

SIMULACIÓN DE UNA RED VSAT *FULL-DUPLEX* PARA ACCESO A INTERNET USANDO LA PLATAFORMA DVB-S Y DVB-RCS

Barba Molina Hernán
hbjunior@andinanet.net

Chafla Altamirano Juan
jfc_alt@hotmail.com

RESUMEN

Las necesidades y comportamiento de los usuarios de las redes de comunicaciones han evolucionado a la par que lo ha hecho la tecnología. El crecimiento exponencial que ha experimentado la demanda de servicios tales como el Internet, ha motivado la inclusión de cierta interactividad en redes que inicialmente fueron concebidas para la difusión. Éste es el caso de las redes VSAT (*Very Small Aperture Terminal* – Terminal satelital de apertura muy pequeña) basadas en el sistema DVB-S (*Digital Video Broadcasting by Satellite* – Difusión de vídeo digital a través del satélite) de amplia aceptación en el mercado europeo.

El esquema tradicional de acceso interactivo adoptado por las redes VSAT DVB-S cuenta con un lento canal de retorno provisto por un operador terrestre generalmente distinto al proveedor satelital, tal como lo muestra la figura 1. Este tipo de esquema ha hecho que las redes VSAT sean dependientes de la infraestructura terrestre instalada; por tanto, las ventajas inherentes a las comunicaciones satelitales se han visto limitadas.

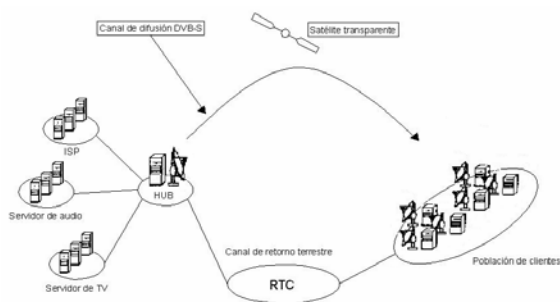


Figura 1 Esquema general de un sistema satelital de servicios múltiples.

INTRODUCCIÓN

Una red VSAT *full-duplex* es un sistema de comunicaciones que provee la interconexión a sus usuarios con proveedores de servicios utilizando canales de retorno satelitales,

haciendo al sistema totalmente interactivo y capaz de satisfacer las necesidades cada vez más cambiantes del mundo multimedia.

En la red que se plantea, existen dos caminos o *paths* de transmisión: el canal de ida provisto desde una estación central *hub* (denominada NCC o *Network Control Center* – Centro de Control de la Red), y un canal de retorno desde el terminal del usuario al *hub* central y al servidor.

El sistema del canal de retorno implementado en la red VSAT *full-duplex* sufrió su estandarización final, por parte de la ETSI (*European Telecommunications Standard Institute* – Instituto Europeo de Estandarización de las Telecomunicaciones), a principios del año 2000, y su última revisión en abril del 2005, siendo llamado éste EN 301 790 v1.4.1. Este estándar basa las especificaciones del enlace de ida en el formato DVB/MPEG-2 (*Digital Video Broadcasting/Moving Picture Experts Group-2*), y el enlace de retorno utilizando un esquema de acceso múltiple por división de tiempo y de frecuencia (MF-TDMA – *Multifrequency-Time Division Multiplexing Access* – Acceso múltiple por división de tiempo multifrecuencial); permitiendo de esta manera el intercambio bidireccional de datos vía satélite.

Este artículo entonces, presenta brevemente las especificaciones más importantes indicadas por las normas DVB-S y DVB-RCS (*Digital Video Broadcasting-Return Channel Satellite* – Difusión de Vídeo Digital-Canal de Retorno Satelital), así como también la arquitectura planteada para una red de acceso a Internet basada en estas normas.

La evaluación de dicha arquitectura, se logra a través de la creación de un modelo de red que es implementado en un *software* simulador de redes denominado NS (*Network Simulator* – Simulador de Red) de gran utilización por universidades en los Estados Unidos y Europa.

LAS NORMAS DVB-S Y DVB-RCS

NORMA DVB-S

El sistema europeo DVB-S es un conjunto de normas pensadas, en principio, para regular la transmisión de televisión digital. Es por eso que, inicialmente, a través de los sistemas DVB-S se ofrecieron servicios de difusión de canales de televisión digital, pero posteriormente, y como consecuencia de la evolución de los requerimientos del usuario, se contempló la posibilidad de soportar servicios multimedia y de acceso a Internet dentro del mismo sistema.

Es entonces que, en la actualidad las especificaciones DVB pueden utilizarse no sólo para la televisión propiamente dicha, sino también para la radiodifusión de una amplia gama de datos, vídeo, sonido, etc., acompañados de información auxiliar. Además, la necesidad de poner en marcha servicios interactivos a través de canales bidireccionales de comunicaciones por satélite, ha dado lugar a la creación del estándar del sistema de canal de retorno DVB-RCS el cual será abordado posteriormente.

Vale la pena señalar que la tecnología DVB para satélite ha tenido una aceptación importante durante los últimos años, motivada no solo por la posibilidad de multiplexar diferentes servicios dentro de una misma portadora DVB-S, sino también por la fuerte reducción de precios de las estaciones remotas VSAT con receptores de este formato.

El sistema DVB-S es directamente compatible con la codificación de señales de televisión MPEG-2. La trama de transmisión del módem DVB-S está sincronizada con los paquetes del múltiplex de transporte MPEG-2, el cual, como su nombre lo indica, es el medio de transporte utilizado por la norma para enviar datos en la red interactiva.

La figura 2 muestra el diagrama de bloques del sistema de transmisión especificado por el estándar DVB-S y cuya señal de entrada es el flujo de transporte MPEG-2 TS (*Transport Stream* – Flujo de transporte). El esquema tradicional de acceso interactivo adoptado por las redes VSAT DVB-S cuenta con un lento canal de retorno provisto por un operador terrestre generalmente distinto al proveedor satelital, tal como lo muestra la figura 1. Este tipo de esquema ha hecho que las redes VSAT sean dependientes de la infraestructura

terrestre instalada; por tanto, las ventajas inherentes a las comunicaciones satelitales se han visto limitadas

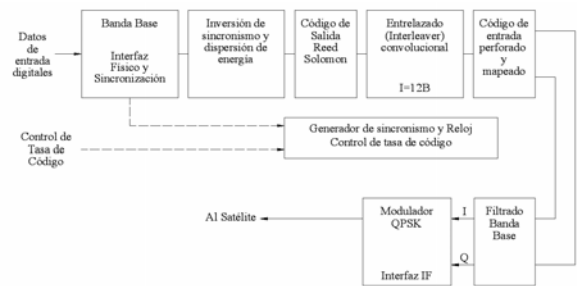


Figura 2 Diagrama de bloques funcional del Sistema de Transmisión DVB-S.

