

**Modelo para el sistema de
posicionamiento de las
antenas de la estación
terrena satelital de la
Universidad Pedagógica
y Tecnológica de
Colombia**

**Model for positioning
system on antennae
of the satellite ground
station UPTC**

Para citar este artículo / To reference this article
/ Para citar este artículo: Vera Cely, Ó. F. y Mesa
Lara, J. A. (2015). Modelo para el sistema de
posicionamiento de las antenas de la estación
terrena satelital de la Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia. *Ingenio Magno*, 6, pp.
24-33.

Óscar Fernando Vera-Cely

Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia, Facultad de Ingeniería,
Grupo de Investigación Infelcom
oscar.vera@uptc.edu.co

Jairo Alonso Mesa-Lara

Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia, Facultad de Ingeniería,
Grupo de Investigación Infelcom
jairo.mesa@uptc.edu.co

Recepción: 13 de abril de 2015

Aceptación: 7 de Octubre de 2015

Resumen

La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia cuenta con una estación terrena satelital, la cual fue diseñada con base en el modelo tradicional monolítico, que está conformado por los siguientes elementos: antenas, mecanismo servomotor, transceptor y módem. Un aspecto importante para el buen funcionamiento de la estación terrena satelital es la correcta ubicación de las antenas de recepción y de transmisión, a fin de poder hacer seguimiento a satélites de órbita baja. Por esta razón, en el presente artículo se hace un análisis de las variables y el *hardware* que intervienen en la ubicación en azimut y elevación de dichas antenas, y luego se concluye con la propuesta de un modelo que ayude a describir el sistema de posicionamiento de estas. El modelo propuesto servirá de apoyo a trabajos futuros que involucren sistemas de control, con el fin de automatizar el proceso de posicionamiento de las antenas de la estación terrena satelital. Este trabajo forma parte de los resultados obtenidos en el proyecto de grado de maestría titulado *Análisis de desempeño del protocolo AX.25 en el sistema de comunicación de la estación terrena satelital UPTC*, que se desarrolló con el apoyo del Grupo de Investigación en Informática, Electrónica y Comunicaciones (Infelcom) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Palabras clave: antena, estación terrena satelital, modelo, posicionamiento.

Abstract

The Pedagogical and Technological University of Colombia has a satellite ground station, which was designed based on the traditional monolithic model, which consists of the following elements: antennas, servomotor mechanism, transceiver and modem. An important factor for the good operation of the satellite ground station is the correct location of the antennae for reception and transmission in order to track satellites in low orbit. This paper shows an analysis of the variables and the hardware involved in the location in azimuth and the elevation of the antennas to conclude with the proposal of a model that helps to describe the positioning system for the antennae. The proposed model will support future works involving control systems in order to automate the process of positioning of antennae of the satellite ground station. This work is part of the results obtained in the master thesis project entitled "Analysis of performance of the AX.25 protocol in the communication system of satellite earth station UPTC" which was developed with the support of the Informatics, Electronics and Communications Research Group of the Pedagogical and Technological University of Colombia.

Keywords: antenna, satellite ground station, model, positioning.

1. Introducción

Las comunicaciones a través de redes satelitales son una tecnología que ha ido tomando fuerza en los últimos años, desde la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), hasta los grupos de investigación de universidades alrededor del mundo, que han ido incrementando el estudio de este tipo de

comunicaciones. Así, en concreto, en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (en adelante, UPTC) se dio inicio a las investigaciones en el área de comunicación satelital con el proyecto macro de montaje y puesta en marcha de una estación terrena satelital para el seguimiento de satélites de órbita baja (LEO). El estudio está siendo desarrollado por el Grupo de

Investigación Infelcom, y se han logrado avances en esta área en la región de Boyacá.

Un sistema de comunicación satelital está compuesto básicamente por el satélite y por una unidad en tierra que permita procesar la información proveniente de él. Dicha unidad se conoce como *estación terrena* (Rosado, 1999, p. 15).

La UPTC cuenta con una estación terrena satelital, la cual fue diseñada siguiendo el esquema tradicional monolítico (Espindola, Nonsoque y Molano, 2012, p. 2), conformado por los siguientes elementos: antenas, mecanismo de servomotor, transceptor y módem. El sistema para posicionamiento de las antenas se conforma por un rotor YAESU G-5500 y su controlador manual, el cual permite una cobertura en azimut de 360° y en elevación de 180°, lo que hace que se adapte a la necesidad de hacer seguimiento a satélites de órbita baja (LEO).

