Onda Celeste |
| LF (low frequency) | 30 - 300 kHz | Baja | Onda Terrestre - Onda Celeste |
| MF (medium frequency) | 300 - 3000 kHz | Baja | Onda Terrestre - Onda Celeste |
| HF (high frequency) | 3 - 30 MHz | Baja - Media | Onda Terrestre - Onda Celeste |
| VHF (very high frequency) | 30 - 300 MHz | Baja - Media | Espacio Libre |
| UHF (ultra high frequency) | 300 - 3000 MHz | Baja - Alta | Espacio Libre |
| SHF (super high frequency) | 3 - 30 GHz | Media - Muy Alta | Espacio Libre |
| EHF (extremely high frequency) | 30 - 300 GHz | Alta - Muy Alta | Espacio Libre |

Los factores que intervienen en la propagación en el entorno terrestre son múltiples, y cada uno de ellos afecta de forma distinta en las diferentes bandas de frecuencia. A continuación se resumen los efectos más relevantes para cada una de las bandas.

Ondas largas (Low Frequency: 30 a 300 kHz). Corresponde a la banda de LF (30-300 kHz); la longitud de onda es superior al kilómetro. Se obtienen grandes distancias de cobertura, básicamente por onda de superficie para distancias inferiores a 1.000 km y por reflexión ionosférica (modo guiado) para distancias superiores. Debido a que la onda no

se propaga por el interior de la ionosfera la recepción es relativamente estable, si bien la interferencia entre la onda de superficie y la reflejada en la ionosfera puede dar lugar a desvanecimientos. La existencia de parásitos atmosféricos produce una mediocre calidad sonora. Dada la longitud de onda las antenas son pequeñas en términos de λ ; por tanto, para conseguir una relación señal-ruido aceptable en el receptor, es necesario transmitir grandes potencias.

Ondas medias (Medium Frequency: 300 a 3000 kHz). Este es el conocido servicio de radiodifusión en onda media (OM), que se encuentra ubicado en la banda de MF. Durante el día la propagación se realiza por onda de superficie con coberturas del orden del centenar de kilómetros. Durante el día la capa D presenta una fuerte absorción en esta banda de frecuencias por lo que no es posible la reflexión ionosférica. Por la noche, cuando la capa D desaparece, se produce propagación por reflexión ionosférica en la capa E con alcances del orden de los 1.000 km. La propagación ionosférica presenta desvanecimientos rápidos por modificaciones locales de las condiciones ionosféricas.

Ondas cortas (SW: 3 a 30 MHz). Corresponde a la banda de HF. En esta banda la propagación se realiza por onda de espacio para distancias cortas (inferiores a 150 km). En este caso la difracción en obstáculos o refracción atmosférica pueden extender el alcance más allá de la visibilidad directa entre transmisor y receptor. En esta banda la reflexión ionosférica en las capas E y F posibilita grandes alcances (varios miles de km).

La propagación ionosférica presenta desvanecimientos y variaciones horarias y estacionales. Es de destacar que en esta banda existe una zona intermedia denominada zona de silencio que no puede ser cubierta ni por onda de espacio ni por reflexión ionosférica.

Ondas ultracortas VHF y UHF (30MHz-3000MHz). Corresponde a las bandas de VHF y UHF. En estas bandas se encuentran los servicios de radiodifusión en FM y televisión terrena. La propagación se realiza por trayectos rectilíneos que se modifican por la refracción atmosférica. La difracción posibilita en ciertos casos la recepción sin visibilidad directa. La cobertura se encuentra limitada a algunas decenas de kilómetros, si bien en ciertas aplicaciones es posible obtener alcances del orden de los 300 km mediante difusión troposférica, ello es a costa de emplear grandes potencias de transmisión. En verano es habitual la formación de conductos sobre el mar, lo que da lugar a grandes alcances y la posibilidad de producir interferencias. Esta banda está libre de parásitos, por lo que se obtiene buena calidad de recepción.

Ondas Súper Altas (SHF: 3GHz-30GHz). Su principal característica es que su propagación es directa (espacial). Cortas distancias en tierra. Muy direccional. Las principales aplicaciones de esta banda son enlaces satelitales, Radioenlaces punto a punto, Teléfonos inalámbricos. Dentro de las SHF tenemos el grupo de las microondas, que van desde 10.95 GHz a 12.5GHz y cuyas características son importantes mencionar.

Microondas (10,95 a 12,5 GHz). Esta banda, comprendida dentro de la banda de SHF, está destinada a la difusión de programas de TV por satélite. En este caso las antenas que se emplean son directivas y se encuentran apuntando hacia el cielo, por lo que los efectos de la tierra son despreciables. La atenuación atmosférica es del orden de unos 2 dB (nótese que la antena apunta a la órbita geoestacionaria situada sobre el ecuador) que puede incrementarse en caso de lluvia. Los efectos ionosféricos (rotación de Faraday) son despreciables y la temperatura de brillo del cielo es baja (alrededor de 50 K).

1.1.3 Atenuación De Las Ondas Electromagnéticas.

En primer lugar, a cada frecuencia de señal le corresponde una atenuación distinta. La atenuación produce que, a medida que la señal avanza en el espacio, pierde parte de su potencia, lo que, en último término, acaba haciendo inviable la comunicación a distancias muy elevadas. Todo ello sin perjuicio de que a mayor potencia de emisión, se logre mayor alcance y mayor cobertura. En cualquier caso, el hecho de que la atenuación varíe con la frecuencia de la señal implica que, para una misma potencia de transmisión, la distancia a la que llega la señal de forma viable para la comunicación será diferente en función de la frecuencia. Así a menor frecuencia se tiene menor atenuación y, por tanto, mayor distancia de cobertura, aunque dicha relación no es lineal y está influida por muchos otros factores. Entre estos factores están que la propagación se haga a través de distintas capas de la atmósfera, la conductividad de las partes correspondientes de la superficie terrestre, efectos debidos al perfil de esta misma superficie y los objetos que sobre ella se encuentren, fenómenos meteorológicos y espaciales, etc.

Además, en frecuencias bajas se tiene una menor atenuación de las ondas electromagnéticas al atravesar cuerpos sólidos, lo que les permite atravesar paredes y proporcionar cobertura en interiores. También se puede decir que a frecuencias altas la propagación de las ondas electromagnéticas tiende a ser rectilínea, un hecho que tiene ventajas para algunas aplicaciones, pero que, en general, significa una disminución de la cobertura o, alternativamente, la necesidad de un mayor coste de despliegue para cubrir todas las áreas de cobertura de interés. Además, también varía con la frecuencia el coste de los equipos necesarios para el envío y recepción de información. En general, el coste de los equipos es inferior cuando deben trabajar con frecuencias reducidas que con frecuencias altas. Por último, la capacidad de la señal para atravesar obstáculos disminuye, en general, al aumentar la frecuencia.

Otro parámetro que diferencia las distintas bandas de frecuencia disponibles en el espectro radioeléctrico es el caudal de información que son capaces de albergar. Este caudal o capacidad de la banda de frecuencias viene determinado por el ancho de banda (esto es, el rango de frecuencias utilizado) en un cierto tipo de comunicación inalámbrica, y su disponibilidad es mayor, evidentemente, a frecuencias altas puesto que existe más espectro potencialmente usable.

Por último cabe destacar que las bandas de frecuencias más bajas se han desarrollado primero debido a sus características y, además, por este mismo motivo (facilidad de cobertura, costes reducidos y menor capacidad de transmisión) están ocupadas

históricamente por servicios esenciales como pueden ser la radionavegación, sistemas de comunicaciones necesarios para emergencias y cuestiones de seguridad como los de policía, ambulancias o bomberos, sistemas de comunicaciones militares, etc.

En cualquier caso hay que remarcar que dadas las importantes diferencias en los parámetros que definen la utilidad del espectro radioeléctrico para un cierto tipo de comunicaciones, dependiendo de la clase de servicio que se quiera ofrecer será más idóneo el uso de una banda determinada. Este es el motivo de que surjan potenciales conflictos a la hora de atribuir frecuencias a servicios en el ámbito de las conferencias internacionales y a la hora de adjudicar, en el plano nacional, un rango concreto de frecuencias a los operadores interesados. Es por tanto en este sentido que se puede decir que hasta ahora el espectro radioeléctrico se ha tratado como un recurso escaso donde la demanda era mayor que la oferta, al menos en ciertas bandas de interés.

1.1.4 Interferencias.

Las interferencias se definen como el efecto de una energía no deseada sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, lo que provoca una degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de información respecto a la que se podría obtener en ausencia de la misma. Las interferencias pueden ser debidas a muy diversos motivos: otras emisiones, radiaciones, inducciones o cualquier combinación de las anteriores.

Desde el punto de vista de la gestión del espectro, dentro de las interferencias cabe distinguir varios tipos. En primer lugar, existen las llamadas interferencias admisibles, que son aquellas interferencias observadas o previstas que satisfacen los criterios cuantitativos de interferencia y de compartición que figuran en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) o en acuerdos especiales previstos en dicho reglamento. Estas interferencias no ponen en riesgo el buen funcionamiento de los distintos servicios, puesto que se han tenido en cuenta en la fase de diseño de los mismos.

En segundo lugar están las interferencias aceptadas. Estas son interferencias de mayor nivel que las definidas como admisibles y que son acordadas entre dos o más administraciones ya que tienen un efecto que no degrada la prestación de los servicios en cuestión y típicamente simplifica la prestación de los mismos, por lo que su existencia tampoco impide el buen funcionamiento de las radiocomunicaciones.

Por último, las interferencias perjudiciales son aquellas que suponen un riesgo para el funcionamiento de algún servicio que usa el espectro radioeléctrico. En la práctica significa que se degrade u obstruya gravemente o interrumpa de forma repetida un servicio radio que funcione de conformidad con la reglamentación comunitaria o nacional aplicable.

Así, uno de los mecanismos que siempre se tiene en cuenta en la planificación de los servicios atribuidos a las distintas bandas del espectro es la dedicación de ciertas zonas del espectro como “zonas de guarda” que separen las distintas transmisiones. Su finalidad es limitar el efecto de posibles interferencias perjudiciales entre comunicaciones que se realicen en bandas de frecuencias cercanas. Por tanto, dichas bandas de guarda deberán ser lo suficientemente anchas como para proteger a las emisiones vecinas de interferencias entre sí. Al mismo tiempo, dedicar demasiado espectro a estas bandas vacías entra en conflicto con la eficiencia en el uso del mismo.

Respecto a las implicaciones en los modelos de política de gestión del espectro, parece que el modelo actual, caracterizado por la cuidada planificación del uso de cada banda, garantiza de forma efectiva que las interferencias se mantienen dentro de los límites tolerables y, por consiguiente, se asegura que no impiden el buen funcionamiento de los distintos servicios que usan el espectro radioeléctrico. Sin embargo, un cambio de modelo en la gestión del espectro (mediante, por ejemplo, la introducción de herramientas de gestión de espectro orientadas a mercado, como la creación de un mercado secundario o la liberalización del uso del espectro) podría poner en peligro esta garantía.

1.2 Gestión Del Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es un bien del dominio público, natural, escaso e inalienable, que forma parte del patrimonio del Estado. Su utilización y el otorgamiento de derechos de uso se efectuarán en las condiciones señaladas en la Ley General de Telecomunicaciones No.153-98 y su reglamentación.

La gestión y la utilización del espectro radioeléctrico requieren de un proceso de planificación, definido como un proceso dinámico, es decir, necesita ir actualizándose en el tiempo. Dicho proceso debe conllevar a la metodología y las acciones para alcanzar el objetivo fundamental de crear las condiciones que permitan la atención oportuna de la demanda de frecuencias, para la operación de los actuales y futuros servicios de radiocomunicaciones.

Dicho objetivo se logra por medio de:

- a) Establecer y desarrollar políticas y regulaciones técnicas del espectro radioeléctrico, permitiendo la atribución de bandas de frecuencias a los distintos servicios de radiocomunicaciones;
- b) Desarrollar métodos y procedimientos de gestión del espectro radioeléctrico, que sean eficaces para que su uso sea eficiente;
- c) Formar y organizar el sistema de gestión del espectro radioeléctrico, con los soportes lógicos requeridos para ello.

La expresión "gestión del espectro de frecuencias" se utiliza en sentido estricto para describir los diversos procedimientos administrativos y técnicos con los que se pretende asegurar el funcionamiento de las estaciones radioeléctricas de los distintos servicios de radiocomunicación, sin causar o recibir interferencia perjudicial. En su acepción más moderna también incluye aquellos mecanismos económicos y de mercado que, potencialmente, pueden contribuir a mejorar la eficiencia en el uso del espectro.

En cualquier caso, esta gestión se produce tanto a nivel nacional como a nivel internacional, siendo ambos niveles igualmente necesarios ya que la propagación en el espacio de las ondas radioeléctricas no atiende a fronteras políticas. Así, el procedimiento para coordinar la utilización de las frecuencias entre distintas administraciones representa uno de los elementos básicos de los acuerdos internacionales de reglamentación de las radiocomunicaciones, ya que permite la implantación de nuevos sistemas de radiocomunicaciones impidiendo a la vez la aparición de interferencia perjudicial con otros usuarios existentes o previstos.

El principal objetivo de todo mecanismo de gestión del espectro es alcanzar la mayor eficiencia posible en su uso. Así, por ejemplo, cualquier nueva propuesta para una posible introducción de mecanismos de flexibilización del uso del espectro radioeléctrico tiene como fin la mejora de la eficiencia en la gestión y, consecuentemente, en el uso del espectro.

Procede, por tanto, plantearse qué se entiende por “eficiencia”. Para analizar este concepto es preciso tener en cuenta que el espectro es un bien de dominio público finito o limitado, cuya titularidad, gestión, planificación, administración y control corresponde al Estado, que es el que debe garantizar el mayor beneficio posible para los ciudadanos, derivado del uso de ese bien público. Para ello, entre los fines que se persiguen en la gestión del espectro, suelen citarse el garantizar su uso eficiente, promover su uso como factor de desarrollo económico, favorecer el desarrollo y la innovación, permitir a todos los ciudadanos el acceso a los servicios que hagan uso del espectro, permitir la planificación estratégica del sector de las telecomunicaciones, etc.

Los anteriores fines se pueden englobar en tres dimensiones de eficiencia, que constituirán, globalmente, la definición de la “eficiencia” genérica en el uso del espectro: eficiencia técnica, eficiencia social y eficiencia económica.

La eficiencia técnica en la asignación del espectro se traduce en que el mayor número posible de frecuencias esté disponible para ser utilizado de manera efectiva en la prestación de servicios, limitando, en la medida de lo técnicamente viable, las bandas de guarda o la existencia de bandas de frecuencias en las que las interferencias entre distintas señales radioeléctricas hagan imposible un aprovechamiento real de dicho espectro. Mediante esta maximización del espectro disponible se consigue que un mayor número de agentes sean capaces de acceder a este recurso.

La eficiencia social del espectro implica que el uso de este recurso debe caracterizarse por favorecer el desarrollo social, permitiendo el acceso de los ciudadanos a una diversa oferta de servicios que les ofrezcan nuevas o mayores facilidades, como podría ser el acceso de banda ancha en zonas rurales mediante tecnologías inalámbricas o, como otro ejemplo, una mayor diversidad de contenidos de interés gracias a los nuevos canales de televisión digital.

La eficiencia económica en la asignación del espectro es aquella que, una vez alcanzada, hace que ningún agente tenga incentivos para cambiar de asignación. Esto se puede conseguir cuando el uso que se dé al mismo sea el que garantice un mayor desarrollo económico (eficiencia dinámica). En este sentido, deberían evitarse las asignaciones de espectro a servicios y/o tecnologías que no son demandadas por el mercado o que, por el surgimiento de otras con mayores prestaciones, han quedado obsoletas, y destinar la mayor parte posible del espectro para la prestación de servicios de mayor valor.

1.2.1 Funciones de la Regulación del Espectro.

Sobre esta búsqueda global de eficiencia, los resultados concretos de la política de gestión del espectro son la atribución de bandas de frecuencias para usos específicos, el establecimiento de normas y criterios de compartición, el diseño de planes de distribución de canales (teniendo en cuenta avances tecnológicos y posibles necesidades futuras), el uso de procedimientos particulares de asignación de frecuencias y, más recientemente, la introducción de mecanismos de mercado en torno al espectro.

Todos estos aspectos concretos de la gestión del espectro deben estar sometidos a una serie de principios básicos que se tratan a continuación.

En primer lugar la transparencia debe ser la tónica dominante de todos los procesos relacionados con la gestión del espectro. En este sentido, es importante que la organización del espectro, su normativa, su uso real y las previsiones en torno al mismo tengan la mayor difusión posible. De esta manera, los agentes interesados y los usuarios finales del espectro podrán disponer de la información necesaria para poder interactuar apropiadamente con los organismos reguladores.

Asimismo, la asignación y adjudicación de las licencias de uso del espectro deberá responder a principios de racionalidad, equidad y no discriminación, con el fin de trasladar los beneficios de la innovación y la competencia a los usuarios. A este respecto, la gestión del espectro debe evitar cuidadosamente la aparición de barreras de entrada a los agentes interesados y vigilar que no se produzcan concentraciones de derechos de uso del espectro que pongan en riesgo el desarrollo de competencia. También deberán existir mecanismos que permitan recuperar asignaciones de bandas cuando éstas dejen de utilizarse, con el fin de mantener un uso eficiente de todo el recurso radioeléctrico.

Otro de los principios consiste en establecer mecanismos de cooperación con países limítrofes para evitar que el uso nacional del espectro condicione o interfiera con el uso propio de otros países. Por otra parte, la existencia de servicios globales que precisan de

una coordinación exhaustiva, como por ejemplo el servicio de ayuda a la navegación aérea o marítima, justifican el papel preponderante de los organismos internacionales en la gestión del espectro.

Igualmente resulta un principio fundamental potenciar la innovación en tecnologías que utilicen el espectro. En este sentido, la mayor parte de las innovaciones producidas en los últimos años se han dado allí donde los mecanismos de gestión eran más proclives a esta innovación. También la duración de las licencias tiene un papel clave en el desarrollo de nuevas tecnologías que, en general, necesitan de un tiempo de maduración, por lo que estos desarrollos se ven potenciados en entornos dotados de suficiente certidumbre.

El establecimiento de especificaciones y mecanismos para la autorización de equipos es otra cuestión clave. Para lograr que los distintos equipos de radiocomunicaciones sean compatibles entre sí es necesario desarrollar procedimientos para su homologación además de normas y especificaciones de la calidad de funcionamiento de dichos sistemas. Además, la existencia de procedimientos para asegurar la interoperabilidad en sus distintas vertientes favorece la creación de economías de escala, con las consiguientes ventajas en precios y atractivo para el desarrollo de aplicaciones sobre estos sistemas.

Por otra parte, estos mecanismos persiguen que los distintos equipos se ciñan de forma efectiva a las bandas de frecuencias que tienen asignadas, con el fin de evitar interferencias que entorpezcan o impidan el buen funcionamiento de otros equipos o

servicios de radiocomunicaciones o de cualquier otra naturaleza (sistemas informáticos, alimentadores eléctricos, etc.). Por último, la radiación que emitan los equipos no debe ser perjudicial para la salud ni para el medio ambiente, por lo que debe limitarse al máximo la influencia electromagnética que los sistemas de radiocomunicaciones pueden tener en el medio donde se emplean.

Otro aspecto que resulta fundamental en una adecuada gestión del espectro es la existencia de mecanismos de control que realicen mediciones de los usos que, efectivamente, se estén haciendo de este recurso, con el objetivo de detectar posibles usos peligrosos o ilegales del espectro y garantizar que se utiliza de acuerdo con la política de asignación preestablecida.

No menos importante es, por último, facilitar mediante la política de gestión del espectro la utilización de este recurso en pro del interés nacional, teniendo siempre en cuenta su consideración de dominio público con carácter general.

1.2.2 Organismos Internacionales.

Los mecanismos de gestión del espectro radioeléctrico incluyen una indispensable armonización internacional, de tal modo que sea posible su uso, libre de interferencias perjudiciales, en cada uno de los países.

La autoridad supranacional que tiene el papel principal en la gestión del espectro radioeléctrico a nivel global es el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R). Su principal misión es la de garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los que emplean órbitas de satélites, así como la de realizar estudios y adoptar recomendaciones sobre las radiocomunicaciones.

En particular, la ITU-R es la encargada de la redacción del Reglamento de Radiocomunicaciones, que, con carácter de Tratado Internacional, sirve de texto básico para la regulación del espectro radioeléctrico en casi la totalidad de los países. Este reglamento sólo puede ser modificado en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicación (CMR), que se celebran cada dos o tres años, y que cuentan con la colaboración de más de 180 países.

La Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) es la entidad asesora en telecomunicaciones de la Organización de los Estados Americanos (OEA), establecida, la CITEL, al amparo del Artículo 52 de la Carta de la OEA.

INDOTEL Es el organismo del Estado creado por la Ley General de Telecomunicaciones (153-98) que regula y supervisa el desarrollo del mercado de las telecomunicaciones. Su misión es regular y promover la prestación de servicios de telecomunicaciones en beneficio de la sociedad, en un marco de libre, leal y efectiva competencia.



***Capítulo II:
Situación actual del espectro
radioeléctrico dominicano***

2.1 Marco Regulatorio

La Ley 153-98, constituye el marco regulatorio básico que se ha de aplicar en todo el territorio nacional, para regular la instalación, mantenimiento y operación de redes, la prestación de servicios y la provisión de equipos de telecomunicaciones. La misma deberá ser interpretada de conformidad con los convenios internacionales ratificados por la República Dominicana y se complementará con los reglamentos dictados por las autoridades competentes.

Los objetivos de interés público y social del presente ordenamiento, a la luz de los cuales deberán interpretarse sus disposiciones, son los siguientes:

a) Reafirmar el principio del servicio universal a través de:

- i. La garantía, en áreas rurales y urbanas de bajos ingresos, de la posibilidad de acceso a un servicio mínimo y eficaz de telefonía, a precios asequibles, mediante el libre funcionamiento de los mercados y la utilización de los mecanismos previstos por esta ley.
- ii. La satisfacción de la demanda de servicios públicos de telecomunicaciones en condiciones de libre competencia, asegurando la continuidad, generalidad, igualdad y neutralidad de dichos servicios.
- iii. El libre acceso a las redes y servicios públicos de telecomunicaciones en condiciones de transparencia y de no discriminación por parte de los prestadores y usuarios de servicios de telecomunicaciones, los generadores y receptores de información y los proveedores y usuarios de servicios de información.

