

# CAPÍTULO 3

## SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA PARA RADIOAFICIONADOS



La radioafición constituye una actividad importante dentro de las radiocomunicaciones debido a las aplicaciones de intercomunicación que se realizan, así como su utilidad para apoyo a la nación, experimentación técnica, propagación radioeléctrica, entre otros, lo que ha implicado un incremento en el número de usuarios que la practican.

### 3.1 Reseña histórica

La radioafición ha hecho contribuciones significativas a la ciencia, la ingeniería, la industria y a la sociedad a lo largo de su historia.

Los inicios de la utilización de radiofrecuencia datan de 1887 cuando el científico alemán Heinrich Hertz consiguió la primera transmisión y recepción de ondas de radio, así como algunos experimentos que se llevaron a cabo en Burdeos, Francia, en 1894.

El primer contacto por radio entre 2 lugares tuvo lugar en 1898 entre la Torre Eiffel y el Pantheon, en París, cubriendo una distancia de 4 km.

A partir de 1896 el investigador e inventor Guillermo Marconi comenzó a trabajar más a fondo los estudios de Hertz y realizó el primer sistema práctico de recepción y transmisión de ondas hertzianas. Al año siguiente consiguió transmitir señales de radio a una distancia de 15 km y en 1899 logró una comunicación bilateral sin hilos entre Dover, Inglaterra y Wimereux, Francia, enviando un mensaje por radio cruzando el Canal de la Mancha, cubriendo una distancia de 46 km.

La era de la telegrafía sin hilos se dice que comenzó el 12 de diciembre de 1901 cuando Marconi logró la primera comunicación intercontinental. Consiguió captar una serie de 3 puntos, la letra "S" del Código Morse<sup>23</sup>, señal que recorrió 3 600 km que separaban el lugar donde se encontraba Marconi, San Juan de Terranova, Canadá, de la ciudad donde se transmitió la señal, Poldhu, Inglaterra.

Estos sucesos fueron tan novedosos y extraordinarios que despertaron un gran interés en el público en general, empezando a aumentar los aficionados a la experimentación con ondas de radio, comenzando así los radioaficionados.

Muchas personas empezaron a transmitir ondas de radio y todas esas señales se cruzaban provocando una gran interferencia. Ese problema obligó a desarrollar sistemas en donde se pudiera escoger la frecuencia o longitud de onda de las señales transmitidas, creándose la necesidad de utilizar distintas bandas de operación.

Debido a lo anterior, los radioaficionados idearon una serie de rutas a través de las cuales se retransmitían los mensajes, construyendo y operando sus propios equipos. Además, con el empleo de nuevas técnicas, nuevos tipos de antenas, aumento en la potencia de transmisión,

---

<sup>23</sup> Código que emplea puntos, rayas y espacios como símbolos para representar letras y números, transmitidos a través de señales intermitentes o impulso eléctricos. Ver apéndice B.

diseño de nuevos tipos de componentes electrónicos y mejorando la sensibilidad de los receptores, se pudieron alcanzar comunicaciones más lejanas, hasta 2 000 km.

Los primeros radioaficionados trabajaron con transmisores y receptores de chispa; con la continua experimentación, se emplearon los tubos de vacío y más tarde con el invento de los transistores, estos fueron incorporados en los equipos de radio. Actualmente se trabaja con circuitos integrados.

Durante 1913 el movimiento de los radioaficionados siguió extendiéndose en gran medida por todo el mundo, dando lugar a la creación de las primeras asociaciones de radioaficionados. En ese año se creó en Londres la RSGB (*"Radio Society of Great Britain"*, Sociedad de Radio de la Gran Bretaña). Al año siguiente, el 6 de abril de 1914, nació la ARRL (*"American Radio Relay League"*, Liga Americana de Radio Transmisión) con el fin de coordinar todas las actividades de los radioaficionados de E.U.

Con el inicio de la 1ª Guerra Mundial se interrumpieron los avances en la radioafición, debido a que fueron prohibidas todas las estaciones de E.U. prolongándose hasta el término de la guerra en 1918.

Entre los años 1920 y 1924 surgieron las comunicaciones internacionales en onda corta, demostrándose que a medida en que se reducía la longitud de onda, los resultados eran mejores, ya que se podían conseguir mayores alcances con menor potencia.

En los años siguientes surgieron las comunicaciones transatlánticas, dándose los primeros contactos entre radioaficionados de E.U. y Francia el 27 de noviembre de 1923, y posteriormente entre Reino Unido y E.U. el 8 de diciembre del mismo año, utilizando Código Morse. Con esto nacían las comunicaciones de larga distancia, llamadas *comunicaciones DX*.

En el año de 1925 se fundó la IARU (*"International Amateur Radio Union"*, Unión Internacional de Radioaficionados) con el fin de organizar a nivel mundial los aspectos relacionados con la radioafición. Actualmente, la IARU solo admite una asociación miembro por país; el representante de México es la FMRE (Federación Mexicana de RadioExperimentadores).

La radioafición logró su reconocimiento formal en la Convención Internacional de Radiotelegrafía en 1927 en Washington, D.C.

En 1933 se creó la URE (Unión de Radioaficionados Españoles), siendo la más grande asociación de radioaficionados en ese país.

En junio de 1940 la FCC (*"Federal Communications Commission"*, Comisión Federal de Comunicaciones) de E.U., prohibió a los radioaficionados americanos contactar con estaciones de las zonas de batalla y el gobierno estadounidense volvió a suspender las estaciones de radioaficionados hasta 1946.

En el año de 1953 un par de radioaficionados, que se estaban comunicando en la banda de 2 metros, se dieron cuenta que escuchaban su propio eco, debido a que su señal se reflejaba en la luna. A esa distancia las señales emitidas con unos pocos kW tenían pérdidas de aproximadamente 250 dB, pero funcionaba. Así comenzó lo que hoy conocemos como *rebote lunar*.

En 1960 un grupo de la costa Oeste de E.U. comenzó a abordar la idea de poner en órbita su propio satélite de radioaficionados organizando un grupo llamado *El Proyecto OSCAR* (“*Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio*”, Satélites en órbita para el servicio de radioaficionados) con el objetivo específico de construir y lanzar satélites de aficionados.