En una estación terrena satelital, el sistema de posicionamiento de las antenas cumple un importante papel a la hora de realizar el seguimiento a los satélites, ya que es el que ejecuta las instrucciones entregadas por el *software* o por un operario (Pratt, Bostian y Allnut, 2006, p. 23).

A partir de esta premisa, se presenta el desarrollo de este artículo, que tiene como objetivo presentar un modelo del sistema de posicionamiento de las antenas en la estación terrena satelital de la UPTC. Dicho modelo se soporta en los conceptos presentados en la sección II. Además, se utilizaron los métodos y materiales descritos en la sección III. En la sección IV se presentan los resultados que surgen del modelo obtenido con la ayuda del *software* de simulación Matlab. La discusión y el aporte de este trabajo se presentan en la sección V, y finalmente se presenta la conclusión en la sección VI.

2. Marco teórico

Una estación terrena satelital tiene como función transmitir, recibir y procesar los datos provenientes de satélites de órbita baja. La estación debe ser capaz de establecer comunicación con una o más estaciones utilizando la ayuda de uno o varios satélites reflectores (Espindola, Ferro y Mesa, 2013, p. 27).

El esquema general del *hardware* que interviene en el posicionamiento de las antenas en la estación terrena satelital UPTC se muestra en la figura 1.

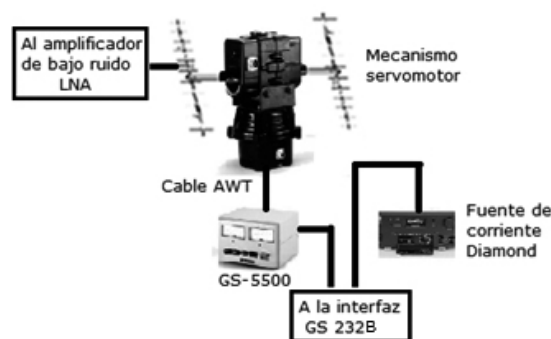


Figura 1. Hardware de la estación terrena satelital de la UPTC

Fuente: Espindola, Nonsoque y Molano (2012, p. 2).

El desarrollo de este trabajo hizo énfasis en la sección correspondiente a las antenas y al mecanismo que se encarga de posicionarlas, conformado por el rotor YAESU G-5500. Este sistema permite realizar el posicionamiento de las antenas a partir de las posiciones de azimut y elevación.

Uno de los métodos de seguimiento a los satélites se realiza por medio del posicionamiento de las antenas, en tanto la orientación de estas se basa en los ángulos de azimut y elevación. Estos valores dependen de la ubicación geográfica de la estación y de la posición del satélite al cual se busca hacer el seguimiento (figura 2).

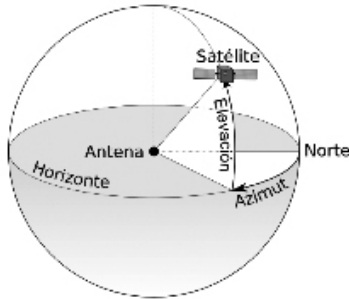


Figura 2. Ángulos de azimut y elevación

Fuente: LinuxmanR4 (2010).

Según Ogata (2003, p. 3), un proceso se define como una operación o un desarrollo natural físicamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados. A partir de lo anterior se puede definir el posicionamiento de las antenas como *proceso*.

De igual forma, Ogata (2003, p. 3) define *sistema* como la combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado; entonces, es posible modelar el proceso de posicionamiento de las antenas como un sistema en el que interactúan el rotor y las antenas. Desde esta perspectiva, el rotor hace las veces de actuador dentro del sistema (figura 3).



Figura 3. Rotor YAESU G-5500

Fuente: Yaesu (2014, p. 1).

3. Materiales y métodos

El procedimiento se llevó a cabo inicialmente recopilando la información y los parámetros que definen el sistema de posicionamiento de las antenas de la estación terrena de la UPTC. Posteriormente se propone el modelo que representa el sistema.

