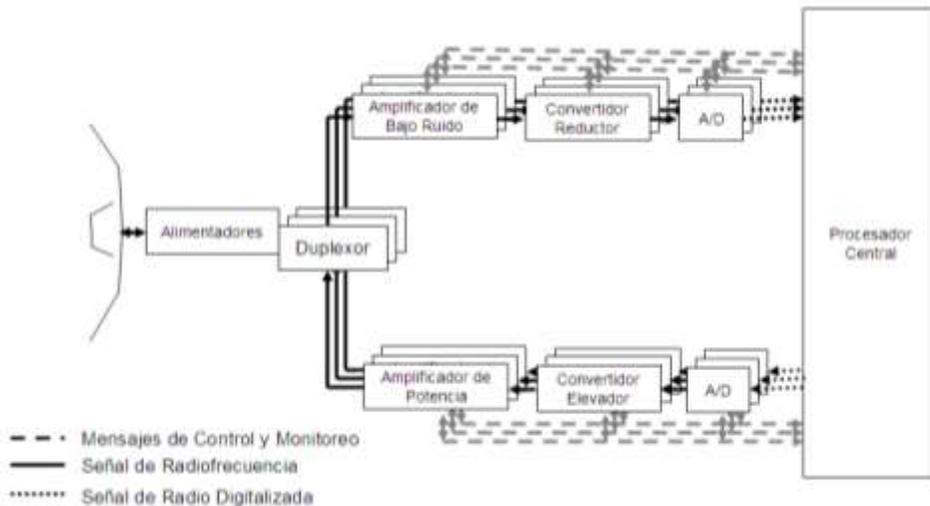


ANEXO C

1. PROTOTIPO DE TRANSPONDEDOR DE PRÓXIMA GENERACIÓN

El prototipo de transpondedor está compuesto por el procesador central, los equipos de radiocomunicaciones y el sistema de antenas como se muestra en la Figura 1. El Procesador Central se encarga de controlar todos los procesos de radiocomunicaciones y de procesamiento de tramas, es decir, realiza tanto en recepción como en transmisión, funciones de encriptación, codificación, modulación y sincronización, en tanto que a nivel de procesamiento se encarga del enrutamiento IP, garantía de la Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service), control de movilidad de terminales IP, optimización de multidifusión y compatibilidad con mecanismos de aceleración de TCP. Los equipos de radiocomunicaciones tales como los conversores de frecuencia, amplificadores de bajo ruido y amplificadores de potencia están contruidos a partir de tecnologías de circuitos integrados de microondas con facilidades de monitoreo y configuración por parte del procesador central. El sistema de antenas por su parte, permite generar múltiples haces a través de la técnica de arreglos fijos de alimentadores con único reflector para recepción y transmisión. El número de alimentadores, que es equivalente al número de cadenas de transmisión y recepción, aún no está determinado, pero se entiende que existen tantas como sean necesarias para permitir múltiples haces con ajuste variable de cantidad, tamaño y posición.

