



PROPUESTA DE UN PLAN DE MIGRACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES TERRESTRES TRONCALIZADOS EN LA BANDA 800MHZ A SISTEMAS DIGITALES

■ **Stephania Vargas**

email: stphvargas@gmail.com

Universidad Católica Andrés Bello,
Caracas - Venezuela

Fecha de Recepción: 15 de Abril 2013
Fecha de Aceptación: 6 de Agosto de 2013

RESUMEN

El espectro radioeléctrico en la banda de 800MHz se encuentra saturado, por lo que se planteó la solución de migrar los sistemas de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres Troncalizados a un sistema digital, para así liberar los 15MHz FDD que estos ocupan (806-821MHz) para los canales ascendentes y (851-866MHz) para los canales descendentes, con la intención de darle uso a una banda que está libre (410-430 MHz), para así disminuir el ancho de banda del canal que ocupan los mismos, y tener más canales disponibles. Para realizar dicha liberación es necesario hacer un estudio de diversos tópicos técnicos, económicos y legales, lo que se realiza a través de un plan de migración. En el presente proyecto se presenta una propuesta de un Plan de Migración para los sistemas trunking analógicos a digitales; el mismo requirió la documentación de todo lo

concerniente con este servicio y los estándares existentes tanto en analógico como en digital; la inspección a cuatro de los operadores comerciales más grandes del país para conocer la cantidad de canales asignados y cobertura brindada, entre otras características. Se realizaron mediciones en la sub-banda descendente (851 a 866 MHz) del trunking comercial, con el fin de conocer la ocupación actual de las porciones del espectro otorgadas en concesión y calcular el tráfico total que presenta el servicio, además se diseñó una interfaz inter-sistema para que al migrar a digital se pueda trabajar en simulcast. A partir del estudio de estos factores se diseñó la presente propuesta de un plan de migración.

Palabras Clave: Radiocomunicaciones, Trunking, Analógico, Digital, Migración.

PROPOSAL FOR A MIGRATION PLAN FOR LAND MOBILE RADIO SYSTEMS 800MHZ TRUNKED BAND IN DIGITAL SYSTEMS

SUMMARY

The radioelectric spectrum in the 800MHz band is saturated. Therefore, a solution was planned to migrate the Land Mobile Radio Trunking to a digital system in order to release 15MHz FDD from the congested band (806-821MHz) for uplink and (851-866MHz) for downlink. The main purpose of this project is to use the free band of 410-430 MHz and to update analog systems to digital systems, in order to reduce the bandwidth of the channel occupied by them and have more channels available. To make this migration possible, it is necessary to do a preliminary research of several technical, economic and legal topics, which is done as part of the migration plan.

This project is a proposal for a Migration Plan from analog trunking systems to digital ones, which has required a documentation of all matters related to the service and the existing standards in analogue

and digital systems, inspection of major traders in the country to know main features, the amount of channels and the signal range provision. Measurements of the broadcast (Downlink) (851-866 MHz), commercial trunking sub-band, were held in order to calculate the traffic carried and the idler service occupying portions of the spectrum given to outsourcings. Furthermore, an inter-system interface was designed to avoid loss of analog devices when migrating, as it can be employed in simulcast. Therefore, the study of these factors brought up a proposal for a migration plan.

Keywords: Radio, Trunking, Analog, Digital, Migration.

INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se expone un resumen del Proyecto “Propuesta de una Plan de Migración para los Sistemas de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres Troncalizados en la Banda 800MHz a Sistemas Digitales”, con la finalidad que el lector pueda comprender los pasos llevados a cabo para concluirlo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Venezuela, es CONATEL el ente regulador de los servicios de telecomunicaciones. Actualmente, el espectro destinado a las radiocomunicaciones móviles terrestres troncalizadas comerciales, está canalizado a 25KHz, requiriendo una porción para los canales ascendentes y otra para los descendentes. La cantidad de operadores y canales asignados por operador, hace que regiones del país muestren una saturación en el espectro que hace inviable la concurrencia a nuevos operadores y por consiguiente, una mayor oferta de servicios. Además, existen canales asignados que no están siendo utilizados.

El Contrato de Concesión para los Sistemas de Concentración de Enlaces establece, que los operadores de sistemas troncalizados deben digitalizar y modernizar su sistema, para darle un mayor aprovechamiento a las frecuencias asignadas y la calidad del servicio. Por esto, debido a la necesidad de hacer cumplir los reglamentos en el ámbito de las telecomunicaciones en el país, además de perseguir el mayor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, nace la iniciativa de elaborar un plan de migración para los sistemas de radiocomunicaciones móviles terrestres troncalizados en la banda 800 MHz a sistemas digitales, ya que hasta la fecha todos los sistemas de trunking instalados en el país operan con tecnología analógica.

2. OBJETIVOS

Se propuso un proyecto cuyo objetivo general es “Diseñar una propuesta de un Plan de Migración para los Sistemas de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres (tipo trunking) en la banda 800 MHz a Sistemas Digitales”. Además los siguientes objetivos específicos:

- √ Comparar las características, ventajas y desventajas, debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (matriz DOFA), de los diversos están-

dares de los sistemas de radiocomunicaciones móviles terrestres (RMT), tanto en modulación analógica como en digital.

- √ Analizar el grado de uso actual del espectro radioeléctrico en la banda 800MHz (806 a 821 MHz y 851 a 866 MHz, para los canales ascendentes y para los canales descendentes respectivamente - trunking comercial-), por región y a nivel nacional.
- √ Investigar de los 600 canales disponibles en la banda, cuántos están siendo empleados y cuantificar el grado de uso para determinar a su vez, un índice de eficiencia espectral en ese servicio y en esa banda.
- √ Comparar la eficiencia espectral con el uso de las tecnologías analógicas y digitales y estimar la capacidad de absorción del tráfico actual de los usuarios de sistemas analógicos en un sistema digital.
- √ Determinar con base a los resultados de las inspecciones a los operadores, la cantidad de usuarios y clientes que posee cada operador.
- √ Estimar el espectro necesario para mantener el grado de servicio actual, con un grado de eficiencia en el uso del espectro que se asemeje más a los índices comerciales.
- √ Diseñar un plan de migración (transparente a los usuarios) que permita explotar la banda 410-430 MHz y liberar gradualmente la banda de 800MHz del servicio de trunking comercial analógico.

