

Perturbaciones en Satélites Geoestacionarios y las Actividades para su Control Orbital

Perturbations in Geostationary Satellites and Activities for it's Orbital Control

Nairyfel Conejero, Rhonald Espinoza, Carlos Aguilar, Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE) – Estación Terrena de Control Satelital (ETCS)

Resumen—La siguiente investigación, realiza un análisis sobre el comportamiento de los satélites geoestacionarios en el espacio y como el ambiente aeroespacial interactúa con dichos satélites, generando ciertas perturbaciones en la trayectoria de estos grandes cuerpos artificiales enviados al espacio; en este sentido se describe como factores como la atracción del sol y la luna y la no esfericidad de la tierra afecta el mantenimiento de la órbita satelital y a consecuencia de esto se realizan ciertas actividades para minimizar el impacto que generan en los satélites geoestacionarios; es aquí, donde la investigación hace hincapié al mostrar como ciertas operaciones satelitales realizadas desde las estaciones terrenas de control, pueden corregir y modificar la órbita satelital, evitando las perturbaciones antes mencionadas, en pro de garantizar los servicios y la propia vida útil del satélite

Palabras claves— control, perturbaciones, satélites.

Abstract— The following research analyzes the behavior of geostationary satellites in space and how the aerospace environment interacts with these satellites, generating certain perturbations in the trajectory of these large artificial bodies sent to space; in this sense it is described as factors such as the attraction of the sun and the moon and the non-sphericity of the earth affects the maintenance of the satellite orbit and as a consequence of this certain activities are performed to minimize the impact they generate in the geostationary satellites; it is here that research emphasizes how certain satellite operations performed from control earth stations can correct and modify the satellite orbit, avoiding the aforementioned disturbances, in order to guarantee the services and the satellite's own life.

Index Term— control, disturbances, satellites.

I. INTRODUCCIÓN

Un satélite geoestacionario es aquel cuya posición relativa respecto de la Tierra permanece fija. Para que esto ocurra, su órbita debe tener un período orbital igual al de la rotación terrestre, así como también ser ecuatorial y circular. Además de esto, la Tierra es considerada geoméricamente como esférica y homogénea, descartando la presencia de fuerzas externas, como

la atracción lunisolar o la presión de la radiación solar, por lo tanto, solo actúa la fuerza gravitatoria central terrestre. Cabe destacar, que todas estas características y condiciones se describen como un proceso ideal.

Como bien se ha conocido, en la realidad un satélite geoestacionario no está ocupando la misma posición relativa respecto de la Tierra, esto se debe a las irregularidades presentadas en el campo gravitatorio terrestre, además de las fuerzas adicionales mencionadas que actúan sobre él. Cada uno de estos factores altera la forma de la órbita y la orientación del plano orbital.

Basado en estos estudios, para cada misión geoestacionaria es asignada una región espacial, dentro de la cual el satélite puede desplazarse libremente; dicha región es denominada ventana espacial, la cual se muestra en la Fig. 1., donde se observa geoméricamente un rectángulo en el que uno de los lados corresponde al margen de variación permitido para la longitud, y el otro lado pertenece al margen de variación permitido para la latitud.

La tarea de que un satélite se mantenga lo más próximo posible al proceso ideal, es aquello que técnicamente se llama mantenimiento en estación.

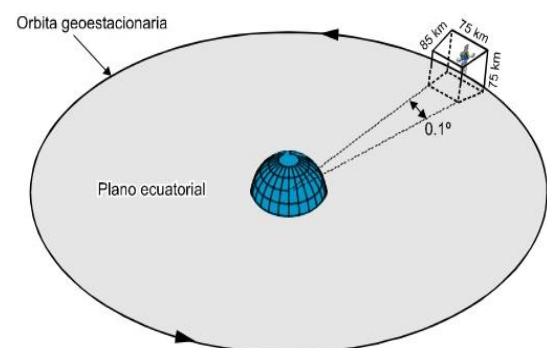


Fig. 1. Ventana Espacial de un Satélite Geoestacionario.