La norma DVB-S entonces, provee las especificaciones para el canal de ida de la red VSAT *full-duplex*, el cual básicamente consiste de un flujo de transmisión MPEG-2 en el cual es multiplexada toda la información que cursa la red.

Los estándares DVB-S proveen los recursos necesarios para la entrega de flujos MPEG-2 TS a través de una variedad de medios lógicos de transmisión. Es decir los métodos para transportar datos dentro del TS para construir redes de comunicación VSAT sobre la tecnología DVB-S.

Entiéndase como transporte de datos a las descargas de *software* desde un satélite, a la entrega de los servicios de Internet sobre canales de difusión (*IP tunnelling*), a la televisión interactiva, etc.

El método de transporte de datos recomendado para Internet es el de las secciones MPE (*Multiprotocol Encapsulation* – Encapsulación multiprotocolo), el cual basa su mecanismo en una segmentación y reensamblado de datagramas IP, y un enrutamiento de datos basado en la dirección MAC (*Media Access Control* – Control de Acceso al Medio) de los terminales satelitales o RCST (*Return Channel Satellite Terminal* - Terminal RCS), lo que permite tratar la red satelital como una red LAN (*Local Area Network* – Red de Área Local).

Mecanismo de Transporte MPE

El método de encapsulamiento MPE incluye un mecanismo de transporte para una gran variedad de servicios de comunicación de datos. Esta técnica se basa en las secciones DSM-CC (*Digital Storage Media – Command and Control* – Medio de almacenamiento digital

– Comando y control) y está orientada a proveer un servicio de emulación de LAN para el intercambio de datos.

Esta técnica es la recomendada para la transmisión de datos de Internet y además las funciones de segmentación y reensamblado son automáticas. Debido a la naturaleza de difusión de las redes DVB, la seguridad de los datos es de mucha importancia para el sistema, por lo que esta técnica de encapsulación, además de las ventajas anteriormente señaladas, permite una transmisión segura de datos a través de la encriptación de los paquetes y del cambio dinámico de direcciones MAC.

El método de encapsulación MPE consiste básicamente en una técnica mediante la cual se toman los datagramas provenientes de la capa Internet (datagramas IP), se los fragmenta en Secciones MPE y posteriormente se las encapsula dentro de los paquetes de transporte MPEG-2 TS.

Los datagramas entonces se transportan en "Secciones de Datagramas MPE", las cuales están sujetas al formato de sección DSM-CC para "Datos Privados", con ciertas variantes propias del encapsulado MPE.

El formato que se adopta para la sección MPE resulta eficiente para organizar los datagramas en los paquetes de flujo de transporte MPEG2, y además para soportar un "filtrado de datagramas" basado en la dirección MAC usando demultiplexores existentes en el equipo receptor, ya sean éstos en *hardware* o en *software*.

NORMA DVB-RCS

Las redes satelitales basadas en la tecnología DVB-S han tenido un éxito considerable especialmente para los servicios fundamentalmente de difusión que requieren poca o ninguna interacción por parte del usuario (por ejemplo difusión digital de televisión y radio).

Las necesidades del usuario, generadas principalmente por el desarrollo de Internet, motivaron a que estos servicios unidireccionales requieran un nivel de interactividad y un primer enfoque para conseguirlo fue la utilización de canales de retorno terrestre sobre la RTC (Red Telefónica Conmutada) o la RDSI (Red de Servicios

Integrados), tal y como se explicó anteriormente.

En principio, un canal de retorno terrestre sobre la RTC de baja velocidad no representaba un mayor problema para cierto tipo de servicios interactivos, donde la asimetría de comunicación entre lo que el usuario envía y lo que recibe es considerable (por ejemplo la navegación Web).

Sin embargo el canal de retorno terrestre no permite al operador satelital tener control sobre la calidad de servicio o QoS (*Quality of Service*) de dicho canal, ya que generalmente éste se encuentra bajo la administración de otro operador de red y además su utilización puede no ser la óptima, ya que la asignación de recursos es habitualmente exclusiva mientras dure la conexión.

Sumado a estos inconvenientes, un canal de retorno terrestre limita la ubicuidad de servicio dentro de la zona de cobertura de los sistemas satelitales, es decir, para prestar servicio en una determinada localidad no solamente se requiere que ésta se encuentre dentro del área de cobertura del satélite, sino que además exista una infraestructura de comunicación terrestre habilitada.

Este problema es de especial relevancia tomando en cuenta que es precisamente el mercado que se encuentra en zonas donde no existe una infraestructura terrestre, aquel de mayor importancia para las comunicaciones.

Un enlace de retorno satelital puede habilitar el acceso múltiple (por ejemplo MF-TDMA) de tal forma que la ocupación de los recursos puede optimizarse en función de la demanda de transmisión de los clientes.

Una comunicación bidireccional por satélite permite resolver los inconvenientes generados por la dependencia a una infraestructura de comunicación terrestre y además mantiene las ventajas inherentes en este tipo de comunicaciones.

Las comunicaciones bidireccionales por satélite a través de las pequeñas estaciones VSAT han sido una realidad desde hace varios años pero no han estado enfocadas al mercado del usuario común y constituyen soluciones propietarias costosas con los consiguientes problemas de compatibilidad y dependencia hacia un único proveedor de servicios.

Es entonces, que de la necesidad de una comunicación bidireccional por satélite asequible al usuario común, surge a principios del año 2000 el estándar de la ETSI EN 301 790 v1.4.1 para el canal de retorno satelital DVB-RCS el cual es una norma que permite la construcción de sistemas multimedia completamente interactivos por satélite con la gran ventaja de que ésta se basa en la tecnología DVB cuya aceptación respecto al canal de difusión DVB-S ha sido amplia.

La norma DVB-RCS tiene claramente una orientación a cubrir diferentes tipos de mercado, que van desde los usuarios domésticos, profesionales, hasta los corporativos de allí que las estaciones interactivas cuentan con diferente configuración y capacidades de acuerdo al escenario de su utilización.