Las características del actuador que utiliza la estación terrena UPTC para el posicionamiento de las antenas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del rotor YAESU G-5500

Variable	Rango
Requisitos de voltaje	110-220 o 200-240 VAC
Voltaje del motor	24 VAC
Tiempo de rotación	Elevación (180°): 67 segundos Azimut (380°): 58 segundos
Operación continua máxima	5 minutos
Torque de freno	Elevación: 40 kg-m (289 ft-lbs) Azimut: 40 kg-m (289 ft-lbs)
Carga vertical	200 kg (440 lbs)
Precisión de apuntado	±4%

Fuente: Yaesu (2014, p. 1).

El rotor tiene la función de posicionar las antenas según las instrucciones que se le den de forma manual desde el equipo de cómputo, es decir, obtener el azimut de salida $o(t)$ a partir de un ángulo de entrada $i(t)$. En la figura 4 se muestra la forma en que se conecta la antena al rotor G-5500.



Figura 4. Conexión de antenas al rotor G-5500

Fuente: Autores.

Este sistema se puede caracterizar a partir de un modelo como el que se presenta en la figura 5, el cual involucra un desplazamiento angular como comando de entrada. Este comando debe convertirse en una señal de voltaje que pueda ser enviada a la salida del sistema para obtener el desplazamiento angular en las antenas.

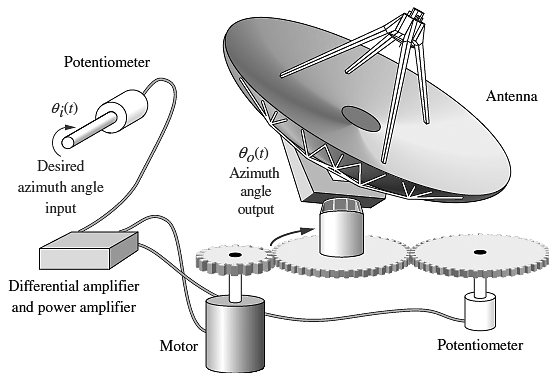


Figura 5. Modelo de un sistema de control de posición angular.

Fuente: Nise (2011, p. 19).

Según el sistema presentado en la figura 5, es posible modelar el comando de entrada a partir de un potenciómetro, como también medir el desplazamiento en las antenas.

El modelo que se propone en el desarrollo de este trabajo tiene como fin ser el punto de partida para el diseño y la implementación de un sistema de control que permita posicionar las antenas de la estación terrena satelital UPTC de manera automática. Por lo anterior, es necesario incluir un bloque de realimentación dentro del sistema, con el fin de comparar la salida con la entrada. En la figura 6 se presenta un diagrama esquemático para el sistema.

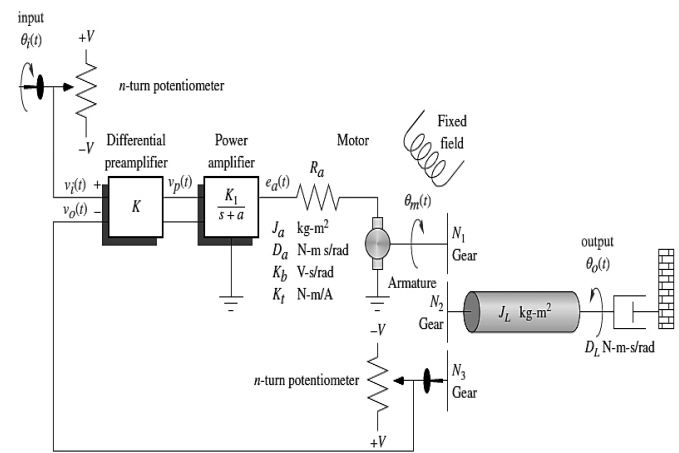


Figura 6. Diagrama esquemático del sistema

Fuente: Nise (2011, p. 19).

Con base en este diagrama se puede concluir que el sistema debe operar para llevar el error a cero. Esto significa que la señal de entrada concuerda con la salida. Cuando esto sucede, el motor se detiene y las antenas deben estar posicionadas.

Para la descripción funcional del sistema de posicionamiento se recurre al diagrama de bloques funcional que se presenta en la figura 7.