3. MARCO TEÓRICO

3.1.- Radiocomunicaciones Móviles Troncalizadas

Los sistemas de radiocomunicaciones troncalizados, son aquellos en los que el sistema asigna automáticamente mediante protocolos de control y señalización, los canales que se encuentren libres para que se dé la comunicación, y cuando finaliza la comunicación, el canal queda libre para que lo utilice otro grupo, por lo que se aprovecha al máximo la capacidad del sistema. Estos sistemas ofrecen la máxima eficiencia en la transmisión de voz y datos. [1]

3.2.- Funcionamiento:

- √ La unidad de radio escucha continuamente las instrucciones que manda el canal de control.
- √ Cuando se quiere iniciar una llamada, el usuario presiona el botón “push to talk” o interruptor PTT; al hacer esto, la radio envía un mensaje digital sobre el canal de control y dice al repetidor del sistema que necesita un canal para comunicarse.
- √ El repetidor del sistema escucha el pedido y asigna un canal de tráfico disponible enviando un mensaje digital de vuelta sobre el canal de control.
- √ La unidad de radio recibe la asignación del canal de tráfico y fija su transmisor, y así recibe frecuencias del nuevo canal.
- √ La radio indica al operador, a través de una señal audible que se ha asignado un canal de tráfico y que las comunicaciones pueden comenzar. [2]

3.3.- Métodos de Acceso:

Para acceder al sistema troncalizado debe hacerse a través del canal de control, el cual puede ser dedicado o distribuido.

3.3.1.-Canal de Control Dedicado:

Los sistemas con canal de control dedicado, deben solicitar el servicio a través de un canal de control único. Las solicitudes de acceso usualmente se manejan en orden de llegada, y esto puede retrasar mensajes durante los períodos de mayor demanda. Un canal de control dedicado, también elimina una frecuencia de radio para usarla como canal de control.

3.3.2.- Canal de Control Distribuido:

En los sistemas que utilizan un método de acceso distribuido, el servicio puede solicitarse en cualquier canal, y todos los canales pueden utilizarse para comunicaciones de voz. [3].

3.4.- Estándares de los sistemas troncalizados

Los estándares de sistemas trunking se dividen por el tipo de solución que necesite su sistema en: solución básica o analógica, intermedia o mixta y avanzada o digital. En el presente artículo se hablará de la solución analógica y la digital. [4]

3.4.1.- Solución Básica o Sistemas de Trunking Analógico:

Cuentan con modulación analógica, sus funciones son básicas; la privacidad y seguridad en este tipo de sistemas son limitadas, no permiten mensajes de datos, la llamada de grupo debe hacerse con interconexión telefónica, y la capacidad en las redes es limitada. Algunos de los estándares que pertenecen a este grupo son: LTR, SmarTrunk y Taunet. [4]

3.4.1.1.- Logic Trunked Radio (LTR):

LTR utiliza un control de señalización digital combinado con transmisiones de voz analógicas. La operación de LTR puede encontrarse en las bandas de frecuencia de 800 MHz y 900 MHz, así como algunos sistemas relativamente nuevos en UHF; puede tener hasta 20 canales por sitios, utiliza el método de acceso distribuido y el ancho de banda de su canal es de 25KHz. [3]

3.4.2.- Solución avanzada o sistemas trunking digitales:

Cuentan con modulación digital, gozan de conmutación y enrutamiento avanzado en las redes, envían mensajes de datos a alta velocidad con privacidad y seguridad, poseen un eficiente ancho de banda, su función telefónica es comparable con un celular. Algunos de los estándares que pertenecen a este grupo son: APCO25, DMR y TETRA. [4]

3.4.2.1.- P25:

En estos sistemas el canal de control puede ser un canal de control dedicado, u opcionalmente, un canal de control distribuido. Trabaja en FDMA con un canal de 12.5 KHz, en las siguientes bandas de frecuencias 136-174 MHz, 380-520 MHz, 762-869 MHz; usa modulación C4FM, con un índice binario de 9600 bps, mensajes de voz y mensajes de control, que incluyen voz, datos, estado, mensaje, u otras características; con un tiempo desde el acceso al canal y la activación de la llamada entre 300 y 500ms. [5]

Los radios P25 pueden interoperar con dispositivos de diferentes marcas, y hacer llamadas individuales o grupales. [6]

3.4.2.2.- TETRA:

Posee un aprovechamiento espectral óptimo, ya que trabaja con tecnología TDMA de 4-espacios en un canal de 25 kHz; opera en las bandas de frecuencia 380-400 MHz, 410-430 MHz, 450-470 MHz, 806 – 825 / 851 – 870 MHz; no puede interoperar con

señales análogas y para ser usado debe haber un completo reemplazo del sistema análogo existente. Trabaja con modulación $\pi/4$ DQPSK (lineal), el tiempo que se tarda desde el acceso hasta completar la activación de la llamada puede estar entre 300 y 500ms, además puede llegar a transmisiones de datos de hasta 7,2kbps. [5]

4. MARCO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos planteados en el presente proyecto, se siguió una metodología desarrollada en 6 fases.

4.1.- Fase I: Investigación y documentación teórica.

Se inició con la revisión bibliográfica exhaustiva de libros, trabajos especiales de grado, artículos, entre otros, para obtener información referente a los sistemas de radiocomunicaciones móviles terrestres tipo trunking, tanto en analógico, como en digital.

4.2.- Fase II: Realización de una matriz DOFA.

Se realizaron matrices DOFA con el fin de comparar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, del trunking analógico y el digital.

4.3.- Fase III: Determinación del grado de uso del espectro radioeléctrico.

