



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Gestión para la autorización y operación
de la primera estación de control
satelital de órbita baja desde la
UAT-FI-UNAM**

T E S I S

Que para obtener el título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Juan José Marcial González

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Jose Alberto Ramírez Aguilar



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Agradecimientos

A mis padres, Micaela y José por la herencia más valiosa que pude recibir, fruto de la confianza que depositaron en mí y al esfuerzo que realizaron para ayudarme a seguir estudiando. Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente. Este trabajo es para ustedes, los amo.

A mi hermano, Antonio por estar conmigo y apoyarme siempre, dándome ideas para lograr un mejor desempeño a lo largo de mi formación profesional. Te agradezco por estar presente aportando buenas cosas a mi vida.

A Valeria quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo, te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre la necesite, por aportar considerablemente en el desarrollo de este trabajo. Te estoy profundamente agradecido, eres una gran persona, una gran amiga.

A amigos Karen, Héctor Ivan y Eddy quienes se convirtieron en mi segunda familia, por haber estado conmigo durante toda la carrera apoyándome en las sesiones de estudio y animándome a aprender más cada día y a no desistir a pesar de las dificultades. Con ustedes pase los mejores momentos en la universidad, muchas gracias son los mejores.

A mis amigos que conocí durante la carrera, ya que con ustedes aprendí una de las lecciones más importantes, la de trabajar en equipo, en este mundo lleno de competencia trabajar solo no es una opción para el desarrollo profesional y es por esto que siempre llevare conmigo tan importante lección.

A la profesora Jacquelyn quien ha sido parte fundamental de mi formación académica. Le agradezco por la confianza y apoyo que me brindo y me sigue brindando, ya que con eso pude desarrollarme de mejor manera en la carrera.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme dado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente dentro de sus instalaciones, también poniendo en mi camino a los mejores profesores, con los cuales aprendí los valores de la universidad, además, del conocimiento técnico que cada uno de ellas y ellos me otorgo.

Al programa de becas PAPIME por el apoyo económico que me fue otorgado para el desarrollo del presente trabajo, que forma parte del proyecto “Adiestramiento Científico-Técnico en la Operación de la Estación Satelital de Comando y Maniobras en órbita” con la clave PE110316.

Al Dr. José Alberto Ramírez Aguilar, por confiar en mí y brindarme la oportunidad de trabajar juntos en este proyecto que me dio gratas experiencias. Asimismo agradezco su tiempo y orientación para el debido desarrollo en el presente trabajo.

Al personal del Instituto Federal de Telecomunicaciones por haber dedicado parte de su tiempo en asesorarme a lo largo de mi investigación, así mismo agradezco su invitación a participar en el Comité Técnico en Materia de Espectro Radioeléctrico CTER.

Índice general

| | |
|---|-----|
| Agradecimientos..... | II |
| Índice general | IV |
| Índice de figuras | VII |
| Índice de tablas | IX |
| Lista de acrónimos..... | X |
| Capítulo 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1 Objetivo | 1 |
| 1.2 Definición del problema | 1 |
| 1.3 Alcance | 3 |
| 1.4 Método..... | 3 |
| Capítulo 2. Antecedentes de operación satelital en México..... | 5 |
| 2.1 Sistema Morelos | 6 |
| 2.2 Sistema Solidaridad | 9 |
| 2.3 Satmex 5 y 6 | 11 |
| 2.4 Sistema Mexsat..... | 15 |
| 2.5 Satélites desarrollados en México | 18 |
| 2.5.1 Satélites UnamSat..... | 18 |
| Capítulo 3. Satélites de órbita baja y sus características. | 21 |
| 3.1 Órbitas satelitales..... | 21 |
| 3.2 Características y aplicaciones de los satélites de órbita baja..... | 23 |
| 3.3 Satélite Cóndor | 25 |
| 3.3.1 Descripción de la misión | 26 |
| 3.3.2 Objetivos del proyecto..... | 28 |
| 3.3.3 Características técnicas y necesidades del micro satélite | 29 |

| | |
|---|----|
| Capítulo 4. Estaciones radioeléctricas TT&C y sus características..... | 31 |
| 4.1 Clasificación de las estaciones radioeléctricas | 31 |
| 4.2 Características de una estación terrena..... | 35 |
| 4.3 Características y Funciones de las estaciones terrenas TT&C | 39 |
| 4.4 Estación de control satelital ECXSAT de la Unidad de Alta Tecnología (UAT) | 41 |
| 4.4.1 Descripción técnica de los elementos de la estación EXCSAT..... | 45 |
| 4.4.2 Necesidades de espectro e implicaciones administrativas de la estación ECXSAT ... | 49 |
| Capítulo 5. | 51 |
| Marco legal aplicable para la solicitud concesión para la estación terrena ECXSAT. | 51 |
| 5.1 Disposiciones de la LFTyR para la solicitud de concesión única | 51 |
| 5.2 Disposiciones de la LFTyR para las concesiones de espectralradioeléctrico y recursos orbitales | 57 |
| 5.3 Lineamientos para la solicitud de concesión de espectro radio eléctrico para uso público | 58 |
| 5.4 Consideraciones a priori para la solicitud de concesiones. | 62 |
| 5.4.1 Gestión ante Dirección General de Asuntos Jurídicos UNAM (DGAJ) | 64 |
| Capítulo 6 Presentación de la solicitud de concesión ante el IFT. | 67 |
| 6.1 Requisitado y recopilación de documentos solicitados. | 67 |
| 6.1.1 Solicitud de interés | 67 |
| 6.1.2 Presentación de información técnica | 69 |
| 6.1.3 Características del servicio a proporcionar | 79 |
| 6.1.4 Acreditación capacidades técnicas financieras, jurídicas y administrativas de la UNAM..... | 80 |
| 6.1.5 Redacción de la Carta compromiso | 82 |
| 6.2 Revisión de documentos y validación por parte de asuntos jurídicos de la UNAM | 83 |
| 6.3 Entrega de solicitud y de documentos en el IFT para la solicitud de concesión. | 84 |
| 6.3.1 Revisión de documentos e Integración del expediente..... | 86 |
| 6.3.2 Resolución de SCT y pago de fianza por concepto de representación ante UIT..... | 86 |