De esta forma el estándar DVB-RCS no solo busca eliminar la dependencia a las redes terrestres sino también incrementar las velocidades de transmisión de las estaciones remotas y así ampliar el rango de servicios interactivos que se ofrecen mediante estos sistemas bidireccionales.

Cabe indicar que el estándar DVB-RCS presenta la especificación para la provisión del canal de retorno para redes satelitales interactivas a través de Satélites Geostacionarios (GEO) con Terminales Satelitales del Canal de Retorno fijos o RCST, pudiéndose aplicar dicha especificación a todas las bandas de frecuencia asignadas a los servicios satelitales GEO.

Modelo de referencia para Redes Satelitales Interactivas

Una Red Satelital Interactiva Global, dentro de la cual un gran número de RCSTs se encuentran operando, deberá presentar dentro de su estructura los siguientes bloques funcionales, tal como se ilustra en la figura 3.

Network Control Center (NCC)

Un NCC o Centro de Control de RED, proporciona Control (*Control*) y Funciones de Monitoreo (*Monitoring Functions*) (CMF) a toda la red. El NCC genera entonces, señales de control y de sincronización para el correcto funcionamiento de la Red Satelital Interactiva, las mismas que serán transmitidas por una o varias Estaciones Alimentadoras DVB-S o *Feeder Stations*.

Traffic Gateway (TG)

Un TG o Pasarela de Tráfico, recibe las señales de retorno de las RCSTs. Provee funciones de contabilidad, servicios interactivos y/o conexiones a proveedores de servicios propietarios y privados (bases de datos, *pay-per-view*, descarga de *software*, *tele-shopping*, *tele-banking*, servicios financieros, acceso a bolsas de valores, juegos interactivos, etc.) y a redes (Internet, ISDN, PSTN, etc.).

Feeder (Alimentador)

Un Alimentador transmite la señal del Enlace de Ida (*Forward Link*), la cual consiste de un *uplink* estándar DVB-S, sobre el cual se multiplexan datos de usuario y/o señales de control y sincronización necesarias para el funcionamiento de la Red Satelital Interactiva.

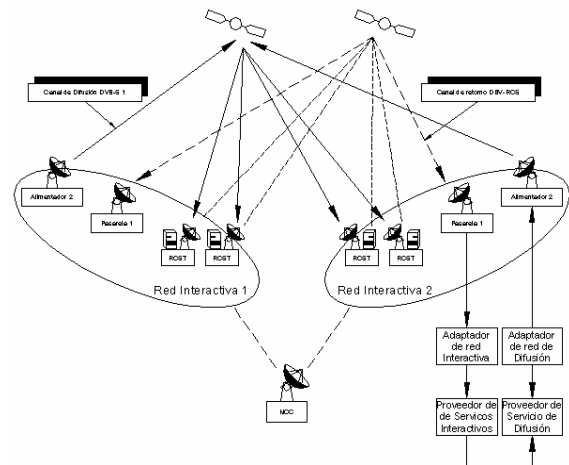


Figura 3 Modelo de referencia para Redes Satelitales Interactivas.

En la figura 3 se puede observar un enlace de difusión DVB-S, cuya función es la de transportar la señalización desde el NCC y el tráfico de usuario hacia las RCSTs, y que trabaja bajo el estándar DVB-S. Dicha señalización, la cual es necesaria para operar el sistema de enlace de retorno, será llamada "*Forward Link Signalling*" (FLS).

Cabe mencionar que tanto el tráfico de usuario y el *Forward Link Signalling* pueden ser llevados sobre diferentes enlaces de *Forward Link*. De hecho, son posibles varias configuraciones de RCST dependiendo del número de receptores DVB-S que estén presentes en la RCST.

Acceso múltiple MF-TDMA

En una red interactiva DVB-S/RCS el acceso al medio, por parte de las RCSTs, se lo logra a través de un esquema de Acceso Múltiple por División de Tiempo Multifrecuencial o MF-TDMA (*Multiple Frequency Time Division Multiple Access*) similar al de la figura 4.

Este esquema de acceso permite a un grupo de RCSTs comunicarse con un *Gateway* (que puede ser un ISP o el mismo NCC) utilizando un grupo de frecuencias portadoras, cada una de las cuales está dividida en ranuras de tiempo.

El NCC asignará a cada RCST activa una serie de ráfagas, cada una definida por una frecuencia, un ancho de banda, un tiempo de inicio y uno de duración.

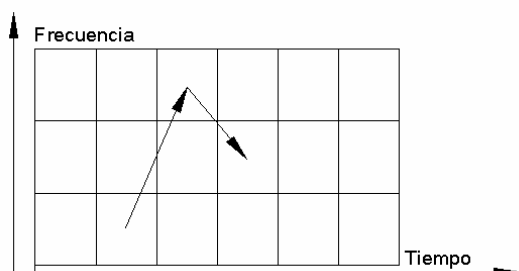


Figura 4 MF-TDMA de ranuras dinámicas, usando una RCST flexible.

Segmentación de la capacidad del enlace de retorno

En una Red Satelital Interactiva, las ranuras de tiempo del enlace de retorno están organizadas y numeradas de tal manera que la red pueda asignarlas a RCSTs individuales.

Con este propósito, los recursos de la Red Interactiva están organizados en Supertramas, Tramas y Ranuras de Tiempo (*Time Slots*).

Supertramas

Una supertrama es una porción de tiempo y frecuencia en el enlace de retorno y está siempre asociada a un identificador *Superframe_ID*. Dentro de las Redes Satelitales Interactivas, un *Superframe_ID* identifica los recursos del enlace de retorno accedidos por un grupo de RCSTs. La figura 5 muestra un típico ejemplo por el cual los *Superframe_IDs* son realmente grupos separados de frecuencias portadoras.

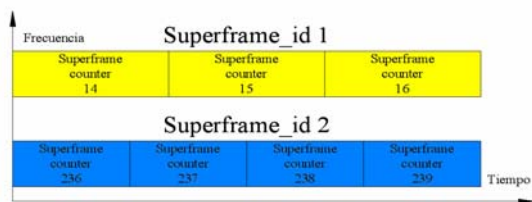


Figura 5 Ejemplo típico de supertramas de una Red Satelital Interactiva.