Figura 1: Estructura del Transpondedor

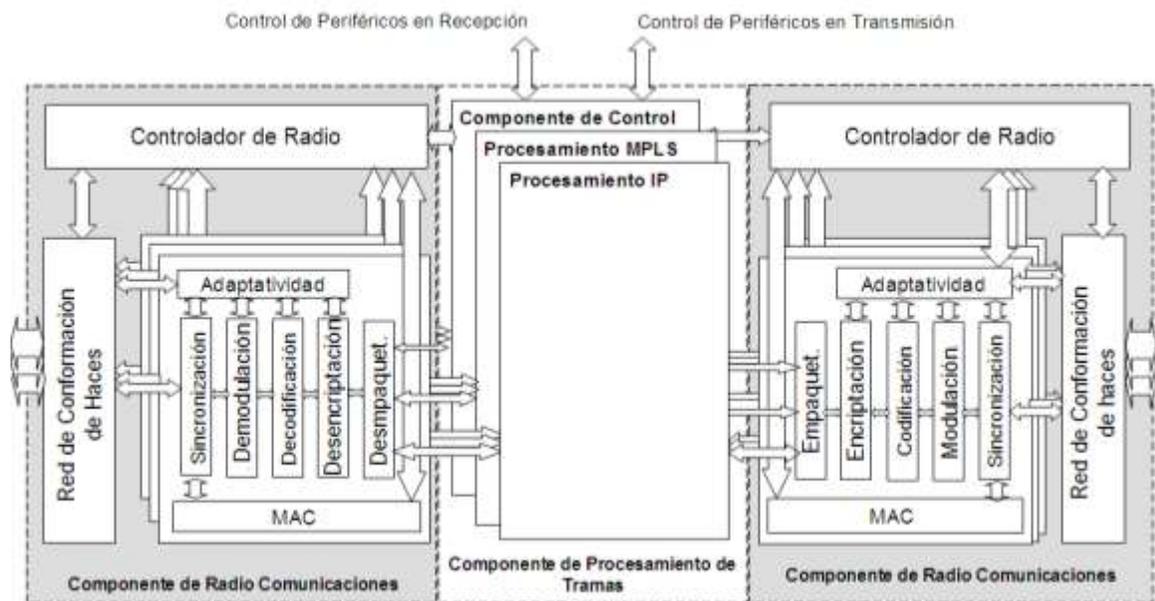


La estructura del Procesador Central se expone en la Figura 2, donde se identifican sus tres componentes fundamentales: Componente de Radiocomunicaciones, Componente de Procesamiento de Tramas y Componente de Control. La estructura de cada uno de estos se describe detalladamente a continuación con el propósito de clarificar el

funcionamiento de este sistema y para facilitar el proceso de diseño e implementación que se propone en este programa de I+D.

El componente de radiocomunicaciones en el modo de recepción recoge las señales de radio de todos los alimentadores del sistema de antenas una vez han pasado por el reductor de frecuencia y han sido digitalizadas. En el modo de transmisión en cambio, genera la señal a transmitir en formato digital para cada uno de los alimentadores y de igual forma, cada una es trasladada al dominio analógico para que su frecuencia sea ajustada por los elevadores de frecuencia y posteriormente transmitida. Tanto para transmisión como para recepción, este componente se ocupa de las funciones de encriptación, codificación, modulación, sincronización, generación de múltiples haces y adecuación para acceso múltiple a través de Procesamiento Digital de Señal (DSP, Digital Signal Processing) siguiendo la filosofía de Radio Definido por Software (SDR, Software Defined Radio). A nivel estructural como muestra la Figura 2, existe un módulo Control de Radio (CR) para todo el componente de radiocomunicaciones, una única Red de Conformación de Haces (RCH) y un número variable de Unidades de Radio (UR).

Figura 2: Estructura del Procesador Central



El CR es básicamente una interfaz que recibe la información desde el componente de control y genera órdenes para la RCH y los demás módulos de la UR correspondiente. Las UR están encargadas de recuperar la información de los usuarios desde la señal capturada por el satélite previamente digitalizada o por el contrario, generar la señal a transmitir a partir de la información que debe ser enviada al usuario. Por cada haz de la zona de servicio hay una UR, es decir, cuando el componente de control determina que debe crearse o eliminarse un número específico de haces, el MC crea tantas UR como

haces son necesarios y cada vez que suceden estas órdenes, el MC ordena a la RCH que se acople a la nueva cantidad de UR y genere con el número de alimentadores del sistema de antenas cantidad de haces demandados por el Componente de Control. En otros términos, la RCH tiene un número no determinado de interfaces con las UR, puesto que la cantidad de estas depende fundamentalmente de los haces que requiera la zona de servicio. Lo que si es claro, es que las interfaces con el sistema de antenas corresponden a un número fijo equivalente a la cantidad de alimentadores, el cual además, determina el número máximo de haces que es posible generar, luego la cantidad de UR o haces que pueden generarse es limitado y definido por el sistema de antenas. Adicionalmente, es necesario considerar que la condición ideal es contar con un haz tan pequeño que ilumine el menor número de usuarios para efectos de adaptabilidad a las condiciones de propagación, evasión de paquetes ajenos y concentración de la potencia, sin embargo es claro el inconveniente de la complejidad del sistema de antenas y de procesamiento que requiere una solución de este tipo.