| | |
|---|----|
| 6.3.3 Gestión ante UIT para la obtención del recurso orbital..... | 89 |
| 6.3.4 Plazo de resolución sobre la petición de concesión..... | 89 |
| 6.4 Obtención de la concesión, periodo de expiración y prorrogas..... | 91 |
| Capítulo 7. Comentarios y recomendaciones | 93 |
| Capítulo 8. Conclusión | 96 |
| Capítulo 9. Trabajo a Futuro..... | 98 |
| Referencias | 99 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Antenas de la estación terrena de Tulancingo. | 5 |
| Figura 2 Universidad Estatal de Moscú..... | 20 |
| Figura 3 UNAMSAT-B | 20 |
| Figura 4 Altura a la que se encuentran los satélites LEO. | 24 |
| Figura 5 Exhalación de radón en Kobe antes del terremoto | 27 |
| Figura 6 Hipótesis de la conexión entre la actividad sísmica con el gas radón | 28 |
| Figura 7 Ejemplo Estación Fija | 32 |
| Figura 8 Ejemplo Estación Móvil..... | 32 |
| Figura 9 Ejemplos Estaciones Terrestres..... | 33 |
| Figura 10 Ejemplo Estación Terrena Fija | 33 |
| Figura 11 Ejemplo Estación Terrena Móvil | 34 |
| Figura 12 Ejemplo Estación Terrena Terrestre..... | 34 |
| Figura 13 Configuración básica de una Estación Terrena | 38 |
| Figura 14 Configuración de un sistema de comunicaciones satelital. | 40 |
| Figura 15 Estación Terrena ECXSAT de la UAT-FI-UNAM..... | 42 |
| Figura 16 Esquema preliminar de La Estación Terrena ECXSAT | 43 |
| Figura 17 Esquema del sistema de telemetría y comando | 45 |
| Figura 18 Modelo de Antena Parabólica | 46 |
| Figura 19 Frecuencias que se pretenden utilizar en banda S vistas en el CNAF..... | 54 |
| Figura 20 Frecuencias que se pretenden utilizar en banda X vistas en el CNAF ... | 56 |
| Figura 21 Esquema procedimiento al interior de la UNAM..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 22 Diagrama a bloques de obtención de recursos orbitales y espectro..... | 85 |
| Figura 23 Atribución de servicios de la banda S de transmisión..... | 89 |
| Figura 24 Atribución de servicios de la banda S de recepción..... | 90 |
| Figura 25 Atribución de servicios de la banda X de recepción | 90 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Características técnicas de los Satélites Morelos I y II..... | 8 |
| Tabla 2 Características técnicas de los satélites solidaridad 1 y 2..... | 9 |
| Tabla 3 Características técnicas del Satmex 5 | 12 |
| Tabla 4 Características técnicas del Satmex 6..... | 13 |
| Tabla 5 Características técnicas del satélite Bicentenario | 16 |
| Tabla 6 Características técnicas del satélite Centenario..... | 17 |
| Tabla 7 Características técnicas del satélite Morelos III | 17 |
| Tabla 8 Características técnicas del satélite Cóndor..... | 29 |
| Tabla 9 Características de la Antena..... | 46 |
| Tabla 10 Características del sistema de apuntalamiento | 47 |
| Tabla 11 Características del medidor ROE..... | 47 |
| Tabla 12 Características del Amplificador para banda S..... | 48 |
| Tabla 13 Características de Up converter para banda S | 48 |
| Tabla 14 Características del Down converter para banda S | 49 |
| Tabla 15 Características del Down converter para banda X..... | 49 |
| Tabla 16 Plantilla base para la Solicitud de recursos orbitales..... | 68 |
| Tabla 17 Plantilla base para la Presentación de información técnica | 70 |
| Tabla 18 Cotización de la Estación Terrena. | 78 |
| Tabla 19 Plantilla base para la descripción del servicio a proporcionar..... | 79 |
| Tabla 20 Plantilla base para la redacción de la carta compromiso | 82 |
| Tabla 21 Lista de recuperación de costos a la tramitación de las notificaciones..... | 88 |
| Tabla 22 Plan de orbita para futuros proyectos | 94 |

Lista de acrónimos

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

IFT: Instituto Federal de Telecomunicaciones

SCT: Secretaria de Comunicaciones y Transportes

CNAF: Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

CISEN: Centro de Investigación y Seguridad Nacional

LFTyR: Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión

ECXSAT: Estación de Control Satelital

MIT: Instituto Tecnológico de Massachusetts

MAI: Instituto de Aviación de Moscú

MUG: Universidad Estatal de Moscú

LEO: Low Earth Orbit

MEO: Medium Earth Orbit

GEO: Geostationary Orbit

DGAJ: Dirección General de Asuntos Jurídicos

CONACULTA: Consejo Nacional para las Culturas y las Artes

CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

CICESE: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Telecomm: Telecomunicaciones de México

IF: Frecuencia Intermedia

LNA: Low Noise Amplifier

HPA: Height Power Amplifier

FSS: Fixed Satellite Services

TT&C: Tracking Telemetry and Command

PGR: Procuraduría General de la Republica

SEDENA: Secretaria de la Defensa Nacional

SEMAR: Secretaria de Marina

UAQ: Universidad Autónoma de Querétaro

Capítulo 1. Introducción

1.1 Objetivo

El presente trabajo tendrá como objetivo estudiar los principios de gestión para la autorización de operación de estaciones de control satelital con fines de investigación, tal y como lo es la estación de control satelital “ECXSAT” de la UAT del campus Juriquilla de la UNAM en el estado de Querétaro, tomando en consideración el marco legal aplicable establecido para el registro de la estación y el marco legal aplicable para la concesión de frecuencias dentro del espectro radioeléctrico de las bandas S y X, las cuales servirán para el control de los satélites de órbita baja (LEO) como Cóndor y poder contribuir al desarrollo de la infraestructura satelital en México.