Después de acuerdos y negociaciones entre los altos miembros del *Proyecto OSCAR*, la *ARRL* y la *Fuerza Aérea* de E.U., el 12 de diciembre de 1961, se puso en órbita el primer satélite artificial construido por radioaficionados dándole el nombre de *OSCAR-1*, el cual transmitió datos de telemetría con 140 mW durante 18 días. En ese lapso de tiempo, 570 radioaficionados en 28 países diferentes consiguieron captar su señal en 144.983 MHz.

Posteriormente se lanzaron el *OSCAR-2*, con ciertas mejoras que su antecesor, y el *OSCAR-3*, siendo el primer satélite de radioaficionados en llevar un transpondedor, lo que permitió alcanzar mayores distancias, permitiendo comunicados bilaterales vía satélite entre 98 estaciones de aficionados.

En 1969, un grupo de radioaficionados de Washington D.C., se reunieron para formar la versión de la Costa Este del *Proyecto OSCAR*. Como resultado de esa reunión nació *AMSAT* (“*The Amateur Satellite Corporation*”, Corporación de Radioaficionados por Satélite), como una asociación de radioaficionados especializados en satélites con el objetivo de adoptar y ampliar la labor iniciada por el *Proyecto OSCAR*. La primera tarea de *AMSAT* fue encargarse del lanzamiento del *OSCAR-5*, el cual se lanzó en un vehículo de la *NASA*.

Para octubre de 1972 fue lanzado al espacio el *OSCAR-6* convirtiéndose en el primer satélite de aficionados que permitió las comunicaciones espaciales de una manera regular a todos los radioaficionados del mundo.

Con el paso de los años, hasta la actualidad, se han lanzado un sinnúmero de satélites de radioaficionados, de la serie *OSCAR*<sup>24</sup>.

### 3.1.1 Historia de la radioafición en México

Al conocerse en México las noticias relativas a la radiotelegrafía lograda por Marconi, varios investigadores mexicanos intentaron repetir las mismas experiencias de comunicación.

Las primeras instalaciones radioeléctricas del país fueron hechas por la Dirección General de Telégrafos en el año de 1903 en Cabo Haro, Sonora y en Sta. Rosalía, Baja California, con el fin de comunicar estos dos lugares entre sí.

De los años 1908 a 1917 se instalaron estaciones radiotelegráficas en diversos estados del país, entre ellos Sinaloa, Baja California Norte, Quintana Roo, Veracruz, Campeche y Yucatán.

En 1918 en la Escuela Nacional Preparatoria se formó un grupo de radioexperimentadores que comenzaron a construir sus propios equipos de radio, con los cuales alcanzaban distancias de 15 a 20 km.

---

<sup>24</sup> Para conocer su cronología, se puede consultar la dirección web: “<http://www.amsat.org/amsat-new/satellites/history.php>”.

Durante ese mismo año se instalaron en la estación de Chapultepec 3 transmisores de 10 kW, 20 kW y 200 kW respectivamente. Con esta estación se establecieron los enlaces radiotelegráficos entre México y Europa.

En los años siguientes comenzaron los avances tecnológicos desarrollándose mejoras en los equipos, en cuanto a estabilidad, ancho de banda, selectividad, eficiencia, rendimiento, alcance, entre otras.

Durante los años 1921 a 1925 se lograron los primeros comunicados con Centroamérica, Canadá y Colombia.

Para 1926 los experimentadores mexicanos habían logrado diversas comunicaciones bilaterales con Europa, Centro y Sudamérica, África y Oceanía en las bandas de 80 y 40 m.

En 1932 se fundó la LMRE (Liga Mexicana de Radio Experimentadores), con el fin de agrupar a todos los radioaficionados de la República Mexicana. En ese mismo año se integró a la IARU. El 21 de septiembre de 1933 se formó el primer Radioclub de México, el *Club de Radio Experimentadores de Saltillo*, afiliándose a la LMRE.

Con todos los desarrollos y avances logrados en todos los ámbitos referidos a la radioafición, para fines de 1933 los radioaficionados mexicanos habían establecido comunicaciones bilaterales en CW ("*Continuous Wave*", Onda Continua) en todo el mundo.

Debido a la 2ª Guerra Mundial, se prohibieron las comunicaciones de aficionados en México, durante los años 1941 a 1945.

Para 1947 existían ya 27 radioclubs, todos afiliados a la LMRE. Diez años después ya se contaban como 700 radioaficionados en todo el país.

En 1974 se realizó el primer comunicado en México con un satélite de radioaficionados, el OSCAR-6.

En 1988 la *Liga Mexicana de Radio Experimentadores*, cambia su nombre por *Federación Mexicana de Radio Experimentadores (FMRE)*.

## 3.2 Radioaficionados

La radioafición es un servicio de radiocomunicación llevado a cabo por radioaficionados que tiene por objeto el conocimiento individual, la intercomunicación y los estudios técnicos.

Un radioaficionado es una persona, de cualquier edad, capacitada tanto en lo técnico como en lo reglamentario, debidamente autorizada por las correspondientes autoridades gubernamentales de telecomunicaciones, la COFETEL (Comisión Federal de

Telecomunicaciones) en México, que se interesa en la radiotecnía<sup>25</sup> con carácter estrictamente personal, sin fines de lucro y que realiza con su estación radioeléctrica actividades de instrucción, intercomunicación y estudios técnicos, contando para ello con su propio distintivo de llamada, es decir, un nombre propio y único que lo identifica.

Los radioaficionados, por lo regular, trabajan en grupo para poder ejercer su actividad, ya sea para instalar, construir, reparar u operar las estaciones radioeléctricas o partes de ellas, así como para aprender el manejo de los equipos, conocer las condiciones de propagación o compartir el uso y costo de equipos de retransmisión, llamado *Radioclub*. De acuerdo al reglamento para instalar y operar estaciones radioeléctricas del servicio de aficionados publicado en el Diario Oficial el 28 de noviembre de 1988, un Radioclub es: “Agrupación de Aficionados debidamente constituidos y registrados en la Secretaría, cuyo propósito es la práctica del servicio de Aficionados organizadamente y sin fines de lucro”.

Los Radioaficionados siempre han buscado la forma de llegar más lejos con sus comunicaciones, actualmente, usan las frecuencias de HF (“*High Frequency*”, Frecuencias Altas) para comunicar con estaciones alrededor del mundo. En ocasiones usan las frecuencias de VHF (“*Very High Frequency*”, Frecuencias Muy Altas) y UHF (“*Ultra High Frequency*”, Frecuencias Ultra Altas) para establecer contactos con otras estaciones mediante rebotes en la luna o a través de satélites que ellos mismos construyen.