- b) Promover la prestación de servicios de telecomunicaciones con características de calidad y precio que contribuyan al desarrollo de las actividades productivas y de servicios en condiciones de competitividad internacional.
- c) Garantizar el derecho del usuario a elegir el prestador del servicio de telecomunicaciones que a su criterio le convenga;
- d) Ratificar el principio de la libertad de la prestación, por parte de titulares de concesiones obtenidas de acuerdo a la presente ley, de todo tipo de servicios públicos de telecomunicaciones, incluida la libertad de construcción y operación de sistemas y facilidades;
- e) Promover la participación en el mercado de servicios públicos de telecomunicaciones de prestadores con capacidad para desarrollar una competencia leal, efectiva y sostenible en el tiempo, que se traduzca en una mejor oferta de telecomunicaciones en términos de precios, calidad de servicio e innovación tecnológica;
- f) Asegurar el ejercicio, por parte del Estado, de su función de regulación y fiscalización de las modalidades de prestación, dentro de los límites de esta ley, de modo imparcial, mediante la creación y desarrollo de un órgano regulador de las telecomunicaciones independiente y eficaz; y
- g) Garantizar la administración y el uso eficiente del dominio público del espectro radioeléctrico.

2.2 Atribución Nacional de Frecuencias

El Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, PNAF, es un instrumento regulador, cuya finalidad es optimizar y racionalizar el uso del espectro radioeléctrico, para satisfacer oportuna y adecuadamente las necesidades de frecuencias que se requieren, tanto para el desarrollo de los actuales servicios de radiocomunicaciones, como para responder eficientemente a la demanda de los nuevos servicios que dependen del uso del espectro radioeléctrico. Todo lo anterior, de conformidad al marco legal y reglamentario vigente y a los acuerdos y convenios internacionales ratificados por República Dominicana.

El PNAF se aplicará a todos los sistemas, equipos o dispositivos que emitan o reciban ondas radioeléctricas y que operen dentro del territorio de República Dominicana, incluido su mar territorial y su espacio aéreo.

El espectro radioeléctrico es un recurso necesario y, en el caso de algunos servicios, indispensable para el desarrollo de las telecomunicaciones. La creciente demanda de frecuencias, a nivel mundial y a nivel nacional, obliga a INDOTEL, en virtud a las facultades y obligaciones que le asigna la Ley General de Telecomunicaciones No. 153-98, a la adecuada y oportuna planificación del espectro y a su eficaz gestión, para optimizar su uso, procurando satisfacer las peticiones de frecuencia por crecimiento de los servicios de radiocomunicaciones existentes y creando las condiciones para la introducción de los nuevos servicios.

La gestión y la utilización del espectro radioeléctrico requieren de un proceso de planificación, definido como un proceso dinámico, es decir, necesita ir actualizándose en el tiempo. Dicho proceso debe conllevar a la metodología y las acciones para alcanzar el objetivo fundamental de crear las condiciones que permitan la atención oportuna de la demanda de frecuencias, para la operación de los actuales y futuros servicios de radiocomunicaciones. Dicho objetivo se logra por medio de:

- a) Establecer y desarrollar políticas y regulaciones técnicas del espectro radioeléctrico, permitiendo la atribución de bandas de frecuencias a los distintos servicios de radiocomunicaciones;
- b) Desarrollar métodos y procedimientos de gestión del espectro radioeléctrico, que sean eficaces para que su uso sea eficiente;
- c) Formar y organizar el sistema de gestión del espectro radioeléctrico, con los soportes lógicos requeridos para ello.

El presente PNAF se ha establecido correlacionando las atribuciones nacionales con las válidas para la Región 2, de la cual República Dominicana forma parte, según el Cuadro del artículo S5 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Ver Anexo 2. Plan Nacional de atribución de Frecuencias.

2.3 Análisis De Los Servicios En El Segmento De 470MHz a 6GHz y Sus Comportamientos

Los servicios desplegados en todo el mundo toman como referencia Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para la asignación de las frecuencias a nivel internacional, y a cada país le corresponde la planificación de la asignación de las bandas de frecuencias y los servicios de radiocomunicación que se prestarán u operarán a través de las mismas en el ámbito de su demarcación geográfica. En Republica Dominicana los servicios de telecomunicaciones en el segmento de 470Mhz a 6Ghz sean desplegados de la siguiente manera:

- Las bandas que se indican a continuación corresponderán a los siguientes canales del servicio de radiodifusión televisiva, por ondas decimétricas: 470 MHz a 806 MHz.
- Las bandas 806 - 824 MHz y 851 - 869 MHz están atribuidas al servicio móvil de radiocomunicaciones con repetidoras entroncadas.
- Las bandas 824 - 849 MHz y 869 - 894 MHz están atribuidas al servicio telefónico público móvil celular, según la siguiente designación:
 - 824 - 825 MHz y 869 - 870 MHz, primera extensión de la banda A (1 MHz); 825 - 835 MHz y 870 - 880 MHz banda A.
 - 835 - 845 MHz y 880 - 890 MHz banda B.
 - 845.0 - 846.5 MHz y 890.0 - 891.5 MHz segunda extensión de la banda A (1.5 MHz).

- 846.5 - 849.0 MHz y 891.5 - 894 MHz extensión de la banda B (2.5 MHz).
- Las bandas 849 - 851 MHz y 894 - 896 MHz están atribuidas al servicio fijo, para aplicaciones de acceso inalámbrico a la red de servicio público telefónico.
- La banda 901 - 902 MHz y 940 - 941 MHz están atribuidas al servicio de buscapersonas Bidireccional.
- Las bandas 910 - 915 MHz y 955 - 960 MHz están atribuidas al servicio fijo, para aplicaciones de acceso inalámbrico a la red de servicio público telefónico.
- La banda 929 - 932 MHz está atribuida al servicio de buscapersonas con sistemas digitales.
- Las bandas 932.055 - 932.605 MHz y 941.005 - 941.625 MHz, están atribuidas al servicio fijo para enlaces punto a punto de baja capacidad, con ancho de banda de 100 kHz, utilizando de preferencia la siguiente disposición de canales:

$$f_n \text{ [MHz]} = f_0 - 6,5 + 0.1n$$

$$f'_n \text{ [MHz]} = f_0 + 2,5 + 0.1n \text{ con } n = 1,2,3,4,5 \text{ ó } 6$$

$$f_0 = 938.455 \text{ MHz.}$$

- Las bandas 943.075 - 944.675 MHz y 952.075 - 953.675 MHz están atribuidas al servicio fijo para enlaces punto a punto de baja capacidad, con ancho de banda de 200 kHz, utilizando de preferencia la siguiente disposición de canales:

$$f_n \text{ [MHz]} = f_0 - 5.9 + 0.2n$$

$$f'_n \text{ [MHz]} = f_0 + 3,1 + 0.2n \text{ con } n = 1,2,3,4,5,6, 7 \text{ ó } 8$$

$$f_0 = 948.875 \text{ MHz.}$$

- La banda 960-1215 MHz se reserva en todo el mundo para el uso y el desarrollo de equipos electrónicos de ayudas a la navegación aérea, instalados a bordo de aeronaves y de las instalaciones con base en tierra, directamente asociadas.
- La banda 1215-1260 MHz, se utiliza para el servicio de radionavegación por satélite.
- La banda 1215-1300 MHz, esta designada a los servicio de radiolocalización.
- La banda 1300-1350 MHz, 2700-2900 MHz es utilizada por el servicio de radionavegación aeronáutica y está limitado a los radares terrestres y a los respondedores aeroportados asociados, que emitan sólo en frecuencias de estas bandas y, únicamente, cuando sean accionados por los radares que funcionen en la misma banda.
- Las bandas 1370-1400 MHz, está atribuida, a TITULO secundario, a los servicios de investigación espacial (pasivo) y de exploración de la Tierra por satélite (pasivo).
- La banda 1430-1450 MHz está atribuida al servicio fijo, para aplicaciones de acceso inalámbrico a la red de servicio público telefónico.
- La banda 1452-1492 MHz, se reserva para el desarrollo del servicio de radiodifusión sonora digital por satélite y del servicio de radiodifusión sonora digital.
- La banda 1495-1525 MHz está atribuida al servicio fijo, para aplicaciones de acceso inalámbrico a la red de servicio público telefónico.

- Las banda 1525-1559 MHz y 1626.5-1660.5 MHz, se reservan para los servicios móviles por satélite.
- La banda 1610-1626 MHz está atribuida al servicio móvil por satélite GMPCS.
- En la banda 1657-1710 MHz, está atribuida a los servicios de meteorología por satélite.
- Las bandas 1710-1755 MHz y 1805-1850 MHz están atribuidos los servicios fijos, para aplicaciones de bucles inalámbricos digitales de abonados de la red de servicio público telefónico.
- La banda 1850-1990 MHz está atribuida al servicio móvil, para aplicaciones de sistemas celulares de telecomunicaciones digitales (PCS), teniendo en cuenta lo dispuesto en el número 746A (RR) del Reglamento de Radiocomunicaciones de la (UIT).
- La banda de 1980 - 2010 MHz, está atribuida al servicio móvil por satélite.
- La banda 2 100 - 2 300 MHz está atribuida al servicio fijo para enlaces punto a punto de mediana capacidad, con ancho de banda de 14 MHz (véase Recomendación UIT-R F.283-5), utilizando de preferencia la siguiente disponibilidad de canales:

$$f_n \text{ [MHz]} = f_0 - 108.5 + 14n$$

$$f'_n \text{ [MHz]} = f_0 + 10.5 + 14n \text{ con } n = 1,2,\dots,6$$

$$f_0 = 2203 \text{ MHz.}$$
- La banda 2300-2483 MHz está atribuida al servicio móvil por satélite GMPCS.

- La banda 2483-2600 MHz está atribuida al servicio fijo para aplicaciones de acceso local de abonado de alta velocidad a la red de servicio público de telecomunicaciones y de sistemas de distribución multipunto MDS.
- Las bandas 2640-2655 MHz, están también atribuidas, a TITULO secundario, a los servicios de investigación espacial (pasivo) y de exploración de la Tierra por satélite (pasivo).
- La banda 2670-2 690 MHz está atribuida al servicio móvil por satélite.
- La banda 2700-2900 MHz, está atribuida a los radares instalados en tierra, que funcionen en esta banda para las necesidades de meteorología, estos están autorizados a funcionar sobre una base de igualdad con las estaciones del servicio de radionavegación aeronáuticas.
- La banda 2900-3100 MHz, esta destinada al servicio de radionavegación aeronáutica, limitado a los radares instalados en tierra. No obstante el sistema interrogador-transpondedor a bordo de barcos (SIT-shipborne interrogator-transponder) se limita a la sub-banda 2 930 - 2 950 MHz.
- La banda 3400-3700 MHz está atribuida al servicio fijo para aplicaciones de acceso local de abonado de alta velocidad a la red de servicio público de telecomunicaciones y de sistemas de distribución multipunto MDS.
- La banda 4200-4400 MHz está definida por el servicio de radionavegación aeronáutica y se reserva exclusivamente a los radios altímetros instalados a bordo de aeronaves y a los respondedores asociados, instalados en tierra.

- La banda 4 400 - 4 650 MHz está atribuida al servicio fijo para enlaces punto a punto de mediana capacidad, con ancho de banda de 10 MHz, utilizando de preferencia la siguiente disposición de canales:

$$f_n \text{ [MHz]} = f_0 - 130 + 10n$$

$$f'_n \text{ [MHz]} = f_0 + 20 + 10n \text{ con } n = 1,2,\dots,10$$

$$f_0 = 4\,525 \text{ MHz.}$$

- La banda 4 650 - 5 000 MHz está atribuida al servicio fijo para enlaces punto a punto de mediana capacidad, con ancho de banda de 25 MHz, utilizando de preferencia la siguiente disposición de canales:

$$f_n \text{ [MHz]} = f_0 - 187.5 + 25n$$

$$f'_n \text{ [MHz]} = f_0 - 62.5 + 25n \text{ con } n = 1,2,\dots,6$$

$$f_0 = 4\,825 \text{ MHz.}$$

- La banda de frecuencias 5250-5350 MHz está definida por los servicios de exploración de la Tierra por satélite (activo) y de investigación espacial (activo) no limitarán el desarrollo y despliegue futuros del servicio de radiolocalización.
- La banda 5350-5470 MHz está definida por el servicio de radionavegación aeronáutica, se limita a los radares aeroportados y a las radiobalizas de a bordo asociadas.
- La banda 5850-5925 MHz está definida para servicios fijos con enlaces punto a punto con la canalización que demande cada servicio.



***Capítulo III:
Estudio y propuesta de mejora del
segmento de 470 mhz a 6 ghz del
espectro radioeléctrico nacional***

3.1 Estudio de Modelos Aplicados en Otros Países

3.1.1 Televisión Digital Terrestre (TDT).

Televisión Digital Terrestre (TDT) es la aplicación de las tecnologías del medio digital a la transmisión de contenidos a través de una antena convencional. Aplicando la tecnología digital se consiguen mayores posibilidades, como proveer de un mayor número de canales, mejor calidad de imagen o imagen en alta definición (HD o High Definition) y mejor calidad de sonido (empleando sistemas como AC3). La tecnología usada en Norteamérica es ATSC, ISDB-T en Japón, y DVB-T en Europa, Australia, África y algunos países de Suramérica. El resto del mundo aún no se ha decidido. ISDB-T es muy similar a DVB-T.

3.1.1.1 Modelo Americano ATSC.

El formato Americano ATSC (Advanced Television Systems Committee) 8VSB es una técnica para modular en amplitud una portadora con una señal banda base de tipo digital. Esta técnica es utilizada en el estándar DTV-T para la transmisión de Television Digital Broadcasting en América del Norte y Corea del Sur.

La señal banda base digital es un flujo serial de bits que tienen la forma de un tren de pulsos sucesivos en el tiempo. Cuando este tren de pulsos es sumado con una portadora cosenoidal análoga de amplitud, frecuencia y fase constantes, se suman sus amplitudes y frecuencias. La suma de frecuencias, da origen a las bandas laterales que son parcialmente filtradas por filtros pasa banda.

La suma de amplitudes da origen a dos amplitudes discretas posibles de la portadora: amplitud de la portadora más amplitud del pulso y amplitud de la portadora sola (ausencia de pulso). El pulso puede sumarse con signo positivo (suma aritmética) o con signo negativo (resta). Esta suma simple de amplitudes corresponde al esquema básico de modulación digital llamado ASK. Como hay solo dos valores o estados posibles en la amplitud de la portadora, cada estado se identifica con un solo bit, por ejemplo, bit "1" identifica estado "amplitud portadora más pulso" y bit "0" identifica "amplitud portadora sola"

El esquema de modulación digital 8VSB establece 8 estados o valores discretos de amplitud posibles para la portadora después de sumarse con el tren de pulsos. Para identificar cada uno de 8 estados posibles de la portadora, en un sistema binario se necesitan tres bits por estado. El trío de bits puede nombrarse como palabra, código, segmento o símbolo.

El estándar DTV-T impone condiciones al formato 8VSB que van más allá del esquema de modulación, estableciendo el origen de los 3 bits que identifican cada estado de la portadora. El FEC usado en transmisor de video digital bajo la norma ATSC es fijo y corresponde a un codificador con tasa $2/3$: por cada dos bits de información (entrada), se tienen 3 bits en la salida. Puesto que con 3 bits se obtienen 8 combinaciones posibles, los segmentos de 3 bits a la salida del codificador convolucional permiten formar hasta 8 palabras diferentes.

A cada una de estas palabras se le asigna un valor de amplitud definido, que al sumarse con la portadora generan en ésta 8 estados o valores discretos de amplitud. Se asignan 4 valores positivos: +7, +5, +3, +1 y 4 negativos: -1, -3, -5 y -7.

Los valores (-7 a +7) asignados al codeword de salida del codificador convolucional 2/3 en el formato 8VSB, tienen como objetivo forzar desplazamientos discretos (shift) en la amplitud de la portadora, de modo que el receptor al reconocer un estado, pueda reconstruir el segmento con el trío de bits que originó ese estado.

3.1.1.2 Modelo Europeo DVB-T.

El estándar DVB-T comparte el mismo proceso de aleatorización, protección externa e interna de datos y códigos convolucionales de entrelazado que el DVB-S (Digital Video Broadcasting by Satellite). La diferencia fundamental es que, en este caso, se utiliza una modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con un total de 1705 (modo 2K) o 6817 portadoras (modo 8K). Esta modulación permite, mediante la utilización de múltiples portadoras que dispersan los datos de la trama a transmitir, operar en escenarios con un elevado índice de señal multitrayecto. La protección ante este tipo de interferencias se consigue insertando intervalos de guarda entre los datos que, eventualmente, reducen la capacidad del canal. Esta reducción de la capacidad es menor cuanto mayor es el número de portadoras utilizadas. Aun así, el aumento del número de portadoras incrementa la complejidad del receptor.

La fuerte protección del COFDM permite que el sistema pueda operar manteniendo la misma frecuencia portadora en toda una región geográfica extensa (cubierta por diversos radioenlaces).

Al igual que el sistema ATSC, el sistema DVB soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. Los formatos se indican a continuación en la Tabla II según resolución, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasa de cuadros por segundo. Cabe mencionar que las resoluciones indicadas operan con anchos de banda de transmisión de 6, 7 y 8 MHz.

Tabla II. Resoluciones de Pantalla.

| Líneas Verticales | Píxeles por Línea | Razón de Aspecto | Frecuencia de Tramas |
|-------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|
| 1080 | 1920 | 16:9 | 50P (HDTV) |
| 1080 | 1920,1440 | 16:9, 4:3 | 25I, 25P (HDTV) |
| 720 | 1280 | 16:9, 4:3 | 25P, 50P (HDTV) |
| 1080 | 1920,1440 | 16:9, 4:3 | 60I, 30P, 24P (SDTV) |
| 720 | 1280, 960 | 16:9, 4:3 | 60P, 30P, 24P (SDTV) |
| 576 | 720, 704, 544, 480, 352 | 16:9, 4:3 | 25I, 25P (SDTV) |
| 480 | 720, 640, 544, 480, 352 | 16:9, 4:3 | 60P, 60I, 30P, 24P (SDTV) |
| 288 | 352 | 16:9, 4:3 | 25P (SDTV) |
| 240 | 352 | 16:9, 4:3 | 24P, 30P (SDTV) |

Nuevamente, al igual que en el caso de ATSC, los formatos de video corresponden a los definidos en el estándar MPEG-2.

3.1.1.3 Modelo Japonés ISDB-T.

La norma ISDB-T especifica las propiedades de la capa física para la transmisión terrestre de video y audio digital. ISDB-T es muy similar a DVB-T en términos de señales y modulación, y ambos estándares coinciden en los siguientes aspectos:

- Ambas normas están basadas en codificación MPEG-2 de audio y video
- Ambas normas soportan transmisión de otros formatos de datos (MPEG-4 u otros)

- Ambas normas utilizan códigos de canal Reed-Solomon y Convolucionales idénticos, así como el mismo aleatorizador.
- Ambas normas utilizan modulación OFDM con modos 2k, 4k y 8k, y modulación QAM de las sub-portadoras.

Sin embargo, ISDB-T presenta diferencias importantes con respecto a DVB-T en cuanto al orden y la forma en que los datos son codificados y luego localizados en frecuencia en la modulación OFDM. El esquema se conoce técnicamente como Band Segmented Transmission-OFDM (BST-OFDM), y la idea consiste en dividir la banda de transmisión en segmentos para ser asignados a servicios distintos. Ello tiene dos ventajas importantes frente a OFDM tradicional:

Transmisión Jerárquica: La segmentación permite asignar varios segmentos a un servicio determinado, y ajustar los parámetros de transmisión (como la tasa de codificación, la profundidad de entrelazado, etc.) individualmente de acuerdo a las necesidades y objetivos del servicio. En ISDB-T esto se conoce como transmisión jerárquica¹⁵. Así, por ejemplo, un segmento puede bastar para transmitir una señal de audio, mientras que tres son necesarios para video en definición normal, y seis para una señal de video de alta resolución. La segmentación también permite asignar segmentos y optimizar los parámetros de un servicio según su objetivo, como recepción móvil o estática, o según el radio de cobertura deseado, etc.

En el caso de ISDB-T, la banda de transmisión (6 MHz) es dividida en 13 segmentos, cada uno de aproximadamente 430 kHz de ancho de banda, los que pueden ser asignados libremente a un máximo de 3 servicios o capas jerárquicas. Esta jerarquización de la transmisión es realizada en el sistema de codificación de canal.

Recepción Parcial: Se trata de un caso especial de la transmisión jerárquica, en que la codificación de canal y entrelazado en frecuencia de una señal es completamente autocontenida dentro del segmento central de la banda de transmisión. Este segmento puede ser recibido y decodificado independientemente de los demás 12, proporcionando así una solución eficiente para la transmisión a terminales portátiles. El receptor correspondiente es conocido como receptor de un segmento, de costo menor que la versión general del receptor de 13 segmentos.

Al igual que en los sistemas ATSC y DVB-T, el sistema ISDB-T soporta diferentes resoluciones de pantalla y tasas de trama. Los formatos se indican en la siguiente tabla, en resolución, forma de barrido (progresivo (P) o entrelazado (I)) y tasa de tramas por segundo, y se conforman a la sintaxis del Nivel Principal, definido en la sección de video del estándar MPEG-2:

Tabla III. Resoluciones de Pantalla

| Líneas Verticales | Píxeles por Línea | Razón de Aspecto | Frecuencia de Tramas |
|-------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| 1080 | 1920,1440,1080 | 16:9, 4:3 | 60I |
| 720 | 1280 | 16:9, 4:3 | 30P |
| 480 | 720,540 | 16:9, 4:3 | 30P |
| 480 | 720, 544, 540, 480 | 16:9, 4:3 | 60I |

Como ya se ha mencionado en el caso de DVB-T y ATSC, también el sistema de audio de ISDB-T usa el estándar MPEG-2. La especialización, en este caso, está definida en el estándar ISO/IEC 13818-7 (MPEG-2 – AAC audio), la que permite el transporte de canales de audio 5.1 con una tasa de bits de hasta 320 kbps.

3.1.2 Diferencias Técnicas entre los Modelos ATSC y DBV-T.

La norma ATSC 8-VSB es más robusto en Additive White Gaussian Noise (AWGN) , tiene una mejor eficiencia en manejo del spectrum , menor peak –to-average power ratio y es más robusto en ruido impulsivo y ruido de fase , también tiene características similares al DVB-T en niveles bajo de fantasma e interferencia de cocanal con señal analógica . De tal manera que el sistema 8-VSB puede tener ventajas para implementación de redes de mulifrecuencia (MFN múltiple frequency network) para proveer HDTV dentro de la canalización de 6 MHZ.

El sistema DVB-T tiene ventajas con respecto a los fantasmas de alto nivel (hasta 0 db) y con respecto a estáticas de al retardo y distorsión de multipaso dinámico y debe tener ventajas para servicios que requiere red de frecuencia única (single frequency network SFN) en modo de 8K y para recepción móvil en modo 2K Sin embargo hay que dejar claro SFN a gran escala y recepción móvil no puede ser implementado con el sistema actual aunque se use 6 , 7 ,8 Mhz, debe elegirse parámetros específicos para cada caso en particular.