Al interior de cada UR existen módulos menos complejos para tareas más específicas como encriptación, codificación, modulación y sincronización los cuales son necesarios para convertir la señal de radio digitalizada en tramas de datos. Cada uno de estos módulos, es asistido por el Módulo de Adaptividad (MA) para ejecutar los procedimientos de adaptación del tamaño de la constelación, esquema de modulación, codificación e incluso para determinar la ganancia de los amplificadores de cada uno de las cadenas de transmisión o recepción. Los procesos de adaptación dinámica de estos parámetros corresponden a ajustes realizados por el satélite y las estaciones terrenas iluminadas por un mismo haz para adaptar la interfaz de radio de bajada a las condiciones de propagación existentes. Para este efecto, existe un mecanismo de modelamiento del medio para determinar las condiciones existentes y un flujo de señalización que permiten acordar la configuración más conveniente. Respecto del ajuste de los parámetros de transmisión en el sentido de subida, no es posible determinar todavía si cada estación terrena puede contar con una configuración particular o todas las estaciones iluminadas por el mismo haz deben ajustarse con la misma configuración. En este aspecto, es necesario considerar el aumento de la señalización y complejidad del procesamiento, dada la demanda de una gran cantidad de URs.

En términos de acceso múltiple, todos los paquetes transmitidos por el satélite son recepcionados por los usuarios iluminados con el mismo haz, así es que no existe el requerimiento de un mecanismo de coordinación de acceso múltiple para el enlace descendente, puesto que existen condiciones de encriptación que resuelven el problema de "todos escuchan". En el enlace de subida en cambio, si es necesario el control de acceso múltiple puesto que el satélite debe otorgar la oportunidad de escuchar a todas y cada una de las estaciones terrenas, por lo cual, cada UR debe contener un módulo de Control de Acceso Múltiple (MAC, Multiple Access Control). Este módulo se ocupa de la asignación dinámica de recursos a los usuarios para lo cual intercambia mensajes con el Componente de Control, de igual forma, define sea bien los intervalos, frecuencias o códigos con que deben ser recepcionados los paquetes de cada usuario para lo cual se conjuga con el módulo de sincronización.

La interfaz entre el componente de radio y el componente de procesamiento de tramas son los módulos correspondientes a las tareas de encapsulamiento y desencapsulamiento que consisten en la construcción de tramas aptas para la transmisión por el canal satelital a partir de los datagramas IP o paquetes MPLS (MultiProtocol Label Switching) y viceversa respectivamente. En el modo de recepción, el módulo de desencapsulamiento obtiene los flujos de bits, conforma las tramas y las clasifica entre contenido IP, MPLS o mensajes de control. Cada uno de estos tipos de tramas es direccionado hacia el plano de procesamiento IP, plano de procesamiento MPLS o componente de control según sea el caso. En el modo de transmisión, el módulo de encapsulamiento recoge los datagramas IP, los paquetes MPLS o los mensajes de control para conformar tramas para posterior transmisión. La configuración de tramas, especificación de la señalización y sincronización es aventurada definir las desde ahora y más bien, se proponen investigaciones para evaluar diferentes opciones de manera asistida con herramientas de simulación.

En la estructura del transpondedor solo existe un componente de radiocomunicaciones, sin embargo en la Figura 2 se ha representado separadamente el plano de recepción y transmisión, dispuestos a la izquierda y a la derecha respectivamente.

El Componente de Procesamiento de Tramas está integrado por dos planos de procesamiento de tráfico que corresponden efectivamente a la capacidad del satélite para realizar enrutamiento a partir de la lectura del datagrama o lectura de etiquetas. El plano de IP se encarga de direccionar los datagramas entrantes hacia la unidad de radio correspondiente al haz que ilumina la estación terrena de control a partir de la lectura de la dirección IP del destino atendiendo a políticas estrictas de nivel de servicio, es decir, el proceso de enrutamiento se realiza considerando la clasificación y marcación realizada por la estación terrena según la configuración o exigencia del usuario o red terrestre asociada. Es función de la estación terrena la clasificación y marcación del tráfico, entre tanto, en el segmento espacial solo se realiza lectura de la marcación para tratamiento en las colas y enrutamiento. Paralelamente a las tareas de provisión de Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service), en el plano procesamiento IP también se adelantan el procesamiento del tráfico de multidifusión IP y el soporte a la movilidad de terminales IP.