### 3.2.1 Características de los radioaficionados

Una vez que una persona ha sido autorizada como radioaficionada, se le asigna un indicativo de llamada para ser identificados entre sí, el cual es otorgado por su Administración gubernamental<sup>26</sup>. El indicativo está formado por un prefijo que identifica al país, un número del 0 al 9 que identifica la zona de ese país y un sufijo de dos o tres letras diferentes para cada operador. Los prefijos que identifican mundialmente a los países los atribuye la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), por ejemplo el prefijo para México es “XE”.

#### Código de ética del radioaficionado

El radioaficionado debe ser:

- *Considerado*: utilizar su estación sin afectar a otros, de manera que no puedan realizar de su actividad.
- *Leal*: siempre estar dispuesto a ofrecer su lealtad, ánimo y ayuda incondicional a sus colegas que así lo necesiten.
- *Progresivo*: procurar mantenerse al día de los avances tecnológicos, es decir, sus conocimientos técnicos y su estación deben estar de acuerdo al desarrollo de la ciencia.

---

<sup>25</sup> La radiotecnía se encarga de la transmisión y recepción de información a través de sistemas de radio, siendo uno de los aspectos más especializados de la Radiodifusión.

<sup>26</sup> La *COFETEL* para el caso de México.

- *Cordial*: amable y paciente cuando sea necesario, prestar su ayuda, cooperación, y compartir sus conocimientos con otros aficionados o con los que apenas empiezan a serlo.
- *Balanceado*: ser radioaficionado, es un pasatiempo, por lo que no se debe de distraer de sus deberes familiares, laborales, escolares o sociales.
- *Patriótico*: sus habilidades, conocimientos, y su estación deben estar en todo momento disponibles para servir a su patria y a su comunidad.

## **Normas de operación**

El radioaficionado debe:

- Tener licencia de radioaficionado.
- Escuchar antes de transmitir.
- Utilizar su indicativo correspondiente.
- Procurar dejar espacios de silencio entre mensajes para dar oportunidad a otras estaciones de dar un comunicado urgente, en caso necesario.
- Los mensajes deberán ser lo más breves posibles utilizando preferentemente el código Q<sup>27</sup>.
- Mantener disciplina absoluta al comunicarse, y se debe emplear un lenguaje claro y conocido por todos.

## **Comunicación entre radioaficionados**

La comunicación entre radioaficionados puede darse dentro del mismo país o en diferentes, abordando temas que no incluyan política, negocios o religión y poder compartir información común como música, deportes, astronomía, fechas conmemorativas, etc.

## **Apoyo a la nación**

Las posibilidad de comunicación entre radioaficionados de diferentes países, ha permitido que la radioafición sirva de apoyo a la nación en situaciones de emergencias y desastres, como huracanes, tormentas, inundaciones, terremotos, accidentes aéreos, ferroviarios, etc., en donde las comunicaciones regulares se suspenden a causa de estos mismos desastres.

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, ha hecho la invitación a todos los países a que tomen las medidas necesarias para permitir que las estaciones de aficionados se preparen para poder resolver la comunicación en casos de desastre.

---

<sup>27</sup> El código Q es un código de señales utilizado en comunicaciones de radioaficionados. Todos los códigos tienen únicamente tres letras; la primera es siempre la letra Q (Question) y nunca se usa en un indicativo, para evitar confusión.

## **Elaboración de diseño y reparación de sus propios equipos**

Los radioaficionados, por lo regular, construyen sus propias antenas, mejoran sus equipos, reparan daños que tengan los mismos, realizan sus propias instalaciones, etc.

## **Comunicaciones de larga distancia (DX)**

A la comunicación a larga distancia se le conoce como *DX*, que significa "distancia desconocida X" y consiste en realizar comunicaciones entre estaciones que se encuentran a gran distancia. La persona que realiza este tipo de comunicación se le llama *DieXista*, y la hace a través del Código Morse. El empleo del Código Morse es debido a que de ese modo se usa poco espacio en el espectro y por lo tanto, se puede llegar más lejos con poca potencia en comparación con otros modos de transmisión.

## **Comunicación a través de mensajes**

Realizar comunicación tal como se hace por medio de internet, pero con el empleo de equipo de radioafición. Se pueden transmitir imágenes, correo electrónico, música, a través del servicio terrestre y satelital.

Este tipo de comunicación no requiere tener acceso a internet, ni conexión al sistema telefónico.

## **Concursos**

Los radioaficionados realizan competencias tanto nacionales como internacionales, en los que el aficionado trata de contactar por radio con el mayor número de estaciones de otros países o regiones, con baja potencia o con equipos improvisados donde no cuentan con todos los elementos para facilitar el contacto, haciendo uso de su ingenio para lograrlo.

Los ganadores de los concursos, reciben trofeos que los distinguen y califican sus habilidades y destrezas en el manejo del espectro radioeléctrico.

## **3.3 Satélites para radioaficionados**

Los radioaficionados se comunican a través de 2 formas: terrestre y satelital. El tema de esta tesis está enfocado a las comunicaciones de radioaficionados por satélite, por lo que solo abordaremos esa parte.

Los radioaficionados cuentan con sus propios satélites para poder comunicarse a cualquier parte del mundo. En México, la radioafición es una de las áreas de comunicaciones menos practicadas, y por consiguiente, no se tienen satélites diseñados ni construidos para el servicio de radioaficionados; solo se hace uso de satélites de otros países.



De acuerdo al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, “*El servicio de aficionados por satélite es el servicio de radiocomunicación que utiliza estaciones espaciales situadas en satélites de la Tierra para los mismos fines que el servicio de aficionados*”.

Para la comunicación entre radioaficionados a través de un satélite, un radioaficionado emite una señal que es recibida por el satélite, el cual la amplifica y la retransmite hacia tierra en donde otro radioaficionado la recibe, la interpreta y la contesta, repitiendo el proceso.

Para poder llevar a cabo la comunicación con los satélites de radioaficionados, se deben considerar los siguientes factores:

1. Los satélites se mueven constantemente, por lo que se debe conocer el azimut y elevación a la que se deben orientar las antenas.
2. La frecuencia de transmisión es diferente que la de recepción.
3. La comunicación sufre efecto Doppler, por lo que las señales cambian rápidamente de frecuencia.