Tramas

Una supertrama está compuesta de tramas, y a su vez, éstas están compuestas por ranuras de tiempo. La trama está en un nivel intermedio entre las supertramas y las ranuras de tiempo.

En una supertrama, las tramas son numeradas desde 0 (la frecuencia más baja, primera en el tiempo) hasta N (la frecuencia más alta, última en el tiempo), ordenadas en tiempo y después en frecuencia como se muestra en la figura 6. N será menor o igual que 31.

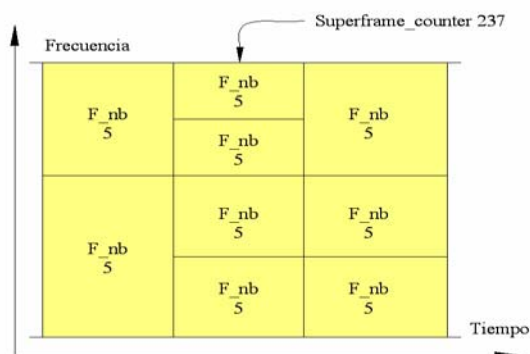


Figura 6 Ejemplo de composición de una supertrama.

Ranuras de tiempo

Una trama está compuesta por ranuras de tiempo. Un *frame_id* (valor que identifica una trama) identifica un arreglo particular de ranuras de tiempo. Por ejemplo, un *frame_id* = 1 podría identificar una secuencia de 10 ranuras de tiempo de tráfico de usuario en la misma portadora, y el *frame_id* = 2 una secuencia de 4 ranuras de tiempo de control seguidas por 8 ranuras de tiempo de tráfico de usuario, todas en la misma portadora.

Una trama puede abarcar algunas frecuencias portadoras. En una trama, las ranuras de tiempo son numeradas desde 0 (frecuencia más baja, primera en el tiempo) hasta M (frecuencia más alta, última en el tiempo),

ordenadas en tiempo y después en frecuencia como se muestra en la figura 7. M deberá ser menor o igual a 2 047.

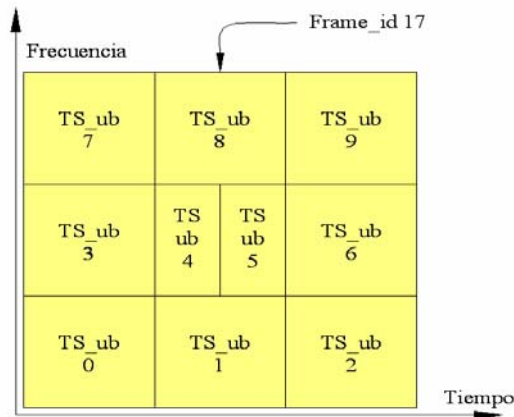


Figura 7 Ejemplo de composición de una trama.

Procedimientos De Sincronización

En esta sección se definirán los Procedimientos de Entrada conocidos también como *Terminal Logon Procedure* (TLP), que permiten al RCST acceder a la Red Satelital Interactiva así como también, cómo puede ésta abandonarla (procedimiento de salida *logoff*), tal como lo muestra la figura 8.

Se debe mencionar que, según lo establece la norma, el período de tiempo desde que el terminal se registra en la red hasta que la abandona es denominado sesión.

Con el fin de permitir el procedimiento de entrada, la RCST deberá encontrarse en un estado llamado *Receive Synchronization State*, el cual se alcanza siguiendo el "Procedimiento Inicial de Sincronización".

La entrada de una RCST dentro del sistema es entonces alcanzada siguiendo las cuatro fases indicadas a continuación y que más adelante serán tratadas a profundidad:

Procedimiento de entrada o TLP: La RCST solicita un acceso inicial a la red obteniendo información inicial de entrada de la misma (o alternativamente el pedido de entrada puede ser rechazado por la red).

Procedimiento de adquisición de sincronización gruesa (Acquisition coarse synchronization procedure): Es un procedimiento opcional que le permite a la RCST mejorar su sincronización

a nivel físico (ajustes de frecuencia, tiempo y potencia).

Procedimiento de sincronización fina (Fine Synchronization Procedure): Es un procedimiento también opcional que permite a la RCST completar su sincronización física.

Procedimiento para mantener la sincronización: Describe el proceso para que la RCST mantenga su sincronización física durante toda la sesión.

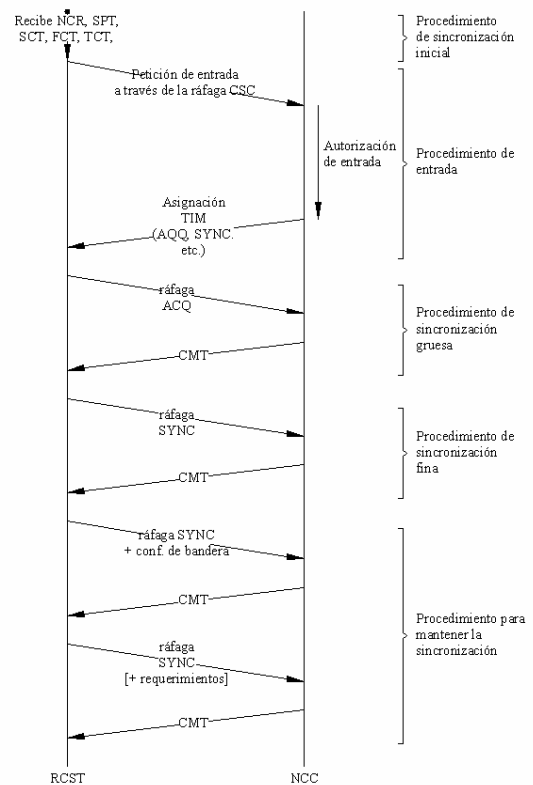


Figura 8 Ejemplo del flujo de señalización de entrada entre el NCC y la RCST.

MODELO DE SIMULACIÓN DE RED

Una red completamente interactiva por satélite cuenta con los elementos que se describen de manera resumida a continuación:

- Centro de Control de la Red NCC (*Network Control Center*). El NCC realiza las funciones de monitorización y control. Genera las señales de control y sincronización para la operación de la red interactiva y envía esta información a través de una o varias cabeceras de difusión DVB-S. Una red interactiva está

definida por un grupo de terminales a los que da servicio un único NCC.