1.2 Definición del problema

Actualmente México no cuenta con una infraestructura propia para desarrollar la industria espacial en la que se den las facilidades para el diseño y construcción de satélites y estaciones de control que los operen. Esto, ha traído como consecuencia, el abandono de un área tan importante como lo es la investigación aeroespacial, ya que solo se ha puesto énfasis en los sistemas de telecomunicaciones móviles terrestres, pero el país se ha rezagado en materia de investigación espacial, que inherentemente habla de independencia tecnológica y soberanía nacional.

En este sentido, el gobierno mexicano ha declarado sus intenciones de impulsar el desarrollo en infraestructura e investigación aeroespacial, por medio del “ACUERDO POR

EL QUE SE EXPIDE EL PROGRAMA NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES”, publicado el 14 de abril de 2015 en el Diario Oficial de la Federación. En dicho acuerdo se considera incentivar el desarrollo del sector espacial, tanto en infraestructura terrestre como en el desarrollo de aparatos espaciales para la observación de la Tierra, seguridad nacional telecomunicaciones entre otros, además, menciona que la formación de capital humano especializado en el campo espacial, representa una inversión estratégica para el desarrollo del sector y del país, en la que deben participar de manera coordinada los sectores educativo, empresarial y gubernamental¹.

Asimismo en la Facultad de ingeniería de la UNAM se han estado desarrollando proyectos satelitales, lo cual ha permitido a la universidad involucrarse en el ámbito de la investigación espacial, y generar capital humano capacitado en esta área mediante la colaboración con otras instituciones y universidades, tanto nacionales como extranjeras. Algunas de estas son UAQ, MAI y MIT, sin embargo, dichos proyectos además de contar con la parte técnica en su desarrollo, es preciso que estén dentro del marco legal nacional vigente debido a su naturaleza técnica.

En este aspecto la AEM en colaboración con CONACYT y el CICESE elaboraron un documento titulado “Guía de Orientación Regulatoria para Satélites Pequeños no Sujetos a Coordinación”². Este es un documento que tiene como finalidad proveer referencias sobre los procesos regulatorios que están enfocados en los satélites pequeños no sujetos a coordinación, sin embargo tiene una tendencia hacia la radio experimentación y servicios de

¹Fragmento del Acuerdo por el que se expide el programa nacional de actividades espaciales (Diario oficial de la federación, 2015)

² Documento Disponible en:

http://www.educacionespacial.aem.gob.mx/images/normateca/pdf/GOR_11_LR.pdf

aficionado, en consecuencia, al solo limitarse a la parte del espectro que corresponde a los radio aficionados deja de lado otros servicios y partes del espectro radioeléctrico que bien podrían también utilizarse con fines de investigación científica, como lo son las bandas S de 2 a 4 [GHz] y X de 8 a 12 [GHz], cuya tasa de transmisión puede servir para experimentos que requieran de más capacidad de transmisión de información, o trabajar en tiempo real, además, no considera completamente la naturaleza jurídica de las instituciones de educación superior que puedan estar interesadas en realizar proyectos satelitales.

1.3 Alcance

El alcance del presente trabajo se limitará al marco regulatorio aplicable en la autorización para la operación de estaciones de control satelital para objetos espaciales que operen en la órbita LEO y las consideraciones a priori para el inicio de las gestiones pertinentes ante las instituciones encargadas de regular este sector. Se tomará como caso de estudio la estación de control satelital ECXSAT de la UAT, considerando su uso para los proyectos satelitales de investigación que ha emprendido esta dependencia de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

1.4 Método

El desarrollo de este trabajo iniciara con un breve repaso de los antecedentes de operación de satélites en México, después se abordará la situación técnica de la estación de control y las características técnicas de los elementos que la componen, posteriormente se reseñarán las características técnicas del proyecto satelital CONDOR, mencionando primeramente la naturaleza de los satélites de órbita baja y sus aplicaciones. En seguida se

estudiaran las disposiciones de la ley, para poner el proyecto en cuestión en marcha, atendiendo a sus características, para finalmente señalar los plazos y requisitos para la presentación del proyecto ante el IFT, así como los periodos de expiración de las concesiones y prorrogas, terminando con cometarios sobre la gestión y recomendaciones.

Capítulo 2. Antecedentes de operación satelital en México

La finalización de la construcción de la estación terrena en Tulancingo Hidalgo, el 10 de octubre de 1968, marco la entrada de México a la era satelital, y con esto fue posible que millones de televidentes alrededor del mundo presenciaran las olimpiadas de México (ver figura 1). Más tarde en 1970, se inició el servicio doméstico por satélite, pero fue a partir de 1982 que el gobierno mexicano adquirió su primer sistema satelital propio llamado “Sistema Morelos”.



Figura 1 Antenas de la estación terrena de Tulancingo.

En 1979 el gobierno mexicano inicio los procedimientos ante la UIT (Unión internacional de telecomunicaciones) para adquirir posiciones en la órbita geoestacionaria para un satélite mexicano, y fue hasta 1982 que México obtuvo las posiciones 113.5°W y 116.5°W de la órbita geoestacionaria.

Para 1980 la construcción de las estaciones terrenas Tulancingo II y Tulancingo III terminaron, y en 1981 Tulancingo III inició sus operaciones, para lo cual el gobierno

mexicano rento el servicio de tres satélites: dos del consorcio Intelsat, cuyo propósito fue el de cubrir las comunicaciones nacionales e internacionales, y el tercer satélite fue el norteamericano Westar III, que sirvió para cubrir emisiones televisivas. Hasta este punto el uso de las telecomunicaciones vía satélite en México solo se limitaba a la renta de transpondedores de satélites del consorcio Intelsat.