Los satélites de órbita baja (LEO) necesitan poca potencia y utilizan antenas pequeñas. Tienen la gran ventaja de que la distancia que tiene que recorrer la señal es mucho más pequeña que para otros satélites que se encuentran en órbitas más alejadas y por lo tanto, el tiempo de retardo que se tiene en una comunicación es también mucho menor, aproximadamente de 0.02 segundos. Estos satélites son los más utilizados para las comunicaciones y servicios de radioafición. Se pueden dividir de acuerdo a su forma de trabajo:

1. *Satélites de órbita baja analógicos*: Son los más fáciles de trabajar. Se utilizan principalmente para comunicaciones de voz. No se requiere de equipo avanzado para operarlos. Un ejemplo de este tipo de satélites es el *Fuji-OSCAR 29*.
2. *Satélites de órbita baja digitales*: Son satélites de órbita circular que principalmente operan en paquetes en sus diferentes modalidades. El *UNAMSAT-B* fue un satélite de este tipo.
3. *Satélites de órbita elíptica*: Son aquellos en donde se llevan a cabo las comunicaciones intercontinentales. Ejemplos de ellos fueron el *OSCAR-10*, *OSCAR-13* y el *OSCAR-40*.
4. *Satélites en naves tripuladas*: Son aquellos equipos que se encuentran en naves espaciales, y que hacen contacto con radioaficionados en la Tierra, tanto en voz como en paquetes. Dichas naves espaciales van tripuladas por astronautas, como la estación espacial *MIR* y el *Space Shuttle*.

### **Modos de transmisión**

Existen varias formas en que los radioaficionados realizan la comunicación, dependiendo de las áreas de acción, incorporación y desarrollo de nuevas tecnologías, costos de los componentes electrónicos, entre otros.

El objetivo de esta tesis no es conocer a detalle cada uno de los modos en que se realiza la comunicación entre radioaficionados, por ello, solo se mencionan brevemente.

### 1. Modos Analógicos

- Modulación de onda continua (CW "*Continuous Wave*"): Es la telegrafía, a través del Código Morse. Consiste en interrumpir la transmisión de la portadora por medio de los signos del código.
- Modulación de amplitud (AM "*Amplitude Modulation*"): Consiste en variar la amplitud de la portadora para transmitir la información. Utilizada para fonía, permite realizar comunicaciones de alcance mundial.
- Banda lateral única (SSB "*Single Side Band*"): Consiste en eliminar la portadora de una de las bandas laterales, es más eficiente que AM. Utilizada para fonía, permitiendo comunicaciones más confiables.
- Modulación de frecuencia (FM "*Frequency Modulation*"): Consiste en variar la frecuencia de la portadora para transmitir la información. Utilizada para fonía, permitiendo audio de gran calidad.
  - Modulación en fase (PM "*Phase Modulation*").
  - Doble banda lateral con portadora suprimida (DSB-SC "*Doble Side Band Suprimed Carrier*").
  - Televisión de Barrido Lento (SSTV "*Slow Scan Television*") o televisión de aficionados (ATV "*Amateur Television*").

### 2. Modos Digitales

- Teletipo de Radiocomunicaciones (RTTY "*Radio Tele TYpe*"): Consiste en la transmisión de dos tonos de frecuencia próxima, por lo regular 170 Hz de diferencia entre estos, llamados "marca" y "espacio" los cuales codifican caracteres. Generalmente utiliza altas frecuencias.
- Teleimpresión de Radioaficionados (AMTOR "*Amateur Teleprinting Over Radio*")
- Desplazamiento Mínimo de Fase (MSK "*Minimum Shift Keying*").
- Radio-paquetes en formato AX.25: Se comparte un canal para un número determinado de usuarios. A través del uso de este protocolo, la información se segmenta en paquetes y se envía, llegando al destino a través de cabeceras que guardan la información origen y destino de los radioaficionados.
- Sistema de notificación automática de paquetes (APRS "*Automatic Packet Reporting System*").
- Tecnologías Digitales Inteligentes para Radioaficionados (D-STAR "*Digital Smart Technologies for Amateur Radio*").
- Modulación por desplazamiento de fase (PSK "*Phase Shift Keying*"): Se encarga de la modificación de la fase de la señal.

### 3. Otros

- Rebote lunar (EME “*Earth Moon Earth*”): Consiste en hacer rebotar una señal en la superficie de la Luna y captar su eco.
- Dispersión meteórica (MS “*Meteoritic Scatter*”): Utiliza las trazas de aire caliente ionizado que dejan los meteoritos al quemarse en la atmósfera como reflectores.
- Microondas: Permite mayores velocidades y la transmisión por satélite.

## Cobertura satelital

Como es sabido, cuando un satélite se encuentra a mayor altura sobre la superficie de la Tierra tendrá mayor cobertura. En el capítulo anterior vimos las altitudes a las que se pueden encontrar los satélites LEO, por lo que su cobertura es de una determinada región terrestre durante un tiempo breve. Dicha área de cobertura permite a una estación contenida en ella contactar al satélite y/o comunicarse con otra estación dentro de la misma zona de cobertura.

Los satélites LEO para radioaficionados tienen un periodo orbital de algunas decenas de minutos, esto hace que un satélite cubra varias veces al día el mismo lugar sobre la superficie de la Tierra. El número de veces depende de su periodo orbital.

Los satélites de órbita elíptica presentan diferentes características a los de órbita circular. La órbita elíptica, presenta dos puntos clave: el apogeo y el perigeo. Si el satélite se encuentra a una altura muy grande en el apogeo, puede cubrir un área más grande de la Tierra.

Para saber cuándo pasa un satélite por una zona o lugar en específico se emplea software especial, conocido como *software de predicciones orbitales*, del cual se hablará en la sección 3.5.

Respecto a la potencia requerida para transmitir y establecer la comunicación con satélites de radioaficionados, se trabaja por lo regular con una potencia pequeña, alrededor de 10 W, debido a que en las frecuencias en que operan se pueden alcanzar distancias muy grandes.

### 3.3.1 Frecuencias de operación

No todas las frecuencias del espectro radioeléctrico son autorizadas para el servicio de aficionados. La *UIT*, es la encargada de asignar diferentes segmentos de las bandas de frecuencias del espectro a los diferentes servicios, entre los cuales están la radiodifusión sonora y televisiva, el servicio móvil terrestre, marítimo y aeronáutico, los servicios vía satélite y los servicios de radioaficionado.