- Pasarela de Tráfico (*Gateways*). Una pasarela recibe las señales de retorno de las RCST; ofrece funciones de manejo de las suscripciones, servicios interactivos o conexiones a proveedores de servicios públicos, propietarios o privados (bases de datos, *pay-per-view*, juegos interactivos, etc.) y a diferentes redes (Internet, RDSI, RTC, etc.).
- Alimentador DVB-S, cabecera de difusión (*Feeder Stations*). Un alimentador transmite el canal de difusión siguiendo la norma DVB-S. En este canal se encuentran multiplexados los datos de usuario junto con la información de señalización del NCC.
- Estaciones interactivas RCST. Terminales satelitales interactivos a través de canales ascendentes de formato DVB-RCS.

Propuesta De Arquitectura De Red

La arquitectura de red propuesta se desarrolla principalmente teniendo en cuenta la característica del satélite a utilizar. Como ya se indicó anteriormente, esta arquitectura utilizará satélites GEO transparentes o BPS (*Bent Pipe Satellite*); más específicamente el satélite no realizará ningún tipo de remultiplexación MPEG2 a bordo.

El servidor empleará portadoras independientes DVBS y las estaciones remotas corresponden a estaciones RCST con canales de retorno DVB-RCS. El esquema general de la arquitectura se muestra en la figura 9.

Las funciones de control y manejo de la asignación de recursos (DVB-RCS y DVB-S) estarán a cargo del NCC. Tanto el servidor como los clientes se convierten en clientes RCST del NCC para el intercambio de información de señalización, que consiste básicamente en peticiones de recursos, establecimiento de conexiones, control de entrada de las estaciones a la red y las funciones de mantenimiento de sincronización.

El servidor por tanto no asigna recursos de retorno RCS a sus clientes. Las RCSTs envían sus peticiones de capacidad de forma directa al NCC, con la excepción de las peticiones embebidas en ranuras de tráfico (DULM *Data Unit Labelling Method* – Método de Etiquetado

de Unidades de Datos), para las que el servidor realizará las funciones de conmutador hasta el NCC. Para el envío de señalización embebida se utilizará un PID (*Package Identifier* – Identificador de Paquetes) diferente al de datos.

El NCC tendrá asignada una portadora DVB-S exclusiva MO (*Master Outbound* – Enlace maestro) o TS primario, donde se encuentra multiplexada la información de señalización RCS (SCT (*Superframe Composition Table*), TCT (*Time-Slot Composition Table*), FCT (*Frame Composition Table*), TBTP (*Terminal Burst Time Plan*), *unicast/broadcast* TIM (*Terminal Information Message*), entre otras) por lo que se debe recibir por todas las estaciones RCST, sea el servidor o los clientes.

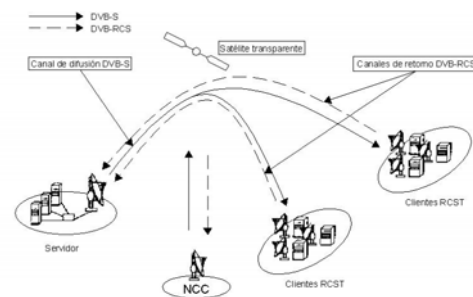


Figura 9 Esquema general de la arquitectura de red.

Al ser el MO un canal DVB-S independiente podría también transportar tráfico de datos junto con el de señalización; por ejemplo, en el caso de que un proveedor de servicios se encuentre ubicado en la misma localidad del NCC, tal como se contempla en las redes ICMSN (*Interactive Channel for Multimedia Satellite Networks* – Canal Interactivo para Redes Satelitales Multimedia). En todo caso, el objetivo principal del MO será el transporte de señalización entre los clientes y el NCC.

Como se mencionó anteriormente, el servidor es también un cliente RCST del NCC con la diferencia de que cuenta con una portadora de transmisión DVB-S independiente (LSO, *Local Server Outbound*), con la que da servicio a su población de clientes RCST, y además le es asignado un conjunto de portadoras RCS, sobre las que se construirán los canales de retorno de los clientes RCST que acceden al servidor. Por tanto, el servidor únicamente recibirá ráfagas de tráfico TRF (*Traffic Burst*) desde sus clientes RCST.

Debido a que la información de señalización de los clientes puede enviarse a través del método DULM, lo que implica que el servidor retransmitirá por su LSO esta información a fin de que la reciba el centro de control de la red, el NCC contará con un receptor DVB-S destinado para recibir este tipo de tráfico.

La información de señalización enviada por los clientes utilizará identificadores de paquetes PID previamente definidos por el operador de la red, facilitando el filtrado de los mismos por parte del servidor y el NCC. Esta característica no añade demasiada complejidad ni coste al NCC teniendo en cuenta que este tipo de receptores son de consumo masivo y de bajo precio.

Los clientes RCST reciben el MO y el LSO en portadoras DVB-S independientes, por lo que deberán entonces contar con al menos dos receptores DVB-S, además de un modulador DVB-RCS para el canal de retorno. Esta característica de tener más de un receptor satelital DVB-S está contemplada en el estándar RCS, donde el número de receptores con los que cuenta un terminal se indica en la tabla de capacidades que la RCST envía al NCC durante el proceso de entrada al sistema en las ráfagas CSC (*Common Signalling Channel*).

El servidor, a pesar de que es una estación RCST, posee adicionalmente un modulador DVB-S y un demodulador DVB-RCS para la recepción de las ráfagas de tráfico que el NCC le ha asignado.

Topología NS de la arquitectura de red

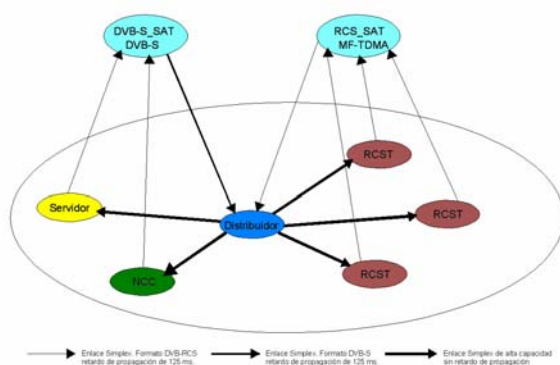


Figura 10 Modelo NS de la arquitectura de red.

En esta sección se presenta de forma general la topología y componentes del modelo NS de la arquitectura de red. El esquema de la arquitectura puede observarse en la figura 10.