1. La señal PAR (peak to average power ratio) para DVB-T es 2.5 dB mas alta que para ATSC, para el mismo nivel de spill-over , que es el factor principal de interferencia de canal adyacente en el sistema DBV-T, que requiere mayor potencia (2,5 dB o 1,8 veces mayor), lo cual agrega un mayor costo para los broadcaster.
2. Analizando el R-S outer code correction de ambos modelo, DVB-T puede corregir 8 byte de error de transmisión contra 10 bytes del sistema ATSC , esto da una ventaja de 1,5 dB del sistema ATSC, junto con una ventaja de 2 dB de ATSC con respecto a DVB-T resultante del BER (Bit Error Rate). Además los transmisores DVB-T tienen que tener una mayor potencia de 6 dB (3,5 dB por C/N y 2,5 dB mas por el PAR (peak to average power ratio)), es decir 4 veces mas potencia, para mantener la misma área de cobertura.
3. DVBT con la modulación COFDM tiene una fuerte inmunidad contra la distorsión de multipaso, usando protección de intervalo de guarda puede manejar eficientemente la distorsión por multipaso lo cual es importante para SFN (single frequency network). ATSC no puede manejar esos niveles por lo cual fue diseñada principalmente para MFN (multi frequency network).
4. DVB-T es preferible para ser usado en recepción móvil, ya que puede manejar ecos móviles de cientos de Hz mientras que ATSC solo puede manejar hasta una docena.
5. OFDM tiene un esquema de modulación que lo hace un poco más eficiente que el 8-VSB en la utilización del espectro , sin embargo los intervalos de guarda que se

requiere en DVB-T para mitigar los problemas de multipaso reduce la capacidad de data a emitir.

6. La capacidad óptima para desplegar HDTV es de al menos 18 Mbps para poder transmitir imagen de alta definición y elementos de alta movilidad más bytes para los otros canales asociados como son audio de multicanal y servicios auxiliares de data. Si se considera una codificación de convolución de $R= 2/3$ en 6 Mhz de ancho de banda la data que podemos esperar en DVB-T está entre 14.7 Mbps y 17.9 Mbps, por lo cual es difícil para DVB-T proveer alta definición en 6 Mhz a menos que se sacrifique la corrección de error. ATSC supe un ancho de banda de 19.4 Mbps.
7. La interferencia dentro de los canales analógicos es mayor en DVB-T debido que necesitan más potencia que ATSC, para la planificación de la misma área de cobertura.
8. La codificación R-S (207,187) con 52 segmentos de interleaver hace al ATSC más inmune al ruido impulsivo, que el DVB-T usando codificación R-S (204,188) con 12 segmentos de interleaver.
9. Ambos sistemas tienen una performance similar en el manejo de cocanal analógico
10. Interferencia de co-canal con canal digital. Hay una ventaja de alrededor de 3 a 4 dB de ATSC sobre DVB-T.
11. Ambos Sistemas de TDT pueden operar en diferentes anchos de banda, 6 , 7 , 8 Mhz Cambiando la frecuencia del reloj.

3.1.3 La Transición a TDT en Diferentes Países.

Como se ha comentado, la televisión digital, con carácter general, conlleva una mejora en la recepción de la señal de televisión, optimizando el uso del espectro radioeléctrico y aportando una mayor calidad de imagen y sonido, facilita igualmente el acceso a la televisión multicanal y promueve la irrupción de los servicios de la Sociedad de la Información que pueden ser recibidos a través de la propia pantalla del televisor. El caso particular de la televisión digital terrestre (TDT) representa la evolución a digital de la tecnología de televisión más ampliamente extendida a nivel nacional en todos los países. El proceso de transición de la televisión analógica a la digital terrestre ha venido inicialmente marcado por el interés de los gobiernos por aprovechar de forma más eficiente el espectro actualmente utilizado por la televisión analógica, por ampliar la oferta de canales, y por impulsar los nuevos servicios y facilidades que podrá ofrecer la televisión digital.

Brasil se decidió por la versión modificada del formato japonés ISDB, Colombia selecciono el forma DBV-T, Uruguay opto por el estándar DVB-T / DVB-H, Méjico y Canadá se decidieron por ATSC . En el caso de Argentina, Chile y Perú aun están en proceso de exploración de los sistemas norteamericano (ATSC), europeo (DVB-T) y japonés (ISDB-T).

En el caso de Venezuela, se están realizando en la ciudad de Caracas las pruebas de Televisión Digital Terrestre, a fin de evaluar el desempeño de los estándares ISDB-T (japonés), DVB-T (europeo) y DMBT (chino).

Cuba ha anunciado recientemente que en el corriente año podría dejar definida la norma a utilizar.

La mayoría de los países de America latina que no se han definido, están realizando pruebas con el objeto es evaluar bajo las mismas condiciones cada uno de los estándares, en función de los criterios técnicos, financieros, industriales y de transferencia tecnológica.

La TDT permite una mejora en la calidad de la recepción y amplía la oferta disponible tanto en número de canales como en versatilidad del sistema: emisión con sonido multicanal, múltiples señales de audio, teletexto, EPG (guía electrónica de programas), canales de radio, servicios interactivos, imagen panorámica, etc. A medio plazo el sistema de televisión analógico desaparecerá completamente liberando frecuencias que permitirán aumentar la oferta de canales, su calidad y otros servicios en TDT.

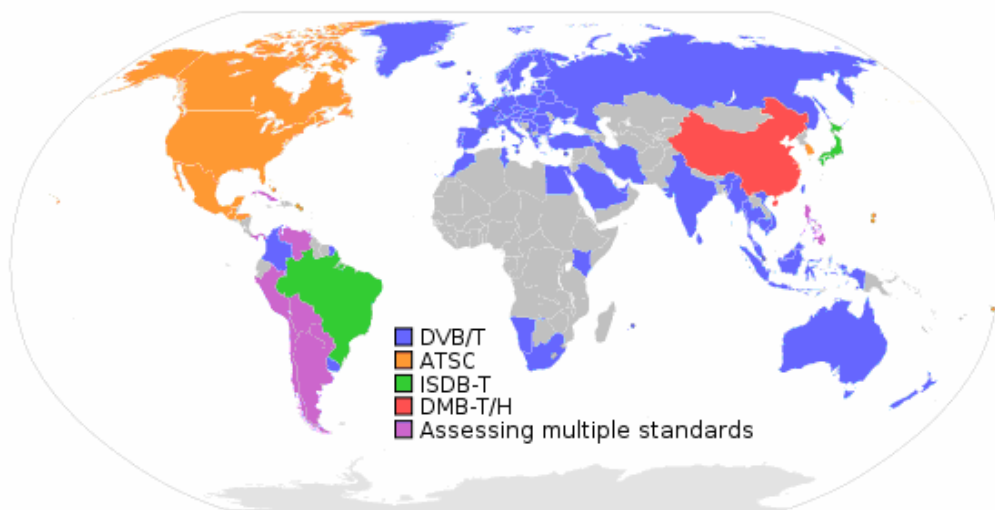


Figura 1.- Tabla de estado de Transición en los diferentes países

3.1.4 Comunicaciones Móviles.

El mercado mundial de las telecomunicaciones crece rápidamente, según las exigencias y necesidades de los consumidores, de la misma manera los proveedores de servicios se ven en la necesidad de obtener nuevos recursos y métodos de transmisión más eficientes y económicos que satisfagan las necesidades de los usuarios.

Actualmente los sistemas de telecomunicaciones se han convertido en el motor que mueve el mundo, agiliza negociaciones, determina los parámetros de la bolsa de valores, e incide directamente en el desarrollo político, económico y social de cualquier país. Es por ello que al momento de tomar cualquier decisión que involucre una mejora de dichos servicios se requiere de ciertos conocimientos en el área que permita diseñar sistemas que sean compatibles con pasadas y futuras tecnologías.

Diferentes generaciones de Redes Telefónicas.

La telecomunicaciones a través de los años ha evolucionado de la siguiente manera:

- La primera generación de tecnologías de teléfonos móviles analógicos (1G), incluyen AMPS, TACS Y NMT.
- La segunda generación de tecnologías de teléfonos móviles digitales (2G) incluyen GSM, CDMA IS-95 y la D-AMPS IS-136 .
- 2.5G, La mejora de GSM que incluye tecnologías como GPRS.
- La tercera generación de tecnologías de teléfono móvil (3G) cubiertas por la familia ITU IMT-2000.

- 3GPP. El tercer Proyecto de Generación de Sociedad , una agrupación de normas internacionales, operadores y vendedores con la responsabilidad de estandarizar a los miembros de WCDMA basados en la familia de IMT-2000.
- 3GPP2. El contemporáneo de 3GPP con responsabilidad de estandarizar a los miembros de CDMA2000 basados en la familia IMT-2000. 3GPP2 es encabezado por ANSI.

3.1.4.1 GSM.

GSM (el Sistema Global para comunicaciones Móviles) es una tecnología digital celular abierta, usada para transmitir voz móvil y servicios de datos. Esta se diferencia de primeros sistemas de radio de generación inalámbrica en que usa la tecnología digital y el método de transmisión por división de tiempo de múltiples acceso (TDM). Es un sistema de conmutación por circuito que divide cada canal de 200kHz en ocho intervalos de tiempo de 25kHz . GSM maneja las bandas de 900MHz y 1.8GHz en Europa y las bandas de 1.9GHz y 850MHz en EU. La banda de 850MHz es usada para GSM y 3GSM en Australia, Canadá y muchos países sudamericanos. Además soporta velocidades de transferencia de datos de hasta 9.6 kilobytes/s, permitiendo a la transmisión de servicios de datos básicos como SMS (Servicio de Mensaje Corto).

3.1.4.2 GPRS.

GPRS (General Packet Radio Service) es un paquete basado en servicios de comunicación inalámbrica que ofrece velocidades de transmisión de datos a partir de 9,05 hasta 171,2 Kbps y conexión continua a Internet para telefonía móvil y los usuarios de

computadoras. GPRS basa en GSM las comunicaciones y complementa los servicios existentes tales como la conmutación de circuitos conexiones de teléfono celular y el servicio de mensajes cortos (SMS).

Las aplicaciones de GPRS requieren la modificación de las actuales redes GSM, ya que GSM es una tecnología de conmutación de circuitos, mientras que GPRS está orientado a paquetes. GPRS permite a los paquetes de datos (el mismo que es utilizado por un Ethernet LAN, WAN o Internet) para ser enviados hacia y desde una estación móvil - por ejemplo, teléfono móvil, PDA u ordenador portátil.

3.1.4.3 EDGE.

Las grandes mejoras a redes GSM son proporcionados por las mejoras a las tasa de Datos realizadas para la Evolución del GSM (EDGE) . EDGE proporciona hasta tres veces la capacidad de datos de GPRS. Usando EDGE, los operadores pueden manejar tres veces más suscriptores que GPRS; triplicar su tasas de datos por suscriptor, o agregar capacidad suplementaria a sus comunicaciones de voz. EDGE usa la misma estructura TDMA (Múltiple Acceso por División de Tiempo), el canal lógico y la amplitud de banda de la portadora en 200kHz como la red GSM, que le permite superponerse directamente a la red GSM existente. Para mucha redes existentes de GSM/GPRS, EDGE es una mejora de software simple.

EDGE permite la entrega de servicios avanzados móviles como la descarga de vídeo y clips de música, el acceso a Internet de alta velocidad, mensajería multimedia, y el movimiento de correos electrónicos.

Debido al pequeño costo adicional de incluir la capacidad de EDGE en la red de GSM, prácticamente todos los nuevos despliegues de infraestructura GSM son también captados por la tecnología EDGE y casi todo nuevo dispositivo capaz de usar GSM de alto nivel también soportan la tecnología de radio EDGE.

EDGE provee paquetes de hasta 69.2Kbps en ocho horarios, para un total de ancho de banda teórico de 473.6Kb. GERAN (GSM / EDGE de Redes de Acceso Radio) es el nombre dado a las normas 3GPP para GSM / EDGE de acceso por radio. EDGE es una actualización de GPRS. A su vez, EDGE finalmente se sustituirá por WCDMA (o CDMA de banda ancha).

EDGE Evolucionado. Se prevé que la evolución de EDGE les permita a los operadores actualizar sus redes EDGE para mejorar la cobertura de servicio y más que duplicar la eficiencia espectral para EDGE, reducir la latencia a menos de 80 ms y aumentar las velocidades de datos a una velocidad máxima por usuario de 1 Mbps en el downlink y 500 Kbps en el uplink.

3.1.4.4 HSCSD.

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) es una especificación para la transferencia de datos en redes GSM. HSCSD utiliza hasta cuatro espacios de tiempo de 9.6Kb o 14.4Kb, para un total de ancho de banda de 38.4Kb o 57.6Kb.

Los espacios de tiempo de 14.4Kb están disponibles sólo en redes GSM que operan a 1800MHz. Las redes GSM en 900MHz se limitan a 9.6Kb franjas horarias. Por lo tanto, HSCSD se limita a 38.4Kbps en redes GSM 900MHz y solo puede alcanzar velocidades de 57.6Kbps sobre redes GSM 1800Mhz.

HSCSD es una mejora al estándar de datos conmutados por circuito (Circuit Switched Data). La actualización al sistema EDGE permitió a las redes GSM generar las condiciones necesarias para aplicar ECSD (Enhanced Circuit Switched Data), una versión mejorada de HSCSD. ECSD aumenta el ancho de banda de cada espacio de tiempo a 48Kb y permite el uso de ocho franjas horarias, lo que da una velocidad de transmisión total de 384Kbps.

3.1.4.5 HSDPA.

HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) o Protocolo de Acceso de Descargas de Alta Velocidad, de la familia de tercera generación de telefonía móvil (3G), tecnologías destinadas a aumentar las tasas de transferencia de datos y la capacidad de estas redes a través de la transferencia de datos utilizando un teléfono celular. HSDPA se asocia con

los diversos Sistemas Universales de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), incluidos en las redes (GSM). Actualmente, el HSDPA puede soportar velocidades que van de 1,8 Megabits por segundo a 14,4 Megabits por segundo. Si bien esta no es una velocidad muy alta en comparación a las diversas redes de cable, es un importante avance en las velocidades a disposición de la tecnología celular.

La tecnología HSDPA consigue esta mejora gracias a una serie de técnicas empleadas en la interfaz radio, como son:

- Transmisión en canal compartido. Se introduce un nuevo canal de transporte en el enlace descendente denominado HS-DSCH (*High-Speed Downlink Shared Channel*). Asimismo, los intervalos utilizados para cada transmisión son más cortos (2 ms).
- Adaptación rápida del enlace. La velocidad de transmisión de datos varía de forma rápida según las condiciones del canal de radio.

HSDPA se encuentra actualmente compitiendo con Evolución de Datos Optimizado (EVDO) proporcionada por los proveedores de celulares con tecnología CDMA. Mientras que CDMA-EVDO es más popular en los últimos años gracias a su velocidad de bajada y la facilidad de acceso, GSM-HSDPA está poco a poco usurpando su liderazgo como tecnología madura.

3.1.4.6 HSUPA.

Así como el HSDPA mejora la percepción del cliente para los servicios de datos que hacen uso de las descargas desde la red al terminal, el HSUPA hace lo propio con el envío de datos desde el terminal hacia la red. En este momento, la combinación del HSDPA con el HSUPA se denomina HSPA (*High Speed Packet Access*). Los mecanismos que hacen posible el HSUPA son semejantes a los descritos para HSDPA. Con ello, se consigue pasar de los 384 kbit/s a los 5.76 Mbit/s (máximo teórico posible).

3.1.4.7 HSPA.

HSPA (Acceso a Paquetes de Alta Velocidad) es una nomenclatura para desarrollos que abarcan ambas direcciones de la transmisión de información, las direcciones downlink (HSDPA) y uplink (HSUPA). HSPA es una optimización de UMTS y ofrece una combinación exitosa de eficiencia espectral (4-5 veces más que UMTS), transmisión de datos a alta velocidad, y baja latencia (menos de 100 ms), habilitando así verdadera banda ancha móvil para el mercado masivo. HSPA además baja el costo por bit, permitiendo la prestación de servicios costo-efectivos ricos en multimedia.

3.1.4.8 UMTS.

La tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es un sistema de telefonía móvil de tercera generación (3G). Desde un punto de vista técnico, la mayor innovación que introduce UMTS es el uso de la técnica de espectro ensanchado WCDMA (Wide Code Division Multiplexing Access), ya que GSM o GPRS tan sólo

utilizaban FDMA o TDMA. Esta técnica permite aumentar la velocidad de transmisión, así como mejorar la resistencia a las interferencias, facilitar los procesos de transición entre dos celdas (soft handover), así, UMTS alcanza velocidades de hasta 2Mbps en la transmisión de datos con baja movilidad o 144Kbps sobre vehículos a gran velocidad. Esta capacidad de transmisión unida al soporte del protocolo IP capacita a UMTS para la prestación de servicios multimedia interactivos: servicios como la videoconferencia, las descargas musicales o de vídeo, los nuevos videojuegos en el móvil.

3.1.4.9 EVDO.

EVDO es un acrónimo de "Evolución de Datos" o "Evolución de Datos Optimizado", que es un estándar para la alta velocidad a redes inalámbricas usado para la conexión a Internet de banda ancha. EVDO permite a los usuarios de computadoras de alta velocidad el acceso a Internet sin la ayuda de un Hotspot. Sólo mediante la inserción de una tarjeta de EVDO en la computadora, los usuarios pueden conectarse a Internet en cuestión de segundos y tener acceso a Red DSL compatible con sus velocidades.

Si bien las redes inalámbricas tradicionales asignan una ruta dedicada entre el origen y el destino para toda la duración de la llamada muy similar a la línea fija de redes telefónicas, EVDO permite a varios usuarios transmitir los datos a través de un único canal usando CDMA, así como TDMA para lograr un mayor rendimiento y mejor utilización de ancho de banda de red.

EVDO utiliza la actual emisión de frecuencias de las redes CDMA, que es una gran ventaja en comparación con tecnologías competidoras que a menudo requieren costosos cambios de hardware y software o mejoras a la red.

Esta tecnología se encuentra presente principalmente en EUA y en Corea, pero sin embargo no ha tenido un gran impacto en Europa y en los países en Asiáticos, que predominantemente utiliza el estándar W-CDMA para la alta velocidad de acceso a datos.

3.1.4.10 WCDMA.

WCDMA (banda ancha Code Division Multiple Access) es un sistema 3G de banda ancha de apoyo a servicios como Internet de alta velocidad, video de alta calidad y transmisión de imágenes con la misma calidad que las redes fijas. En sistemas de WCDMA la interfaz aérea de CDMA se combina con la interconexión de redes de GSM. El estándar de WCDMA fue desarrollado a través de las normas 3GPP que apunta a garantizar la interoperabilidad entre las distintas redes 3G.

En WCDMA, existen dos modos de operación posibles:

- TDD: En este método bidireccional, las transmisiones del enlace ascendente y del descendente son transportadas en la misma banda de frecuencia usando intervalos de tiempo (slots de trama) de forma síncrona. Así las ranuras de tiempo en un canal físico se asignan para los flujos de datos de transmisión y de recepción.

- FDD: Los enlaces de las transmisiones de subida (uplink) y de bajada (downlink) emplean dos bandas de frecuencia separadas para este método a dos caras. Un par de bandas de frecuencia con una separación especificada se asigna para cada enlace. Puesto que diversas regiones tienen diversos esquemas de asignación de la frecuencia, la capacidad de funcionar en modo de FDD o TDD permite la utilización eficiente del espectro disponible.

3.1.4.11 LTE.

LTE (Evolución a Largo Plazo) describe el último trabajo de estandarización realizado 3GPP en el árbol de tecnología de red móvil antes comprendió el GSM/EDGE y tecnologías de red de UMTS/HSPA que ahora representan más del 85 % de todos los suscriptores móviles. Con este último trabajo de estandarización que comenzó a finales de 2004, el 3GPP (dispuesto en diciembre de 1998) define un juego de exigencias de alto nivel (el nuevo método de Acceso de Radio de alta velocidad) para sistemas de comunicaciones móviles; para competir con otras tecnologías celulares de banda ancha, en particular WiMAX.

LTE es mejorado con una nueva técnica de acceso de radio llamada UMTS-Evolucionado para la Red de Acceso de Radio Terrestre (la E-UTRAN). Vía esta tecnología LTE espera mejorar el rendimiento de usuario final, la capacidad del sector en aumento, y por consiguiente ofrecer una experiencia de calidad superior al usuario final con movilidad completa.

A diferencia de otras últimas tecnologías desplegadas como HSPA, LTE es acomodado dentro de una nueva arquitectura de núcleos de Paquete el llamado EPC (Enhanced Packet Core). Técnicamente, 3GPP especifica el EPC para apoyar la E-UTRAN. EPC es diseñado para desplegar protocolos TCP/IP que permiten a LTE dar soporte todos los servicios basados en IP incluyendo la voz, medios de comunicación de vídeo, mensajería de alta Calidad de punta (QoS). La arquitectura de red EPC también permite conexiones mejoradas y cesión a otra línea fija y tecnologías de acceso inalámbricas dando a un operador la capacidad de entregar una experiencia de movilidad más allá de lo esperado.

Para alcanzar todos los objetivos mencionados aquí, la Capa Física de LTE (PHY) emplea tecnologías avanzadas que son lo último en aplicaciones celulares. Estos incluyen la División de Frecuencia Ortogonal de Múltiple Acceso (OFDMA) y la transmisión de información de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO). Antenas Inteligentes también son desplegadas para lograr aquellos objetivos. Además, el LTE PHY despliega el OFDMA para el Downlink (DU), que es la base de los Equipo de Usuario (UE) y la División de Frecuencia portadora Simple de Múltiple Acceso (SC-FDMA) para el Uplink (UL). Estas tecnologías más allá de minimizar el sistema LTE y complejidades en los equipos de usuarios permiten el despliegue del espectro flexible en la existencia o el nuevo espectro de frecuencia liberado en las bandas de los 700Mhz.

LTE disfruta del apoyo de un grupo colaborador de organizaciones de normas internacionales y las empresas de tecnología móvil que forman el 3GPP entre ellas Ericsson, Qualcomm, Alcatel-Lucent, el grupo de trabajo MIMO, Motorola.

3.2 Desarrollos Técnicos Que Habilitan Nuevas Posibilidades En El Segmento Radioeléctrico Estudiado (470MHz A 6GHz)

Los métodos usados para manejar el espectro están basados en el aislamiento de usuarios en bandas de frecuencia, localización, y a tiempo. Los avances en la tecnología de comunicaciones han proporcionado una infinidad de soluciones al problema. Para presentar estos avances, dividimos los tópicos según los objetivos de la tecnología. Ampliamente definimos los objetivos como tecnologías de información eficientes, la eficiencia del espectro, el tratamiento digital de señales, la reutilización espacial, y la administración dinámica del espectro y alternativas para el manejo eficiente del espectro.