Para realizar la división de estas frecuencias en los diferentes servicios, los representantes de las naciones miembros de la *UIT* se reúnen periódicamente, en donde se ponen de acuerdo y deciden las bandas de frecuencias que se destinan a cada uno de los servicios según las posibilidades y las necesidades de los mismos.

La *UIT* procede a la asignación internacional de las bandas de frecuencias con carácter general y, posteriormente, cada gobierno en particular decide la mejor forma de distribuir y particularizar los servicios bajo su jurisdicción en dichas bandas de frecuencia asignadas.

En la *UIT*, los radioaficionados están representados por la *IARU* (*“International Amateur Radio Union”*, Unión Internacional de Radioaficionados).

El título que la *UIT* asigna para el uso de los servicios puede ser primario o secundario, esto se debe a que usualmente una misma banda de frecuencias es asignada a más de un servicio.

De acuerdo a la *“Resolución mediante la cual el Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones aprueba la actualización del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias”* publicada el 28 de marzo de 2008:

*“Las estaciones de servicios primarios:*

- a) pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio secundario.*
- b) podrán reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de otro servicio primario siempre que se hayan asignado sus frecuencias con anterioridad.*

*Las estaciones de servicio secundario:*

- a) No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les pueda asignar en el futuro.*
- b) No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.*
- c) Tienen derecho a la protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones del mismo servicio o de otros secundarios a las que se les asignen frecuencias ulteriormente.”*

El mundo se divide en 3 regiones para fines de radiocomunicaciones<sup>28</sup>, donde México pertenece a la región 2. Para fines de esta tesis, únicamente pondremos las bandas asociadas para el servicio de aficionados en México, tanto para servicio satelital como de radioaficionados en general.

En la actualidad las frecuencias asignadas a los servicios de radioaficionados en México comienzan alrededor de 1.8 MHz y en el caso específico del servicio de radioaficionados por satélite en 7 MHz, reapareciendo en intervalos hasta llegar a 250 GHz, como se observa en la Tabla 3.1.

---

<sup>28</sup> Ver apéndice E.

<i><b>Bandas (en frecuencia)</b></i>	<i><b>Servicio de aficionado</b></i>	<i><b>Servicio de aficionado por satélite</b></i>
<b>1 800-1 850 KHz</b>	Primario	-
<b>1 850-2 000 KHz</b>	Primario	-
<b>3 500-3 750 KHz</b>	Primario	-
<b>3 750-4 000 KHz</b>	Primario	-
<b>7 000-7 100 KHz</b>	Primario	Primario
<b>7 100-7 300 KHz</b>	Primario	-
<b>10 100-10 150 KHz</b>	Secundario	-
<b>14 000-14 250 KHz</b>	Primario	Primario
<b>14 250-14 350 KHz</b>	Primario	-
<b>18 068-18 168 KHz</b>	Primario	Primario
<b>21 000-21 450 KHz</b>	Primario	Primario
<b>24 890-24 990 KHz</b>	Primario	Primario
<b>28-29.7 MHz</b>	Primario	Primario
<b>40-54 MHz</b>	Primario	-
<b>144-146 MHz</b>	Primario	Primario
<b>146-148 MHz</b>	Primario	-
<b>220-225 MHz</b>	Secundario	.
<b>430-440 MHz</b>	Secundario	Secundario
<b>902-920 MHz</b>	Secundario	-
<b>1 240-1 300 MHz</b>	Secundario	-
<b>2 300-2 310 MHz</b>	Secundario	-
<b>2 310-1 360 MHz</b>	Secundario	-
<b>2 360-2 450 MHz</b>	Secundario	-
<b>3 300-3 400 MHz</b>	Secundario	-
<b>3 400-3 500 MHz</b>	Secundario	-
<b>5 650-5 725 MHz</b>	Secundario	-
<b>5 725-5 830 MHz</b>	Secundario	-
<b>5 830-5 850 MHz</b>	Secundario	Secundario
<b>5 850-5 929 MHz</b>	Secundario	-
<b>10-10.45 GHz</b>	Secundario	-
<b>10.45-10.5 GHz</b>	Secundario	Secundario
<b>24- 24.05 GHz</b>	Primario	Primario
<b>24.05-24.45 GHz</b>	Secundario	-
<b>47-47.2 GHz</b>	Primario	Primario
<b>76-77.5 GHz</b>	Secundario	Secundario
<b>77.5-78 GHz</b>	Primario	Primario
<b>78-79 GHz</b>	Secundario	Secundario
<b>79-81 GHz</b>	Secundario	Secundario
<b>122.25 GHz-123 GHz</b>	Secundario	-
<b>134-136 GHz</b>	Primario	Primario
<b>136-141 GHz</b>	Secundario	Secundario
<b>241-248 GHz</b>	Secundario	Secundario
<b>248-250 GHz</b>	Primario	Primario

Tabla 3.1 Atribución de bandas de frecuencias para el servicio de radioaficionados en México.

Los límites de estas frecuencias cambian con el tiempo y con las reglamentaciones particulares de cada país, por lo que es conveniente referirse a ellas por su longitud de onda. Las bandas de frecuencia más utilizadas por los radioaficionados son:

**Bandas de HF:** 80m (3.75 MHz), 40m (7.5 MHz), 30m (10 MHz), 20m (15 MHz), 17m (17.6 MHz), 15m (20 MHz), 12m (25 MHz), 10m (30 MHz).

**Bandas de VHF:** 6m (50 MHz), 2m (150 MHz).

**Bandas de UHF:** 70cm (428.6 MHz), 23cm (1 304 MHz).

### Modos de los satélites

El termino modo en los satélites de radioaficionados se refiere a las bandas de frecuencia utilizadas para trabajar el satélite, es decir, las bandas que se usan en el enlace de subida y en el de bajada.

Existen diversos modos para las diferentes bandas de frecuencias asignadas para los satélites de radioaficionados, los cuales se clasifican en letras (ver Tabla 3.2).

<i>Modo</i>	<i>Modos bi-banda Subida/Bajada</i>
A	2m(145MHz)/10m(29MHz)
B	70cm(435MHz )/2m(145MHz)
J	2m(145MHz)/70cm(435MHz)
K	15m(21.2MHz)/10m(29MHz)
L	23cm(1.2 GHz)/70cm(435MHz)
S	70cm(435MHz )/13cm(2.4 GHz)
T	15m(21.2MHz)/2m(145MHz)

Tabla 3.2 Modos de los satélites que corresponden a las bandas de frecuencias más utilizadas.