- √ Se realizaron mediciones a lo largo de la zona centro norte del país, (zona metropolitana de Caracas), las cuales representaron un muestreo significativo, para monitorizar la eficiencia espectral dada por los operadores a sus frecuencias asignadas.
- √ Se visitaron cuatro (04) oficinas de operadores trunking ubicadas en el Distrito Capital, con la finalidad de pedir una serie de requerimientos, entre ellos la cantidad de usuarios y clientes, número de estaciones repetidoras, incluyendo el tráfico cursado por las mismas y el máximo permitido, entre otros.
- √ Con los requerimientos obtenidos en las visitas realizadas a los operadores, se realizó un estudio de ocupación teórico.
- √ Con los resultados obtenidos en las mediciones realizadas y la tabla de frecuencias asignadas a

cada operador se procedió a cuantificar el grado de uso del espectro, o tráfico medido, dado por los operadores a sus frecuencias asignadas.

- √ A partir del tráfico declarado (inspecciones a los operadores) y el tráfico medido (mediciones de campo) obtenido, se procedió a calcular el índice de eficiencia espectral de los sistemas de radiocomunicaciones móviles Troncalizados comerciales en la banda de 800MHz.
- √ Se comparó la eficiencia espectral obtenida en analógico, con la eficiencia que tendría el uso de la tecnología digital, para así obtener el porcentaje de absorción del tráfico de los sistemas analógicos en un sistema digital, y del espectro necesario para mantener el grado de servicio actual.

4.4.- Fase IV: Diseño de la Interfaz inter-sistema

Se realizó el diseño de una interfaz inter-sistema, con la finalidad de interconectar el sistema analógico con el digital.

4.5.- Fase V: Diseño de un plan de migración

Se realizó un proyecto técnico para la asignación en concesión de nuevas porciones en la banda 410 – 430 MHz, tal que pueda albergar a los usuarios actuales del sistema analógico, empleando una interfaz inter-sistema a través de la cual pueda prestarse el servicio más avanzado (voz y señalización por datos) del menos avanzado de los sistemas (trunking analógico), para permitir la interconexión inter-sistemas y por ende el uso del sistema analógico en paralelo con el nuevo sistema digital, hasta la progresiva desaparición de usuarios en el sistema analógico.

4.6.- Fase VI: Redacción del Artículo

Se documentó todo lo realizado durante la ejecución de la presente investigación.

5. DESARROLLO

A continuación se presenta el proceso llevado a cabo para la realización de la presente propuesta de un plan de migración:

5.1.- Para el cumplimiento de la fase I, se realizó una investigación detallada acerca de las radiocomunicacio-

nes móviles terrestres tipo trunking, su funcionamiento y los diversos estándares existentes en este servicio tanto en analógico como en digital.

5.2.- Para el cumplimiento de la fase II, se realizaron diversas matrices DOFA sobre el trunking analógico, digital, y los cuatro estándares más resaltantes como lo son LTR (analógico), MPT1327 (mixto) y P25 y TETRA (ambos digitales), con la finalidad de elegir el estándar más adecuado para migrar.

5.3.- Para determinar el grado del uso del espectro radioeléctrico, en primer lugar se dividió el mismo en dos, tráfico declarado por el operador y tráfico medido. El tráfico declarado fue calculado a partir de los siguientes datos: tráfico cursado declarado por el operador y el tráfico máximo declarado por el operador; los cuales fueron brindados por cada uno de los 4 operadores de servicio estudiados. Para su cálculo se utilizaron las siguientes formulas: el tráfico declarado por operador es igual al tráfico cursado declarado por el operador entre el tráfico máximo declarado por el operador.

El tráfico medido, se dedujo a partir de los datos obtenidos de las mediciones de campo realizadas, las cuales consistieron en realizar un barrido de frecuencias en la sub- banda de 800MHz de trunking comercial (851-866MHz), desde un punto de dominio en línea de vista con los sitios de repetición de Caracas, durante 2 horas consecutivas, obteniendo así 40 muestras por canal, por segundo, resultando de esta manera, un total de 288 mil muestras totales.

El mismo fue calculado en dos partes, de la siguiente manera: El tráfico medido por canal es igual a las muestras captadas por canal entre las muestras totales realizadas por la unidad móvil, luego el tráfico medido cursado es igual al promedio del tráfico medido de cada uno de los canales pertenecientes a un operador.

Para calcular el tráfico total cursado, se llevó a cabo un estudio, el cual consistió en darle una ponderación al tráfico declarado y medido resultante.

Por último para obtener la eficiencia espectral que se obtendría en digital, se dividió la porción del espectro destinada para el servicio, entre el ancho de banda que tendría el canal si se migrase a digital. Para obtener el porcentaje de absorción del tráfico de los sistemas analógicos en un sistema digital, y del espectro necesario para mantener el grado de servicio actual, se comparó la eficiencia espectral obtenida en analógico, con la eficiencia que tendría el uso de la tecnología digital.

5.4.- Para el diseño de la interfaz inter-sistema se utilizaron dos radios (uno analógico y uno digital), un activador de PTT, un detector de audio y un adaptador de impedancia; con dichos elementos se procedió a realizar la interfaz inter-sistema, así como a calcular la cobertura que brindaría y el costo de la misma. Los componentes usados para la elaboración de los circuitos pertenecientes a la interfaz inter-sistema (activador PTT, detector de audio y adaptador de impedancia), serán elegidos por el operador.

5.5.- Con los tópicos estudiados a lo largo del proyecto, se procedió a realizar el diseño de la propuesta del plan de migración.

6. RESULTADOS

Como producto de lo anteriormente descrito se lograron los siguientes resultados:

6.1.- Comparación de Estándares

El trunking digital supera en la mayoría de los aspectos al trunking analógico, a pesar que el digital es más costoso y su arquitectura más compleja; los beneficios que se obtienen son muy importantes, ya que (desde el punto de vista del ente regulador) disminuye significativamente el ancho de banda del canal, y por ende la porción del espectro radioeléctrico ocupada y (desde el punto de vista del operador) ofrece la posibilidad de brindar una mayor cantidad de servicios.