3.2.1 Tecnologías de Información Eficiente.

Cuando hablamos de tecnologías de información eficiente nos referimos a tecnologías usadas en comunicaciones digitales que reducen el número de bit requeridos para enviar una información. Estas tecnologías consisten en técnicas de codificación de información, reducción de datos redundantes, compresión de datos y los métodos de corrección de error.

3.2.1.1 Código Fuente (Source Coding).

La codificación de fuente es la conversión de una señal analógica en una corriente de Bits (o tren de pulsos). Hay dos métodos básicos para convertir la señal analógica. El primero es la codificación de forma de onda. En esta, la información de la señal es muestreada y cada muestra es registrada en un número finito de bits.

El segundo método es la codificación a base de modelo de la fuente. El segundo modelo es basado en código fuente un modelo matemático para un filtro es usado como la base de codificación de la información de la señal. La información de la señal es convertida en parámetros para el modelo y en una señal de excitación de low rate. Esto es lo que se transmite. Estas técnicas de modelado pueden aumentar enormemente la eficacia de la codificación. Por ejemplo un pulso de voz en una red telefónica de conmutación pública (PSTN - Public Switched Telephone Network) usa formas de onda codificadas resultando en un pulso de 64kbps. La técnica de codificación usada actualmente en los teléfonos celulares estándar, Code Division Multiple Access (CDMA), usa un modelo basado en el acercamiento que codifica la voz en un rate signal variable que puede oscilar de 1 a 8 kbps. En el peor de los casos el sistema usa 1/8vo del ancho de banda usado por PSTN.

La codificación de fuente es lossy, refiriéndose a cuando alguna información sobre la señal es usualmente perdida en el proceso de codificación. Así, las diferentes técnicas de codificación de fuente pueden reducir el ancho de banda, pero sacrificando la fidelidad.

3.2.1.2 Reducción de Redundancia.

Reduciendo las transmisiones redundantes de información se reduce la cantidad de bits enviados. Por ejemplo, un codificador de video puede enviar solo un subconjunto de bits que define el frame de una foto, restringiendo los datos enviados de los bits a solo una porción que define la foto y cambia entre frames.

En un sistema de voz, los periodos de silencio que ocurren naturalmente en una conversación pueden saltarse y no transmitirse. Tales técnicas de reducción no presentarán ninguna diferencia perceptible en la calidad de la información.

3.2.1.3 Compresión de Datos.

La compresión de datos reduce la redundancia, pero solamente con el conocimiento del tren de bits. Es decir un bloque de bit es reducido a pequeños segmentos de bits por algún algoritmo que permita las réplicas exactas sin pérdidas del bloque original de bits, cuando un algoritmo inverso es aplicado. Los programas que convierten archivos de computadora a archivos comprimidos ZIP son los ejemplos de aplicaciones usando la tecnología de compresión. Un módem telefónico estándar usa la compresión para aumentar la tasa de transferencia de datos.

3.2.1.4 Corrección de Error.

Las transmisiones de datos y señales analógicas codificadas tienen exigencias diferentes para errores. Generalmente, las transmisiones de datos no pueden tolerar errores pero en tiempo real las señales de voz y el vídeo pueden. Bits adicionales son añadidos a mensajes digitales para descubrir errores. Estos métodos pueden ser hechos con un 99.9 % de efectividad en detección errores. Los errores en señales de datos pueden ser tratados de dos modos. Los datos pueden ser divididos en los pequeños paquetes que son repetidos si son recibidos por equivocación o los datos pueden ser codificados con bits adicionales tal que los errores pueden ser corregidos en la recepción.

Esta última técnica se menciona como la corrección de error avanzada (FEC). Incluso en sistemas con FEC, los paquetes de datos todavía pueden necesitar ser repetidos si los errores exceden la capacidad de FEC de corregirlos.

Una observación en técnicas de codificación de fuente es que los bits no son creados igual. Por ejemplo, si una forma de onda codificada es usada, el bit más significativo es más importante. El modelo basado en descodificación también tiene un bit más significativo. El bit del modelo de parámetro tiene más significado que los de la señal de excitación. La opción de si hay que usar FEC o permitir a errores es dependiente de cuan vulnerable sea la señal decodificada a los errores. El bit de mayor importancia puede causar que la señal total sea más vulnerable. Es muy común proteger los bit mas significativos con FEC y no proteger los bits menos significativos. FEC es usado estrechamente con las técnicas de codificación de fuente para equilibrar la calidad y la fiabilidad deseada en la señal.

3.2.2 Tecnologías de Eficiencia del Espectro.

Las tecnologías que usan el espectro eficientemente procuran enviar la información usando el menor ancho de bando posible. Identificamos tres tipos: técnicas de modulación avanzadas, formación de pulso, y mejores receptoras y tradeoffs. Aunque estas técnicas ofrezcan la eficacia mayor, tienden a ser más vulnerables al ruido y la interferencia. Son sobre todo vulnerables en ambientes hostiles porque son fácilmente detectados, interceptados, y atascados.

3.2.2.1 Modulación Avanzada.

Definimos tres características de una onda senoidal que pueden ser cambiadas, la frecuencia, la fase, y la amplitud. Declaramos que cada combinación de características usadas en las técnicas de modulación se menciona como un símbolo y que cada símbolo puede representar múltiples bits dependiendo el número de símbolos usados en el esquema de modulación. Los esquemas de modulación avanzados intentan alcanzar la eficacia de espectro por aumento del número de símbolos distinguibles que una onda senoidal puede llevar. Ya que los símbolos representan múltiples Bits, un error en la detección de símbolo puede significar que múltiples Bits sean incorrectamente descubiertos.

En sistemas de comunicaciones digitales, la presencia de errores en explosiones, causa el empleo de técnicas adicionales para mitigar errores. El Intercalado (la mezcla de los bits antes de la transmisión y luego la separación de ellos en la recepción) es usado para reducir el efecto de errores que ocurren en explosiones. Así, los errores que ocurren en explosiones durante la transmisión son distribuidos en todas partes de un paquete después de la recepción lo que permite al FEC ser más eficaz. El FEC, además de ser usado con la codificación de fuente, también es usado con la decodificación de canal. Así como los data rates de los esquemas de modulación aumentan las probabilidades de error. FEC codifica y modula combinaciones que son usadas para alcanzar una transmisión confiable manteniendo el empleo eficiente del espectro.

3.2.2.2 Formación de Pulso (Pulse Shaping).

Reducir el contenido espectral de una señal implica el diseño de las señales entrantes. Esto puede ser hecho por formando el pulso o por permitiendo a la señal cambiar sus características menos drásticamente. La figura 2, ilustra un pulso formado y como el contenido espectral es afectado. Las Señales digitales usan múltiples símbolos que pueden ser utilizadas para usar menos ancho de banda, permitiendo al mismo tiempo un cambio gradual entre estados.

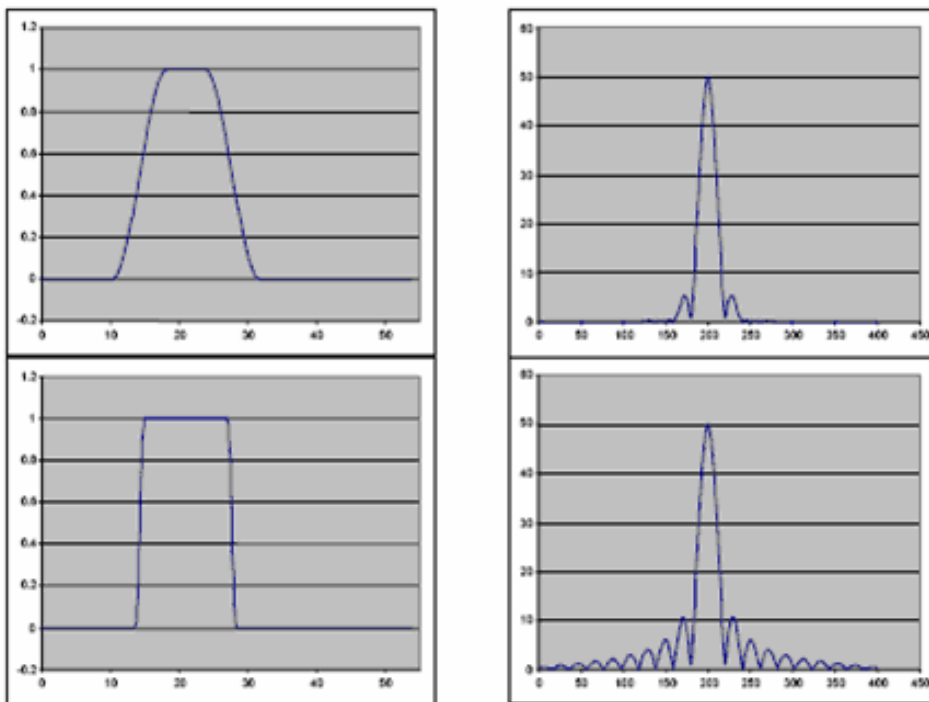


Figura 2
Comparación de contenido espectral de pulsos que cambian gradualmente vs. rapidez. El pulso en el dominio del tiempo es mostrado a la izquierda y su uso del espectro a la derecha.

3.2.2.3 Receptores.

Nuestro enfoque hasta ahora ha estado sobre la tecnología de transmisión. Ya que los efectos de interferencia pasan en los receptores, su diseño puede determinar como se afecta la capacidad de comunicaciones de radio, que tanto puede afectar un ruido a una señal y que tanta interferencia puede causar a las bandas adyacentes. La circuiteria de los de receptores introduce ruido. Si el receptor es ruidoso, entonces las señales recibidas deben ser más fuertes. Pero como algunos receptores se hacen menos ruidosos requieren menos poder de transmisión. La selectividad de un receptor determina la banda de frecuencias que es pasada a la desmodulación. Como los receptores se hacen más selectivos, la interferencia percibida de bandas adyacentes disminuye. Canales adyacentes pueden ser colocados mas cerca. Estos son las últimas mejoras que contribuyen a la eficiencia del espectro.

3.2.2.4 Tradeoffs.

La frecuencia, fase, y amplitud son manipulados para alcanzar una forma de onda, lo más eficiente posible. Las formas de onda con múltiples estados, son designadas para aumentar los rates con los cuales una señal modulada puede transmitir datos. Mientras tanto FEC disminuye los rates de transmisión de la información para obtener mayor fiabilidad, no obstante usando técnicas de formación de onda se puede reducir el espectro real utilizado con la salvedad de que se reducirá el bit rates en el cual los símbolos puedan cambiarse.

La combinación de estos tres métodos, ajuste de fase, amplitud y frecuencia de manera equilibrada es una buena forma de enviar fuentes fidedignas, con el mayor número de bits por espectro usado.

La asunción de estas técnicas es acertada, la señal ocupará la banda de frecuencia mas estrecha posibles. Esto quiere decir que la señal transmitida tiene la mayor parte de su energía dentro de una banda estrecha de frecuencias. Lo cual implica que la señal es fácil para descubrir, interceptar, y truncarse. Además causa que la señal tenga menos diversidad, lo cual hace la señal más susceptible a efectos ambientales como el fading.

3.2.3 Tecnologías Procesamiento Digital de Señales. Los métodos clásicos de generación y transmisión de señales han usado dispositivos y circuitos para aislar señales. El desafío en el diseño de estos circuitos es que su funcionamiento sea dependiente de la frecuencia. Aunque esto sea bastante conveniente para transceivers que usan solamente una frecuencia, transceivers que funcionan sobre múltiples canales no puede ser bien ajustados sobre ningunos de estos, por el hecho de operar en todos ellos. La Gestión del espectro responde a estas limitaciones aumentando la separación de los canales. Además, por varias razones, estos transceivers sólo pueden funcionar sobre una pequeña banda de canales.

Sistemas digitales funcionan en una manera diferente. Más que aislar la señal con un circuito, la señal es aislada usando procesamiento digital de señales (DSP). En otras palabras, la frecuencia de contenido y la modulación de la señal es sintetizada por

operaciones matemáticas dentro de una forma digital. Las conversiones a la forma de onda que es usada para la transmisión ocurren de digital-a-análogo (DA) y de analógico a digital (AD) respectivamente. La capacidad de aislar y tratar señales ya no depende mas de la calidad y la sintonía del circuito, pero si de la resolución, la velocidad del AD, la conversión DA y la velocidad en la cual el tratamiento de señal digital puede ser ejecutado. Tales sistemas también pueden funcionar sobre una amplia banda de frecuencias.

Las radios basados en esta tecnología digital han introducido un nuevos conceptos de como las comunicaciones de radio pueden ser ejecutadas. Primero, DSP permite el empleo más eficiente de frecuencia como una señal característica para definir los diferentes símbolos de una forma de onda modulada. Segundo, la radio se hace más genérica, permitiendo a una simple radio emular muchos diferentes tipos de sistemas. Proporcionando grandes detalles en las dos subdivisiones siguientes.

3.2.3.1 Identificadores de Contenido de Frecuencia.

En radios clásicos, los circuitos de filtro son sintonizados para permitir el paso a algunas bandas de frecuencias y atenuar todo los demás. La bandas de frecuencia que pasa es interpretada en la parte del circuito restante, que expresamente ha sido diseñado para desmodular la señal esperada. Aunque la frecuencia sea usada como una característica de modulación, estos circuitos son diseñados para proveer una simple salida para cualquier frecuencia instantáneamente observada. Para clasificar el contenido de frecuencia total de

una señal se requiere tomar de un filtro pasa banda muy estrecho y barrer esta a través de la banda de frecuencia de la señal entrante y midiendo la amplitud de la señal cuando es barrida. Esto es poco práctico en un sistema en tiempo real. Con DSP, todo esto puede ser ejecutado digitalmente. La transformada rápida de Fourier (FFT) algorítmicamente puede convertir una señal analógica digitalizada a su contenido de frecuencia. Esto permite que la señal pueda ser explotada de dos modos:

1. Los nuevos métodos de modulación donde las señales son creadas por combinación de frecuencias, y permiten la identificación de espectro no usado para su posible explotación.
2. La técnica de usar múltiples frecuencias para comunicarse, algunas veces mencionado con tono de multiplexación. La versión más común de esta técnica es conocida como la Multiplexion por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM).

OFDM usa algunos números de frecuencias para sintetizar una forma de onda. Estas simples señales de frecuencia son separadas con precisión uno de otra de modo que durante el período de detección, ellas no interfieran el uno con el otro. (Sus espectros se superponen uno al otro pero el preciso tiempo de las señales sobre la duración de la señal previene entonces que interfieran una con otra) Este es el significado de la palabra ortogonal. Cada frecuencia usada en la forma de onda corresponde a un Bit.

3.2.3.2 Radio Definido por Software.

Con la observación de todos los aspectos que pueden ocurrir en la modulación de señal usando DSP viene la observación adicional de que todos los radios pueden ser definidos por software, definiendo los algoritmos de DSP que van a ser usados. Los radios que son diseñados para explotar este hecho se llaman Radios definidos por software (SDR).

Los métodos actuales de manejo de frecuencia tradicionalmente han causado el desarrollo de radios para trabajar dentro de una pequeña banda de frecuencias. Los SDR trabajan sobre el concepto de que la frecuencia de operación y la técnica de modulación no necesariamente son definidas en el momento de la fabricación, pero puede ser definida más tarde en el software. El atractivo de los SDR es que pueden ser diseñados para trabajar con sistemas de herencia donde estos pueden ser substituidos de un modo evolutivo. Una vez que todos los sistemas de herencia son substituidos por los SDR, entonces todos los sistemas SDR pueden ser mejorados a esquemas de modulación más eficientes y/o pueden ser cambiados para funcionar sobre una banda completamente diferente de frecuencias. Todos estos cambios pueden ser alcanzados simplemente cambiando el software.

3.2.4 Tecnologías de Reuso del Espectro.

Estas intentan aumentar el número de los usuarios del mismo espectro en la misma ubicación geográfica o en la proximidad cercana el uno al otro. Estas técnicas alcanzan la reutilización espacial por la limitación del área a través la cual las señales se propagan, así permiten a más usuarios, o usando la diversidad que existe entre señales debido a las

diferencias de como y donde ellos fueron transmitidos, utilizar de manera simultánea el mismo espectro en la misma vecindad. Las técnicas de reutilización basadas en el control de propagación de señal incluyen antenas direccionales y networking. Las técnicas de reutilización basadas en la explotación de la diversidad son: el Espectro Ensanchado, polarización de la señal, y antenas inteligentes.

3.2.4.1 Antenas Direccionales.

Las Antenas direccionales aumentan la reutilización espacial, reduciendo la cobertura sobre la cual los transmisores irradian señales y las direcciones de las cuales un receptor puede detectar señales. Los receptores fuera del alcance de una señal irradiada de un transmisor no recibirán la señal y pueden ser capaces de oír otro transmisor que usa la misma frecuencia. Asimismo un receptor puede ser capaz de distinguir un transmisor del otro aunque este dentro del rango de ambos. En operación, las antenas direccionales en los transmisores son orientadas hacia los receptores y las antenas direccionales en los receptores son señaladas hacia el transmisor. No hay ninguna exigencia tanto para un transmisor como para un receptor para tener antenas direccionales.

La figura 3 se ilustra la diferencia en la operación de transmisores y receptores que usan antenas direccionales. Esta ilustración traza la posición de dos pares de transmisores y receptores y muestra el efecto de sus antenas. Como T1 y R1 tienen antenas omnidireccionales, ellos transmiten y reciben en todas las direcciones igualmente. Pero como T2 y R2 usan antenas direccionales ellas transmiten y reciben con un aumento en la ganancia en una dirección. Notamos que aunque R1 reciba en la dirección de T2, esta

todavía recibirá la señal de T1 ya que T2 no irradia en la dirección de R1. Esto es así independientemente de si R2 usa una antena direccional. Asimismo R2 puede recibir la transmisión T2 aun cuando esté en el rango de T1 ya que la ganancia de la antena es mayor en la dirección de T2. Esto es así independientemente de si T2 usa una antena direccional. Es posible aumentar la densidad de pares de transmisor-receptor en un área geográfica, aumentando el número de radios que usan antenas direccionales y por aumento en el direccionamiento de las antenas.

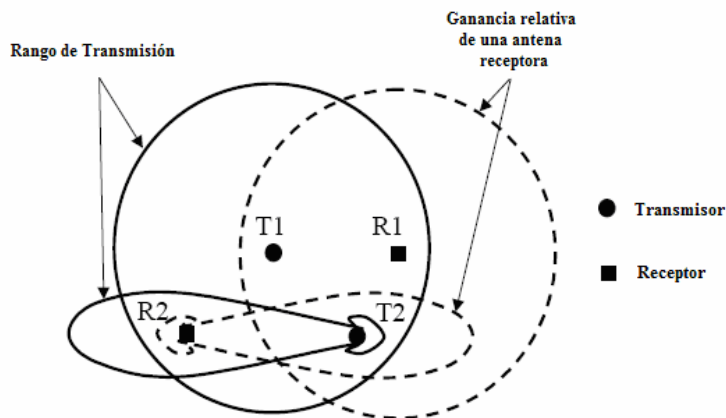


Figura 3
Comparación de cobertura de Antena Omni-direccional y direccional

3.2.4.2 Redes.

Las redes aumentan la reutilización espacial habilitando a las fuentes de comunicación al enviar una comunicación a un destino distante sin necesidad de transmitir la comunicación en un rango completo de su separación. Esto es logrado retransmitiendo la comunicación por los nodos de la red. Ya que los nodos sólo transmiten una distancia corta, ellos pueden usar baja potencia en su transmisión y permitir a otros nodos usar el mismo canal simultáneamente. Esto también hace más difícil de descubrir e interceptar aquellos nodos que realmente se comunican.

Notamos que no hay ninguna exigencia, las redes pueden ser formadas únicamente con nodos que usen comunicación inalámbrica. La posibilidad de mover el tráfico a través de los links que no usan el espectro radioeléctrico (ejemplo, Links alambrados o Links ópticos) este es otro método de aumentar la disponibilidad de espectro de RF a más servicios. La colocación de tales links dentro de una red enormemente puede aumentar la capacidad de la red y así la ventaja del espectro de RF.

- **Redes Inalámbricas Controladas por Centrales.** Consisten en estaciones relativamente inteligentes llamadas " puntos de acceso " " o estaciones base " que físicamente están conectados el uno al otro y a otra estación móvil, estas estaciones relativamente mudas envían y reciben todo su tráfico por estos puntos de acceso. Las estaciones móviles se comunican con el punto de acceso más cercano. Estas no tienen ningún entendimiento remoto de la topología de red. El punto de acceso trabaja conjuntamente para rutear las comunicaciones entre fuentes y destinos. La cobertura de estas redes es dependiente de las ubicaciones de los puntos de acceso.

Las redes de centrales controladas tienen muchas ventajas sobre redes ad hoc. Los puntos de acceso inteligentes fácilmente pueden manejar la calidad de servicio. Ya que las estaciones móviles tienen que comunicarse sólo con puntos de acceso y no están implicadas con el enrutamiento del tráfico que allí es mucho menos elevado; entonces el escalamiento de la red no es una dificultad. Sin embargo, estas redes también tienen desventajas.

Las estaciones móviles, no pueden comunicarse a no ser que se asocien con un puntos de acceso y estos pueden hacer cuellos de botella o fallar en sus puntos centrales. Las redes en centrales controladas son bastante vulnerables a actos hostiles en ambientes militares.

- **Red Ad Hoc.** La red móvil ad hoc, también se refiere a las redes Mesh, consiste en estaciones móviles que trabajan conjuntamente para formar una red. Las estaciones móviles en estas redes se descubren el uno al otro y cooperan para formar una topología de red. La creación de estas redes es bastante compleja y deja un área muy activa de investigación sin un acercamiento claramente definido, no obstante no hay ningún punto de falla y ningún límite en el área sobre la cual ellos pueden funcionar.

En pocas palabras se trata de una arquitectura de red “en malla” que permite que cada receptor actúe simultáneamente como emisor. De esta forma, cada nuevo dispositivo que se añade a la red utiliza la capacidad de ésta, pero también aporta recursos. Se trata por tanto de un modelo similar a la estructura de routers de Internet. Al no ser necesaria una comunicación directa con el punto de destino, se puede aumentar significativamente el número de dispositivos sin aumentar (de forma notoria) el nivel de interferencia.

- **Redes de Frecuencia Unica (SFN).** Las redes de frecuencia única (del inglés single frequency networks o SFN) son redes de radiocomunicaciones integradas por transmisores que emiten por el mismo canal radioeléctrico o bloque de frecuencias, la misma programación (uno o más programas) a una zona geográfica sin que se produzcan interferencias mutuas. Para ello se requiere que exista un intervalo temporal de guarda suficientemente largo después de cada intervalo útil para evitar la denominada

interferencia entre símbolos. La modulación OFDM permite la implementación eficiente de estas redes. La zona geográfica puede ser tan pequeña como una localidad o tan grande como un país pero, lógicamente, cuanto más grande sea la zona más difícil será técnicamente asegurar el sincronismo entre transmisores. La tecnología digital terrenal permite el uso de redes de frecuencia única, y es una de sus grandes ventajas desde el punto de vista del aprovechamiento óptimo, racional y eficaz del espectro radioeléctrico. No obstante, tiene el inconveniente de no permitir la regionalización de la programación, esto es, las emisiones diferenciadas según la zona geográfica de servicio.