La figura 10 muestra un sistema con una población de clientes RCSTs y un servidor de Internet ISP. Las funciones del satélite para el canal de difusión y de retorno se realizan con dos tipos de nodos NS, es decir, los nodos que utilizan canales DVB-S, como el servidor y el NCC, acceden a un único nodo DVBS_SAT.

Por otro lado, las estaciones clientes RCST acceden a nodos NS que simulan el acceso RCS y que se denominan RCS_SAT. El modelo de simulación adoptado permite de esta forma evaluar las necesidades del canal de retorno y de difusión.

Tal como se había mencionado en la sección anterior, la simulación de la difusión del satélite se realiza a través de un nodo Distribuidor que no introduce retardo de propagación ni de transmisión en los enlaces que mantiene con todos los nodos de la red.

Esta característica hace posible utilizar la funcionalidad NS implantada para redes terrestres (por ejemplo la multidifusión *multicast*) al mismo tiempo que permite evaluar de forma más sencilla la utilización del ancho de banda de los enlaces descendentes, ya que éstos son únicos desde los nodos que simulan el satélite hasta el nodo Distribuidor.

Simulador NS

NS es un simulador de redes manejado por eventos, que permite simular una gran variedad de redes IP.

NS implementa protocolos de redes tales como TCP (*Transmission Control Protocol* – Protocolo de Control de Transmisión) y UDP (*User Datagram Protocol* – Protocolo de Datagramas de Usuario); comportamiento de fuentes de tráfico como FTP (*File Transfer Protocol* – Protocolo de Transferencia de Archivos), Telnet, Web, CBR (*Constant Bit Rate*) y VBR (*Variable Bit Rate*); mecanismos de manejo de colas como *Droptail*, RED (*Random Early Detection* – Detección Remota Aleatoria) y CBQ (*Control Bandwidth Queue* – Control de Ancho de Banda); algoritmos de ruteo como Dijkstra, etc., también implementa protocolos *multicasting* y algunos protocolos de la capa MAC para simular LANs.

Como se observa en la figura 11, NS es un intérprete de *scripts* del lenguaje Tcl (*Tool Command Language*) Orientado a Objetos, el cual tiene un planificador de eventos de simulación, librerías de objetos, componentes

de red y librerías de módulos de instalación de red (implementación). En otras palabras, para crear simulaciones en NS, se debe programar en lenguaje de *scripts* Otcl (*Object Tcl*).

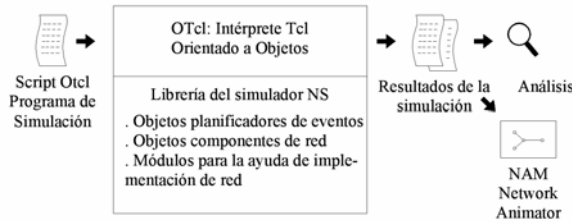


Figura 11 Esquema de simulación en NS.

NS está escrito, no sólo en Otcl sino también en C++. Por razones de eficiencia, NS separa la implementación de trayectoria de datos, de las implementaciones de las trayectorias de control.

Con el fin de reducir el tiempo de proceso de paquetes y eventos (tiempo de no simulación), el planificador de eventos y los objetos de componentes básicos de red en la trayectoria de datos están escritos y compilados en C++.

Un aspecto importante en NS es la obtención de resultados de las simulaciones. Como se indica en la figura 11, cuando una simulación termina, NS produce uno o más archivos de texto de salida que contienen datos detallados de la simulación (figura 12), siempre y cuando en el *script* Otcl se lo haya especificado.

```
r 1.3556 3 2 ack 40 ----- 1 3.0 0.0 15 201
+ 1.3556 2 0 ack 40 ----- 1 3.0 0.0 15 201
- 1.3556 2 0 ack 40 ----- 1 3.0 0.0 15 201
r 1.35576 0 2 tep 1000 ----- 1 0.0 3.0 29 199
+ 1.35576 2 3 tep 1000 ----- 1 0.0 3.0 29 199
d 1.35576 2 3 tep 1000 ----- 1 0.0 3.0 29 199
```

Figura 12 Ejemplo de archivo de salida

Los datos pueden ser usados para analizar la simulación o para desplegar una simulación gráfica con la herramienta *Network Animator* (NAM) (Figura 13).

Simulaciones

Una vez que se ha realizado la descripción de los aspectos generales y específicos de diseño de la arquitectura de red y habiendo definido el modelo de simulación, se realiza la evaluación de prestaciones de la red mediante al análisis de los resultados obtenidos tras la consecución de varias simulaciones.

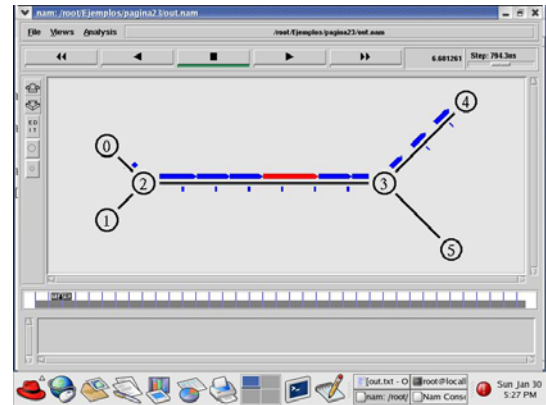


Figura 13 Visualización NAM de una red sencilla de seis nodos.

Consideraciones generales

El escenario de simulación escogido, para probar el comportamiento de la red propuesta, se adapta a un escenario del tipo residencial en el que se ha considerado como referencia a un edificio de apartamentos con 30 usuarios domésticos de Internet.

La figura 14 muestra un esquema general de la topología de la red de acceso a Internet. En ella se puede observar que, básicamente se tiene como elementos de red a un ISP, una o varias estaciones RCST, el centro de control de la red NCC y el satélite transparente.

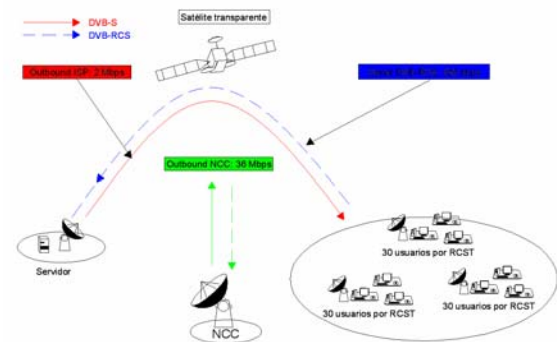


Figura 14 Topología básica de la Red para Acceso a Internet DVB-S/RCS.