Fecha de elaboración: 2016-11-10. El presente trabajo fue apoyado en parte por el equipo del Centro de Control Satelital (SCC) de la Plataforma VENESAT-1 de la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE).

N. C. Ingeniero de Sistemas, Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (IUPSM), Valencia, Edo. Carabobo, Venezuela.

R. E. Ingeniero de Sistemas, Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (IUPSM), Maracay, Edo. Aragua, Venezuela

C. A. Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada (U.N.E.F.A), Valencia, Edo. Carabobo, Venezuela.

Actualmente son investigadores de la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE), Estación Terrena de Control Satelital (ETCS), Baemari, El Sombrero, Edo. Guárico, Venezuela.

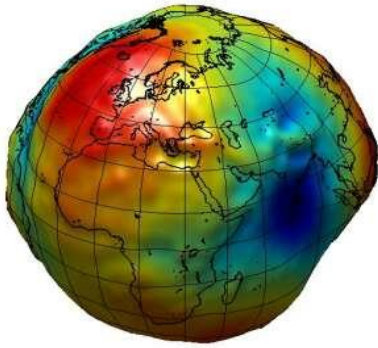


Fig. 3. No esfericidad de la Tierra.

- La fuerza debido a la atracción gravitacional del Sol y de la Luna.
 - La fuerza producida por la presión de radiación solar.
- Ciertos efectos perturbadores son dominantes en la evolución de largo período (la que se corrige con el mantenimiento en estación) de los diferentes elementos orbitales. Ver Fig. 4.

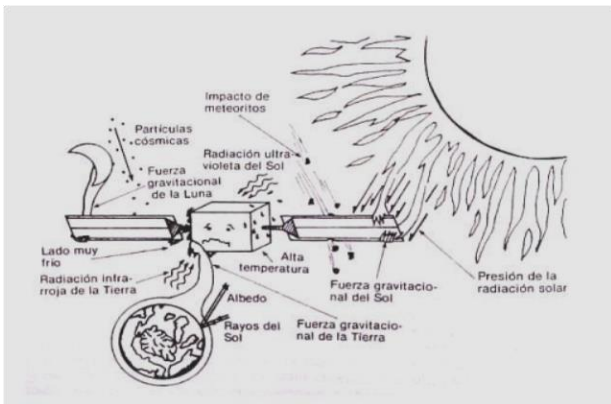


Fig. 4. Efectos Perturbadores de un Satélite Geoestacionario.

- La longitud y el semieje mayor son perturbados por el campo gravitatorio terrestre.
- El vector excentricidad se modifica por la presión de la radiación solar.
- En la variación del vector inclinación, la fuerza dominante es la que corresponde a la atracción del Sol y la Luna.

Por consiguiente, conviene señalar que el efecto que produce la fuerza lunisolar sobre el valor de la inclinación de la órbita y sobre la longitud del nodo ascendente, que se traduce en un desplazamiento del satélite hacia fuera de su plano orbital, no es constante, sino que varía dependiendo de la época del año. Para el Sol, la perturbación producida será máxima en los solsticios y nula en los equinoccios debido a la inclinación del plano de la eclíptica con respecto al ecuador. Algo similar ocurre con la perturbación ocasionada por la atracción gravitatoria de la Luna a causa de la inclinación de la órbita lunar sobre el ecuador [3].

En el mismo orden de ideas, un satélite geoestacionario sufre una presión de radiación que resulta ser una aceleración en la dirección Sol-Satélite, por lo tanto, la longitud permanecería fija y su latitud muy cercana a cero [3].

Como se mencionó anteriormente, la realización de las

maniobras se lleva a cabo desde la Estación Terrena de Control Satelital mediante el envío de Telecomandos que al poner en funcionamiento distintos motores situados en el satélite, producen un cambio en su velocidad orbital modificando su órbita, según sea la dirección que lleve el impulso o cambio en la velocidad orbital, las cuales se explican a continuación:

- Las Maniobras Norte-Sur, o maniobras en inclinación, son aquellas que emplean impulsos perpendiculares al plano orbital. El impulso es Norte si la actuación de los motores es tal que la variación de velocidad se dirige hacia el norte, y el impulso es Sur cuando la actuación de los motores tiene la dirección contraria. Este tipo de maniobras modifica el vector inclinación ya que la acción de la fuerza lunisolar afecta a este vector, estas maniobras son ejecutadas mediante impulsos para compensar el efecto perturbador, así mismo se puede decir que son realizadas por lo general una vez al mes, su resultado se puede notar en la Fig. 5.