- **Redes Multifrecuencia (MFN).** Las redes multifrecuencias (multi frequency network) son las redes integradas por transmisores que emiten en diferentes canales para cubrir una amplia zona geográfica, haciendo un mayor uso del espectro radioeléctrico pero permitiendo la regionalización de sus programas. Las redes analógicas de difusión de televisión son redes de este tipo, pero también se puede utilizar este tipo de redes en la televisión digital.

3.2.4.3 Comunicaciones con Espectro Ensanchado.

Como el nombre implica, extender las señales de comunicación a través de una amplia banda de frecuencia. Hay tres métodos primarios: saltando frecuencias, saltando tiempo, y secuencia directa. De estos, el saltando frecuencia es el más obvio. Los radios, más que para transmitir continuamente, utilizan un carrier en una base regular, para saltar a frecuencias diferentes y enviar partes del mensaje. Múltiples transmisores entonces

pueden usar el mismo espectro usando y saltando a frecuencias diferentes. Permitir el empleo de múltiples canales requiere de radios en las bandas, para seguir las secuencias de salto que no interfieren. En esta subdivisión, sin embargo, queremos explorar más estrechamente otras formas de ensanchado del espectro. La diferencia en estos métodos es que múltiples señales usaran el mismo espectro simultáneamente. Debajo, describimos como una señal es ensanchada en el espectro y demostrar que una vez extendido, puede parecer un ruido. Entonces describimos las diferencias entre la secuencia directa (DS), saltado por tiempo y acercamiento de UWB.

En la Figura 4 ilustramos el espectro de una onda cuadrada. Nosotros observamos que el espectro de la onda cuadrada es extendido continuamente en su frecuencia fundamental; la frecuencia de la onda cuadrada, f , ocurre en cada punto como múltiplos impar de la frecuencia fundamental, (p. ej. $3f$, $5f$, $7f$, ...). Ciertamente, como la frecuencia de una onda cuadrada aumenta, también lo hará su ancho en la cual su espectro es extendido. Un segundo método de espectro extendido es el de reducir el ancho del pulso de señal. En la figura 4 ilustramos la correlación de frecuencia y ancho de pulso de la señal modulada y como la señal transmitida es extendida en el espectro. La frecuencia de los pulsos determina los componentes de frecuencia específicos usados en el espectro y la anchura de los pulsos determina la amplitud de aquellos componentes. La conversión de señales a pulsos más cortos o a una serie de pulsos rápidos extenderá su espectro. Cuando estos trenes de pulso modulen una señal portadora, el espectro se extiende en ambas direcciones sobre la portadora.

Más de una señal es extendida en el espectro, y a menor fuerza de la señal es percibida en el espectro. De ser extendido lo suficiente, la señal puede ocultarse detrás del ruido de fondo.

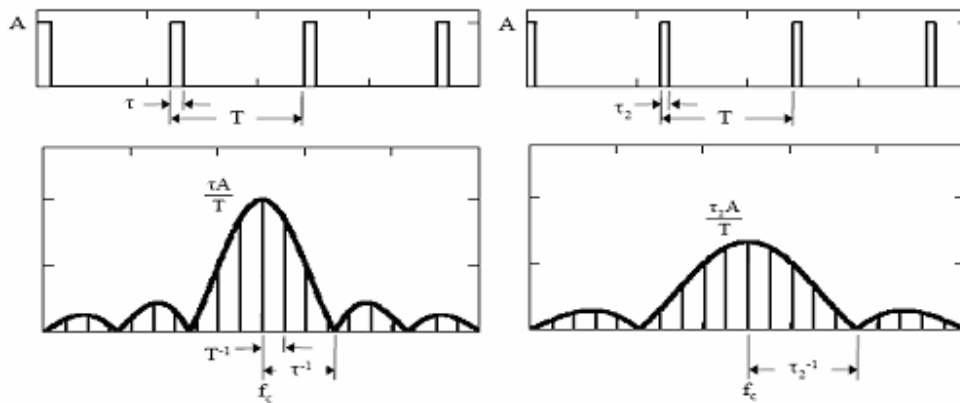


Figura 4. Efecto del ancho de pulso en el contenido espectral

- **Banda Ultra Ancha (Ultra Wideband UWB).** El concepto de UWB es enviar la información en pulsos muy cortos que tienen un muy amplio ancho de banda porque son cortos. Los receptores descubren estos pulsos, y se oponen a ver el ruido, sabiendo cuando buscar el mensaje. Si varios pulsos son observados cuando se esperan que estén presentes, entonces la señal es descubierta.

Es posible transmitir directamente impulsos electromagnéticos muy estrechos sin modularlos en una onda senoidal. Estos impulsos ocupan el espectro desde cero Hz hasta una frecuencia que es aproximadamente el recíproco del ancho del pulso. Esto constituye una forma de tecnología UWB. Un radar que funciona sobre este principio puede descubrir objetos cuyas dimensiones son similares al ancho del pulso. Tal sistema transmite energía sobre una amplia banda de espectro que ha sido asignado a muchos

otros servicios, y tiene el potencial para interferir con aquellos servicios. Sin embargo, estos radares pueden penetrar obstáculos y proporcionar las capacidades de detección de radio que no son posibles en otras bandas.

Hay otra forma de UWB, donde los pulsos modulan una onda senoidal con una amplitud de banda que es una fracción sustancial de la frecuencia portadora. Si la frecuencia portadora es apropiadamente seleccionada, tal sistema podría funcionar en una región del espectro que no es muy usado por otros servicios. Sin embargo, los servicios provistos por la señal de UWB son el dependiente de frecuencia. Por ejemplo, el radar que penetra obstáculo no sería posible en frecuencias más altas.

- **Polarización de la Señal.** La polarización de ondas electromagnéticas es determinada por la geometría de la antena. Por ejemplo una antena vertical long-wire tendrá la polarización lineal vertical, mientras una antena horizontal long-wire tendrá la polarización lineal horizontal. Mutuamente, la mejor recepción ocurre cuando la geometría de la antena de recepción empareja la polarización de las ondas electromagnéticas. Así, la polarización puede ser usada para separar señales que usan las mismas bandas de frecuencia en la misma ubicación, diseñando antenas para transmitir y recibir las señales discriminando en las diferentes polarizaciones.

3.2.4.4 Antenas Inteligentes.

Como se ilustra en la figura, las señales son detectadas en una antena cuando sus campos las cruzan. Si hay múltiples antenas que físicamente son separadas una de la otra, cada una recibirá la señal en un tiempo diferente. Esta diferencia en la llegada de las señales en cada elemento de una serie de antenas puede ser usada aislar múltiples señales simultáneamente. En esta subdivisión, describimos la física básica que permite a esta tecnología trabajar.

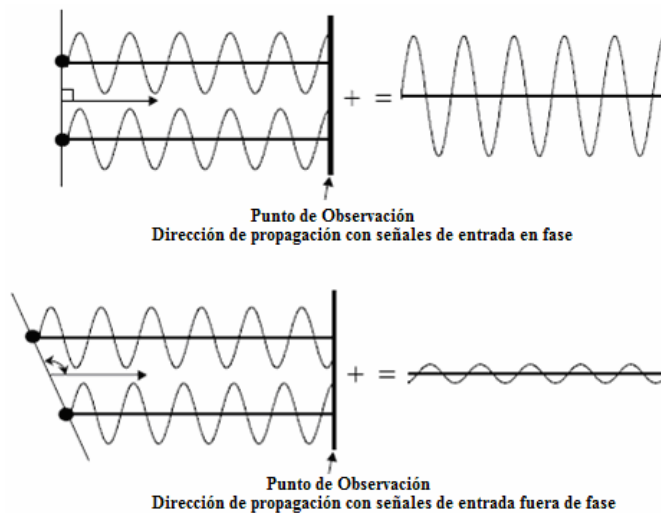


Figura 5. Un ejemplo de interferencia constructiva y destructiva

- **Interferencia Constructiva y Destructiva.** Cuando dos señales idénticas son transmitidas desde múltiples antenas estas crearán un frente de onda que se propagará en direcciones diferentes. En un punto distante del origen de estas antenas, una antena recibirá ambas señales, pero ya que se propagan a distancias diferentes, la fase relativa de estas señales puede diferenciarse. Si las fases se alinean, entonces hay interferencia constructiva y las señales se refuerzan la una de la otra. Si las fases no se alinean, entonces hay interferencia destructiva y ninguna señal puede ser descubierta.

- **Beamforming.** Es posible seleccionar la dirección de una señal con una serie de antenas que puedan interferir constructivamente. Esta dirección es afectada, seleccionando las fases y las amplitudes de señales en cada elemento de un número de arreglos de antena. La dirección en la cual las señales se refuerzan óptimamente, una de la otra se llama (main beam) lóbulo principal de una antena. Asimismo es posible excitar los elementos de antena en un camino que cause a la señal una interferencia destructiva en una dirección deseada. Una dirección donde las señales de un arreglo de antena se cancelan completamente una a otra se llama NULL. La dirección de un simple rayo puede ser lograda cambiando las fases de señales a elementos de antenas, basados en la separación física de cada una.

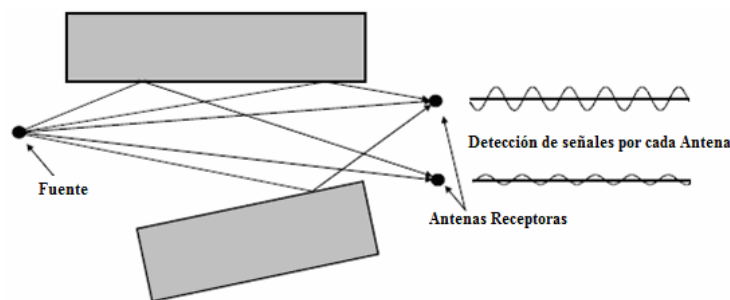


Figura 6.
Diferencias entre señales recibidas, causadas por un arreglo multi-trayecto de señales en antenas receptoras

- **Firmas Espaciales.** En la práctica, las señales de la misma fuente llegarán a las antenas de muchas direcciones diferentes. Las señales adicionales ocurren debido a las reflexiones que pueden ocurrir en la tierra y en estructuras artificiales. Si hay algún conocimiento previo sobre una señal que llega, múltiples elementos de las antenas pueden ser optimizados para recibir señales de una fuente específica; las Transmisiones

normalmente son precedidas por una secuencia de entrenamiento, y luego el destino aplica un algoritmo para calcular los factores que multiplican la señal recibida de cada antena, antes de sumarlas, esto causa que la suma de estas señales sea lo más similar a la señal de entrenamiento conocida. El rasgo específico que hace a una señal llegar a los diferentes elementos de una antena se refiere a su Spatial Signature o Firma Espacial.

Las antenas y sus características de propagación son por lo general recíprocas. Si una antena de recepción puede aprender la firma espacial, entonces puede usarse para optimizar su señal de vuelta a la fuente. Ya que hay una gran diversidad espacial de como las señales pueden llegar, esta diversidad puede ser usada por antenas y permitirles descubrir la transmisión de origen aun cuando lleguen señales de múltiples fuentes a la antena. Esto también permite a estas antenas recibir múltiples señales simultáneamente que sólo se diferencian en su firma espacial. Estas antenas también pueden ser usadas para transmitir señales diferentes a múltiples destinos simultáneamente. Las antenas que pueden hacer esto se conocen como antenas inteligentes. La eficacia de estas antenas depende de la geometría y el número de elementos que tengan las antenas

3.2.5 Administración Dinámica del Espectro.

Tecnologías de gestión del espectro de forma dinámica permiten a usuarios de espectro identificar el espectro disponible y luego usar aquel espectro cuando lo necesiten. Los radios que pueden realizar esta función se mencionan como " radios inteligentes. " Consideramos dos tecnologías diferentes. En la primera, los radios revisan para ver que

espectro esta actualmente en uso y, de un modo oportunista, utilizar el que está disponible (spectrum mining). En el segundo, los radios son conscientes de las bandas de frecuencia que pueden usar y luego trabajar cooperativamente para compartir aquel espectro para su empleo máximo (la asignación de un canal dinámico). Debido a la naturaleza cooperativa de estas soluciones, probablemente podrían ser puestas en práctica juntos con tecnologías de networking.

3.2.4.1 Spectrum Mining.

En el spectrum mining, los radios buscan el espectro que no es usado para luego usarlo. Las tecnologías DSP permiten la identificación de contenido de frecuencia y también habilitan las tecnologías que estén próximas. Una radio puede muestrear una banda de frecuencias y medir la energía que está presente en aquel espectro para encontrar aquellas porciones que no son usadas. La parte más complicada de implementar esta tecnología es conocer cual banda frecuencia la radio puede usar y luego coordinar su empleo con el receptor deseado. Si el espectro está disponible en un estado secundario, su empleo debe ser coordinado para asegurar que esto no viole las condiciones de uso. Estas condiciones de uso incluirían regulaciones para asegurar que usuarios de espectros primarios conserven su preferencia. Como definir estos términos y asegurar su cumplimiento es todavía un asunto sin terminar, tal cual la prioridad reguladora en los bloques de espectro utilizados por otros usuarios oportunistas como WiFi u otros dispositivos no autorizados. Desde una perspectiva técnica, un problema adicional es coordinar los intentos de un transmisor de usar un pedazo particular de espectro con el receptor deseado de modo que

el receptor pueda sintonizarse al canal correcto. A causa del conocimiento y la coordinación requerida, esta tecnología es la mejor para implementar en redes. Los radios que tienen la capacidad de inteligentemente detectar si un segmento particular de espectro esta siendo usado y usarlo como fue descrito encima son llamados radios cognitivos.

3.2.4.2 Asignación Dinámica de Canales.

Múltiples canales pueden estar disponibles para ser usados por los radios para comunicarse. Esta pluralidad de canales puede ser explotada de varios modos. En el primero, los canales pueden ser asignados sobre una primera-llegada primera-servida como es usado en sistemas de teléfono celular. La asignación dinámica de canales a llamadas permite habilitar canales para ser usado de la manera más eficiente. Este método de asignación de canal es una forma de multiplexación estadística. En sistemas donde la mayor parte de comunicaciones son comunicaciones de punto a punto y que ocurren al azar, la preocupación es la probabilidad de bloqueo y la probabilidad que un terminal pidiera usar un canal y ninguno estuviese disponible.

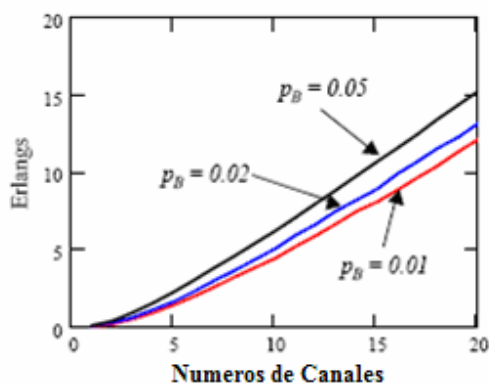


Figura 7.-

Cada uno de los argumentos en la figura 7, corresponde a una diferente probabilidad de bloqueo, p_B . Para el caso de $p_B = 0.01$, un sistema que comparte 20 canales puede soportar 1200 veces la carga soportada por un 1 sistema de canal que funciona con esta misma probabilidad de bloqueo.

El segundo método de asignación de canal dinámica asigna de nuevo el mismo canal a los diferentes grupos de nodos basados en su disposición actual. De algún modo esto fue hecho por el sistema de teléfono celular original, que reutilizó frecuencias en las células que fueron separadas una de la otra. Sin embargo en el sistema de teléfono celular esta asignación no era dinámica. Una asignación dinámica es lograda organizando una banda de múltiples radios donde una radio está sobre una red. Cada usuario tiene múltiples radios donde uno es asignado a funcionar en una red y los demás son asignados lógicamente a grupos multicast y no son asignados canales. Los algoritmos distribuidos, puestos en práctica en la red, asignan los canales. Los grupos de radios que quieren formar un grupo multicast pueden asignar uno de los canales disponibles a la red para usar una de sus radios que no están en la red. La red sabrá cuales canales fueron usados y asignará un canal al grupo de multicast que no ha sido usado por ningún otro transmisor en la misma comunidad. Las características de transmisión de como transmiten el poder también puede ser especificado. Así la red puede controlar el grado geográfico del empleo del espectro. La red identifica las posiciones de los nodos del grupo multicast y asigna de nuevo el mismo canal a otro grupo multicast si están lo suficientemente separado en distancia de este grupo.

Cuando la segunda radio es una SDR, también puede ser posible escoger la forma de onda más conveniente para el grupo multicast. Este método de asignación dinámica puede reducir enormemente el número de los canales requeridos para soportar múltiples grupos multicast. Por este tipo de técnica, por ejemplo, las redes de voz de varios pelotones diferentes pueden usar el mismo canal mientras que ellos son separados el uno del otro. La red también puede cambiar los canales de estos grupos multicast, si maniobran dentro del rango de uno y otro. La asignación y el cambio de canales pueden ser hechos totalmente transparente a usuarios.

La figura siguiente ilustra una disposición teórica de una formación. Cada círculo representa a un miembro de la organización. Todos tienen una radio conectada a una red ad hoc con canales comunes. Los números adyacentes a estos círculos son los grupos multicast al cual cada miembro está suscrito. Si un miembro tiene un número este tiene dos radios, uno es un miembro de la red común ad hoc y el segundo está disponible para el grupo multicast. Si un miembro tiene dos números este es un miembro de dos grupos multicast y tiene tres radios en total. Las líneas segmentadas circunscriben los nodos que pertenecen a los mismos grupos multicast. El número de grupo multicast es una asociación lógica; esto no traza un mapa directamente a un canal de radio. Más bien esto sólo indica que todos los nodos que se suscriben al mismo grupo deberían estar en el mismo canal.

Por este acercamiento, los grupos multicast son separados el uno del otro, por ejemplo 5 y 9, podrían ser asignados al mismo canal a usar. La tecnología spectrum mining complementaría este proceso verificando la disponibilidad de espectro para que grupos multicast puedan usarlo.

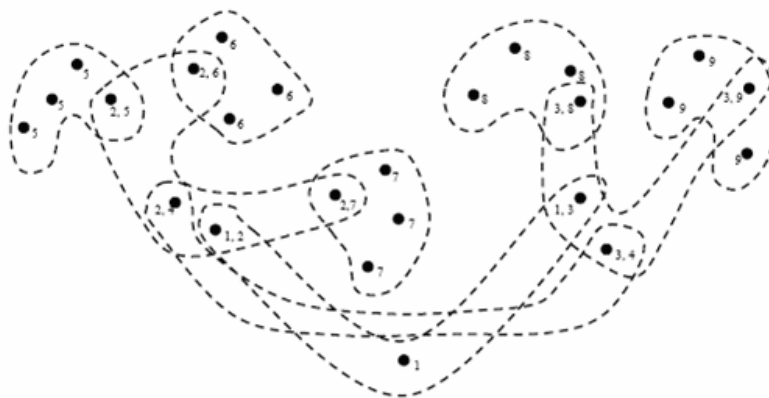


Figura 8.- Disposición teórica de una formación de red

3.2.6 Alternativas para el Manejo Eficiente del Espectro.

Hay tres modelos que fueron propuesto por las FCC Spectrum Policy Task Force en noviembre del 2002 para la dirección de espectro: el modelo "De mando-y-control", " el modelo de "Uso exclusivo ", y el modelo "Comunes".

El modelo de mando-y-control es el proceso tradicional de manejo del espectro donde la autoridad reguladora asigna frecuencias a usuarios de espectro para usos específicos, que son contraídas según las reglas que limitan las características de transmisiones. La eficacia del modelo de mando-y-control es mejorada por aquellas tecnologías que buscan el espectro y la eficacia de la información y por las tecnologías de reutilización espaciales que pueden ser reguladas como el empleo de antenas direccionales.

El modelo de uso exclusivo da al titular los derechos del espectro dentro de un área geográfica definida y luego que este maneje dicho espectro de una manera óptima, es transferido el derecho de usarlo, si es apropiado. El sistema de teléfono móvil es un ejemplo del modelo de derechos exclusivo. Todas las tecnologías habladas en esta sección pueden ser explotadas en una banda de las frecuencias que esté disponibles para su uso exclusivo.

El modelo común permite a los números significativos de usuarios no autorizados para compartir el espectro donde el uso es gobernado por normas técnicas o protocolos. No hay ningún derecho a la protección de la interferencia. Los usos inalámbricos autorizados para las partes de la banda de ISM, donde no hay ningún usuario del espectro autorizado, demuestran este concepto. Redes locales inalámbricas (LANs), dispositivos Bluetooth, teléfonos inalámbricos, y microondas todas las frecuencias compartidas. Las tecnologías de reutilización espaciales que usan la diversidad para permitir a señales coexistir en el mismo espacio y poder efficientizar este modelo. Ya que el poder de transmisión es limitado, tecnologías de red son explotadas para ampliar el rango de efectividad de los sistemas de comunicaciones y el tipo de servicios que ellos pueden proporcionar.

La visión general no gubernamental es el uso de los modelos exclusivos y los modelos comunes que proporcionarán una dirección más eficiente de espectro, ya que ellos descentralizan el control, haciéndolos más sensible a las necesidades de los usuario. En el caso del modelo de uso exclusivo, los titulares pueden optimizar continuamente el uso su

espectro asignado como definido por la licencia. En el modelo de Comunes, los usuarios procuran encontrar las mejores tecnologías y ponerlas en práctica, proporcionando los servicios que necesitan. Aunque los intereses no gubernamentales a menudo se preguntan si el espectro usado por el gobierno es utilizado de manera eficiente.