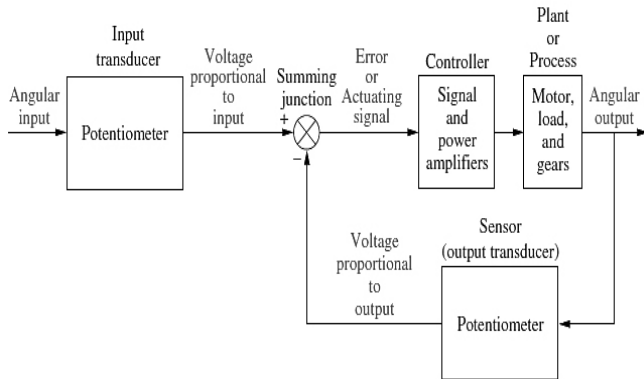


Figura 7. Diagrama de bloques funcional del sistema

Fuente: Nise (2011, p. 20).

Con base en el diagrama esquemático y en el de bloques funcional, se observa que el sistema de posicionamiento de una antena tiene implícito varios subsistemas. Además, es necesario analizar cada subsistema para poder obtener un modelo completo. Para este caso no se tiene en cuenta el bloque correspondiente al sensor.

Los subsistemas que intervienen en el posicionamiento de las antenas en la estación terrena satelital UPTC se pueden definir así:

- a. Subsistema de entrada. Rotación angular ingresada por el operario de la estación ($\theta_i(t)$). Esta rotación se puede definir en términos de la señal de voltaje de entrada al sistema y, por ende, es posible obtener la función de transferencia para este subsistema. Así se muestra en la ecuación (1), en la que se toma como referencia el punto de voltaje medio y se obtiene una excursión de 12 voltios:

$$\frac{V_i(s)}{\theta_i(s)} = \frac{12}{12\pi} = \frac{1}{\pi} \quad (1)$$

- b. Preamplificador y amplificador. Para el modelo del preamplificador se asume que este nunca va a llegar a saturación. La función de transferencia del preamplificador se puede modelar a partir de una ganancia proporcional, según se muestra en la ecuación (2):

$$\frac{V_p(s)}{V_e(s)} = K \quad (2)$$

De igual forma es posible definir la función de transferencia para el amplificador, que se describe en la ecuación (3):

$$\frac{E_a(s)}{V_p(s)} = \frac{120}{s + 120} \quad (3)$$

- c. Motor y carga. El motor es el actuador principal de este sistema. Para este caso, la función de transferencia que represente el comportamiento del motor con la carga de las antenas se muestra en la ecuación (4):

$$\frac{\theta_o(s)}{E_a(s)} = \frac{0,283}{s(s + 1,71)} \quad (4)$$

A partir de las funciones de transferencia de cada uno de los subsistemas se obtiene una representación del sistema en lazo abierto, como se muestra en la figura 8.

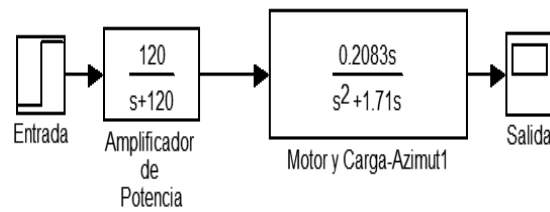


Figura 8. Esquema básico del modelo del sistema

Fuente: Autores.

4. Presentación de resultados

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas realizadas. Se utilizó el modelo sugerido por Nise (2011, p. 21). Además de las ecuaciones para obtener una respuesta del sistema en lazo abierto, las funciones de transferencia se estimaron a partir de los parámetros de funcionamiento del rotor YAESU G-5500, que es el actuador principal en el sistema de posicionamiento de las antenas de la estación terrena satelital UPTC.

Los resultados se obtuvieron con la ayuda del software Matlab, en el que se implementó la función de transferencia del sistema en lazo abierto y se aplicó una función escalón en la entrada. La respuesta obtenida se muestra en la figura 9, donde la escala horizontal comprende valores de 0 a 10 segundos y la escala vertical tiene valores entre 0 y 1,4 voltios.

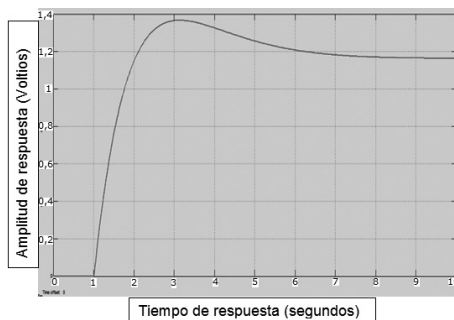


Figura 9. Respuesta al escalón unitario del modelo del sistema

Fuente: Autores.