El plano de procesamiento MPLS recoge todas las tramas entrantes con marcación de etiquetas o los paquetes sin marcación que deben ser transmitidos hacia estaciones de dominios MPLS y como tal, deben ser etiquetados. Dicho de otro modo, este plano actúa en el satélite como si se tratara de un enrutador de conmutación de etiquetas (Label Switching Router, LSR) o un enrutador de frontera (Label Edge Routing, LER) igual a los existentes en las redes terrestres, donde cada uno de sus puertos es físicamente un haz del satélite. Igual que en el caso anterior, existe una compatibilidad entre las políticas de nivel de servicio con todos los dominios MPLS independiente del modo de operación, es decir, si está en la frontera o dentro del dominio.

El componente de Control es el encargado de mantener la armonía entre los componentes de radio y procesamiento de tramas así como también con los periféricos de microondas abordo como con el hardware de cada una de las estaciones terrenas. Entre

las tareas que realiza este componente está el análisis de tráfico para efectos de facturación de servicios y la definición de la configuración de haces para iluminar la zona de servicio atendiendo a que el número de haces, el tamaño y la posición de cada uno son ajustables. Dicho de otro modo, el análisis de tráfico permite determinar tanto la concentración de los usuarios, la demanda de servicios, el número, tamaño y cantidad de haces para otorgar a las áreas de mayor densidad, una mayor cantidad de recursos. La definición de la configuración de los haces también tiene en cuenta las condiciones de propagación puesto que para efectos de adaptación del canal un haz debe iluminar a estaciones terrenas cuyas condiciones de propagación sean lo más similares posibles para que los cambios en los parámetros de transmisión beneficien al mayor número de estaciones en el canal de bajada. No obstante, dependiendo de los análisis de factibilidad es posible que existan condiciones de transmisión diferentes de manera independiente en ambos sentidos para todas las estaciones.

Adicional a las funciones anteriores, el componente de control realiza la gestión de usuarios, es decir, mantiene la información de estado, configuración IP, privilegios y restricciones para adelantar los procesos de asociación de usuarios a la red y asistir la asignación de recursos, nivel de servicio y facturación. La posibilidad de mantener a bordo del satélite la capacidad de gestionar los usuarios, aumenta la autonomía del satélite reduciendo el intercambio de mensajes con el segmento terrestre, lo que representa mayor rapidez en la realización de las operaciones.

El componente de control establece una interfaz con los componente periféricos de microondas en las ramas de transmisión como de recepción para efectos de ajuste de parámetros, entendido esto como la capacidad de cambiar la configuración de los conversores analógico a digital y digital a analógico, los conversores de frecuencia elevadores y reductores e incluso los amplificadores, pues se trata de implementar satélites genéricos cuyas características de operación pueden ser definidas aún después de la puesta en órbita. Por otra parte, esta interfaz con cada uno de estos dispositivos como se muestra en la Figura 1, brinda la posibilidad de monitorear el estado de estos equipos e incluir esta información en los reportes que se envían a la estación terrena de control para efectos de gestión remota de toda la carga de comunicaciones.