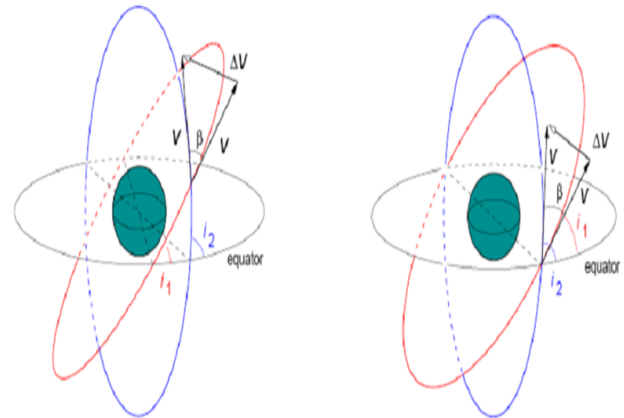


Fig. 5. Maniobras Norte-Sur.

- Las Maniobras Este-Oeste, son las que emplean impulsos en la dirección del radio vector. Estas maniobras modifican la deriva del vector excentricidad y como consecuencia el semieje mayor. Debido a que la fuerza perturbadora gravitatoria terrestre y la fuerza debido a la presión de la radiación solar modifican estos mismos elementos, este tipo de maniobras corrigen también las perturbaciones producidas por la acción de estas fuerzas. Este tipo de maniobras tienen ciclos periódicos y de duración constante el cual se realiza cada catorce o quince días, su efecto se puede observar en la Fig. 6.

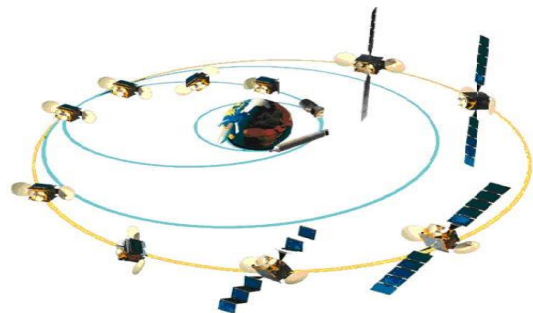


Fig. 6. Maniobras Este-Oeste.

Ahora bien, un satélite también presenta equilibrios estables e inestables, ya que debido a la posición orbital que se encuentre el satélite varía el período para realizar dichas maniobras, así como también depende de la cantidad de satélites ubicados en una misma venta espacial.

Por lo que se debe tener en cuenta, que el movimiento de la órbita de un satélite geoestacionario se debe a la concentración de la masa extra en algunas zonas del ecuador ya que induce una fuerza de atracción mayor sobre el satélite, es por ello que los satélites posicionados en la longitud entre 11.5°W y 75.1°E , poseen una aceleración extra negativa (dirección oeste), lo que produce una disminución del semieje mayor de la órbita, que se traduce como un movimiento natural del satélite hacia el este (75.1°E). Y los satélites posicionados en la longitud entre 75.1°E y 161.9°E , poseen una aceleración extra positiva (Dirección Este), aumentando el semieje mayor de la órbita, que se traduce como un movimiento natural del satélite hacia el Oeste (75.1°E), dichos puntos de equilibrios se pueden observar en la Fig. 7.