Se modificó la constante de ganancia de amplificación del modelo con el fin de observar el comportamiento de la respuesta en el dominio del tiempo. El cambio realizado fue disminuir en factor de 20 esta ganancia. Una vez realizadas las modificaciones, se obtuvo el resultado que se muestra en la figura 10.

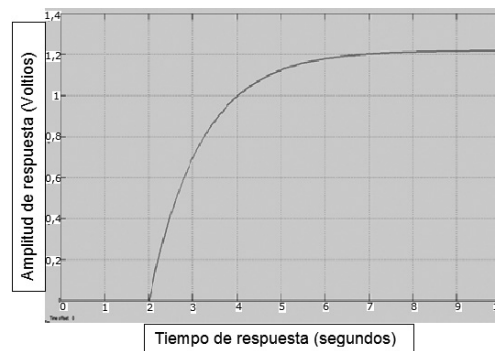


Figura 10. Respuesta al escalón unitario del modelo del sistema variando la ganancia de amplificación

Fuente: Autores.

A partir de los resultados obtenidos, se presenta un modelo que tiene dos variables de entrada (en este caso son las señales que representan la posición en azimut y elevación deseadas). En la salida del sistema se obtendrá una respuesta que le indique al actuador la posición a la que debe moverse. En la figura 11 se presenta el diagrama de bloques del sistema de posicionamiento y se muestra un bloque codificador de señal antes de la salida hacia el actuador. Este bloque se encarga de adaptar las señales para que puedan ser entendidas por el rotor.

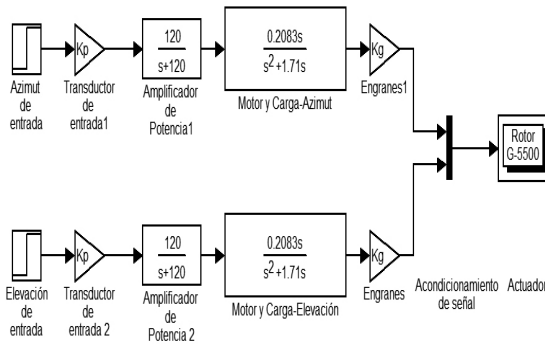


Figura 11. Modelo propuesto para el sistema de posicionamiento de las antenas de la estación terrena satelital UPTC

Fuente: Autores.

El modelo propuesto relaciona las variables de entrada por medio de un transductor que tiene como función convertir las variables de posición angular en señales eléctricas. Estas últimas se aplican a un amplificador con una ganancia de 120, con el fin de generar una señal en el motor y acondicionarla de tal forma que permita realizar el posicionamiento. Las constantes del bloque correspondiente al motor son propias de los actuadores con que cuenta el rotor G-5500.

5. Discusión

El desarrollo de este trabajo permite una mejor comprensión del sistema de posicionamiento de las antenas de la estación terrena satelital UPTC. Este trabajo está soportado en el análisis del modelo matemático que describe un sistema de posicionamiento angular a partir de señales de entrada. Además, el análisis fue realizado utilizando el sistema actuador de la estación terrena satelital UPTC.

Los resultados obtenidos en este trabajo constituyen un aporte al área de las comunicaciones satelitales en Colombia y específicamente en la región de Boyacá. Estos resultados se pueden apoyar en trabajos como los de Espindola *et al.* (2012, p. 1), Espindola, Ferro

y Mesa (2013, p. 30) y Álvarez *et al.* (2011, p. 43), donde se presentan análisis que involucran sistemas de estaciones terrenas satelitales para seguimiento de satélites LEO.

Mejorando el desempeño del sistema de posicionamiento, se podrán realizar experimentos como los que se presentan en Henderson y Katz (1999, p. 327), Lasorso, Garrett y Patterson (2009, p. 25), Ronan, Walsh y Long (2010, p. 75) y Sklyarevich (1992, p. 28), que evalúan el desempeño de protocolos de comunicación, como el AX.25, en aplicaciones puntuales en el contexto de comunicaciones espaciales.

Por su parte, Havlicek, McKeeman y Remaklus (1995, p. 545), Martin, Venkatesan y Das (2003, p. 1236) y Negoda *et al.* (1997, p. 668) muestran aplicaciones de estaciones terrenas en sistemas con mayor grado de complejidad.