3.2.7 Servicios en el Segmento de 470Mhz a 6Ghz y sus Comportamientos.

Tabla IV. Servicios y sus Frecuencias

| Frecuencias | Tecnologías | Descripción |
|-----------------------------------|--------------------|---|
| 470-614 Mhz | DTV | Canales del 14 al 37 ? |
| 700Mhz | LTE y HSDPA | Long Term Evolution (LTE) y HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) |
| 840-960 MHz | RFID | Radio Frequency IDentification |
| 862 – 870 MHz | SRD | Short Range Device |
| 868 MHz, 902-928 MHz Y 2.4 GHz | ZigBee - 802.15.4. | Se caracteriza por su bajo consumo, tener una transferencia de datos baja, de hasta 250 Kbps, un alcance de unos 50m |
| 890-915Mhz | GSM | Telecomunicación celular |
| 1.5 Ghz | S-DAB /T-DAB | Satellite Digital Audio Broadcasting/ Terrestrial Digital Audio Broadcasting |
| 1.670-1.690 MHz 1.7 Ghz | Metatids/ Metsat | Servicio de ayuda para la meteorología / Meteorological Satellite |
| 1800 and 1900 Mhz | GSM | Telecomunicación celular |
| 1.885-2.025 GHz | UMTS | Sistema de telefonía móvil de tercera generación (3G) |
| 2110-2220 MHz | IMT-2000 | Proporcionar servicios multimedia móviles |
| 2,3 GHz | WIBRO | Es una tecnología de acceso a Internet inalámbrico de banda ancha |
| 2400 - 2483.5 MHz | SRD | Short Range Device |
| 2,4 GHz | NanoNet | Una tasa de transferencia de datos de hasta 2 Mbps, un alcance de unos 60 metros en interiores y muy bajo consumo. Esta tecnología está destinada a uso industrial y aplicaciones de domótica de control de instalaciones dentro de edificios. |
| 2.4 Ghz | WiFi B (802.11b) | El estándar 802.11 tiene en teoría un flujo de datos máximo de 54 Mbps, cinco veces el del 802.11b y sólo a un rango de treinta metros aproximadamente. |
| 2.4Ghz | Bluetooth | Comunicación de dispositivos |
| 2 a 11GHz | WiMAX | Red de área metropolitana inalámbrica de banda ancha |
| 5Ghz | WiFi a (802.11a) | Admite un ancho de banda superior El estándar 802.11 ^a provee ocho canales de radio en la banda de frecuencia de 5 GHz. |
| 2.7 - 3.4 GHz | Radar | Uso comercial y militar |
| 3,1 GHz Y 10,6 GHz | UWB - 802.15.3 | transferencia de datos que pueden llegar a 400 Mbps y bajo alcance, unos 20 metros. transmisión de datos a alta velocidad, desarrollar un localizador con una precisión de centímetros, diseñar un radar capaz de penetrar en la tierra o analizar imágenes incluso a través de paredes |

3.2.7.1 Bluetooth.

Se trata de una tecnología de red de área personal inalámbrica (WPAN) desarrollada por el Bluetooth Special Interest Group¹⁹. Bluetooth es un estándar abierto (IEEE 802.15) para transmisiones de corta distancia de voz digital y datos, que soporta aplicaciones punto a punto y punto a multipunto y trabaja en la banda sin licencia de 2.4 GHz. La señal alcanza una velocidad de 720 Kbps en un radio de hasta 100 metros y es capaz de atravesar paredes. Bluetooth utiliza la técnica de espectro ensanchado por salto de frecuencia, que cambia la frecuencia de la señal 1600 veces por segundo. En el caso de producirse interferencias con otros dispositivos, la transmisión no se detiene, sino que se ralentiza.

Algunas de las primeras aplicaciones de Bluetooth se han desarrollado para telefonía celular, por ejemplo, en sistemas “manos libres” que permiten la conectividad inalámbrica entre el terminal y un sistema audio integrado en un automóvil. Cognitive Radio. Se trata de un sistema de radio ágil más avanzado que analiza el medio de operación, selecciona bandas no utilizadas en ese momento y salta de forma autónoma a otra banda en cuanto la anterior comience a ser usada modificando la frecuencia de transmisión. Es por tanto un sistema de radio que asigna el espectro de modo dinámico, lo cual puede contribuir a mejorar la optimización del mismo.

3.2.7.2 RFID.

RFID (del inglés Radio Frequency Identification Device) es una tecnología de identificación por radio, esto es, se plantea como una alternativa a los tradicionales códigos de barras, con la ventaja de que los elementos identificados mediante RFID no necesitan contacto directo o en línea de visión con el lector correspondiente.

Un sistema RFID consta de tres componentes: una antena, un transceptor y un transpondedor. La antena emite una señal que activa el transpondedor, y éste envía unos datos de vuelta a la antena. Estos datos sirven para comunicar al controlador lógico programable la acción que debe seguir.

La tecnología RFID cuenta con múltiples utilidades que podrían añadir valor a numerosos productos o servicios. No obstante, y dado que se encuentra en su fase de despegue, necesita de cierta armonización con el fin de que dé origen a un mercado interior efectivo y desarrolle economías de escala en Europa..

3.2.7.3 Dispositivos de Corto Alcance (SRD) .

El término SRD (del inglés short range devices, dispositivos de corto alcance) se refiere a transmisores de baja potencia utilizados en aplicaciones tan diversas como alarmas, comunicaciones locales, mandos para apertura de puertas, implantes médicos... que normalmente utilizan bandas de espectro sin licencia y van dirigidos al mercado masivo.

3.2.7.4 WIBRO.

WiBro (Wireless Broadband) es una tecnología de acceso a Internet inalámbrico de banda ancha desarrollada en el seno de la industria coreana y estandarizada por la Telecommunications Technology Association of Korea.

WiBro trabaja en la banda de 2,3 GHz (banda con licencia), sus estaciones base proporcionan una cobertura en torno a 1 Km y son capaces de alcanzar velocidades que rondan los 50 Mbps. WiBro ofrece la movilidad de la que carece WiFi y mejora la velocidad de transmisión de datos que alcanzan las redes celulares 3G, y se espera que la evolución de esta tecnología desemboque en el desarrollo de la cuarta generación de redes celulares.

3.2.7.5 WIFI.

WiFi (Wireless Fidelity) es una tecnología de acceso inalámbrico fijo que permite la implementación de redes de área local inalámbricas. Está basado en las distintas versiones del estándar 802.11 del IEEE. El estándar original (IEEE 802.11) tenía velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. A continuación se desarrollan el estándar 802.11a, que ofrece hasta 54Mbps y trabaja en la banda de 5GHz (banda sin licencia³¹) y el estándar 802.11b, que opera en la banda sin licencia de 2.4GHz, y alcanza velocidades de 11Mbps. Ambos estándares eran incompatibles entre sí. Por último aparece el estándar 802.11g, compatible con el b y que utiliza ambas bandas y alcanza velocidades de hasta 54Mbps.

Actualmente se trabaja en el desarrollo del estándar 802.11n, que se espera que alcance velocidades de más de 300Mbps.

Sus principales aplicaciones, son los hot-spots (hoteles, aeropuertos, estaciones de servicio, centros de convenciones y comerciales, pueblos, etc.), en los que se ofrece acceso a Internet, en muchos casos, de forma gratuita, lo que hace que los modelos de negocio no prosperen³². También es ampliamente utilizado en el entorno empresarial y residencial para la construcción de redes de área local inalámbricas. Otra de las aplicaciones de WiFi sería la sustitución de las redes de telefonía celular en aquellas áreas donde alcanzara la cobertura. Sin embargo, este tipo de desarrollos cuenta con numerosas dificultades en ámbitos como la seguridad en las comunicaciones, el control de tráfico o el roaming.

En efecto, uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología WiFi es la seguridad. Inicialmente la seguridad se implementaba en WiFi mediante WEP³³, protocolo fácilmente vulnerable mediante sencillos ataques de fuerza bruta. Como mejora de este protocolo se desarrolla WPA³⁴, diseñado para utilizar un servidor de autenticación (servidor RADIUS) o bien el mecanismo de clave pre-compartida PSK (Pre-Shared Key). Sin embargo, WPA se considera un mecanismo transitorio hasta que se desarrolle el estándar 802.11i, que añade algunas mejoras.

3.2.7.6 WIMAX.

WiMAX (acrónimo de Worldwide Interoperability for Microwave Access) es la abreviatura que se refiere al estándar 802.16 del IEEE de red de área metropolitana inalámbrica de banda ancha. Está basado en la modulación OFDM35, y es capaz de cubrir un área de unos 50Km permitiendo la conexión a pesar de la existencia de obstáculos y permitir conexiones punto a multipunto o redes en malla. El estándar soporta además calidad de servicio (QoS), lo que lo hace adecuado para la transmisión de VoIP, datos y vídeo36.

El desarrollo de WiMAX se inició en la banda de 10 a 66GHz, alcanzando velocidades de hasta 100Mbps. Posteriormente, el estándar 802.16a se ha centrado en la banda de 2 a 11GHz (ofreciendo velocidades de 70Mbps), en parte de uso común sin licencia, lo que facilitaba su implantación. En concreto, los desarrollos se han centrado en las bandas de 2,4GHz y 5GHz (bandas sin licencia) y en la de 3,5GHz (banda con licencia).

En principio, WiMAX representaba una amenaza para el resto de tecnologías inalámbricas de acceso, especialmente el desarrollo de WiMAX móvil. Sin embargo el funcionamiento de WiMAX impone mayores requisitos a las baterías de los equipos, por lo que no es trivial la competencia con tecnologías como GSM o UMTS, sino que más bien parece que se desarrollará como tecnología complementaria.

3.2.7.7 ZIGBEE.

La tecnología ZigBee está basada en el estándar IEEE 802-15.4 (adoptado en 2003) de red de área personal inalámbrica (WPAN) y está principalmente impulsada por la ZigBee Alliance³⁹. La principal característica de ZigBee es que ha sido especialmente diseñada para utilizar una tecnología muy simple, con gran facilidad de uso y mínimo consumo de energía. Así, mientras otras tecnologías como Bluetooth han sido diseñadas para la comunicación entre dispositivos de gran volumen de datos (teléfonos, ordenadores portátiles...) ZigBee es especialmente idónea para numerosas aplicaciones como la monitorización de sensores o interruptores inalámbricos, caracterizados por manejar un bajo volumen de datos.

ZigBee hace uso de distintas bandas. A nivel global emplea la banda de 2,4 GHz, a la que añade, en Europa, la de 868 MHz y en América la de 915 MHz, todas ellas bandas de uso común que no requieren licencia, requisito acorde con la simplicidad del sistema. ZigBee alcanza coberturas de 10 a 200 metros (según sea dentro o fuera de un edificio) en la banda de 2,4 GHz, y hasta 30-1000 metros en las otras bandas. Las velocidades de transmisión que alcanza también varían según la banda, siendo de 250 Kbps, 40 Kbps y 20 Kbps para las bandas de 2,4 GHz, 915 MHz y 868 MHz respectivamente.

Una de las grandes características de ZigBee es su eficiencia en el uso de la energía, basada por una parte en la simplicidad de su protocolo y, además, en que sólo activa los dispositivos cuando se actúa sobre los datos.

ZigBee incluye además mecanismos de encriptación, está optimizado para aplicaciones con baja tolerancia de la latencia y utiliza una estructura de red mallada que evita la necesidad de comunicación directa entre cada nodo y el receptor.

Las principales aplicaciones para ZigBee se dan en la monitorización y control de sensores o interruptores en el ámbito industrial, en el control de flotas o, incluso, en el ámbito de la sanidad con aplicaciones en el control de enfermos.

3.3 Propuesta De Mejora de la Atribución del Segmento de 470MHz A 6GHz Del Espectro Radioeléctrico En República Dominicana.

La tendencia a la televisión digital en Republica Dominicana, no es solo una opción sino una necesidad debido al grado de saturación del espectro; la optimización del espectro radioeléctrico, excesivamente ocupado por la TV analógica es una oportunidad de diseño del mapa audiovisual, de acuerdo con los intereses y necesidades del país, la situación socio-económica y las oportunidades de negocio audiovisual; necesitan actualizaciones de : una Norma técnica, un Plan de cobertura para TV digital, un Plan de apagado analógico, desarrollo normativo y regulatorio, Plan de comunicación, Plan de desarrollo tecnológico, e Impulso al desarrollo de la economía digital con el fin de reutilizar el espectro y abrir nuevas formas de negocios.

No obstante a ello una liberación del espectro implica abrir las puertas al desarrollo de tecnologías de 4ta. Generación que actualmente están en prueba en la banda de los 700Mhz en adelante.

Con los resultados de esta investigación hemos determinado que existen dos posibles propuestas, una económica y otra tecnológica.

Propuesta Económica:

Esta propuesta sugiere la implementación del Sistema Europeo que posee las siguientes características:

- Transmisión FLEXIBLE de TV digital
- Menos susceptibles a cambios climatológicos
- Canalización: 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz
- Video (flujo MPEG-2/4/...), audio, datos y paquetes IP
- Televisión de Alta Definición (High-Definition Television, HDTV)
- Múltiples programas de Definición Estándar (Standard-Definition Television, SDTV)
- Gran Capacidad (hasta 23.75 Mbps @ 6 MHz)
- Gran robustez frente a multitrayecto y ruido impulsivo
- Despliegue Escalable:
 - Tamaño de la célula hasta 100 Km. (típico 60 Km.)
 - Despliegue
 - Multifrecuencia: Redes MFN
 - Frecuencia Única: Redes SFN

Tabla V. Modulaciones

| Modulación | FEC | BW = 6 MHz | | | | BW = 7 MHz | | | | BW = 8 MHz | | | |
|------------|-----|------------|-------|-------|-------|------------|--------|--------|--------|------------|-------|-------|-------|
| | | 1/4 | 1/8 | 1/16 | 1/32 | 1/4 | 1/8 | 1/16 | 1/32 | 1/4 | 1/8 | 1/16 | 1/32 |
| QPSK | 1/2 | 3,73 | 4,14 | 4,39 | 4,52 | 4,35 | 4,84 | 5,12 | 5,28 | 4,98 | 5,53 | 5,85 | 6,03 |
| | 2/3 | 4,97 | 5,52 | 5,85 | 6,03 | 5,81 | 6,45 | 6,83 | 7,04 | 6,64 | 7,37 | 7,81 | 8,04 |
| | 3/4 | 5,59 | 6,22 | 6,58 | 6,78 | 6,53 | 7,26 | 7,68 | 7,92 | 7,46 | 8,29 | 8,78 | 9,05 |
| | 5/6 | 6,22 | 6,91 | 7,31 | 7,54 | 7,26 | 8,06 | 8,54 | 8,80 | 8,29 | 9,22 | 9,76 | 10,05 |
| | 7/8 | 6,53 | 7,25 | 7,68 | 7,91 | 7,62 | 8,47 | 8,97 | 9,24 | 8,71 | 9,68 | 10,25 | 10,56 |
| 16-QAM | 1/2 | 7,46 | 8,29 | 8,78 | 9,04 | 8,71 | 9,68 | 10,25 | 10,56 | 9,95 | 11,06 | 11,71 | 12,06 |
| | 2/3 | 9,95 | 11,05 | 11,70 | 12,06 | 11,61 | 12,902 | 13,661 | 14,07 | 13,27 | 14,75 | 15,61 | 16,09 |
| | 3/4 | 11,19 | 12,44 | 13,17 | 13,57 | 13,06 | 14,51 | 15,37 | 15,83 | 14,93 | 16,59 | 17,56 | 18,10 |
| | 5/6 | 12,44 | 13,82 | 14,63 | 15,08 | 14,52 | 16,13 | 17,08 | 17,59 | 16,59 | 18,43 | 19,52 | 20,11 |
| | 7/8 | 13,05 | 14,51 | 15,35 | 15,83 | 15,240 | 16,934 | 17,93 | 18,47 | 17,42 | 19,35 | 20,49 | 21,11 |
| 64-QAM | 1/2 | 11,19 | 12,44 | 13,17 | 13,57 | 13,06 | 14,515 | 15,37 | 15,834 | 14,93 | 16,59 | 17,56 | 18,10 |
| | 2/3 | 14,92 | 16,58 | 17,56 | 18,09 | 17,52 | 19,353 | 20,49 | 21,11 | 19,91 | 22,12 | 23,42 | 24,13 |
| | 3/4 | 16,79 | 18,66 | 19,76 | 20,35 | 19,60 | 21,772 | 23,05 | 23,75 | 22,39 | 24,88 | 26,35 | 27,14 |
| | 5/6 | 18,66 | 20,73 | 21,95 | 22,62 | 21,77 | 24,191 | 25,61 | 26,39 | 24,88 | 27,65 | 29,27 | 30,16 |
| | 7/8 | 19,59 | 21,77 | 23,05 | 23,75 | 22,86 | 25,40 | 26,90 | 27,71 | 26,13 | 29,03 | 30,74 | 31,6 |

Fuente: ETS 300-744

Con las siguientes posibles distribuciones con una capacidad de canal a 20Mhz:

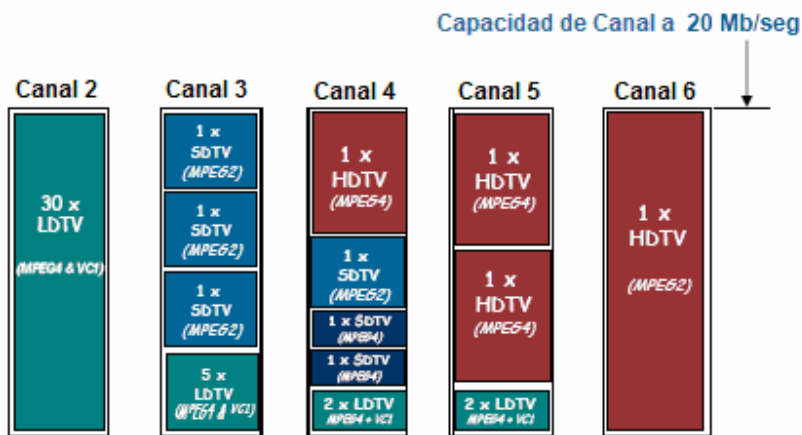


Figura 9. Múltiples posibilidades terrestres y móviles en 20 Mb/seg

En la figura anterior cada uno de los Segmentos sugiere un tipo diferente de distribución:

1. La utilización de un ancho de banda a 6Mhz para transmitir solo televisión de baja definición (LDTV) para dispositivos móviles como iPod video, PlayStation Portable (PSP) con pantallas pequeñas (320×240 y 480×272 pixeles), y celulares con pantallas iguales a estos o menores.
2. La utilización de un ancho de banda a 6Mhz para transmitir televisión de definición estándar (SDTV) y televisión de baja definición (LDTV)
3. La utilización de un ancho de banda a 6Mhz para transmitir televisión de definición estándar (SDTV) , televisión de baja definición (LDTV), televisión de alta definición (HDTV)
4. La utilización de un ancho de banda a 6Mhz para transmitir televisión de baja definición (LDTV) y televisión de alta definición (HDTV)
5. La utilización de un ancho de banda a 6Mhz para transmitir solo televisión de alta definición (HDTV), esa ultima implica una calidad de imagen parecida a la del sistema americano.

Figura 10. Diferentes tipos de definiciones de Videos.



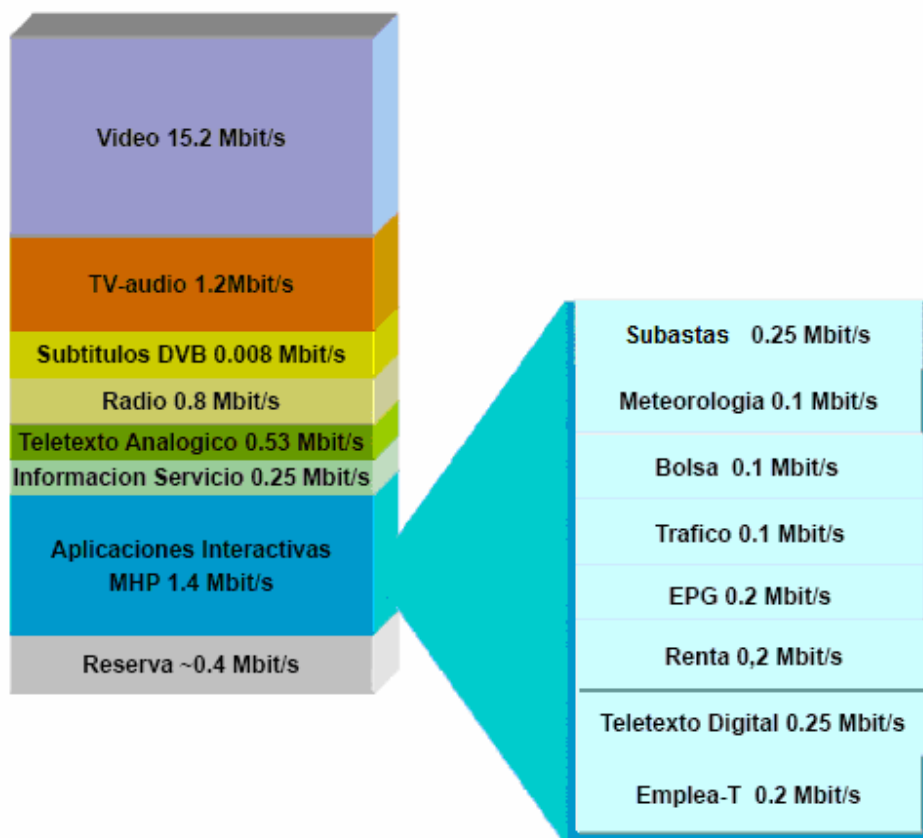


Figura 11.- Servicios que pueden ser prestados en un Canal de 6Mhz

Lo que implica que para poder aprovechar el espacio que ocupa un actual canal de TV análogo y brindar mayor cantidad de servicios, tendríamos que transmitir flujos SDTV o LDTV, y en algunos casos HDTV pero no con la calidad ofrecida por el sistema americano. Sin embargo podríamos sacrificar calidad de imagen por la gran cantidad de dinero y empleos que generaría el sistema DVB-T.

Dentro de los Servicios que podemos obtener con este tipo de modulación digital tenemos los siguientes:

Interactividad:

- Guía Electrónica de Programas
- Servicios de Bolsa, Tráfico, Meteorología
- Servicios de Administración
- Concursos, encuestas, votaciones, etc.
- Posibilidad de acceso condicional
- Publicidad interactiva
- PPV

Eficiencia Espectral:

- Más posibilidades para la gestión del espectro
- Flexibilidad en el uso del espectro
- Rentabilidad de un recurso escaso

Una posible distribución Espectral sería la siguiente:

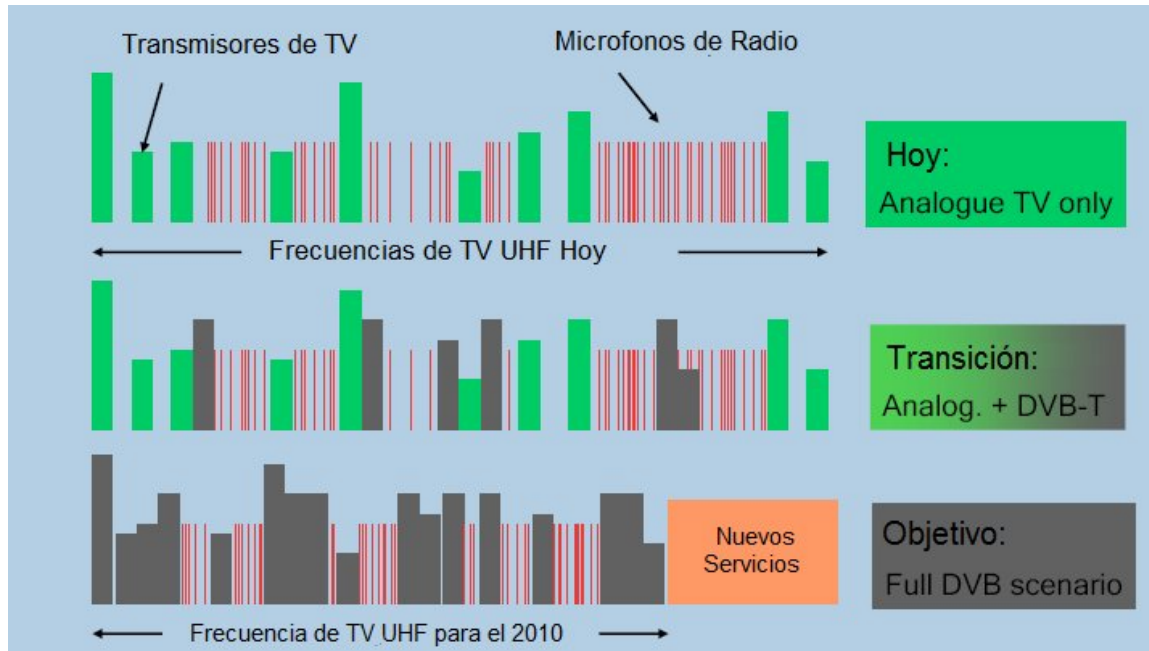


Figura 12.- Posible distribución del sistema DVB

Espacio Disponible para Tecnología de Comunicaciones Móviles.