Este análisis da paso a la comparación entre los diversos estándares de trunking:

6.1.1.- LTR:

LTR presenta más debilidades y amenazas, que oportunidades y fortalezas, por lo que este estándar representa una gran razón para migrar a digital, debido a la evolución tecnológica que se vive actualmente.

6.1.2.- MPT1327:

En este estándar las debilidades, amenazas, oportunidades y fortalezas, se encuentran balanceadas, por lo que este sistema trunking es ideal para clientes que deseen un costo intermedio y una gama de servicios no muy elevada. A pesar, que por ser un estándar mixto, con el tiempo irá desapareciendo; cuenta con interoperabilidad con estándares analógicos, lo que permite una migración parcial a su estándar, mientras el cliente decide migrar completamente a digital.

6.1.3.- Comparación entre LTR y MPT1237: MPT1237 es superior que LTR.

Entre las ventajas más importantes que presenta MPT1237 sobre LTR, está el hecho de aceptar hasta 24 canales por sitio, superando los 20 de LTR; pero especialmente la cantidad de ID's que permite cada estándar, debido que esta es la cantidad de usuarios que admite cada estación repetidora.

6.1.4.- P25:

En P25, las oportunidades y fortalezas, superan notablemente las debilidades y amenazas. A pesar que este estándar tiene mucha competencia, su gran cantidad de fortalezas y oportunidades, valen su costo y complejidad. Su mayor ventaja es la interoperabilidad con radios de diversas marcas de fabricantes, lo que permite que los operadores no se vean atados a un solo proveedor de equipos y su fácil adaptación a la interfaz inter- sistema para lograr la operación simulcast.

6.1.5.- TETRA:

En TETRA las oportunidades y fortalezas, superan notablemente las debilidades y amenazas. Sin embargo, este estándar tiene la gran desventaja que no posee interoperabilidad con equipos de diversas marcas, solamente existe entre radiobases y equipos terminales, lo que trae como consecuencia, que tampoco podrá trabajar en simulcast con equipos analógicos ni mixtos, y con ello la pérdida completa de los equipos y la infraestructura actual, además de la paralización total del

sistema mientras se sustituye todo el sistema anterior y se instala el digital, por lo que este estándar no es apropiado para realizar una migración.

6.1.6.- Comparación entre P25 y TETRA:

Ambos estándares tienen características similares, por lo tanto a la hora de elegir que estándar es superior, está decisión se basará en las necesidades del cliente.

6.2.- Estándar Elegido

Debido a que este proyecto busca diseñar una propuesta de un plan de migración de sistemas trunking analógicos a sistemas digitales, dicha migración debe hacerse gradualmente, para que así el cliente aproveche aún más la plataforma legacy instalada minimizando el CAPEX de las empresas. Por lo tanto, por su interoperabilidad con diversas marcas de fabricantes, su posibilidad de trabajar en redes simulcast (analógico/ Digital) y su amplia cobertura, se eligió el estándar P25 para llevar a cabo la migración de los sistemas trunking analógicos a digitales.

La presente propuesta de plan de migración, será en el camino mixto - digital, o analógico - digital (sin pasar por el trunking mixto), debido a que el trunking mixto no ofrece ninguna característica o facilidad que haga más factible el paso por él durante la migración; ya que gracias a la interfaz inter-sistema diseñada en este proyecto, se da la posibilidad de trabajar en simulcast (trunking analógico y digital), siendo este último muy superior al trunking mixto.

	Op.Com 1	Op.Com 2	Op.Com 3	Op.Com 4
Canales	350	138	155	145
Clientes / Usuarios	694 / 7459	60 / 4700	208 / 7621	122 / 5141
Estaciones Repetidoras	10, 6 con SmartNet y 4 con LTR	17, todas con APCO 16	13, todas con LTR	32, todas con SmartZone
Intercon. Telef. /Área Extend.	Sí / No	No / Sí	No / No	No / Sí
Servicios	Renta Básica, Multisite, Llamadas Privadas. Venta y servicio técnico de equipos	Llamada de grupo, privada y de alerta. Venta y servicio técnico de equipos.	Tiempo aire, grupo adicional y multisite. Venta y servicio técnico de equipos.	Grupo adicional, llamada privada y de alerta. Venta y servicio técnico de equipos.
Cobertura	Anzoátegui, Bolívar, Carabobo, Distrito Capital, Maturín, Miranda y Vargas.	Anzoátegui, Aragua, Carabobo, Distrito Capital, Lara, Miranda y Vargas.	Anzoátegui, Bolívar, Carabobo, Distrito Capital, Lara, Miranda, Nueva Esparta, Vargas y Zulia.	Anzoátegui, Bolívar, Distrito Capital, Maturín, Monagas, Nueva Esparta y Sucre.
Tarifas	200-400BsF.	30-105BsF.	15-650BsF.	25-225BsF.

Figura 1. Resumen de Inspecciones a los operadores.
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.- Inspección a Operadores

En la inspección a los cuatro operadores más importantes del país, se recolectaron los datos expuestos en la Figura 1.

6.3.- Análisis del grado de uso del espectro radioeléctrico

Este análisis se realizó a través del cálculo de dos tipos de tráfico, el tráfico declarado y el tráfico medido.

Se tomaron solo 4 operadores comerciales de los 25 existentes, ya que ellos juntos representan el 50% de los canales o frecuencias asignados, contra un 50% que representan los 21 operadores restantes, por lo tanto, estos cuatro operadores comerciales se consideran una muestra suficientemente grande para obtener el grado de uso del espectro radioeléctrico, en cuanto al servicio de radiocomunicaciones móviles terrestres tipo trunking, se refiere.

El resultado obtenido con respecto a los datos proporcionados por los cuatro operadores comerciales visitados, fue la obtención del tráfico declarado por operador.

6.3.1.- Tráfico Declarado por Operador

El tráfico declarado, se calculó a través de los datos recolectados de los cuatro operadores comerciales más grandes del país con oficina comercial en el Distrito Capital.

6.3.1.1.- Tráfico Declarado por el Operador Comercial no. 1:

El tráfico declarado calculado para el operador comercial no. 1, resultó ser un 79%, Por lo que el operador comercial número 1, solo está usando 53 de sus 69 canales de tráfico asignados a Mecedores.