El trabajo presentado en este artículo permitirá hacer predicciones sobre posibles aplicaciones de control que puedan ser implementadas en el sistema de posicionamiento de las antenas de la estación terrena satelital UPTC. Es posible optimizar el uso de la estación mediante un sistema de control que permita realizar el seguimiento a satélites LEO de manera automática; por ejemplo, aplicaciones que utilicen inteligencia artificial, como lo presentan Espindola, Vargas y Aparicio (2009, p. 33).

Este artículo sugiere un avance en el estudio de las comunicaciones satelitales, ya que en la región de Tunja no se han realizado estudios similares. También permitirá tener un mejor conocimiento de las variables que influyen en el posicionamiento de las antenas de la estación terrena satelital UPTC y, por consiguiente, servirá para obtener un mejor aprovechamiento de los dispositivos con que cuenta la estación.

6. Conclusión

En el presente trabajo se presenta una breve descripción de las características que tiene el sistema de posicionamiento de las antenas que se están implementado en la estación terrena satelital UPTC. Se concluye que el actuador YAESU G-5500 presenta un buen comportamiento en cuanto a su velocidad de respuesta y la posibilidad de interactuar con sistemas de control.

Actualmente en la estación terrena satelital UPTC todos los procesos de posicionamiento se realizan de forma manual, y para ello se utiliza el sistema de control manual del rotor YAESU G-5500. Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones del modelo servirán como referencia para cuando se vaya a implementar algún sistema de control automático.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y al Grupo de Investigación en Informática, Electrónica y Comunicaciones (Infelcom), por su colaboración para facilitar los espacios y equipos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Referencias

Álvarez, O., Carrillo, J., García, M., Mayoral, M. y Preciado, H. (2011). Propuesta para automatizar el seguimiento de satélites LEO. *Telemática*, 10(3), 43-50.

Espindola, J., Ferro, R. y Mesa, J. (2013). Direccionamiento automático de antenas en estaciones terrenas de seguimiento a picosatélites. *Tecnura*, 17(35), 26-37.

Espindola, J., Nonsoque, C. y Molano, D. (2012). Montaje e implementación de una estación terrena satelital para el seguimiento de satélites de órbita baja. *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. Panamá: LACCEI.

Espindola, J., Vargas, E. y Aparicio, L. (2009). Seguimiento de orbitas de satélites LEO basado en técnicas de inteligencia artificial. *Tecnura*, 12(24), 25-34.

Havlicek, J. P., McKeeman, J. C. y Remaklus, P. (1995). Networks of low-Earth Orbit Store-and-forward Satellites. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* (pp. 543-554). Doi: 10.1109/7.381905

Henderson, T. y Katz, R. (1999). Transport protocols for internet-compatible satellite networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* (pp. 326-343). Doi: 10.1109/49.748815

Lasorso, D., Garrett, P. y Patterson, C. (2009). Protocol considerations to improve the reliability of data collection in a radio telemetry system. *World Environmental and Water Resources Congress 2009* (pp. 2220-2235). Great Rivers.

Linxman4.com (2010). Cómo orientar una antena Dish en México. Recuperado de <http://linuxman4.com/2010/03/13/como-orientar-una-antena-de-dish-en-mexico/>

Martin, K., Venkatesan, V. y Das, U. (2003). Data Link Control in the LEO Satellite Store and Forward Network. *IEEE Region 10 Annual International Conference* (pp.1234-1238). Bangalore: IEEE.

Negoda, A., Bunin, S., Bushuev, E. y Dranovsky, V. (1997). LEOPACK the integrated services communications system based on LEO satellites. *Acta Astronautica*, 41(4), 661-669.

Nise, N. (2011). *Control systems engineering*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.

Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación.

Pratt, T., Bostian, C. y Allnutt, J. (2006). *Satellite communications*. Hoboken, Estados Unidos: John Wiley & Sons.

Ronan, J., Walsh, K. y Long, D. (2010). Evaluation of a DTN Convergence Layer for the AX.25 Network Protocol. *2nd International Workshop on Mobile Opportunistic Networking* (pp. 72-77).

Rosado Rodríguez, C. (1999). *Comunicación por satélite: principios, tecnologías y sistemas*. Ciudad de México : Limusa S. A.

Sklyarevich, A. (1992). Performance of an X.25 channel with overlapping error bursts in transmitting a large data array. *Automatic Control and Computer Sciences*, 21-31.

Yaesu. (2014). *Yaesu The Radio*. Recuperado de <http://www.yaesu.com/>