La versión del simulador, sobre la cual se han creado los distintos programas de simulación, es la NS-2.1b6. La elección de una u otra versión, no resta de ninguna manera validez a los resultados obtenidos en las simulaciones, puesto que las prestaciones y funcionalidades básicas del simulador son las mismas independientemente de su versión.

La tabla 1, muestra los parámetros configurados para la obtención de resultados a

través de las simulaciones, y que son configurables si se deseara simular por ejemplo otros escenarios u otras aplicaciones sobre la red propuesta.

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo de sondeo de las colas	680 (ms)
Tiempo de simulación	14000 (s)
No. de <i>time-slots</i> /trama	18 (ver Nota)
Longitud de Multitrama	140.622 (ms)
Longitud de Trama	70.311 (ms)
No. de Tramas/Multitrama	2
No. de Portadoras RCS	2
No. de <i>time-slots</i> de tráfico (TRF)	17
No. de <i>time-slots</i> de señalización	1
No. de <i>mini-slots</i> /slot de señalización	5
No. de <i>mini-slots</i> CSYNC	3
Período del <i>slot</i> CSYNC	70.311 (ms)
Período del <i>slot</i> CSC	703.11 (ms)
Ancho de Banda <i>Outbound</i> NCC	36 Mbps
Ancho de Banda <i>Outbound</i> ISP	2 Mbps
Ancho de Banda <i>Downlink</i> DVB-RCS	36 Mbps
NOTA: 1 <i>time-slot</i> de tráfico equivale a una velocidad de transmisión RCST estándar de 385 Kbps.	

Tabla 1 Parámetros de configuración de la red.

Archivos de trazo obtenidos

Se obtuvieron dos archivos de texto propios de NS, uno que contiene la información de trazo específica (figura 15) y otro que contiene los comandos para que la herramienta NAM pueda simular de manera gráfica el comportamiento de la red (figura 16).

```

OUT.TR
+ 396.795284 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 80
- 396.795284 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 80
+ 396.795284 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 81
- 396.795288 3 1 NCC_RxConnSetup 180 ----- 177 3.240 5.240 -1 81
r 396.814542 1 0 ack 1500 ----- 1000 4.27 5.27 4381 74
+ 396.814542 0 5 ack 1500 ----- 1000 4.27 5.27 4381 74
- 396.814542 0 5 ack 1500 ----- 1000 4.27 5.27 4381 74

```

Figura 15 Archivo de trazo out.tr

Como se puede apreciar en la figura 16, la visualización NAM permite ver el flujo de los distintos paquetes y mensajes que cursan la red. En el ejemplo son claramente distinguibles

los distintos nodos de la topología NS de la red, así como los enlaces entre ellos.

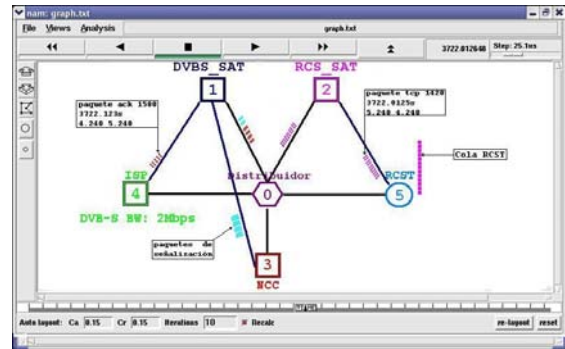


Figura 16 Visualización NAM de graph.txt

Obtención de resultados

La figura 17 es un ejemplo de los retardos de los paquetes provenientes del servidor ISP, obtenidos al simular la red con 18 estaciones RCST.

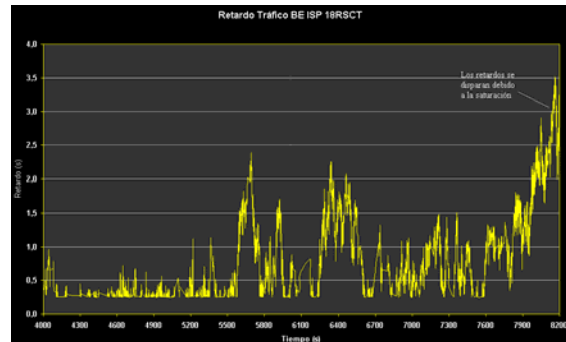


Figura 17 Retardo de tráfico BE desde el ISP (18 RCST).

Como se puede apreciar, para un ambiente con 18 RCST, el sistema alcanza niveles de saturación intolerables que elevan demasiado el retardo del tráfico del ISP, debido al encolamiento que deben sufrir los paquetes por no disponer de la capacidad suficiente en el canal de difusión.

Es decir que para un ISP con un canal DVB-S de 2 Mbps, un ambiente con 18 RCST se volvería inestable y lento durante la hora pico de tráfico, según los datos obtenidos de las simulaciones. Sin embargo se observó un desempeño aceptable de la red con 16 RCST activas en el sistema.

Por tanto, para un ISP que cumpla estas condiciones, se prevería la carga de RCST no mayor a 16 (480 usuarios) para garantizar la

estabilidad del sistema y las prestaciones de la red durante la hora pico.

La figura 18 presenta los resultados obtenidos en las distintas simulaciones. Con dicha información se aprecian claramente las tendencias en el comportamiento del sistema, tales como retardos, *throughput*, etc., frente al número de usuarios presentes en la red.

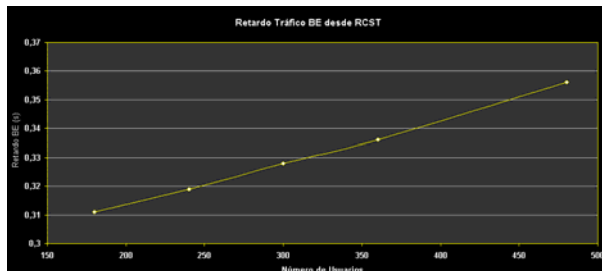


Figura 18 Retardo Tráfico BE desde el RCST vs. No. de Usuarios.

FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN

El análisis de la factibilidad de la implementación de la red para acceso a Internet DVB-S/RCS planteada en el presente proyecto, se basa en la comparación de las prestaciones de la misma frente a aquellas ofrecidas por redes reales de acceso a Internet que dan servicio en nuestro medio en un escenario similar al simulado.