1.1.6.1 Prototipo de Estación Terrena de Próxima Generación

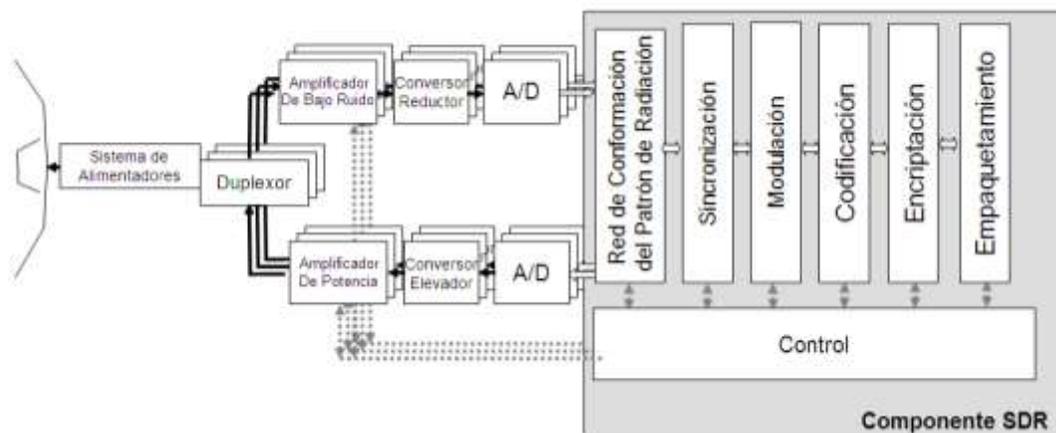
El prototipo de estación terrena sigue las mismas características que el transpondedor para garantizar compatibilidad entre ambos resultados, la estructura de este sistema se muestra en la Figura 3, donde se identifican los componentes de microondas y la plataforma SDR.

La plataforma SDR realiza a través de Procesamiento Digital de Señal (DSP, Digital Signal Processing), las tareas de conformación de haces, sincronización, modulación, codificación, encriptación y empaquetamiento. Adicionalmente realiza el control y monitoreo de todos los componentes de microondas gestionables, tales como los

convertidores analógico a digital y digital a analógico, los convertidores de frecuencias y los amplificadores.

Existe una cantidad todavía no determinada de cadenas en transmisión y recepción, sin embargo es claro que este número es igual al número de alimentadores del sistema de antenas necesario para lograr la flexibilidad del patrón de radiación en los términos que se determinen necesarios en los análisis destinados a recepción desde múltiples satélites, mitigación de interferencias y seguimiento de la infraestructura en órbita. Es posible que se determine que no sea necesaria un sistema de conformación del patrón de radiación para las estaciones móviles por las exigencias de tamaño, pero hasta que no existan resultados que certifiquen el hecho, se debe considerar la capacidad de conformación del patrón de radiación. Cada cadena está compuestas por los amplificadores, los convertidores de frecuencia y los convertidores A/D y D/A los cuales son conectadas a la Red de Conformación del Patrón de Radiación, la cual genera y recibe la señal en formato digital de cada cadena. La forma del patrón de radiación se define de acuerdo al control de las fases y amplitud que realiza la RCH. Adicionalmente, cada componente de las cadenas de transmisión o recepción intercambia información de control y monitoreo con la Unidad de Control para efectos de gestión de estos dispositivos y para permitir al administrador de estos equipos conocer su estado e incluso facilitar la gestión remota de las estaciones.

Figura 3: Estructura de las Estaciones Terrenas



El Módulo de Control tiene a cargo las tareas de ajuste de la configuración de los demás módulos de la plataforma durante los procesos de adaptación dinámica, de acuerdo a las condiciones de propagación, para este efecto, existe un flujo de control entre el satélite y cada estación terrena, de manera que a partir de tal información se generan las órdenes correspondientes a cada módulo.

El módulo de empaquetamiento es básicamente la interfaz entre la red terrestre y la red satelital, este es encargado de convertir tramas entre los formatos de ambas redes tanto

en el modo de transmisión como en recepción, de igual forma es el encargado de la clasificación y marcación de los paquetes de acuerdo a las políticas de nivel de servicio definidas de manera particular para cada estación terrena. La encriptación igual que en el segmento espacial, se ocupa de conceder seguridad al canal satelital a través de la incorporación de códigos para cifrar la información de manera coordinada con su homólogo del segmento espacial. La modulación y codificación de acuerdo a las condiciones de propagación son realizadas por los módulos que llevan los mismos nombres y su configuración está sujeta como ya se comentó, a la configuración que definen conjuntamente el satélite y la estación terrena. Las funciones de sincronización están relacionadas con la alineación de la señal con la fase correspondiente para realizar correctamente los procesos de detección en ambos extremos y adicionalmente con la técnica de acceso múltiple si está condicionada a intervalos de tiempo específicos.