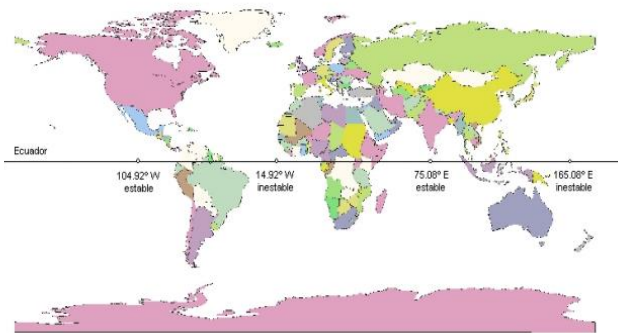


Fig. 7. Distribución de puntos de equilibrio en el Ecuador.

Debido al constante desplazamiento del satélite hacia varias direcciones, se debe mantener siempre al satélite dentro de la ventana de posicionamiento, donde el satélite pueda moverse sin problema alguno, para llevar a cabo esto, se debe tener un seguimiento constante con la finalidad de observar su ubicación y realizar las maniobras de control para regresarlo a su posición nominal.

Por otra parte, las perturbaciones que afectan la posición de un satélite geoestacionario provocan que se tenga que utilizar las actividades y estrategias de control a través de un sistema de propulsión para corregirlo, pero hay que tener en cuenta que para activar los propulsores y realizar las maniobras necesarias se necesita de combustible, sin embargo, el combustible dentro de un satélite no dura toda la vida útil del mismo, por lo que este motivo representa una limitación en el tiempo de vida. Así que la cantidad de combustible determina el tiempo que un satélite geoestacionario puede durar trabajando, ya que al terminar el combustible no hay otra forma de poder corregir la posición, por lo que se pierde su control total sobre él, donde su última maniobra de control será para llevarlo a la denominada órbita cementerio, que es aquella donde se posicionan todos los satélites geoestacionarios luego de cumplir su vida útil [3].

En el mismo orden de ideas, el Centro de Control Satelital

(SCC) por sus siglas en inglés, es el personal encargado de realizar predicciones de estos eventos en la Estación Terrena de Control Satelital, se encarga de la planificación de las maniobras de corrección, así como los eventos que afectan la funcionalidad del satélite, estos eventos son:

- Eclipses por la Tierra y la Luna: ocurren en las estaciones de primavera y otoño, cuando el Sol y el satélite están en el plano ecuatorial. (Equinoccios). Cada eclipse tiene una duración de 46 días, el de primavera es desde el 26 de febrero hasta el 13 de abril y el de otoño es desde el 31 de agosto hasta el 16 de octubre. La máxima duración registrada para un día es de aproximadamente 72 minutos, de los cuales los 3 primeros y los 3 últimos minutos son en la penumbra. Su efecto puede ser visto en la Fig. 8.

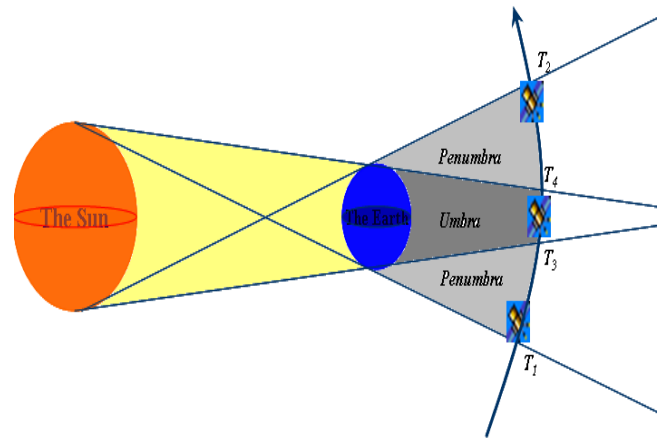


Fig. 8. Eclipse por la Tierra y la Luna.

- Interferencias de los Sensores de tierra por el Sol y la Luna: en términos simples, si el satélite apunta a cualquier emplazamiento dentro de su plano orbital, si no se deshabilitan los sensores de acuerdo a las predicciones de las perturbaciones obtenidas por el personal de SCC, es probable que apunte en cualquier momento al Sol o a la Luna y perturbe la medición en frío. Tal como se muestra en la Fig. 9.