Es precisamente el entorno formado por clientes *dial-up* el que más se parece al escenario que ha sido evaluado en las simulaciones. Esta similitud radica en que el modelo de tráfico de usuario utilizado responde a aquellos del tipo doméstico o residencial que constituyen justamente la clase de clientes *dial-up*.

Un primer punto a favor del sistema propuesto es que éste consta con todas las ventajas inherentes a las comunicaciones vía satélite. La ubicuidad, independencia de la infraestructura terrestre, independencia de la densidad poblacional de la zona de servicio, rápida instalación, etc., son todas ventajas de este tipo de redes.

Al realizar el dimensionamiento de un ISP previsto para dar servicio de Internet a 300 usuarios *dial-up* y algunos corporativos, se observa que un estudio de esta clase se basa en el análisis de ISP reales que trabajan en el Ecuador y en base a sus características de operación se establecen ciertos criterios y

consideraciones. Algunos de esos criterios se los muestra en la tabla 2.

Consideración	Descripción
Calidad de servicio	4:1 ¹
<i>Throughput</i> promedio por usuario <i>dial-up</i>	33,6Kbps
Relación usuario/línea	12:1 ²
Tiempo de descarga de una página Web de 50KB	≈ 30s

Tabla 2 Consideraciones de diseño de un ISP. [1]

Si bien es cierto en el diseño de la arquitectura de red no se ha implementado ningún mecanismo de calidad de servicio, se puede deducir una relación similar a la primera, presentada en la tabla 2, partiendo del escenario de simulación en el que se establece que el número promedio de sesiones de Web *surfing* se considera como el número de sesiones abiertas simultáneas durante la hora pico (7,9 ≈ 8 sesiones simultáneas), es decir que bajo esas condiciones de tráfico habrán 8 usuarios navegando en la red simultáneamente.

Ahora bien, en referencia a los experimentos realizados, el *throughput* generado por el ISP (131,70 Kbps) corresponde al *throughput* de bajada de los usuarios Web; y el de la RCST (4,61 Kbps) corresponde al *throughput* de subida. En consecuencia, durante la hora pico a cada usuario activo (recordar que existen 8 usuarios navegando simultáneamente) le corresponderá un *throughput* de bajada de

$$\frac{131,701 \text{ Kbps}}{8 \text{ usuarios}} = 16,46 \text{ Kbps / usuario}$$

El valor de 16,46 Kbps/usuario ofrecido por el sistema DVB-S/RCS durante la hora pico es de casi el doble del ofrecido por el entorno *dial-up* que corresponde a 8,4 Kbps/usuario también durante la hora pico.

¹ Es un dato referencial recomendado para ISP reales. Indica que para las horas pico, un usuario tendrá la cuarta parte del *throughput* promedio establecido (8,4 Kbps) ya que habrán 4 sesiones simultáneas.

² Representa el número de usuarios *dial-up* presentes por línea en el ISP.

$$\frac{33,6Kbps}{4usuarios} = 8,4Kbps$$

En referencia al retardo en la descarga de una página Web de 50 KB, se tiene que para el caso DVB-S/RCS éste viene dado por:

$$R_{Web} = R_{pp} \times P_{PW}$$

En donde $R_{pp} = 0,556$ s corresponde al retardo promedio por paquete TCP transmitido

por el ISP y P_{PW} representa el número de paquetes TCP (MTU = 1500 bytes) que contiene una página Web de 50 KB, el cual es 33,33 paquetes/página Web:

$$P_{PW} = \frac{50KB}{1,5KB} = 33,33 \quad (1)$$

Reemplazando $R_{pp} = 0,556$ s y $P_{PW} = 33,33$ paquetes/página Web en la ecuación (1) se tiene que el retardo en la descarga de una página Web corresponde a:

$$R_{Web} = 0,556s \times 33,33 \text{ paquetes/página Web}$$

$$R_{Web} = 18,53 \text{ s}$$

Se puede notar que $R_{Web} = 18,53$ segundos es mucho menor al retardo experimentado en un ambiente *dial-up* ($\approx 30s$) siendo casi la mitad que éste para el sistema DVB-S/RCS simulado.

En base a estos datos, tanto de *throughput* como de retardo, se puede indicar que las prestaciones obtenidas de la red DVB-S/RCS son ampliamente superiores a las presentadas por el ambiente *dial-up* propuesto por el estudio mencionado anteriormente, por lo que la implementación del sistema, bajo el punto de vista de las prestaciones del mismo, es totalmente factible y se presenta como una buena alternativa frente a las redes cableadas.

REFERENCIAS

[1] M. Caicedo, F. Yáñez, "Planificación de un proveedor de servicios de Internet y diseño de su sistema de seguridad", Escuela Politécnica Nacional, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y

Telecomunicaciones. Director: Ing. Pablo Hidalgo.



Barba M. Hernán V., Ing.

Nacido en Machachi, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha - Ecuador el 7 de enero de 1982. Realizó sus estudios primarios en la Escuela "Dos Bosco" (Quito - Ecuador) y los secundarios en el Colegio "San Luis Gonzaga" de la Compañía de Jesús (Quito - Ecuador), en donde obtuvo el título de Bachiller en Ciencias, Especialidad Físico Matemático en 1999.

Cursó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional (Quito - Ecuador), en donde realizó el proyecto de titulación bajo la dirección del Ing. Pablo Hidalgo L. obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en septiembre de 2006.



Chafra A. Juan F., Ing.

Nacido en Riobamba, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo - Ecuador el 11 de julio de 1981. Realizó sus estudios primarios en la Escuela "El Despertar" (Riobamba Ecuador) y los secundarios en el Colegio "San Felipe Neri" de la Compañía de Jesús (Riobamba - Ecuador), en donde obtuvo el título de Bachiller en Ciencias, Especialidad Físico Matemático en 1999.

Completó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional (Quito - Ecuador), en donde realizó el proyecto de titulación bajo la dirección del Ing. Pablo Hidalgo L. obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en septiembre de 2006.

En junio de 2006 ganó una beca completa por excelencia académica para estudiar desde septiembre de 2006 en el *Politecnico di Torino* Torino - Italia y así obtener su título de *Master in Wireless Systems and Related Technologies*.