6.3.1.2.- Tráfico Declarado por el Operador Comercial no. 2:

El tráfico declarado calculado para el operador comercial no. 2, resultó ser un 86%, Por lo que el operador comercial número 2, solo está usando 13 de sus 15 canales de tráfico asignados a Filas del Ávila.

6.3.1.3.- Tráfico Declarado por el Operador Comercial no. 3:

El tráfico declarado calculado para el operador comercial no. 3, resultó ser un 62%, Por lo que el operador

comercial número 3, solo está usando 41 de sus 65 canales de tráfico asignados a Mecedores.

6.3.1.4.- Tráfico Declarado por el operador comercial no. 4:

Debido a que el operador comercial no. 4, tiene solo 15 canales de tráfico asignados en la estación repetidora ubicada en la zona metropolitana de Caracas, el mismo no es determinante para la estimación realizada, por lo que no se tomó en cuenta para el cálculo del tráfico declarado, sin embargo dicho operador si se incluye en el estudio del tráfico medido.

6.3.1.5.- Tráfico Declarado total:

Esto implica que a aunque el tráfico declarado por los operadores es bastante alto, existen canales asignados a dichos operadores, que no se están usando. Se recuerda que existen 15 MHz FDD del espectro radioeléctrico asignado al servicio de radiocomunicaciones móviles terrestres troncalizado, los cuales debido a los accidentes geográficos se pueden reusar en las diferentes zonas del país (Centro Norte, Guayana, Oriente, Central, Occidental y Nor-Occidental).

6.3.2.- Tráfico Medido

El mismo se calculó, a partir de las mediciones realizadas en la zona metropolitana del Distrito Capital, usando como equipo de medición la unidad móvil de CONATEL y el software "Spectrum Monitoring System Client" de Scorpio Client.

6.3.2.1.- Tráfico Medido Operador

Comercial no. 1:

Para el tráfico de este operador se monitorizaron 43 de sus canales. En cuanto al tráfico medido obtenido, este operador está haciendo uso solo del 5,5% de sus canales asignados en la zona metropolitana de caracas. Dicho número se obtuvo como resultado de calcular el promedio del grado de uso de cada uno de sus canales muestreados, donde el valor más alto que se reportó fue de 44% y el más bajo 0%, por lo que se puede evidenciar que dicho operador no está usando ni siquiera el 6% de sus canales asignados.

6.3.2.2.- Tráfico Medido - Operador Comercial no. 2:

Para el tráfico de este operador se monitorizaron 31 de sus canales. En cuanto al tráfico medido obtenido, este operador está haciendo uso sólo del 9,81% de sus canales asignados en la zona metropolitana de caracas. Donde el valor más alto que se reportó fue de 32% y

el más bajo 0%, por lo que se puede evidenciar que dicho operador no está usando ni siquiera el 10% de sus canales asignados.

6.3.2.3.- Tráfico Medido – Operador Comercial no. 3:

Para el tráfico de este operador se monitorizaron 73 de sus canales. En cuanto al tráfico real obtenido, este operador, está haciendo uso solo del 12,17% de sus canales asignados en la zona metropolitana de Caracas. Donde el valor más alto que se reportó fue de 36% y el más bajo 0%, por lo que se puede evidenciar que dicho operador no está usando ni siquiera el 12,5% de sus canales asignados.

6.3.2.4.- Tráfico Medido - Operador Comercial no. 4:

Para el tráfico de este operador se monitorizaron 10 de sus canales. En cuanto al tráfico real obtenido, este operador, está haciendo uso solo del 12,72% de sus canales asignados en la zona metropolitana de Caracas. Donde el valor más alto que se reportó fue de 65% y el más bajo 0,3%, por lo que se puede evidenciar que dicho operador no está usando ni siquiera el 13% de sus canales asignados.

6.3.2.5.- Tráfico Medido Total

El operador con mayor cantidad de tráfico cursado es el número 4, sin embargo es quién tiene la menor cantidad de canales monitorizados en las mediciones. Por otra parte el operador comercial número 1, es quien tiene el menor porcentaje de tráfico cursado, pero a su vez es el segundo operador con mayor cantidad de canales monitorizados en las mediciones.

6.3.3.- Tráfico Total

El grado de uso o eficiencia espectral de los servicios de trunking en la banda comercial, es de un 86% según los operadores (tráfico declarado obtenido, de mayor valor), y de 13%, según las mediciones realizadas. Por lo que, dándole un 30% de confiabilidad a los datos declarados por los operadores y un 70% a los datos obtenidos en las mediciones, el grado de uso del espectro radioeléctrico en la banda de 800MHz para el trunking comercial es de aproximadamente un 35%, lo que daría como resultado que un 65% de los canales asignados a los operadores trunking no esté en uso.

6.3.4.- Eficiencia espectral analógica Vs. Eficiencia espectral digital

Los servicios de trunking comercial analógico tienen asignados para su operación 15MHz FDD, contando así

con 600 canales full duplex, debido a que cada canal presenta un ancho de banda de 25KHz cada uno.

En cambio, migrando a digital, específicamente al estándar P25 fase 1, donde el ancho de banda del canal se reduce a 12,5KHz; se asignarían solo 20MHz al trunking digital, de los cuales 10MHz estarían destinados para el enlace ascendente y 10MHz para el enlace descendente, obteniendo así 800 canales full duplex.

Gracias a esto no solo se estarían liberando 30MHz en la banda de 800MHz, sino que además, al migrar a la banda de 400MHz, se estarían ocupando solo 20MHz, y aun así obteniendo 200 canales adicionales, tanto en el enlace ascendente como en el descendente.

6.3.5.- Absorción del tráfico analógico en digital

Debido a que el tráfico total obtenido para el trunking analógico, alcanzó un 35% de los canales asignados, esto generó que aproximadamente 65% de los canales asignados no se encuentren en uso, al menos durante el período de medición.