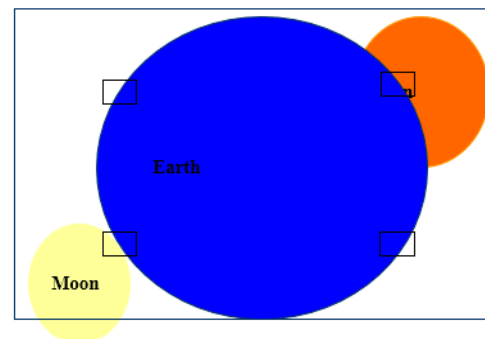


Fig. 9. Interferencia de los sensores por el Sol y la Luna.

Por consiguiente, después de varios años de trabajo normal y de correcciones para mantener el satélite dentro de su ventana de posicionamiento, hay que tener en cuenta que su combustible se agota, entonces a través del Centro de Control Satelital (SCC) debe ser desactivado con la finalidad de evitar posibles

interferencias radioeléctricas con otros sistemas satelitales cercanos, debido a la ubicación de la órbita. Sin embargo, después de ser apagado el satélite geostacionario, este no permanece en su ventana de posicionamiento, por lo que se debe dejar una reserva de combustible para impulsarlo hacia una órbita superior a la geostacionaria, hay que resalta que se establece hacia una órbita superior porque al colocarlo en una órbita inferior a la geostacionaria representaría un peligro ya que es considerado como desecho o basura espacial el cual puede afectar en la colocación de satélites nuevos en órbitas bajas [2].

Los satélites impulsados a través de una maniobra final hacían una órbita cementerio puede quedar a una altitud adicional que va dese los 100 km a cientos de Kilómetros.

Del mismo modo, se debe conocer que la frecuencia de las maniobras de mantenimiento de órbita depende del tamaño de la caja de tolerancia o de trabajo que se defina. Las maniobras típicas de mantenimiento (Longitud y Latitud) son necesarias para realizar la corrección de órbita, pero al final de la vida útil del satélite solo se efectúan maniobras de longitud ya que las de latitud tienen un alto consumo de combustible. Las maniobras de inclinación necesitan más combustible, mientras que las maniobras de longitud son más frecuentes.

IV. CONCLUSIONES

Las condiciones ideales al colocar un satélite geostacionario es que el mismo permanezca inmóvil desde la tierra, para ello debe adquirir la misma velocidad de rotación del planeta para cubrir el área de cobertura al cual fue asignado de forma fija. La investigación realizada demuestra que a pesar de lo antes descrito siempre van a existir perturbaciones que en un grado mayor o menor van a afectar la órbita de estos satélites para ello se realizan maniobras en específico u operaciones de control para corregir estas afectaciones y mantener estable la plataforma satelital. De igual forma se mostró como llevar a cabo esas correcciones y el impacto que tienen en el consumo de combustible del satélite y por ende en la vida útil del mismo.

V. RECOMENDACIONES

Por todo lo antes mencionado, se recomienda tener la mayor precisión en la realización de las distintas maniobras de control para llevar a cabo el posicionamiento y control de un satélite geostacionario ya que de esta forma se ahorrará combustible, el cual dicta la vida útil del satélite.

Así mismo, el satélite siempre presentará variaciones de posición debido a la forma irregular de la Tierra, así como las fuerzas de gravedad de la Luna y el Sol, por lo que estas variaciones tendrán que ser corregidas durante toda la vida útil del satélite. Es por ello que se debe conocer la importancia de las perturbaciones que sufre un satélite geostacionario, lo cual es un factor determinante para que el mismo pueda cumplir la misión para la cual fue diseñado, así como también, mantenerse dentro de una región espacial donde el satélite pueda moverse, teniendo en cuenta que los satélites posicionados en el espacio, sufren alteraciones en su órbita por ser influenciados por fenómenos externos. Por tal motivo, es necesario efectuar correcciones en las órbitas de los satélites con la finalidad de

mantenerlos siempre en la posición deseada.