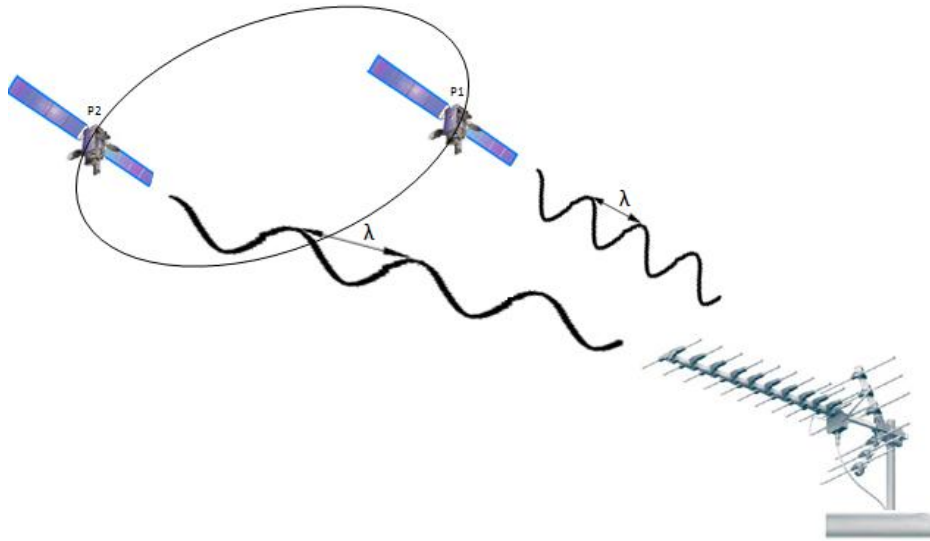
Existen modos que están formados por dos letras, para hacer referencia a comunicación analógica o digital, por ejemplo, el modo JA o JD se refiere al modo J Analógico o modo J Digital; o bien, para hacer referencia a un modo compuesto, por ejemplo el modo BT referido a que se puede transmitir en 70cm o en 15m y recibir solo en 2m.

## 3.4 Efecto Doppler

Para los satélites de radioaficionados, debido a la gran velocidad con la que éstos se mueven, el efecto Doppler es el único fenómeno que puede provocar una serie de complicaciones que afecten directamente a las comunicaciones.

El efecto Doppler sucede cuando la frecuencia de las señales cambia con relación a un punto receptor fijo, es decir, es el cambio aparente de frecuencia de una onda producido por el movimiento relativo entre el emisor y el receptor.

De manera general, todas las ondas emitidas por un cuerpo en movimiento o un cuerpo con una diferencia de velocidad neta con respecto a un observador sufren un cambio aparente en su frecuencia al ser percibidas por el observador, produciendo pérdida parcial o completa de la señal transmitida. Hay un aumento de la frecuencia si la distancia entre el observador y el cuerpo emisor se acorta y una disminución de frecuencia en el caso contrario.



**Figura 3.1 Efecto Doppler.** El satélite en la posición P1 tiene menor distancia a la estación en la Tierra que en la posición P2, por lo que, debido al efecto Doppler P1 presenta mayor frecuencia que P2.

Los sistemas que trabajan en frecuencias altas así como los que trabajan a grandes velocidades, son más susceptibles a presentar cambios de frecuencia de la señal transmitida ocasionada por el efecto Doppler.

Al conocer las consecuencias del efecto Doppler, se podrán compensar las desviaciones de frecuencia producidas. Para ello, si la señal recibida es mayor a la que fue transmitida por el satélite, la estación terrena se debe sintonizar a una frecuencia superior a la que fue enviada y así poder escuchar la portadora del satélite y viceversa si la frecuencia recibida es menor. Si no hay ningún desplazamiento por efecto Doppler, la frecuencia se debe sintonizar a la misma en la que transmitió el satélite.

En el caso que la estación terrena sea la que realice la transmisión, también se debe tomar en cuenta el desplazamiento de frecuencia ocasionado por el efecto Doppler. Cuando el satélite se acerque a la estación terrena, ésta debe transmitir por debajo de la frecuencia portadora, para que al sufrir la desviación por efecto Doppler, el satélite lo reciba a su frecuencia de recepción y viceversa en caso contrario.

El efecto Doppler es favorable en algunos casos ya que permite determinar velocidades radiales de los astros como son las estrellas a través de la medición del desplazamiento de frecuencia de la luz, así como medición de temperaturas de un gas; en los radares Doppler para determinar la velocidad de diferentes objetos como cohetes o satélites; permite

determinar la velocidad de aproximación o alejamiento de un objeto celeste con respecto a la Tierra o determinar la posición exacta del satélite a través del empleo de 2 estaciones receptoras muy alejadas entre sí, las cuales tendrán diferentes desviaciones ocasionadas por el efecto Doppler.

## 3.5 Predicciones orbitales

Las predicciones orbitales, por lo regular, se realizan a través del empleo de programas de computadora. Los programas indican de manera gráfica cuando el satélite estará visible con nuestra estación terrena.

Existen varios programas, tanto libres como pagados, que pueden ser utilizados por radioaficionados para realizar predicciones orbitales, calculadores de medidas para construcción de antenas, codificadores y decodificadores del Código Morse, control del transceptores de radio para corregir el efecto Doppler, control de rotores que muevan las antenas y las apunte de manera automática al satélite escogido, programas para comunicaciones como radiopaquetes, APRS, SSTV, RTTY, PSK, etc.

Todos los programas de predicciones orbitales necesitan conocer la hora correcta, la ubicación de la estación terrena y los elementos Keplerianos. Los elementos Keplerianos son un conjunto de parámetros que dan información específica de las órbitas de cada satélite en un momento determinado, permitiendo su seguimiento para calcular su posición en el espacio.

Los elementos Keplerianos pueden ser obtenidos a través de páginas web, como la de *AMSAT*<sup>29</sup>. Con estos datos, el software puede calcular donde se encuentra el satélite elegido en cada instante de tiempo y mostrarlo de manera gráfica. De esta forma se puede saber el momento en que el satélite estará en vista para poder apuntar hacia él.