2.1 Sistema Morelos

El Sistema Morelos nació con el fin de comunicar las zonas rurales y urbanas de la nación, proporcionando a las entidades federativas un medio de comunicación que les permitiera integrar a las diversas regiones de las que se compone, además de respaldar a la Red Federal de Microondas, la cual estaba operando a su máxima capacidad. Fue entonces cuando el gobierno mexicano, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), anuncio en octubre de 1982, que la empresa encargada de construir el sistema satelital sería Hughes Communications International, ya que esta había ofrecido mejores propuestas.

Por otro lado la empresa McDonnell Communications International construiría el módulo de asistencia de carga, NASA se encargaría de los servicios de lanzamiento, Comsat General Corporation facilitaría los servicios de ejecución durante la construcción, lanzamiento y puesta en órbita de los satélites, y finalmente Inspace y la Aseguradora mexicana aportarían el seguro en caso de posibles fallas. El costo total de todas las operaciones ascendió a los 92 millones de dólares.

En ese mismo año fue cuando se obtuvieron las posiciones orbitales anteriormente mencionadas, pero fue hasta 1984 que dichas posiciones fueron notificadas e inscritas en el

Registro Internacional de Frecuencias de la UIT, con lo cual México obtuvo el reconocimiento y protección internacional que lo faculta para ocuparlas y explotarlas.

Más adelante, el 3 de junio de 1985, se inauguró el centro de control espacial Walter C. Buchanan, en Iztapalapa, de donde serían monitoreados y controlados los satélites del sistema Morelos, para lo cual estaba equipado con antenas de 11 metros de diámetro y un cuarto de computo. Con esto, la infraestructura terrena necesaria para la operación del “Sistema Morelos” fue completada.

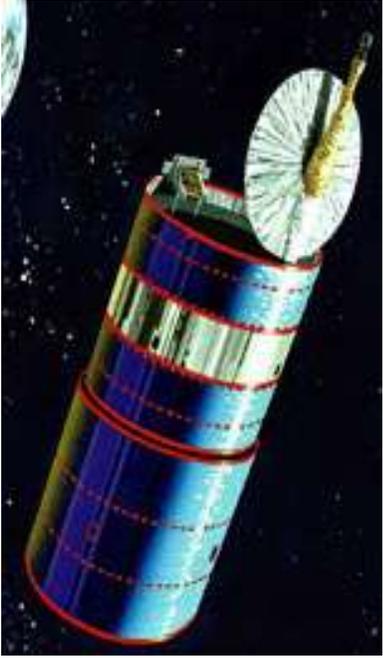
Después, el 17 de junio del mismo año el satélite Morelos I, fue puesto en órbita desde Florida, a través del transbordador espacial Discovery, propiedad de NASA, y comenzó a funcionar en agosto del mismo año. En 1993 terminó su vida útil y sus funciones fueron transferidas al Solidaridad 1 y en 1994 cedió su posición al Solidaridad 2. Las características técnicas del satélite Morelos I

Finalmente en noviembre de 1985 se lanzó el satélite Morelos II a través del transbordador Atlantis, a órbita de almacenamiento, para uso activo en 1988, para así expandir la vida del sistema a su vez que funcionaría como en respaldo y así garantizar el servicio. Cabe destacar que este satélite fue diseñado para 9 años de vida útil con lo que se esperaba que dejara de funcionar en 1994, sin embargo su vida útil, fue extendida por diez años más con una técnica que minimizaba las correcciones de su órbita, y fue hasta el año 2004 cuando fue sacado de su órbita. Las características técnicas del Morelos II son las mismas que el Morelos como se ve en la tabla 1, ya que Morelos podía utilizarse como respaldo de Morelos I.

Durante su vida útil el Sistema Morelos brindó servicios de televisión, ya que también había sido pensado para fines educativos, telefonía y transporte de datos desde cualquier punto de la república mexicana, cada transponedor tenía una capacidad de 36 canales de televisión, con alrededor de 1300 [MHz] de ancho de banda.

Tabla 1 Características técnicas de los Satélites Morelos I y II³

| Características técnicas de los satélites Morelos I y II | |
|---|--|
| Fabricante | Hughes Communications International |
| Modelo | HS-376 |
| Estabilidad | Por giro |
| Peso total | 666 [Kg] |
| Potencia | 777 [W] |
| Bandas de frecuencia | C y Ku |
| Vida útil | 9 años |
| Dimensiones | 2.16 [m] de diámetro |
| | 6.66 [m] de longitud |
| Vehículo lanzador | Transbordador espacial Discovery (Morelos I) Atlantis (Morelos II) |



Para el año 1986 la SCT termino los contratos que tenía con Intelsat de arrendamiento de transpondedores para las comunicaciones internas del país, pero mantuvo aquellas que concernían a las comunicaciones internacionales.

³ Tabla obtenida del documento Regulación satelital en México disponible en (Pagina oficial del Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2013)

2.2 Sistema Solidaridad

Con el fin de la vida útil de los satélites Morelos, en mayo de 1991, Telecomm (Telecomunicaciones de México), un organismo descentralizado del gobierno federal encargado de administrar la prestación servicios de comunicaciones vía satélite, contrató nuevamente a Hughes Communications International para la construcción del segundo sistema satelital, que fue nombrado Solidaridad, el cual contaría con dos satélites, el Solidaridad 1 y el Solidaridad 2 con las características técnicas de la tabla 2, y cuyo costo fue de más 300 millones de dólares.

Tabla 2 Características técnicas de los satélites solidaridad 1 y 2⁴

| Características técnicas de los satélites Solidaridad 1 y 2 | |
|---|------------------------------------|
| Fabricante | Huges Communications International |
| Modelo | HS-601 |
| Estabilidad | Triaxial |
| Peso total | 2773.23 [Kg] |
| Potencia | 3370 [W] |
| Bandas de frecuencia | C, Ku y L |
| Vida útil | 14 años |
| Dimensiones | 6.67 [m] entre antenas |
| | 21 [m] paneles desplegados |
| Vehículo lanzador | Ariane 44LP |



⁴ Tabla obtenida del documento Regulación satelital en México disponible en (Pagina oficial del Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2013)

El monto de 300 millones de dólares también cubría los costos del servicio de lanzamiento, los debidos ajustes al centro de control de Iztapalapa, además de un nuevo centro de control en Hermosillo, y los seguros en caso de fallas. En cuanto a las posiciones orbitales, anteriormente en 1988 el gobierno mexicano obtuvo un nuevo acuerdo para explotar las posiciones orbitales 113°W, 114.9°W y 116.8°W.