Finalmente, al posicionar y controlar un satélite en la órbita geostacionaria se estudiará y conocerá las maniobras necesarias para controlar la posición de un satélite, así como también cada cuanto se debe realizar el tipo de actividad, así mismo, con todos estos conocimientos se contribuye con la generación de ideas para la realización de estudios en el área científica que permitan profundizar las investigaciones sobre el comportamiento que sufre un satélite artificial en el espacio y la optimización de los mecanismos de trabajo para llevar a cabo el control orbital logrando así cumplir de manera efectiva la misión espacial.

VI. REFERENCIAS

- [1] Acevedo, R. Becerra, N. Orihuela, F. Varela (2011). "Space activities in the Bolivarian Republic of Venezuela", Space Policy (Elsevier), Volume 27.
- [2] MEYER, R. (1999). Elements of Space Technology. San Diego, California, US, Academic Press.
- [3] MECHANICAL DYNAMICS Inc. (1999). THEORY OF FLEXIBLE BODIES IN ADAMS, Adams reference.
- [4] ABAE (2016). Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales. Recuperado el 15 de julio de 2016, de <http://abae.gob.ve/web/MisionVision.php>



Nairyfel Conejero, Nació en Puerto Cabello, Estado Carabobo. Recibió el título de Ingeniero de Sistemas en el Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño" Extensión Valencia, en Junio 2012, Ingresó a la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (FANB) en el componente Guardia Nacional Bolivariana (GNB) donde se graduó como oficial

Asimilado en Julio 2013, en Octubre 2015 culminó la Maestría en Gerencia de Proyectos en la Universidad Internacional del Caribe (CIU), para luego iniciar en 2016 el Doctorado en Ciencias Gerenciales el cual cursa actualmente en esa misma casa de estudios. Desde Agosto 2013 se encuentra en la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE) en comisión de servicios cumpliendo funciones de Técnico de Monitoreo Satelital de la plataforma Venesat-1, para luego en Marzo 2015 ser asignada al Centro de Control Satelital (SCC) del Satélite Simón Bolívar donde se desempeña hasta el momento. Su interés en la investigación incluye procesos de control orbital, como lo son las Maniobras de Control Este-Oeste, Maniobras de Control Norte-Sur y Protecciones de los sensores ya sea por interferencias del Sol y la Luna.



Rhonald Espinoza, Nació en Cagua, Estado Aragua. Recibió el título de Ingeniero de Sistemas en el Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño" Extensión Maracay, en Junio 2012, Ingresó a la Fuerza Armada Nacional Bolivariana (FANB) específicamente en el componente Armada Bolivariana (ABV) donde se graduó como oficial Asimilado en Julio 2013. Desde Agosto 2013 ingresó a la

Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE) en comisión de servicios cumpliendo funciones de Técnico de Monitoreo Satelital de la plataforma Venesat-1, en Marzo 2015 fue asignado al Centro de Control Satelital (SCC) del Satélite Simón Bolívar donde se ejerce funciones en la actualidad. Su interés en la investigación incluye procesos de control orbital, como lo son las Maniobras de Control Este-Oeste, Maniobras de Control Norte-Sur y Protecciones de los sensores ya sea por interferencias del Sol y la Luna.

Carlos Aguilar, Nació en Caracas, Distrito Capital. Recibió el título de Ingeniero de Telecomunicaciones en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de las Fuerzas Armadas "UNEFA" Sede Naguanagua, en Diciembre del 2010, Culminó estudios de Especialización en Gerencia de las Redes y Telecomunicaciones en la Universidad Yacambu sede Cabudare, Estado Lara en el año 2014. Cursó estudios de Maestría en Gerencia de las Tecnologías de la Información y Comunicación en la Universidad José Antonio Páez "UJAP", en San Diego, Estado Carabobo desde el 2015. Desde Junio



2010 ingresó a la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE) cumpliendo funciones de Técnico de Monitoreo Satelital de la plataforma Venesat-1, en Junio 2013 fue asignado al Centro de Control Satelital (SCC) del Satélite Simón Bolívar. Su interés en la investigación incluye procesos de control orbital, como lo son las Maniobras de

Control Este-Oeste, Maniobras de Control Norte-Sur y Protecciones de los sensores ya sea por interferencias del Sol y la Luna.