Entre las múltiples características e información que nos proporciona un software de predicciones orbitales están:

- Horario de operación del satélite.
- Cálculo de efecto Doppler en las frecuencias de enlace.
- La orientación de las antenas del satélite con el que se esté trabajando con respecto a la estación terrena.
- Distancia que existe entre la estación terrena y el satélite.
- Las regiones de la Tierra que tienen acceso al satélite y el tiempo que se tendrá acceso.
- Indica si el satélite está siendo radiado por el sol o si está en un eclipse de Tierra.

---

<sup>29</sup> [www.amsat.org](http://www.amsat.org)



## Elementos Keplerianos

Los elementos Keplerianos, también conocidos como elementos orbitales de satélites, son parámetros que indican la forma en que se mueve cada satélite alrededor de la Tierra. Estos parámetros definen 3 características importantes: la forma de la órbita, la posición de la órbita en relación a la Tierra y la posición del satélite en la órbita en cada momento. Los elementos Keplerianos son:

**Época (Epoch):** También conocido como “Tiempo de época” o “ $T_0$ ”. Es un número que especifica el momento en que fueron fijados los datos para un satélite determinado.

**Inclinación orbital (Orbital Inclination):** Conocido como “Inclinación” o “ $i_0$ ”, referido al ángulo de inclinación de la órbita. Este ángulo varía entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

**Ascensión Recta del nodo ascendente (Right Ascension of Ascending Node):** Conocido como “RAAN”, “RA” o “Longitud del Nodo Ascendente”. Para determinar la posición del satélite, no es suficiente conocer la inclinación de la órbita, ya que con este valor hay muchas posibles órbitas en las que el satélite orbite. Por ello si se especifica en qué lugar atraviesa el Ecuador, se tendrá especificado completamente el plano orbital.

La línea de nodos atraviesa al ecuador en 2 lugares. Uno de ellos se llama *nodo ascendente* que es el punto donde la órbita cruza con el plano ecuatorial, yendo de sur a norte; el otro es el *nodo descendente*, que es el punto donde la órbita cruza con el plano ecuatorial, yendo de norte a sur. Para el programa de predicciones orbitales, solo se necesita especificar uno de ellos, por convenio se especifica la ubicación del nodo ascendente.

RAAN es el ángulo medido en el centro de la Tierra entre el “equinoccio de primavera” y el nodo ascendente de la órbita del satélite, considerando “equinoccio de primavera” como punto de referencia, es decir, determina en qué punto del ecuador cruza el satélite yendo de Sur a Norte. Por convención RAAN es un número en el rango de 0 a  $360^\circ$ .

Equinoccio de primavera: La órbita del sol tiene una inclinación alrededor de  $23.5^\circ$ . Está dividida en 4 partes iguales llamadas estaciones. La primavera comienza con la intersección de la curva que aparentemente el sol describe alrededor de la Tierra con el plano del ecuador terrestre, es decir cuando el sol cruza el plano ecuatorial yendo de sur a norte, lo que viene siendo el nodo ascendente de la órbita del sol. Por lo que “equinoccio de primavera” es el nodo ascendente de la órbita del sol. La órbita del sol tiene RAAN=0 ya que el nodo ascendente del sol se definió como el lugar donde todos los nodos ascendentes son medidos (punto de referencia).

**Argumento de perigeo (Argument of Perigee):** Conocido como “argo” o “ $W_0$ ”. A la línea que une el perigeo con el apogeo se le conoce como *línea de ápsides*, la cual es el eje mayor de la elipse. Esta línea pasa por el centro de la Tierra.

El argumento de perigeo es el ángulo formado entre la línea de nodos y la línea de ápsides. Cuando estas líneas se intersectan, se forman ángulos complementarios, por lo que el argumento de perigeo es el ángulo medido en el centro de la Tierra entre el nodo ascendente y

el perigeo. En el caso en que el argumento de perigeo sea  $0^\circ$ , es porque el perigeo coincide con el nodo ascendente, y si es  $180^\circ$  es porque el apogeo coincide con el nodo ascendente. El argumento de perigeo es un ángulo entre  $0$  y  $360^\circ$ .

**Excentricidad (Eccentricity):** Conocido como “ecce” o “Eo” o “e”, permite determinar la forma de la elipse. Cuando la excentricidad de la órbita es  $0$  la órbita es circular, y cuando la excentricidad de la órbita es entre  $0$  y  $1$ , la órbita es elíptica con el centro de la Tierra como el foco de la elipse.

**Media de Movimiento (Mean Motion):** Conocido como “N0” o “Mean Motion”, indica el número de revoluciones que el satélite describe por día alrededor de la Tierra, es decir, el número de veces que el satélite pasa por el perigeo en 24 horas, llamadas revoluciones por día. El periodo es el recíproco de “N0”, sin embargo es más fácil de utilizar revoluciones por día debido a que no se necesita hacer conversiones y es muy fácil de conocer cuantas vueltas a dado un satélite a partir del instante de referencia.

**Anomalía media (Mean Anomaly):** Conocido como “M0”, “MA” o “Fase” o “Mean Anomaly”, se encarga de determinar la posición exacta del satélite en la órbita en un momento determinado (*Epoch*). Puede tomar ángulos desde  $0$  hasta  $360^\circ$  durante una revolución, en el perigeo es  $0^\circ$  y en el apogeo  $180^\circ$ .

**Arrastre (Drag Factor) o Decaimiento (Decay), (opcional):** Conocido como “N1”, es la primera derivada de “Mean Motion”, indica la velocidad a la que la “Mean Motion” cambia debido a la fricción u otros efectos relacionados. Sus unidades son las revoluciones por día por día. Por lo regular es un número muy pequeño.