Por ser CONATEL, el ente regulador de los servicios de telecomunicaciones en el país, será potestad del mismo, evaluar la eficiencia espectral que presentan cada uno de los operadores, para así mantener o no la concesión de las porciones del espectro asignadas a un operador específico. Esto podrá hacerse, a través de una redistribución de los canales para ser reasignados (a nuevos prestadores de servicios o a alguno ya existente), a menos que dicho operador demuestre mediante un plan de expansión (con su respectivo cronograma de actividades), que requeriría dichos canales para la expansión.

6.3.6.- Interfaz Inter-Sistema

En cuanto a la operación simulcast de ambos sistemas, los operadores deberán contar con antenas y repetidores que trabajen en la banda 400MHz, para poder captar las señales tanto de transmisión, como de recepción que provengan de los radios pertenecientes a esa banda, así como de la interfaz inter-sistema.

Esta interfaz será capaz de dar cobertura, al área que cubra cada uno de los repetidores instalados por el operador, ya que se instalaría una por cada estación base o repetidora, para que así todos los usuarios que estén dentro de una determinada área de cobertura, puedan comunicarse de manera eficaz con la interfaz inter-sistema, y esta a su vez hallar al grupo de usuarios de la otra banda con la cual se quiere establecer la conexión, siempre y cuando estos, estén ubicados dentro del área de cobertura.

En cuanto al costo de la misma, es preferible para las empresas instalar en cada estación repetidora con dos radios (uno analógico y uno digital), el detector de audio, el activador del PTT y el adaptador de impedancia; los cuales son circuitos muy sencillos, y por lo tanto de un costo relativamente bajo; que dotar a más de 5000 usuarios con radios que operen con tecnología digital.

Las antenas y repetidores que operen en la banda de 400MHz, son necesarios, independientemente que se instale o no la interfaz inter-sistema, por lo que estos no representarían un gasto adicional para ninguno de los operadores, en cuanto a operación simulcast del trunking analógico y digital se refiere.

6.3.7.- Propuesta de un Plan de Migración para los Sistemas de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres Troncalizados en la banda 800MHz a Sistemas Digitales

El presente plan de migración tiene como finalidad ser una guía para aquellos operadores que vayan a migrar a digital, ya sea por voluntad propia, o porque así se lo exija el ente regulador. Esta guía contiene una serie de pasos y recomendaciones que se deben tomar en cuenta a la hora de realizar su propio plan de migración.

I.- Será deber o competencia del operador:

1.- Evaluar la situación actual al momento de migrar: Debe llevar a cabo una evaluación o análisis exhaustivo de la situación actual del servicio de trunking tanto general, como específico de su empresa, ya que estos últimos tienen características propias que harán que los aspectos del plan varíen. Los tópicos a evaluar son:

En cuanto a la situación general del servicio se refiere:

- √ Cuantos operadores se encuentran prestando el servicio.
- √ Qué características le gustan o no de cada uno de estos. Esto servirá de guía para que usted imite lo bueno de estos y evite cometer los mismos errores. Estudie operadores que se encuentren prestando tanto servicio analógico, como digital.

Asesorarse legalmente para saber, ¿En cuánto tiempo se debe presentar el plan de migración?, ¿Qué le obliga a esto? Y ¿Qué sanciones acarrearía si no se presenta un plan en el tiempo establecido para ello?

En cuanto a situación específica de su Empresa se refiere:

- √ Cantidad de canales asignados que posee, discriminado por zona.
- √ Número de estaciones repetidoras que tiene instaladas y la tecnología con la cual trabajan.
- √ Cobertura que brinda.
- √ Cantidad de clientes y usuarios que tiene a la fecha.

2.- Saber, ¿Hacia dónde quiere ir?: Debe plantearse que desea obtener con la migración, así como los beneficios que traería la misma tanto a sus usuarios y clientes, como al estado.

En cuanto a los tópicos a evaluar se encuentran:

- √ Conocer los servicios adicionales que ganaría con el trunking digital.
- √ ¿Cuáles de esos nuevos servicios, son realmente necesarios o se quieren ofrecer?, ya que de esto dependerá la escogencia o no de un modelo de radio terminal.
- √ Debe evaluar los grupos que tiene conformados y saber cuál es el más importante en cuanto a sus funciones y necesidades, para así establecer el orden en que los mismos irán migrando a digital.

Planes a futuro. ¿Se quiere aumentar la cobertura?, ¿Incluir nuevos clientes y usuarios? ¿mayores velocidades de Transmisión?, ¿mayor control y monitorización?

3.- Evaluar los cambios necesarios en la estructura de la red: Después de saber que tiene, y hacia dónde quiere ir, debe informarse sobre qué cambios tendría que hacer en cuanto a la estructura o arquitectura de la red.

En cuanto a los tópicos a evaluar se encuentran:

- √ Incorporación de antenas y repetidores que trabajen en la banda a la que se vaya a migrar, de ser necesario.
- √ Instalación de una interfaz inter-sistema, ya que la misma permitirá que la migración sea gradual y no se pierdan los equipos analógicos.
- √ Estudio o asesoramiento sobre el funcionamiento y la instalación de la interfaz inter-sistema.
- √ Costo que tendrían las antenas, los repetidores y las interfaces inter-sistemas que hagan falta instalar, para así dar la misma cobertura que se tiene actualmente, tanto en trunking analógico, como en digital.
- √ De igual forma, si se quiere aumentar la cobertura, calcular el costo que tendría extender la misma.

- √ Elegir a que estándar se migrará.
- √ Para esto, comparar características y desventajas de los mismos, así como precios de sus equipos terminales.
- √ Después de elegir la tecnología a la cual se migrará, se deben seleccionar los proveedores tanto de equipos terminales, como de antenas, repetidores, e interfaces inter-sistema.

4.- Elaborar el plan de migración: En cuanto al plan de migración, el operador debe elaborar y presentar el mismo ante el ente regulador, en el plazo que este y la ley se lo exijan, o de no existir una obligación para este, podrá hacerlo cuando el operador así lo prefiera.