Con el modelo europeo tendríamos las mismas frecuencias que actualmente poseemos a partir de los 806Mhz, para ser utilizadas para comunicaciones con la salvedad que podríamos liberar un poco la carga del sistemas de comunicaciones móviles con la transmisión de ciertos paquetes de datos que actualmente son transmitidos por las redes celulares. Lo que permitiría no afectar a los actuales servicios de telecomunicaciones, como enlaces punto a punto, radio posicionamientos y otros.

No obstante, con respecto a la telefonía móvil podríamos utilizar los 900Mhz en adelante donde podríamos desarrollar 3G por completo, como por ejemplo GSM/EDGE, UMTS/HSPA, EVDO. Sin embargo al momento de implementar UMTS tendríamos que tener en consideración que, los sistemas que operan próximos a la banda de frecuencias del sistema UMTS, en torno a los 2 GHz, pueden provocar problemas de interferencias y disminución de la señal recibida debido a la imperfección de los filtros de transmisión de los otros sistemas y de los filtros de recepción del propio sistema UMTS. Para aquellos sistemas que se encuentran más alejados en frecuencia de la banda de UMTS, la intermodulación puede ser también un inconveniente a tener en cuenta. En concreto, si se piensa en la compartición de frecuencias entre UMTS y GSM900 se debe prestar una atención especial a los segundos armónicos de GSM, ya que éstos pueden caer dentro de la banda asignada al enlace ascendente de UMTS. Entre GSM1800 y UMTS pueden existir problemas con los terceros armónicos si ambas redes operan en la misma zona. Esto implicaría que deberíamos reutilizar las frecuencia con las que ya se cuenta para reducir los costos asociados a la adquisición de emplazamientos para la nueva red, y también reducir el trabajo de obra civil.

Si además se comparten las antenas, o se pueden sustituir las antenas monobanda con diversidad espacial por antenas multibanda (o de banda ancha) con diversidad de polarización, también se logra una reducción del espacio físico ocupado, aspecto importante a tener en cuenta en aquellos sitios donde la limitación de espacio en el mástil no permite instalar nuevas antenas.

Pretende ser la evolución de las actuales redes móviles: GSM, GPRS; y la alternativa móvil a las redes fijas de banda ancha: ADSL, cable. UMTS ofrecerá voz de alta calidad con QoS. Los servicios multimedia GPRS+EDGE permiten tasas binarias equivalentes a las UMTS, pero utilizan más espectro: 7 canales EDGE por cada 2 canales UMTS. Podemos resumir las funcionalidades de UMTS en voz, datos (imágenes, archivos...) y vídeo en tiempo real (mpeg4). Cada uno de estos servicios puede hacerse corresponder a velocidades de 64 Kbps, 144 kbps y 384 kbps.

DVB es el único estándar que permite la TV digital móvil en forma sinérgica con el estándar global GSM/3G, a través del estándar DVB-H. Dicho estándar es el único que asegura oferta de equipos a precios razonables por su economía de escala (los terminales móviles futuros de GSM/3G serán compatibles con DVB-H).

DVB-H asegura la menor inversión para brindar TV Digital Móvil por el uso de infraestructura compartida con las redes de radiodifusor y de telefonía celular existente. DVB-H permitirá a los radiodifusores proveer servicios móviles a la población a costo más bajo.

Además de existir la necesidad podemos limitar el uso de la banda de los 700Mhz , es decir y colocar allí las nuevas tecnologías LTE que se están desarrollando en esta banda.

Ahora con respecto a las bandas de 2.4/3.5/5.2/5.7/5.8 GHz se podrían designar a los siguientes servicios:

- RFID (RFID-Radio Frequency Identification Systems)
- WPAN (WPAN-Wireless Personal Area Network)
- WLAN (WLAN-Wireless Local Area Network)
- WMAN (WMAN-Wireless Metropolitan Area Network)

Donde las redes WiMAX pudieran ser distribuidas fácilmente a partir de los 3.5Ghz e impedir las interferencias con otras tecnologías inalámbricas. Debido al amplio espectro de trabajo wimax puede trabajar sin problemas en frecuencias de 3.5 a 11Ghz. Rangos de frecuencias que pueden ser utilizados para WiMAX fijo y móvil para evitar interferencias

| | Índices de bandas | Banda de frecuencia (GHz) | Ancho de banda (MHz) | Tamaño OFDM FFT | Duplexión | |
|-------------|-------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|-----------|-----|
| WiMAX Fijo | 1 | 3.5 | 3.5 | 256 | FDD | |
| | | | 3.5 | 256 | TDD | |
| | | | 7 | 256 | FDD | |
| | | | 7 | 256 | TDD | |
| | 2 | 5.8 | | 256 | TDD | |
| WiMAX Móvil | 1 | 3.3-3.4 | 5 | 512 | TDD | |
| | | | 7 | 1,024 | TDD | |
| | | | 10 | 1,024 | TDD | |
| | 2 | 3.4-3.8 | 3.4-3.8 | 5 | 512 | TDD |
| | | | 3.4-3.6 | 7 | 1,024 | TDD |
| | | | 3.6-3.8 | 10 | 1,024 | TDD |

Tabla VIII.-Posibles distribución de WiMAX fijo y móvil para evitar interferencias

O mover las comunicaciones de Wifi a las bandas de frecuencia ((5150-5350 MHz y 5470-5725 MHz)) y trabajar con todo el espectro de wimax de 2 a 6Ghz

| | Índices de bandas | Banda de frecuencia (GHz) | Ancho de banda (MHz) | Tamaño OFDM FFT | Duplexión |
|-------------|-------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|-----------|
| WiMAX Fijo | 1 | 3.5 | 3.5 | 256 | FDD |
| | | | 3.5 | 256 | TDD |
| | | | 7 | 256 | FDD |
| | | | 7 | 256 | TDD |
| | 2 | 5.8 | | 256 | TDD |
| WiMAX Móvil | 1 | 2.3-2.4 | 5 | 512 | TDD |
| | | | 10 | 1,024 | TDD |
| | | | 8.75 | 1,024 | TDD |
| | 2 | 2.305-2.320 2.345-2.360 | 3.5 | 512 | TDD |
| | | | 5 | 512 | TDD |
| | | | 10 | 1,024 | TDD |
| | 3 | 2.496- 2.69 | 5 | 512 | TDD |
| | | | 10 | 1,024 | TDD |
| | 4 | 3.3-3.4 | 5 | 512 | TDD |
| | | | 7 | 1,024 | TDD |
| | | | 10 | 1,024 | TDD |
| | 5 | 3.4-3.8 3.4-3.6 3.6-3.8 | 5 | 512 | TDD |
| | | | 7 | 1,024 | TDD |
| | | | 10 | 1,024 | TDD |

Tabla IX.- Rangos de frecuencias utilizados para WiMAX fijo y móvil

Propuesta Tecnológica:

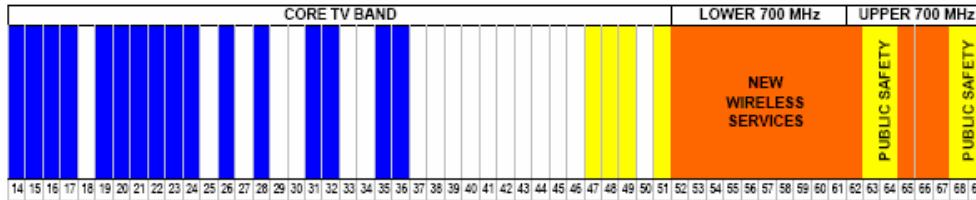
Esta propuesta sugiere la implementación del Sistema Americano que posee las siguientes características:

- Uso de un Ancho de Banda de 6Mhz
- Modulación 8VSB
- Flujo de Video MPEG-2
- Capacidad de Canal de 19.39 Mbits/seg.
- Capacidad para utilización de co-canales.
- Permite la reasignación de Frecuencias, haciendo posible la liberación de la banda de los 700Mhz

- Televisión de Alta Definición (High-Definition Television, HDTV)
- Múltiples programas de Definición Estándar (Standard-Definition Television, SDTV)
- Mayor Cobertura que el sistema europeo
- Es la norma que requiere menos repetidores y convertidores
- Transmisores de menor costo de adquisición y operación
- Mayor eficiencia energética
- Mayor posibilidad de uso de las torres de transmisión existentes
- Permite en uso completo de las bandas de TV de UHF y VHF
- 6 canales de audio Dolby disponibles automáticamente

Con la redistribución de los canales de UHF, en república dominicana podríamos solo se usaran las frecuencias asignadas a los canales del 2 al 36, por lo que la antigua distribución de UHF que ocupaba los rangos de 470Mhz a 862Mhz estará limitada a los rangos de 470Mhz a 608Mhz, donde con el sistema ATSC todos estos canales podrán ser utilizados debido a que con este modelo no habrá interferencia con los canales adyacentes. Por lo que la posible distribución sería, *Ver Anexo 3 Canales y Frecuencias*

Una vez liberada estas frecuencias se podría hacer la siguiente distribución:



- Comunicaciones Publicas**
- Canales Libres**
- DTV**
- Nuevas Tecnologías Inalámbricas**

Figura 13.- Posible distribución del sistemas ATSC

Con la liberación de los rangos de 600Mhz a 800Mhz, podemos usar la banda de 700 MHz (689-862 MHz) para el despliegue de las tecnologías inalámbricas HSPA (High Speed Packet Access) y LTE (Long Term Evolution), lo cual le cae bien al proceso de estandarización del 3GPP (Third Generation Partnership Project).

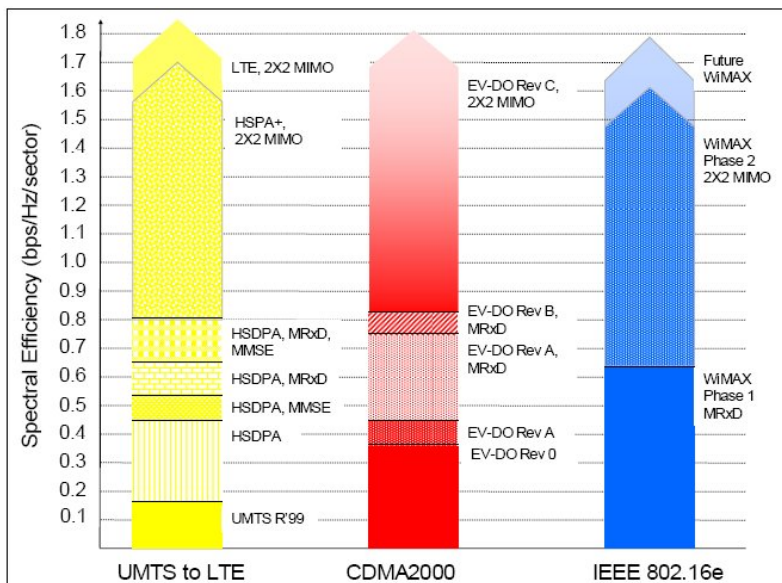


Figura 14.- Tecnologías inalámbricas luchan por mejorar la eficiencia espectral

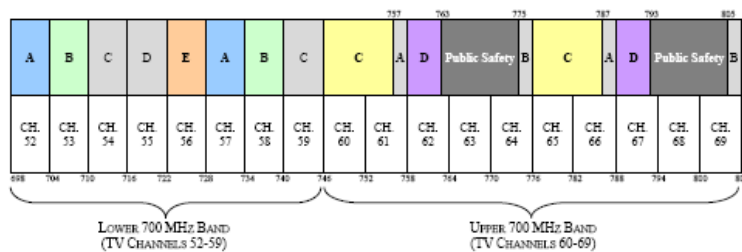
En otras palabras, la ITU está tomando preferencias hacia HSPA/LTE para encaminar el futuro de las tecnologías de acceso móvil ya que varias compañías ya están experimentados esta tecnología en esta banda, aunque ahora hay que esperar la competencia tecnológica por parte de los seguidores EV-DO, TD-SCDMA ya que podrían en un futuro cercano empezar a trabajar sobre esta banda lo que produciría una lucha nuevamente por operadores y de una distribución tecnológica dentro de un mismo territorio.

En vista de que la banda de los 700Mhz se ha destinado para tecnología de comunicaciones inalámbricas, una migración de las actuales tecnologías CDMA, GSM a esta frecuencia es lo mas obvio, ya que la banda de los 700 otorga a las señales mayor radio de alcance, lo que permite, en zonas rurales, cubrir más territorio con menos postes. Además, ofrece mejor cobertura en los interiores de edificios, por lo que mejora la calidad del servicio en las ciudades. Por eso CDMA funciona mejor en frecuencias bajas como 850Mhz.

Esto permitiría que la transición de 2G a 3G no cause problemas de interferencia, lo cual reduciría los costos de actualización del sistemas y que no haya necesidad de movilizar una gran cantidad de servicios que actualmente están en operación, como aeronavegación, radio localización y otros.

Mientras tanto WiMAX podría terminar de desarrollarse completamente en su área de trabajo de 3.5 a 11GHz. Y al igual que en la propuesta anterior se mantendrían las tecnologías en su frecuencia de operación pero con la ventaja de que podrían ser actualizadas en frecuencias inferiores, permitiéndonos mejorar los servicios y ampliar su espectro de trabajo.

En estados unidos la banda de los 700Mhz fue dividida de la siguiente manera:



| Block | Frequencies (MHz) | Bandwidth | Pairing | Area Type | Licenses |
|-------|-------------------|-----------|------------|------------|----------|
| A | 698-704, 728-734 | 12 MHz | 2 x 6 MHz | EA | 176 |
| B | 704-710, 734-740 | 12 MHz | 2 x 6 MHz | CMA | 734 |
| C | 710-716, 740-746 | 12 MHz | 2 x 6 MHz | CMA | 734 |
| D | 716-722 | 6 MHz | unpaired | EAG | 6 |
| E | 722-728 | 6 MHz | unpaired | EA | 176 |
| C | 746-757, 776-787 | 22 MHz | 2 x 11 MHz | REAG | 12 |
| A | 757-758, 787-788 | 2 MHz | 2 x 1 MHz | MEA | 52 |
| D | 758-763, 788-793 | 10 MHz | 2 x 5 MHz | Nationwide | 1 * |
| B | 775-776, 805-806 | 2 MHz | 2 x 1 MHz | MEA | 52 |

Figura 15.- Distribución de la banda de la 700Mhz en Estados Unidos

Desventajas del Sistema Americano Para Santo Domingo.

- Los precios de los LCD y Plasmas son mucho más costoso en Santo Domingo, debido a los costos de transporte e impuestos.
- Los canales de TV perderían la oportunidad de hacer negocio junto a las telefónicas y aumentar sus ingresos, brindando más servicios.
- De elegirse este modelo los costos de operación se elevarían en nuestro país, ya que son muy pocos los países que han elegido este modelo.



Conclusión

CONCLUSION

El primer paso para la restructuración del espectro es hacer el cambio de TV análoga a TV digital, eligiendo el modelo que mas se nos adecue. Es por ello que hemos llegado a la conclusión de que el sistema europeo nos brinda mas flexibilidad a la hora de hacer negocios, y desarrollar aplicaciones móviles. Un ejemplo de la gran aceptación que podría tener el modelo DVB es que cuando la Compañía Orange entró al mercado dominicano lo hizo con una gran cantidad de servicios baratos a través de sus celulares, hecho que creo gran aceptación en La Republica Dominicana. No mismo será con las tecnologías DVB que permitirán a los usuarios nuevos servicios a través de sus celulares de forma barata y eficiente. Lo que significaría la generación de nuevos empleos y la posibilidad de usar toda la banda de los 900Mhz en adelante para el desarrollo e implementación de tecnologías de 3GPP.

De decidirnos por el modelo europeo, estaremos creando las puertas para el comercio de productos electrónicos con Europa, America Latina y algunos países de Asia, lo que nos permitirá elegir mejores precio, debido a la gran variedad de mercados.

Sistemas de Comunicaciones, a ser usados luego de elegir el sistema Europeo DVB

En vista de que el modelo europeo no nos permite liberar la banda de los 700 Mhz como los americanos, necesitamos establecer las frecuencias óptimas para desplegar 3G. Por ello nos apoyamos de un estudio realizado por la **Asociación Movable Global (GSA.)** la

cual dice que, aunque la mayoría de usuarios de 3G están en la banda de 2.1Ghz, todo parece indicar que conviene hacerlo más en la banda de 900 Mhz.

La GSA ha publicado un estudio de casos en la red del operador **Elisa** de Finlandia que muestra el ahorro importante y la cobertura beneficiosa de desplegar servicios de 3G en la banda de espectro 900 MHz.

La experiencia del operador finlandés **Elisa** demuestra que mientras la mayoría de las redes de 3G / HSPA operan en la banda 2100 MHz las frecuencias más bajas proveen una área de cobertura mucho más grande en comparación con 2100 MHz y se obtienen ahorros significativos además del mismo desempeño en transferencia de datos.

Al usar Elisa UMTS en 900 tiene más canales disponibles, 21 con 4.2Mhz de ancho de banda, convirtiéndose en la solución más que ideal.

Desde noviembre de 2007, Elisa desplegó UMTS en 900 Mhz. Experimentando un incremento del 300% de su tráfico de data y en un positivo impacto en el ARPU (Ingresos por suscriptor de un operador). Elisa necesitó desplegar una solución menos onerosa a UMTS2100. La solución fue hacerlos en la banda de 900 mhz para poblaciones de baja concentración de habitantes o medio rurales. Esta solución permite usar la infraestructura existente de forma más eficiente.

En Europa, el Medio Oriente y el Asia Pacifico, los proveedores usan la banda 900 de Mhz, que reduce el número de celdas necesarias para cubrir áreas rurales y suburbanas por la mitad del costo y equipos. En Norte America, se usa de la banda 850 MHz, que provee la misma cobertura y los beneficios de ahorros.

Una celda GSM en 850 Mhz, cubre fácilmente 30 Km en bajo tráfico, pero este radio se reduce apenas a 1 Km en alto tráfico. Una celda en 1.900 ofrece 10 Km en bajo tráfico, pero este radio se reduce apenas a 500 metros en alto tráfico, y así sucesivamente a medida que aumenta la frecuencia.

La razón técnica es que la banda de 900 Mhz otorga a las señales mayor radio de alcance, lo que permite, en zonas rurales, cubrir más territorio con menos postes. Además, ofrece mejor cobertura en los interiores de edificios, por lo que mejora la calidad del servicio en las ciudades. Por eso CDMA funciona mejor en 850Mhz y por eso que un futuro despliegue de 3G en Republica Dominicana las tecnologías UMTS/HSDPA deberá ser desplegada en los 850 Mhz, 1.9 Ghz y 2.1Ghz. Dejando la banda 1.7 Ghz, 1.8Ghz para tecnologías de la familia CDMA2000.

Las bandas de 2.4/3.5/5.2/5.7/5.8 GHz se podrían designar a los siguientes servicios:

- RFID (RFID-Radio Frequency Identification Systems)
- WPAN (WPAN-Wireless Personal Area Network)
- WLAN (WLAN-Wireless Local Area Network)
- WMAN (WMAN-Wireless Metropolitan Area Network)

Donde las redes WiMAX pudieran ser distribuidas fácilmente a partir de los 3.5Ghz e impedir las interferencias con otras tecnologías inalámbricas. Debido al amplio espectro de trabajo wimax puede trabajar sin problemas en frecuencias de 3.5 a 11Ghz; o mover las comunicaciones de Wifi a las bandas de frecuencia ((5150-5350 MHz y 5470-5725 MHz)) y trabajar con todo el espectro de wimax de 2 a 6Ghz



Recomendaciones

RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se realizo una indagación sobre el presente y el futuro de las tecnologías de comunicaciones y su impacto en la gestión del espectro electromagnético en el segmento de 470 MHz a 6GHz, por ser uno de los segmentos más importantes por los tipos de servicios que se brindan en este segmento.

Por lo que recomendamos ampliar el estudio en segmentos tan importantes como el segmento de 470-800Mhz para el caso de la TV que esta en un proceso de transición y el segmento de 800-1000Mhz para el caso de la evolución de los sistemas telefónicos inalámbricos y aun mas importante la banda de 2300-6000Mhz y la tecnología emergente de WIMAX y sus posibles aplicaciones, además de los servicios de transporte que se realizan en este segmento.