El satélite Solidaridad 1 fue lanzado a través de un cohete propiedad de Ariane Space, en noviembre de 1993, pero debido a fallas eléctricas, que derivaron en un daño significativo en los controles de procesamiento satelital dejó de operar en agosto del año 2000, esto represento un gran problema para las comunicaciones del país, porque el satélite había sido diseñado para 15 años de vida útil y esto representaba una pérdida económica considerable, entonces sus funciones fueron transferidas a los satélites Solidaridad 2 y Satmex 5.

El satélite Solidaridad 2 fue lanzado en la Guyana francesa el 7 de octubre de 1994, con ayuda de un cohete de la misma empresa que lanzo al Solidaridad 1 y posicionado en la órbita en la que se encontraba el satélite Morelos I la órbita 113.5°W. En marzo del 2006 debido a una falla tuvo que ser migrado a otra orbita, precisamente a la 114.9° oeste, con el objetivo de alargar su vida útil, sin embargo tiempo después, en marzo del año 2008 fue trasladado a una órbita inclinada con el mismo propósito de alargar su vida, pero esta vez también lo retiraron del servicio comercial y solo quedó para servicios del gobierno mexicano. Finalmente la vida útil del satélite terminó el 29 de noviembre del 2013.

Con el Sistema Solidaridad se logró incrementar la capacidad de las señales, debido a que la capacidad de este sistema era del doble que su antecesor y su potencia era ocho veces mayor, en consecuencia el costo de la infraestructura terrestre se redujo, al mismo tiempo

que diversificó la prestación de servicios. El sistema prestaba los servicios de datos, voz, video y audio a empresas grandes y medianas, a los sectores financiero y comercial del país, y sirvió de apoyo a la impartición de la educación, cultura, ciencia, salud y a la seguridad nacional, en banda L para este último, siendo hasta ese momento el único satélite que podía operar señales cifradas para las instituciones gubernamentales.

2.3 Satmex 5 y 6

En junio de 1997 se creó la empresa denominada “Satélites Mexicanos”, cuya naturaleza era la de una paraestatal con participación gubernamental mayoritaria, a la que se le encomendaron las concesiones sobre las tres posiciones asignadas a México, así como la propiedad de los satélites Solidaridad 1, Solidaridad 2 y Morelos II. Más adelante el 75% de las acciones de la empresa fueron vendidas al consorcio formado por Telefónica Autrey y Loral Space and Communications, consolidándose de esta manera el proceso de privatización iniciado en 1995, cuando se reformó el artículo 28 de la constitución mexicana permitiendo que particulares participaran en la explotación de los recursos orbitales del país.

Antes de que se cambiara la administración de los satélites de Telecomm a Satmex y finalmente se concretara la privatización de esta última, en 1996, se solicitó un nuevo satélite a Hughes, que daría cobertura a todo el continente americano en las bandas C y Ku. El satélite sería llamado Morelos 3, pero dado que durante su proceso de construcción se dio todo el proceso anteriormente descrito, su nombre fue modificado a Satmex 5.

Satmex 5 fue una versión aún más poderosa que los del sistema Solidaridad, ya que los paneles solares con los que contaba, le concedían una potencia eléctrica diez veces mayor

que la de los satélites Morelos y tres veces mayor que los Solidaridad como puede verse en la tabla 3, esto le permitía tener una huella que cubría desde Canadá hasta Argentina. Otra de sus características era que contaba con 24 bandas de frecuencia en la banda C y 24 en la banda Ku.

El satélite Satmex 5 fue puesto en órbita el 5 de diciembre de 1998 a bordo de un cohete Ariane-42L H10-3, y colocado en la posición 116.8°W remplazando al satélite Morelos II. El 27 de enero del 2010 presentó una falla en su sistema de propulsión, basado en iones de xenón, con lo cual entró el sistema de propulsión químico. Finalmente se le cambio de posición orbital a la 114.9°W para alargar su vida útil, que terminó a finales del 2013.

Tabla 3 Características técnicas del Satmex 5 ⁵

| Características técnicas del satélite Satmex 5 | |
|---|----------------------------|
| Fabricante | Huges Aircraft |
| Modelo | HS-601 HP |
| Estabilidad | Triaxial |
| Peso total | 4135 [Kg] |
| Potencia | 7000 [W] |
| Bandas de frecuencia | C y Ku |
| Vida útil | 15 años |
| Dimensiones | 9.4 [m] entre antenas |
| | 26 [m] paneles desplegados |
| Vehículo lanzador | Ariane 42 L |



⁵Tabla obtenida del documento Regulación satelital en México disponible en (Pagina oficial del Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2013)

Ante la inminente llegada del fin de la vida útil del satélite Solidaridad 1, fue solicitado a Space Systems Loral (SSL) la construcción del satélite Satmex 6, el cual fue diseñado, para tener una vida útil de 15 años, con el doble de potencia que el Satmex 5 y mayor ancho de banda , como se ve en la tabla 4, además cuenta con 24 bandas de frecuencia en Ku de 36 [MHz] cada una, 36 bandas C también de 36[MHz] cada una, y tuvo un costo de 235 millones de dólares. Fue lanzado y el 27 de mayo del 2006 por un cohete Ariane-5, y puesto en la órbita 113°W que dejó libre el satélite Solidaridad 2 para colocarse en la órbita 114.9°W.