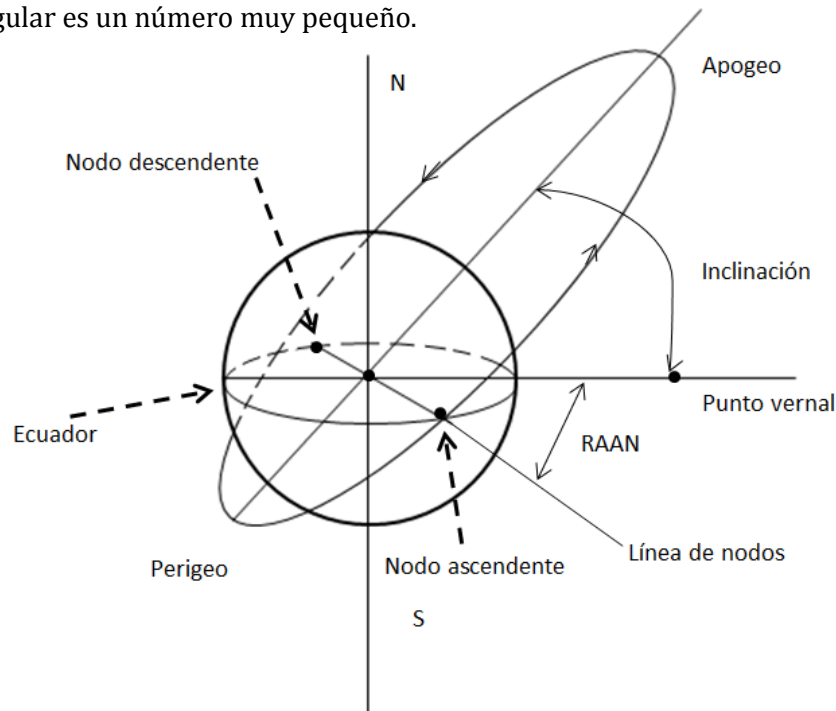


Figura 3.2 Elementos Keplerianos.

## Formatos principales de los elementos Keplerianos

1. Formato NASA (Formato *TLE* "Two Line Elements", Elementos de 2 líneas).

NOMBRE DEL SATÉLITE  
 1 AAAAAU YYLLLPPP BBBB.BBBBBBBB .CCCCCCC DDDDD-X EEEEE-V F GGGGZ  
 2 AAAAA HHH.HHHH III.IIII JJJJJJ KKK.KKKK MMM.MMMM NN.NNNNNNNRRRRRZ

### Nomenclatura

NOMBRE DEL SATÉLITE. Puede tener hasta 11 caracteres.

Línea 1. Indicado por el primer dígito de la línea: "1".

"A" - *catalognum* - Catálogo o número del satélite.

"U" - clasificación de Seguridad del conjunto de elementos (U = no clasificado).

"Y" - indican los últimos 2 dígitos del año de lanzamiento.

"L" - indican el número de lanzamiento en el año.

"P" - indican la pieza de lanzamiento (pueden aparecer de 1 a 3 letras).

"B" - *epochtime* - Época.

- Las primeras 2 "B" indican los últimos 2 dígitos del año.

- Las siguientes 3 "B" indican el día del año.

- El resto de las "B" indican el tiempo fraccionario de un día.

"C" - *decay* - Puede o no aparecer el signo +, el cual indica el signo de la primera derivada de tiempo de "Mean Motion" o lo que es lo mismo, de la tasa de decaimiento.

D - Segunda derivada de "Mean Motion". Puede o no aparecer un signo +, el cual indica el signo de la segunda derivada de tiempo de "Mean Motion", en el cual se asume el punto decimal.

"-X" - indica el signo y exponente de la segunda derivada de tiempo de "Mean Motion". Si no se conoce el valor de la segunda derivada de "Mean Motion", los espacios se dejan en blanco.

"E" - indica el coeficiente de presión de radiación, en el cual se asume el punto decimal. Puede o no aparecer un signo +, el cual indica el signo del coeficiente de presión de radiación.

"-V" - indica el signo y exponente del coeficiente de presión de radiación.

"F" - indica el tipo de efemérides.

"G" - *elsetnum* - Indican el número de elemento.

"Z" - *checksum* - Verifica la exactitud de los datos. Se suman todos los datos numéricos. Letras, espacios en blanco y puntos decimales valen 0. Los signos menos (-) valen 1. Los signos más (+) valen 2. El dato mostrado corresponde al último decimal de esa suma, en módulo 10.

Línea 2. Indicado por el primer dígito de la línea: "2".

A - *catalognum* - Catálogo o número del satélite.

H - *inclination* - Indica la inclinación orbital, en grados (de 0 a 180).

I - *raan* - Indica el valor de Ascensión recta del nodo ascendente, en grados (de 0 a 360).

J - *eccentricity* - Indica la excentricidad. Se asume el punto decimal (entre 0 y 1).

K - *argperigee* - Indica el argumento del perigeo, en grados (de 0 a 360).

M - *mnanom* - Indica la anomalía media, en grados (de 0 a 360).

N - *nmotion* - Indica el "Mean Motion" o número de revoluciones por día.

R - *orbitnum* - Indica el número de revoluciones en "Epoch" (de 1 a 99999).

Z - *checksum* - Verifica la exactitud de los datos. Se suman todos los datos numéricos. Letras, espacios en blanco y puntos decimales valen 0. Los signos menos (-) valen 1. Los signos más (+) valen 2. El dato mostrado corresponde al último decimal de esa suma, en módulo 10.

Ejemplo:

```
ISS
1 25544U 98067A 04240.93372685 .00017521 00000-0 15286-3 0 5473
2 25544 51.6374 319.4542 0005582 85.4055 259.1881 15.69065041329581
```

2. Formato AMSAT (elementos detallados y descriptivos).

Este formato es muy fácil de entender y de utilizar. Los espacios no son significativos y cada parámetro aparece en línea separada e igualmente el orden de estos es indiferente, excepto el nombre del satélite, el cual siempre debe aparecer al inicio.

Los valores y unidades de los elementos en este formato son los mismos que para el formato de 2 líneas con la única diferencia en el término "cheksum", en el cual no es un solo dígito para comprobar los datos, sino la suma completa de todos estos.

Ejemplo:

```
Satellite: ISS
Catalog number: 25544
Epoch time: 04134.87933009
Element set: 769
Inclination: 51.6266 deg
RA of node: 140.5721 deg
Eccentricity: 0.0011070
Arg of perigee: 131.1075 deg
Mean anomaly: 307.8936 deg
Mean motion: 15.69376567 rev/day
Decay rate: 1.0217e-04 rev/day^2
Epochrev: 31293
Cheksum: 293
```

Entre los diversos programas de seguimiento a través de los cuales se pueden realizar estas predicciones están:

- Nova for Windows
- SatPC32
- InstantTrack
- QuickTrack
- WxTrack
- STSPlus
- TrackSat
- SalleTrack
- SatTrack
- SCRAP
- Satscape (disponible en *AMSAT*)
- Orbitron (disponible en *AMSAT*)