Dicho plan debe contener:

- √ Tecnología a la cual se quiere migrar.
- √ Planes de escalabilidad de la red y aumento de cobertura a futuro.
- √ Tiempo estimado para obtener la migración total del sistema, discriminado por fases graduales.
- √ Inversión económica que requerirá implementar la migración.

5.- Aceptar y realizar los cambios que el ente regulador considere necesarios aplicar al plan de migración presentado por el operador.

II.- Será deber o competencia del ente regulador:

1.- Informar a los operadores con suficiente antelación que deben migrar a digital, o en su defecto presentar un plan de migración para una fecha determinada.

2.- Asesorar a los operadores sobre todo lo referente al plan de migración, facilitar la presente propuesta de plan de migración y todos aquellos documentos que sean necesarios para que los operadores sepan que datos incluir en el mismo.

3.- Evaluar exhaustivamente el plan de migración presentado por los operadores, a fin de cerciorarse que la información presentada en el mismo es confiable.

4.- Realizar mediciones de campo para determinar el grado de uso o eficiencia espectral que presenta dicho operador, para determinar cuántos canales de tráfico no están en uso y a partir de esto estudiar cuantas frecuencias o canales se les otorgará para operar en digital.

5.- Recibir y de ser necesario, hacer las correcciones que correspondan a los planes de migración presentados por los operadores.

6.- Exigir, cuando así lo amerite la presentación del plan de migración, y de no presentarse este, aplicar la sanción correspondiente.

Nota: Sí el operador y el ente regulador llegan a un acuerdo mutuo, el plan de migración puede ser proporcionado por este último. En este caso, el operador debe aceptar dicho plan.

III.- Recomendaciones para elaborar el plan de migración:

- √ El estándar más idóneo para migrar es P25 fase 1, el cual presenta un ancho de banda de 12,5KHz, por lo que se reduce el ancho de banda del canal a la mitad. Posteriormente, puede estudiarse la posibilidad de migrar a P25 fase 2, el cual presenta un ancho de banda de 6,25KHz, por lo que se reduciría a un cuarto el ancho de banda del canal, con respecto a los 25KHz que tiene el canal analógico actualmente.
- √ Implementar la interfaz inter-sistema diseñada en el presente proyecto, ya que la misma es económica, fácil de implementar y ya está diseñada.
- √ Migrar directamente de analógico a digital, ya que el paso por el trunking mixto, sería una pérdida de tiempo y presupuesto, debido a la existencia de la interfaz inter-sistema.

7.-CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones

1. El espectro radioeléctrico está copado en la banda de 800MHz, mientras que en la banda de 400MHz existen 20MHz que están totalmente libres y que según el CUNABAF están destinados al trunking digital.

2. La solución idónea para liberar espectro en la banda 800 MHz, es migrar gradualmente el trunking analógico al digital, en la banda de 400MHz.

3. El estándar más apropiado para migrar a digital es P25, ya que el mismo tiene una cobertura de 53Km, es un estándar abierto, cuenta con radio convencional y presenta interoperabilidad con las diversas marcas de equipos de los diferentes fabricantes, por lo que no presenta problema a la hora de instalar la interfaz inter-sistema para el simulcast. El mismo tiene un ancho de banda de 12,5KHz lo que reduce el ancho de banda

actual a la mitad, y se está desarrollando una segunda fase donde el ancho de banda disminuiría a 6,25KHz lo que serían 4 veces más canales con la misma frecuencia ocupada.

4. Con la migración gradual se aprovechará aún más la plataforma legacy instalada minimizando el CAPEX de las empresas, ya que con la interfaz inter-sistema diseñada, será posible la comunicación de voz entre los sistemas analógicos y digitales.

5. El espectro radioeléctrico asignado a los operadores de trunking comercial, está siendo sub-utilizado, ya que el porcentaje de eficiencia espectral o de uso del mismo en esta banda y este servicio es de 35%, trayendo como consecuencia que el número de canales o frecuencias asignadas que están desuso sea de un 65%, el cual representa más de la mitad de los canales asignados.

6. Al migrar a digital, no solo se obtiene la liberación de 15MHz FDD del espectro radioeléctrico, sino que además, se ganan mayor cantidad de canales con menos frecuencias ocupadas, para ser exacto 800 canales full duplex, ocupando solamente 10MHz FDD, contra los 15MHz FDD que se ocupan actualmente.

7. Se liberarán los 15MHz FDD del espectro en la banda de 800MHz, y podrían ser asignados para la prestación de servicios de banda ancha inalámbrica de tercera generación bajo la disposición de frecuencias A3 (dividendo digital europeo) de la Recomendación UIT-R. 1036-4.

8. Dichas bandas han sido otorgadas mediante licitaciones de alta valoración económica en varios países de Europa, por lo tanto 10 de esos 15MHz FDD podrían ser asignados a dicho servicio.

Con respecto a su valoración económica, considerando que el precio para julio del 2012, del espectro radioeléctrico fue de Ochocientos tres mil ciento sesenta bolívares con setenta céntimos (Bs. 803.160,70), por MHz por años de concesión, si se calcula el valor de los 30MHz que se liberarían en la banda de 800MHz, por un año de concesión, a este precio, habría un ingreso para el estado de veinticuatro millones noventa y cuatro mil 821 bolívares fuertes con cero céntimos (Bs. 24.094.821,00). Así por ejemplo, si se dieran en concesión estos 30MHz, todos durante 5 años consecutivos se obtendría un ingreso de ciento veinte millones cuatrocientos setenta y cuatro mil ciento cinco bolívares fuertes con cero céntimos (Bs.120.474.105).

Por lo que se puede evidenciar que el presente proyecto no solo presenta una solución para el Estado

debido a la liberación de 15MHz FDD en la banda de 800MHz y el ingreso económico que representa, sino que también incentivaría la evolución tecnológica en el país, ya que habría capacidad para darle la oportunidad a nuevos operadores de trunking, aumentaría la gama de servicios ofrecidos por estos y la satisfacción del usuario.

7.2. Se recomienda:

1. Elaborar el plan de migración a partir de esta propuesta, extendiendo la misma a todo el territorio nacional, a través de mediciones de campo realizadas en el resto de los estados.