Tabla 4 Características técnicas del Satmex 6⁶

| Características técnicas del satélite Satmex 6 | |
|---|---------------------|
| Fabricante | Space Systems Loral |
| Modelo | LS-1300X |
| Estabilidad | Triaxial |
| Peso total | 5456 [Kg] |
| Potencia | 7000 [W] |
| Bandas de frecuencia | C y Ku |
| Vida útil | 15 años |
| Vehículo lanzador | Ariane SECA |



Dos años después, en 2008, fue solicitada la construcción del Satmex 7 a Space Systems Loral para sustituir al Solidaridad 2, Satmex 7 estaría destinado a ocupar la posición

⁶ Tabla obtenida del documento Regulación satelital en México disponible en (Pagina oficial del Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2013)

orbital 109.2°W, y su lanzamiento se programó para el año 2011. Sin embargo, al realizar la primera convocatoria para la licitación, ningún proveedor cumplió con los requisitos, por lo que el gobierno mexicano la declaró desierta, y se realizó una nueva licitación en donde nuevamente quedo declarada como desierta, al no cumplir con las expectativas, en consecuencia quedó pérdida la posición orbital que por indicaciones de UIT tenía que ser ocupada a más tardar el 5 de marzo de 2008 y el proyecto de Satmex 7 fue cancelado.

Con el objetivo de reemplazar al satélite Satmex 5 el gobierno mexicano anunció la construcción del Satmex 8. Este satélite construido nuevamente por SSL incorporó el sistema FSS (Fixed Satellite Services), que es un tipo de servicio móvil que permite hacer y recibir llamadas simultáneas por varios usuarios en áreas estratégicas, asimismo tiene una capacidad para 24 bandas C y 41.5 bandas Ku, con cobertura en todo el continente americano, y una vida útil de 15 años. Finalmente el 26 de marzo de 2013 fue lanzado desde el cosmódromo de Baikonur en Kazajistán, ocupando la posición orbital 114.9°W.

La compañía Satmex no pudo mantener su rentabilidad por lo que en dos ocasiones se declaró en banca rota, la primera en 2005 y la segunda en 2011, entonces se decidió ponerla en venta a un precio de 500 millones de dólares, que serían suficientes para sanear sus deudas. Asimismo en el año 2012 con la reforma en telecomunicaciones impulsada por el gobierno federal, se dio apertura a la inversión extranjera directa en 100% en el sector satelital, con lo cual la empresa adquirió un gran atractivo para su compra y en 2013 la empresa francesa Eutelsat Communications realizó la compra por 931 millones de dólares, la cual incluía a los satélites Satmex 5, 6 y 8

2.4 Sistema Mexsat

Las comunicaciones vía satélite para México son sumamente importantes, ya que esta tecnología permite comunicar a las personas que viven en zonas de difícil acceso para las redes de comunicaciones, recibir alertas tempranas en caso de emergencias y desastres naturales; asimismo son estratégicas para la seguridad nacional y la seguridad pública. De no contar con este tipo de tecnologías, el estado mexicano tendría que pagar a operadores extranjeros para obtener los servicios necesarios, que a largo plazo sus costos podrían superar los presupuestados y se tendrían más pérdidas que beneficios. Con base en esto, el gobierno mexicano a través de la SCT, decidió adquirir un nuevo sistema satelital, denominado Mexsat, que estaría conformado por tres satélites; Mexsat 1(Centenario), Mexsat 2 (Morelos III) y Mexsat 3 (Bicentenario).

Los satélites Centenario y Morelos III se planearon como satélites gemelos de comunicaciones móviles, para que uno fuera el respaldo del otro, y para operar en la banda L y Ku, mientras que el satélite Bicentenario ofrecería el servicio fijo que operaría en las bandas C y Ku extendida, además de funcionar como controlador de los otros dos. El 17 de diciembre de 2010 la SCT firmó el contrato con la empresa Boeing Stellite Systems para la construcción de los tres satélites, dos estaciones terrenas y terminales de usuario de referencia cuyo costo fue de 1000 millones de dólares. Las estaciones terrenas fueron construidas en Hermosillo, Sonora e Iztapalapa y, fueron inauguradas el 29 de noviembre del 2012 y quedaron bajo el control de Telecomm.

El primer satélite en ponerse en órbita sería el Bicentenario (ver tabla 5), como parte de los festejos de la independencia de México, así que el 28 de junio de 2011 se realizó el

contrato con la empresa Arianespace para la adquisición de los servicios de lanzamiento y puesta en órbita, de donde se estableció el periodo de lanzamiento que fue del 1 de noviembre de 2012 al 31 de enero del 2013, para finalmente ser lanzado el 19 de diciembre de 2012 a bordo de un cohete Ariane 5, desde la base de Kourou en la Guayana Francesa, y ocupar la órbita 114.9°W. Su vida útil fue calculada en 15 años.

Tabla 5 Características técnicas del satélite Bicentenario

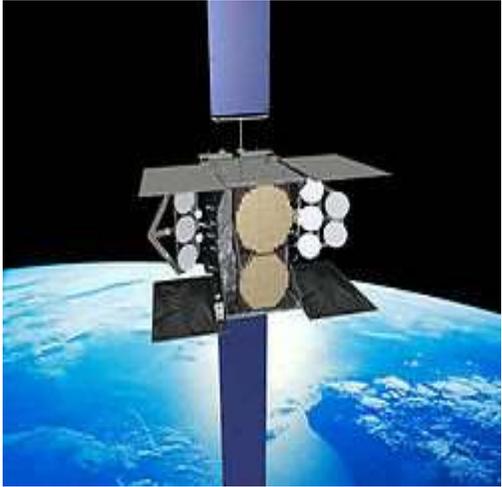
| Características técnicas del satélite Bicentenario | |
|---|------------------------------|
| Fabricante | Orbital Sciences Corporation |
| Modelo | GEOSTAR-2 |
| Peso total | 2900 [Kg] |
| Potencia | 3500 [W] |
| Bandas de frecuencia | C y Ku |
| Vida útil | 15 años |
| Vehículo lanzador | Ariane 5 |



En la tabla 6 se muestran las características de lo que fue el satélite centenario, el cual fue planeado para ponerse en órbita desde el cosmódromo de Baikonur, Kazajistán, en el verano del 2015, específicamente el 16 de mayo del 2015, sin embargo, un fallo en la ignición de la tercera etapa del cohete portador Proton-M, que ya se encontraba a una altura de 170 kilómetros causó el reingreso de este a la Tierra con el satélite, desintegrándose en la atmósfera y cayendo los restos del satélite en Siberia.