Bibliografia

BIBLIOGRAFIAS

Fuentes de documentación

- Congreso Nacional de la Republica Dominicana, “Ley General de Telecomunicaciones No. 153-98”, G.O. 9983
- INDOTEL, “Plan Nacional de Atribución de Frecuencia(PNAF)”, Resolución No. 012 -02
- INDOTEL, “Reglamento Del Servicio De Difusión Televisiva”, Resolución No. 120 -04
- INDOTEL, “Reglamento General De Uso Del Espectro Radioeléctrico”, Resolución No. 128 -04
- S. Haykin, “Cognitive Radio: Brain-empowered Wireless Communications, IEEE J. Selected Areas in Communications, vol. 23, pp. 201-220, February.
- Colegio Oficial de ingenieros de Telecomunicaciones, GRETEL. Cátedra 0I-2007, “La evolución de la gestión del espectro radio eléctrico”.
- David L. Portigal, John A. Stine, “An Introduction to Spectrum Management”, March 2004
- Rodger H. Hosking, “Digital Receiver Handbook: Basics of Software Radio”, 4th Edition, 2003
- Manner, Jennifer A., “Spectrum War: The Policy and Technology Debate”, Marzo 2003.
- Lars-Ingemar Lundström, “Understanding Digital Television, An Introduction to DVB Systems with Satellite, Cable, Broadband and Terrestrial TV”, AMSTERDAM, 2006
- Seamus O.Leary, “Understanding Digital Terrestrial Broadcasting”, Artech House, 2006

- Savo Glisic, "Advanced Wireless Communications 4G Technologies", John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- Estrada Gomero, Daniel, "TD-SCDMA COMO OPCIÓN TECNOLÓGICA PARA MIGRAR A 3G", Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- J. Martínez-Castillo, C. A. Vega-Lebrun y Eliseo Ortiz Valdez, "Tecnología WIMAX Sistema de Comunicación RF para Largo Alcance", Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana
- "3GPP Long Term Evolution", http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP_Long_Term_Evolution#cite_note-autogenerated1-24#cite_note-autogenerated1-24
- H. Ekström, A. Furuskär, J. Karlsson, M. Meyer, S. Parkvall, J. Torsner, and M. Wahlqvist, "Technical Solutions for the 3G Long-Term Evolution," IEEE Commun. Mag., vol. 44, no. 3, March 2006
- 3rd Generation Partnership Project (3GPP); Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)
- 3rd Generation Partnership Project (3GPP); Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Layer Aspects for Evolved UTRA
- E. Dahlman, H. Ekström, A. Furuskär, Y. Jading, J. Karlsson, M. Lundevall, and S. Parkvall, "The 3G Long-Term Evolution - Radio Interface Concepts and Performance Evaluation," IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 2006 Spring, Melbourne, Australia, May 2006
- C. Mathas, "LTE: From Zero to 32 Million in Three Years, says ABI Research," Mobile Handset Design Line, June 12, 2008.
- K. Fazel and S. Kaiser, Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems: From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2008, ISBN 978-0-470-99821-2
- F. Khan, LTE for 4G Mobile Broadband, Cambridge University Press, 2009.
- Peter Rysavy , "Mobile Broadband EDGE, HSPA & LTE", 3G Americas, September 2006

- David Gozávez Serrano, David Gómez Barquero, Narcís Cardona Marcet, “Transmisión de Servicios de Televisión Digital Móvil en Redes DVB-SH”, Universidad Politécnica de Valencia
- Ministry of Information & Communication (MIC), “Advantages of ATSC and Korean Experiences”, March 2007
- Matthias Fehr, “Radio Microphones and DVB-T”, Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, Germany-May 2006
- FCC ONLINE TABLE OF FREQUENCY ALLOCATIONS, 47 C.F.R. § 2.106, Revised on September 23, 2008
- www.disruptive-analysis.com, “Adoption of HSPA and mobile broadband access in the enterprise market”
- ETSI TS 102 005: "Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of video and audio coding in DVB services delivered directly over IP".
- U. Reimers, A. Morello, "DVB-S2, the second generation standard for satellite broadcasting and unicasting", submitted to International Journal on Satellite Communication Networks, 2004; 22.
- M. Eroz, F.-W. Sun and L.-N. Lee, "DVB-S2 Low Density Parity Check Codes with near Shannon Limit Performance", submitted to International Journal on Satellite Communication Networks, 2004; 22.
- Radio Spectrum Policy Group Opinion on the EU Spectrum Policy Implications of the Digital Dividend, Document RSPG07-161final, RSPG Opinion # 7 14/02/2007



Introducción

Universidad APEC



DECANATO DE INGENIERÍA

“Propuesta de mejora a la administración del Espectro Radioeléctrico en la banda de 470Mhz a 6GHz en La República Dominicana”

**Anteproyecto de Trabajo de Grado para Optar por el Título de:
INGENIERO ELECTRONICO MENCION COMUNICACIONES**

Sustentando por:

Br. Mercedes Alexandra Arias Domínguez 2004-1738

Br. José Antonio García Ramírez 2004-1980

Asesor:

Ing. Porfirio Sanchez Ureña

Santo Domingo, DN,

Rep. Dominicana.

1. Introducción

Gestión del espectro es la combinación de los servicios administrativos, científicos y procedimientos técnicos necesarios para garantizar el funcionamiento eficaz de equipos y servicios de radiocomunicaciones sin causar interferencia. En pocas palabras, la gestión del espectro es el proceso general de regulación y gestión de uso del espectro de frecuencias radioeléctricas. El objetivo de la gestión del espectro es aumentar al máximo la eficiencia del espectro como bien finito y reducir al mínimo la interferencia.

La administración, gestión y control del espectro radioeléctrico en República Dominicana corresponde al INDOTEL y se rige por las disposiciones de la Ley General de Telecomunicaciones No. 153-98, por el Reglamento Nacional de Uso del Espectro Radioeléctrico, por el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, por los reglamentos específicos de los distintos servicios de radiocomunicaciones y por los convenios y acuerdos internacionales que, sobre la materia, ratifique la República Dominicana, en particular el Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y el Reglamento de Radiocomunicaciones anexo a dicho convenio.

La gestión del espectro comprende tres áreas básicas, que son: reglas y reglamentos, bases de datos, y la comprobación técnica del espectro. Las reglas y regulaciones, basadas en la legislación pertinente, forman un marco normativo y una base jurídica para el proceso de gestión del espectro. Bases de datos de información, que contengan los detalles de todos los usuarios autorizados del espectro, proporcionan la base administrativa y técnica para el proceso. El análisis de la información contenida en estas bases de datos facilita la gestión del espectro resultante en el proceso de decisiones para la asignación del espectro, frecuencias, y la concesión de licencias. La Comprobación técnica del espectro, la inspección y el cumplimiento de la ley proporcionará los medios necesarios para mantener la integridad del proceso de gestión del espectro.

La saturación del espectro se ha visto agravada con la expansión de las tecnologías inalámbricas, tanto los sistemas terrestres como los satelitales; causado por la complejidad de algunos equipos, la interacción de estos con otros, un mal funcionamiento, o mal uso deliberado de los mismos. Además hay que considerar aquellos que puedan causar interferencias, tales como computadoras y otros que pudieran causar emisiones no intencionales.

Por todo esto se hace necesaria una revisión y mejora de este recurso, lo que incluye la planificación del segmento del espectro tomado como muestra (470MHz a 6GHz); la regulación técnica y económica aplicable, así como los diferentes instrumentos encaminados a su implementación práctica. Esto considerando no sólo la demanda actual de esta banda de frecuencias, sino anticipando las necesidades de la sociedad en cuanto a futuros servicios que se puedan aplicar.

2. Justificación

Los desarrollos tecnológicos en el uso del espectro, la demanda creciente del mismo, así como la rigidez inherente a los criterios inspiradores de su administración han llevado al replanteamiento del marco regulador de la gestión del espectro, donde el carácter eminentemente técnico de los principios en los que se sustenta está siendo modificado por una corriente de opinión favorable a la introducción de criterios de economía de mercado en la gestión del espectro radioeléctrico.

El creciente número de aplicaciones, servicios y usuarios que requieren de el uso del espectro radioeléctrico en la nueva era digital, hace necesaria la adopción de un esquema de gestión que permita maximizar la eficiencia en el uso de este recurso escaso, eliminando, dentro de lo posible, las restricciones de acceso al espectro y evitando así que actué como una barrera de entrada que impida a los usuarios beneficiarse de los nuevos servicios.

Otro argumento que cuestiona la adecuación del modelo actual de gestión del espectro es el principio de neutralidad tecnológica en la asignación de espectro. En este sentido, las bandas que resultan validas para la prestación de diferentes servicios (con un nivel de inversión razonable) tienen mayor valor que aquellas que solo son válidas para un tipo de servicio.

Un ejemplo de los inconvenientes que se tiene hoy en día en la gestión del espectro en la república dominicana es la interferencia de frecuencia, como la que se presenta con los servicios que brinda la compañía ONEMAX a los sistemas de recepción de señal satelital en la banda C.

El espectro radioeléctrico es un recurso necesario y, en el caso de algunos servicios, indispensable para el desarrollo de las telecomunicaciones. La creciente demanda de frecuencias, a nivel mundial y a nivel nacional, obliga a INDOTEL, a gestionar una adecuada y oportuna planificación del espectro, para optimizar su uso, procurando satisfacer las peticiones de frecuencia por crecimiento de los servicios de radiocomunicaciones existentes y creando las condiciones para la introducción de los nuevos servicios.

3. Delimitación del tema y planteamiento de los problemas de investigación

3.1 Delimitación del tema

3.1.1 Delimitación Espacial

El rango de estudio de este trabajo de investigación, concierne a todo el territorio de República Dominicana en la banda de frecuencia de 470MHz a 6GHz.

3.1.2 Delimitación Temporal

Dicho tema será desarrollado utilizando datos desde el año 2007 al 2008

3.2 Planteamiento de los problemas de investigación

En la actualidad existe una demanda creciente de espectro para el uso de nuevos servicios inalámbricos como lo muestran los sistemas de comunicaciones móviles, las redes de difusión de televisión digital terrestre y los diversos sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha.

A esta creciente demanda de espectro hay que añadir que no todas las partes del mismo reúnen las mismas características, lo que se traduce en distintas capacidades de cobertura o en distintas propiedades frente al ruido y las interferencias. Asimismo los diferentes tipos de informaciones (voz, audio, datos, video) requieren márgenes de espectro (bandas de frecuencias) específicos. Todas estas características conducen a que hasta ahora se haya considerado que unas determinadas zonas del espectro están especialmente indicadas para proporcionar unos servicios concretos, incluyendo, inevitables conflictos entre servicios distintos que pugnan por la misma banda de frecuencias.

Esto nos lleva a la formulación de un Problema céntrico:

Las atribuciones actuales del segmento de 470MHz a 6GHz del espectro radioeléctrico están siendo afectada por la saturación del mismo debido a la creciente demanda de los servicios inalámbricos, donde los servicios de comunicación como la red celular, que pronto tendrán que ampliar su banda de frecuencia debido a la gran demanda, podrían causar conflictos a otras tecnologías a la hora de hacer dicha actualización, lo que implica un reacomodamiento de ciertos servicios para cumplir con la demanda del mismo.

4. Objetivos Generales y Específicos

4.1 Objetivos Generales

Proponer nuevas técnicas para optimizar la atribución actual del espectro, de tal forma que permita potenciar el uso eficiente del mismo, desde el punto de vista técnico, en el segmento del espectro comprendido entre los 470MHz y 6GHz.

4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las actuales asignaciones del espectro que generan conflicto en el segmento estudiado.
- Localizar aquellas atribuciones de frecuencia que pueden interferir con futuras tecnologías.
- Sugerir técnicas para alcanzar un equilibrio entre espectro disponible y demandado.
- Proponer una adecuada atribución del espectro en la que se tomen en cuenta los factores regionales y económicos de nuestro país.

5. Marco Teórico Referencial

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado. El espectro electromagnético comprende, en principio, un rango de frecuencia infinito. Sin embargo, el término “espectro radioeléctrico” se utiliza para designar el rango de frecuencia disponible en la práctica para las comunicaciones. Abarca las ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas entre 9 KHz y 3,000 GHz, y el espacio por el que se propagan tales ondas sin guía artificial, constituyendo el medio de transmisión y recepción de los servicios de radiocomunicaciones.

Las bandas inferiores a 9khz, aparte de su bajísima capacidad de transportar información, se producen interferencias considerables, por lo que no se suelen emplear. Respecto a las frecuencias más altas del espectro, la tecnología comercial disponible en la actualidad no es capaz de utilizar de formar efectiva frecuencias superiores a unas decenas de GHZ. En República Dominicana la atribución del espectro radioeléctrico comprende de 9khz a 275GHZ.

Con respecto a la demanda de espectro, si bien es cierto que la constante evolución tecnológica es responsable de un incremento en la misma y, por tanto, agrava su limitación, no es menos cierto que esta misma evolución colabora a incrementar el número de servicios que pueden hacer uso del espectro.

Es decir a incrementar la oferta de espectro, al permitir la viabilidad de nuevas bandas para la transmisión de datos, desarrollar sistemas que explotan cada banda con mayor eficiencia como por ejemplo los sistemas de TV digital; o bien permitir la compartición de algunas bandas entre muy distintos servicios como son las tecnologías de banda ultra ancha o la radio “inteligente”.

Los recientes avances tecnológicos hacen posibles nuevos modelos de utilización del espectro, más próximos a la utilización común/compartida del espectro, sin estar sometidos a las estrictas normas existentes hasta la fecha, basadas fundamentalmente en el uso privativo del espectro a través del otorgamiento de derechos exclusivos/excluyentes de uso. Este es el elemento fundamental que contribuye al fin del espectro como recurso escaso, para ser simplemente un recurso finito.

Con el desarrollo de la tecnología nacen nuevas técnicas para eficientizar el uso del espectro radioeléctrico, entre estas están:

Digitalización, este término se refiere al destino de los canales en la banda UHF que, tras el apagón analógico, podrán ser utilizados para la prestación de nuevos servicios de TV digital, o reasignados a otros servicios de comunicaciones inalámbricas (telefonía móvil, banda ancha inalámbrica, etc.). Según el regulador británico Ofcom, todos los canales analógicos que hoy ocupan 368MHz podrían transmitirse (con igual resolución) en sólo 40MHz – es decir en sólo un 11% del espectro radioeléctrico hoy atribuido al servicio. Desde luego que esta estimación depende de una serie de factores, entre ellos la cantidad de canales analógicos de cada región o país, de sus características geográficas y demográficas, de las características técnicas de la norma adoptada y la configuración de la red (por ejemplo si se implementa o no una red de frecuencia única para toda el área de servicio).

La convergencia tecnológica, básicamente consiste en una tendencia que todas las tecnologías que nos rodea, en casa, en el trabajo y en la calle, pueda comunicarse e interactuar entre sí. Ahora bien para nuestro ámbito de estudio se refiere a la unión dada cuando en la infraestructura de telecomunicaciones de un proveedor de servicios, que bajo la anterior visión se consideraba como independiente y distinto, hoy se han integrado como es el caso de la televisión por cable que puede dar servicio telefónico, proveer servicios de Internet y el de televisión por demanda. Permitiendo que con la actual digitalización y compresión de las tecnologías analógicas podamos procesar y transmitir de forma efectiva y eficiente por medios cableados e inalámbricos.

La tecnología de ***Espectro Ensanchado (Spread Spectrum)*** es una técnica que maximiza el uso del ancho de banda del canal, permite a múltiples señales utilizar el mismo canal sin colisiones y es altamente resistente a la interferencia y al bloqueo. Cuando se combina con un sistema complejo de encriptación, puede ser utilizada para elaborar redes inalámbricas de área local (WLAN) seguras y robustas.

Los Sistemas de Espectro Ensanchado son usados como soluciones inalámbricas punto-punto y punto multipunto, debido al bajo costo de los equipos y a sus características de protección contra el bloqueo y las perturbaciones y el encubrimiento de la señal. Dependiendo de la aplicación del enlace y de las condiciones existentes en el entorno, se selecciona una de sus modalidades: Secuencia Directa (DSSS por sus siglas en inglés, Direct Sequence Spread Spectrum), Salto de Frecuencia (FHSS por sus siglas en inglés Frequency Hopping Spread Spectrum) o Híbrido.

Radio Cognitiva, es un sistema de radio que puede cambiar sus parámetros de transmisión basado en la interacción con el ambiente en el cual opera. Una de las características principales de esta radio es la capacidad cognitiva que se refiere a la habilidad de la tecnología radio capturar o sentir la información en su ambiente de radio. Esta capacidad no puede simplemente realizarse por el monitoreo de la potencia en alguna banda de frecuencias de interés sino que se requieren técnicas más sofisticadas para capturar las variaciones temporales y espaciales en el ambiente de radio y evitar interferencia a otros usuarios. A través de esta capacidad, las porciones del espectro que no son usadas en un tiempo o ubicación específica pueden ser identificadas. Por consiguiente, el mejor espectro y los parámetros de operación apropiados pueden ser seleccionados.

Más específicamente, el radio cognitivo puede ser programado para transmitir y recibir sobre una variedad de frecuencias y usar diferentes tecnologías de acceso de transmisión soportadas por su diseño hardware.

Software Defined Radio (SDR), engloba a aquellos sistemas que, de modo preconfigurado, pueden cambiar los parámetros de operación, como la frecuencia de uso o la modulación. Se trata de desarrollos que permiten la transmisión y recepción a través de un amplio rango de frecuencias. Su funcionamiento se basa en el procesado de la señal, que permite variar la frecuencia de transmisión en el tiempo. Así, podrían utilizarse las bandas libres de uso en cada momento para la transmisión (aunque estén asignadas a otros agentes) sin producir interferencias en el resto de servicios.

Antenas Inteligentes, las difusiones de radio y televisión que conocemos utilizan un sistema de comunicaciones tradicional: una antena transmite una señal y otra (segunda) antena la recibe. Ya que esta configuración usa una antena en cada extremo, se le denomina entrada simple, salida simple (SISO, por sus siglas en inglés). Muchos de los sistemas inalámbricos actuales usan el mismo diseño básico. Una antena en el punto de

acceso transmite, y otra, en un equipo portátil u otro dispositivo, recibe los datos. Cuando una antena transmite, la otra recibe, y viceversa.

Las nuevas tecnologías están examinando cada vez más los diseños en los cuales la transmisión y la recepción usen antenas múltiples en ambos extremos de la comunicación. Este método se denomina entrada múltiple, salida múltiple (MIMO, por sus siglas en inglés Multiple Inputs Multiple Outputs). Para manejar múltiples señales, estos sistemas MIMO requieren de más inteligencia que una simple configuración SISO. En algunos casos, la lógica de procesamiento de señal es sumamente compleja. Por esa razón, estas antenas múltiples se conocen como antenas inteligentes.

El principio básico de las antenas inteligentes es que cada antena recibe una señal separada y definida. Dependiendo como está configurado el sistema inalámbrico, el receptor puede usar una señal para mejorar la calidad de otra señal, o podría combinar los datos de señales múltiples para ampliar el ancho de banda.

Por último, cabe destacar el desarrollo de las **redes “mesh”**. Se trata de una arquitectura de red en malla que permite que cada receptor actúe simultáneamente como emisor. De esta forma, cada nuevo dispositivo que se añade a la red utiliza capacidad de esta, pero también aporta recursos. Se trata por tanto de un modelo similar a la estructura de encaminamiento de Internet. Al no ser necesaria una comunicación directa con el punto de destino, se puede aumentar significativamente el número de dispositivos sin aumentar (de forma notoria) el nivel de interferencia.

Todas estas técnicas inciden de forma considerable en la mejora de la eficiencia en el uso del espectro. Dichas técnicas consisten en la transformación de cómo se usa el espectro y como podría usarse el mismo de forma que se utilice menos energía se aproveche más el espacio.

6. Hipótesis

La aplicación de nuevas tecnologías en República Dominicana requerirá de una reestructuración del espectro radioeléctrico que permita una mejor planificación de las diferentes bandas de frecuencias atribuibles a servicios y de las que queden disponibles luego de la aplicación de nuevas tecnologías de comunicación; la regulación técnica y económica aplicable, así como los diferentes instrumentos encaminados a su implementación práctica, anticipando las necesidades de la sociedad en cuanto a la demanda de futuros servicios, que puedan repercutir en el espectro radioeléctrico.

7. Diseño Metodológico

7.1 Metodología operativa para el desarrollo del trabajo.

Durante la investigación de este trabajo será necesaria la búsqueda de las informaciones con todo lo relacionado con el tema. En primera instancia se visitará la Biblioteca de INDOTEL, en la cual buscaremos toda la información actualizada sobre el espectro Radioeléctrico Dominicano. Para la recolección de ciertos datos se realizaran entrevistas a ejecutivos de Indotel.

En la segunda fase, se comparará el sistemas de atribución del espectro dominicano con los atribuidos actualmente en Europa, Asia, América Latina y Norte América, donde a se buscará afinada regional y económica, y de dicho resultado tomaremos el mas acorde como modelo.

Y al final se buscará en el Internet información que acabe de dar las pautas que ayudarán a las posibles soluciones a tomar forma y poder ser aplicadas con base.

Debido a que la reestructuración del espectro es un tema que requiere de un análisis regional, económico y técnico, el tipo de investigación a usar será el de la investigación de campo, pues esta brinda las facilidades necesarias para que sirva como una propuesta de la cual el ente Gestor Dominicano pueda tomarse de referencia a la hora de aplicarlo y desarrollarlo en nuestro país.

Los métodos a utilizar serán el inductivo histórico: Donde se explicará la historia y el estado actual del espectro en el país; y el método deductivo: en el cual se analizará y propondrá una posible atribución de frecuencias en la cual se satisfagan las necesidades actuales y futuras de la República Dominicana.

7.2 Técnicas a utilizar en el desarrollo metodológico del trabajo.

Las técnicas a utilizar en la investigación de este trabajo es la investigación de documentos, donde se encontrará la información plasmada en libros, revistas, artículos e internet, normas y reglamentos nacionales e internacionales. Se utilizarán también la encuesta y la entrevista al personal de Indotel por ser este el ente Gestor del espectro en la República Dominicana. Las entrevistas serán cara a cara o de profundidad que consisten en entrevistas directas o personales con cada encuestado, donde el entrevistador tendrá una serie de preguntas y el entrevistado contestará abiertamente para así obtener la mayor información referida al tema de investigación. La realización de entrevistas al personal del área de tecnología de las diferentes empresas del país, servirán para medir que tanto les afecta la actual atribución y como podría afectarle una reestructuración del espectro que no tome en cuenta sus necesidades.

Una vez obtenida la información, se procederá al análisis de las mismas, para determinar la factibilidad de nuestra propuesta en República Dominicana.

8. Fuentes de documentación

- S. Haykin, “Cognitive Radio: Brain-empowered Wireless Communications, IEEE J. Selected Areas in Communications, vol. 23, pp. 201-220, February.
- Colegio Oficial de ingenieros de Telecomunicaciones, GRETEL. Cátedra 0I-2007, “La evolución de la gestión del espectro radio eléctrico”.
- Manner, Jennifer A., “Spectrum War: The Policy and Technology Debate”, Marzo 2003.

9. Esquema general de contenido del trabajo de grado

Capítulo 1: El Espectro Radioeléctrico. Generalidades

- 1.1 El Espectro Radioeléctrico.
- 1.2 Gestión del Espectro Radioeléctrico.

Capítulo 2: Situación Actual del Espectro Radioeléctrico Dominicano

- 2.1 Marco Regulatorio
- 2.2 Atribución Nacional de Frecuencias.
- 2.3 Análisis de los Servicios en el Segmento de 470MHz a 6GHz y sus Comportamientos.

Capítulo 3: Estudio y Propuesta de Mejora del Segmento de 470MHz a 6GHz del Espectro Radioeléctrico Nacional

- 3.1 Estudio de Modelos Aplicados en Otros Países.
- 3.2 Desarrollos Técnicos que Habilitan Nuevas Posibilidades en el Segmento Radioeléctrico estudiado (470MHz a 6GHz)
- 3.3 Propuesta de Mejora de la Atribución del Segmento de 470MHz a 6GHz del Espectro Radioeléctrico en República Dominicana.