2. Extender las mediciones a 4 horas consecutivas en las horas pico del servicio, al menos a 3 veces por semana, por un mes.

3. Reunir a los prestadores del servicio con el ente regulador, para que este último les explique la importancia de migrar a digital y cuánto tiempo tienen para hacerlo.

4. Realizar un diseño propio de interfaz inter-sistema por operador (en cuanto a componentes para su construcción se refiere), debido a que existen diversos modos de diseñar los circuitos que la conforman, por esto las herramientas usadas para construir los adaptadores de impedancia y los elementos de estado sólido quedarían a juicio del operador. Para su elaboración podrían usarse transistores, microprocesadores o relés.

5. Realizar un plan de migración propio por operador, tomando como guía el que se desprenda de esta propuesta, ya que cada uno tiene características propias como lo son la arquitectura de red, el presupuesto disponible, el número de equipos instalados y operativos en analógico, funcionalidades que quieran agregar y urgencia de las mismas.

6. Estipular un tiempo y fases de migración apropiados que le convenga a ambas partes (operador y ente regulador).

En cuanto a los tiempos de las fases de migración, un tiempo de migración muy largo, no aplicaría, ya que se busca liberar la banda de 800MHz del espectro radioeléctrico a la mayor brevedad posible, siempre y cuando los factores técnicos y económicos lo permitan.

Un tiempo muy corto, sería contraproducente, ya que se busca una migración gradual, y de ser así, se desperdiciarían todos los equipos instalados en analógico, además generaría un impacto fuerte tanto para los usuarios como para el operador, sin embargo se liberaría rápidamente un mayor porcentaje del espectro radioeléctrico.

Este tiempo puede estar determinado por el resto de la vida útil de equipos terminales y repetidores del sistema analógico. Otra alternativa para la progresiva desincorporación de los radios, es la mudanza de los sitios de repetición de la zona metropolitana hacia la zona rural, donde puede alcanzar grandes distancias, por la propagación en tierra plana, igualmente, mientras transcurre el resto de la vida útil de los equipos (terminales y repetidores) y se da el paso completo a la tecnología digital.

Por esto se recomienda, elaborar un plano temporal con fases estructurales bien definidas para así obtener un equilibrio entre las ventajas y desventajas del período elegido, con el fin que ambas partes se vean beneficiadas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Huidobro, J. *Redes y Servicios de Telecomunicaciones*. España: Thomson. (2006).
- [2] Sistemas Trunking. Asociación Cultural Radio Club Gaviota. Recuperado el 25 de diciembre de 2011, de <http://usuarios.multimania.es/rod-marsan/descarga/trunking.htm>
- [3] Logic Trunked System. Veeneman, D. Monitoring Times. Recuperado el 26 de diciembre de 2011, de: <http://www.signalharbor.com/ttt/00may/index.html>
- [4] MPT1327 Una solución Global. Syscom. Recuperado el 5 de enero de 2012, de: www.syscom.com.mx/PPT/MPT1327withKenwood.ppt
- [5] Martínez, S. (2011, Octubre). P25 vs TETRA vs DMR. Tait Communications. Presentado en: XXV Jornadas Técnicas de Telecomunicaciones CANAEMTE, Venezuela.
- [6] *P25 Radio System Guide*. Daniels Electronics LTD. (2009). Recuperado el 26 de diciembre de 2011, de: http://www.danelec.com/pdfs/Daniels_P25_Radio_Systems_Guide_sp.pdf
- [7] Ley Orgánica de Telecomunicaciones, 36.970 (Gaceta Oficial 12 de Junio de 2011).
- [8] *La Empresa*. Americatel Servicios de Comunicación. Recuperado en Octubre de 2011, de: http://www.americatel.com.ve/la_empresa.ph
- [9] *Introducción al Estándar DMR Digital Mobile Radio*. Convergencia IP. Recuperado en Mayo de 2012, de: <http://www.convip.net/pdf/Convip%20presentaciones/Presentacion%20HYTERA.pdf>
- [10] Cueva, D. (2009). *Ampliación del Sistema de Radio Troncalizado de Comunicaciones de la Comisión de Tránsito del Guayas con Aplicación de Tecnología Digital (PDH)*. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- [11] Duque, L. (2011). *Sistemas de Radiocomunicaciones Convencionales y Troncalizados*. Caracas: Elaboración Luis Duque.
- [12] Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF). Maldonado, P. Conatel. Recuperado en septiembre de 2011, de: http://www.conatel.gob.ve/files/consulta/PA_CUBANAF_CP.pdf
- [13] Martín, J. (2010). Infraestructuras comunes de telecomunicación en viviendas y edificios. Editek.
- [14] Análisis DOFA. Meltom Technologies. De Gerencia. Recuperado el 24 de Noviembre de 2011, de: http://www.degerencia.com/tema/analisis_dofa
- [15] *Sistemas de Telecomunicación Privados*. Monserrat, J. Escuela Politécnica Superior de Gandía. Recuperado el 5 de enero de 2012, de: https://poliformat.upv.es/access/content/group/OCW_6511_2010/Unidad%20Did%C3%A1ctica%201.%20Telefon%C3%ADa%20M%C3%B3vil%20Privada/1.1.Private%20Mobile%20Radio_Sesi%C3%B3n%202.pdf
- [16] A Description of LTR Trunking Technology. Opossum Services Group, L.L.C. Weaver Communications. Recuperado el 26 de diciembre de 2011, de: <http://www.weavercomm.com/ltr.html>
- [17] Serrano, A., & Fernández, D. (2008). *Manual de Helitransporte Sanitario*. Barcelona: Elsevier Masson.
- [18] Tecnología Analógica Smartzone. Servitron. Recuperado el 14 de Mayo de 2012, de: http://www.servitron.net/default/tecnologias/tecnologias_smartzone.aspx
- [19] Tomasi, W. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta ed.). Mexico: Prentice Hall. (2003).
- [20] Vera, F., Valdés, G., & Plasencia, J. Los Sistemas Trunking. Ingeniería Electrónica Automática y Comunicaciones, XXIII(2). (2002).