Tabla 6 Características técnicas del satélite Centenario

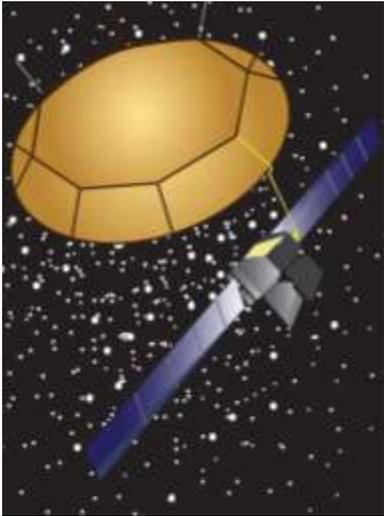
| Características técnicas del satélite Centenario | |
|--|------------------------------|
| Fabricante | Orbital Sciences Corporation |
| Modelo | Boeing 702 HP |
| Peso total | Aprox. 2900 [Kg] |
| Potencia | Aprox. 3500 [W] |
| Bandas de frecuencia | L y Ku |
| Vida útil | 15 años |
| Vehículo lanzador | Protón M |



Por último, el satélite Morelos III que había sido planeado para ser lanzado en el tercer trimestre del 2014 y ponerse en la órbita 116.8°W, fue pospuesto para ser lanzado el 2 de octubre de 2015 en un cohete Atlas-V, de la empresa Lockheed Martin Commercial Launch Services, desde la base de la fuerza aérea de Estados Unidos en Cabo Cañaberal, Florida, para posteriormente ocupar la posición 113.5°W.

Tabla 7 Características técnicas del satélite Morelos III

| Características técnicas del satélite Morelos III | |
|---|--------------------------|
| Fabricante | Boenig Satellite Systems |
| Modelo | Boeing 702 HO |
| Peso total | 5300 [Kg] |
| Potencia | 3500 [W] |
| Bandas de frecuencia | L y Ku |
| Vida útil | 15 años |
| Vehículo lanzador | Atlas V 421 |



Actualmente, el Morelos III da servicio a la Secretaría de la Defensa Nacional (Sedena), Secretaría de Marina (Semar) y SCT, también al Centro de Investigación y Seguridad Nacional (Cisen), Procuraduría General de la República (PGR) y a la Policía Federal.

Hasta este punto la infraestructura satelital ha estado principalmente enfocada a los satélites de comunicaciones en la órbita geoestacionaria, es entonces que a continuación se repasará el caso en el que se dedicaron esfuerzos para la creación del primer satélite con fines de investigación de México.

2.5 Satélites desarrollados en México

2.5.1 Satélites UnamSat

Los satélites UnamSat no tenían el objeto de ser un sistema de comunicaciones, sino el de ser un sistema de satélites científicos y de fabricación mexicana, que nació del programa universitario de investigación y desarrollo espacial (PUIDE) en 1991, y que dio como resultado, el proyecto para construir los satélites UNAMSAT-1 y UNAMSAT-B. En este proyecto también ayudó la Organización Amateur de satélites (AMSAT), a cambio de incluir en el diseño un transpondedor para el uso de radioaficionados.

El satélite UNAMSAT-1 fue ideado para el estudio estadístico de las trayectorias del impacto de los meteoritos en la atmósfera terrestre, así que su diseño fue de forma cúbica conformado por 5 módulos, baterías y celdas solares para sumar un peso de 17 kilos, asimismo contaba con un sistema de comunicación de 0.2-0.3 en la banda UHF. El satélite sería colocado en órbita polar, y para reducir los costos que esto implicaba, se decidió hacer

un convenio con el instituto Sternberg de la Universidad Estatal de Moscú y la empresa espacial Progress, de esta manera se logró lanzar al UNAMSAT-1 el 28 de marzo de 1995 desde la base militar en Plesetsk, Rusia, sin embargo una falla en el cohete de lanzamiento ruso hizo fracasar la misión y el satélite se perdió.

El UNAMSAT-B (ver Figura 2), fue construido paralelamente con el UNAMSAT-1, pero este tenía el fin de ser un satélite de tipo modelo de ingeniería, por lo que quedaría en Tierra, y por esta razón se construyó con las mismas características que su antecesor, sin embargo, cuando la puesta en órbita del satélite UNAMSAT-1 falló, se decidió poner este modelo de Tierra en órbita realizándole, los respectivos ajustes y mejoras para ello. La puesta en órbita costo 112 mil dólares y se logró con la ayuda del Instituto Aviación de Moscú (MAI) y con la empresa espacial Lavochkin Association a través de su cohete Kosmos-3M. El lanzamiento del satélite se realizó el 5 de septiembre de 1996, desde el cosmódromo de Plesetsk, para ocupar una órbita inclinada a 83° con respecto al plano ecuatorial, a una altura mil kilómetros, e inicio sus transmisiones a la estación en Plesetsk siendo así el primer satélite construido en México que transmitió telemetría a la tierra. A pesar de tal logro, el satélite UNAMSAT-B comenzó a tener fallas técnicas, con lo que posteriormente se dio por perdido al satélite. El proyecto de los UNAMSAT marcó el inicio del desarrollo de objetos espaciales dentro de la UNAM.

Continuando con esta tendencia en la Facultad de Ingeniería se iniciaron los proyectos en cooperación internacional en 2003 con un acuerdo de colaboración académica, científica y cultural entre la UNAM y el Instituto de Aviación de Moscú (MAI) y la Universidad Estatal de Moscú (ver Figura 3).



Figura 2 Universidad Estatal de Moscú⁷

Con este acuerdo se dio el primer paso para preparar a nivel maestría y doctorado a una generación, además, de diseñar y construir satélites, de lo cual derivó en la necesidad de implementar un proyecto para el segmento terrestre, que serviría para operar satélites que tendrían fines de investigación espacial, exploración de la Tierra y meteorología. Más adelante se dio la oportunidad de colaborar con más instituciones tales como el MIT y CONACULTA con lo que la necesidad de contar una estación terrena se volvió importante.

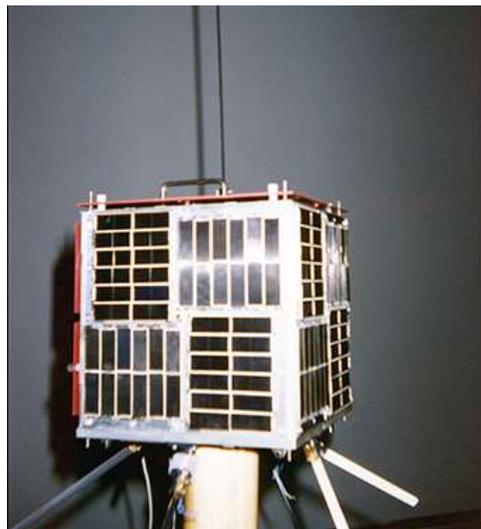


Figura 3 UNAMSAT-B⁸

⁷ Imagen obtenida de: <https://tourgratiosmoscu.com/informacion-util/la-universidad-estatal-de-moscu/>

⁸ Imagen obtenida de:

<http://www.historiadelcomputo.unam.mx/files/fotos/unamsat/unamsat.html#.WhTWN3lrzIU>

Capítulo 3. Satélites de órbita baja y sus características.

3.1 Órbitas satelitales

El concepto de órbita por lo general se define como “la trayectoria que un cuerpo describe al estar sometido a las fuerzas gravitatorias ejercidas por los astros”. Es decir que es el camino que recorre un cuerpo al girar alrededor de otro, de masa preponderante, y en consecuencia ser sometido a las fuerzas de atracción y repulsión.

Existen distintas clasificaciones de las orbitas satelitales, las cuales dependen de diferentes factores, como: altitud, excentricidad, periodo, ángulo de inclinación, el sentido de rotación y la sincronía que tienen con respecto al giro de traslación del cuerpo al que circundan como se presenta a continuación (Huidobro J, 2014).

- **Por su excentricidad**

Circulares con una excentricidad igual a cero y elípticas con una excentricidad mayor a cero y menor a uno.

- **Por su inclinación**

Ecuatorial cuando su inclinación es cero con respecto al plano ecuatorial.

Inclinada en el los casos en que la inclinación es mayor a 0° y menor a 90° , y cuando es mayor a 90° y menor a 180° .

Polar cuando se encuentra en un ángulo de 90° .

- **Por su periodo orbital**

Subsíncrono cuando el periodo orbital es menor de 24 [hrs]

Semisíncrono en el caso de que el periodo este cercano a las 12 [hrs].

Geosíncrono cuando el periodo orbital es de 24 [hrs].

Supersíncrono cuando el periodo es mayor a las 24 [hrs].

- **Por su altitud**

Órbita baja terrestre (LEO) ubicada entre los 500 [Km] y los 2000 [Km].

Órbita media terrestre (MEO) ubicada entre los 6000 [Km] y los 11000 [Km], pero también se encuentra en alturas más allá de los 20000 [Km]. Esto es debido a que se evita la segunda sección de los cinturones de Van Allen que se encuentran a una altura aproximada de 15000[Km].

Órbita geostacionaria (GEO) esta orbita se encuentra a una altura de 35.796 [Km].

Órbita altamente elíptica (HEO) se trata de una órbita que se encuentra a una distancia superior a los 36000 [Km] en su punto más alejado de la Tierra.

- **Por su sentido de rotación**

Prograda. El sentido de rotación es igual al sentido del giro de la Tierra.

Retrograda. El sentido de rotación es en sentido contrario al de la Tierra, esta orbita se obtiene realizando cambios en la inclinación de su plano orbital.

Cabe señalar que la órbita de los satélites estará definida por la misión a cumplir, y en consecuencia la órbita que describirá estará dada por la suma del conjunto de parámetros anteriormente vistos, debido a la naturaleza física que los relaciona entre sí. Un claro ejemplo de esto son los satélites geoestacionarios cuya misión es la de ser satélites de comunicaciones, por lo tanto su órbita es, geosíncrona, geoestacionaria, circular y ecuatorial.

3.2 Características y aplicaciones de los satélites de órbita baja

La característica principal de estos satélites es, como su nombre lo señala, la altura a la que orbitan nuestro planeta, la cual está en el rango de los 500[Km] y 2000[Km] como se muestra en la Figura 4, es decir, que se encuentran entre las llamadas región de densidad atmosférica y la región de los cinturones de Van Allen. Debido a esta cercanía con la Tierra, los objetos puestos en ese rango, hace que su velocidad sea considerablemente alta, alrededor los 2000 y 2500 [Km/h] con lo que se obtiene un periodo de entre 1.5 y 2 horas. En consecuencia el periodo orbital de visibilidad del satélite es muy corto, por lo que se requiere de una red de satélites para obtener una cobertura constante para un sistema de comunicaciones que cubra la región deseada.

Las orbitas bajas al estar relativamente cerca de la Tierra, reduce las pérdidas y degradación de la señal, esto promete poder contar con una gran capacidad de transferencia de información y retardos mínimos, en otras palabras, se puede contar con un gran ancho de banda. Aunado a esta característica, se tiene que el fenómeno de arrastre atmosférico es más fuerte, y en consecuencia la vida útil de estos satélites es más corta, rondando entre los 2 años y 7 años en los casos en que los satélites cuentan con un sistema de corrección de orbita,

hasta que finalmente son arrastrados a precipitarse contra la Tierra, desintegrándose en la atmosfera en el proceso.

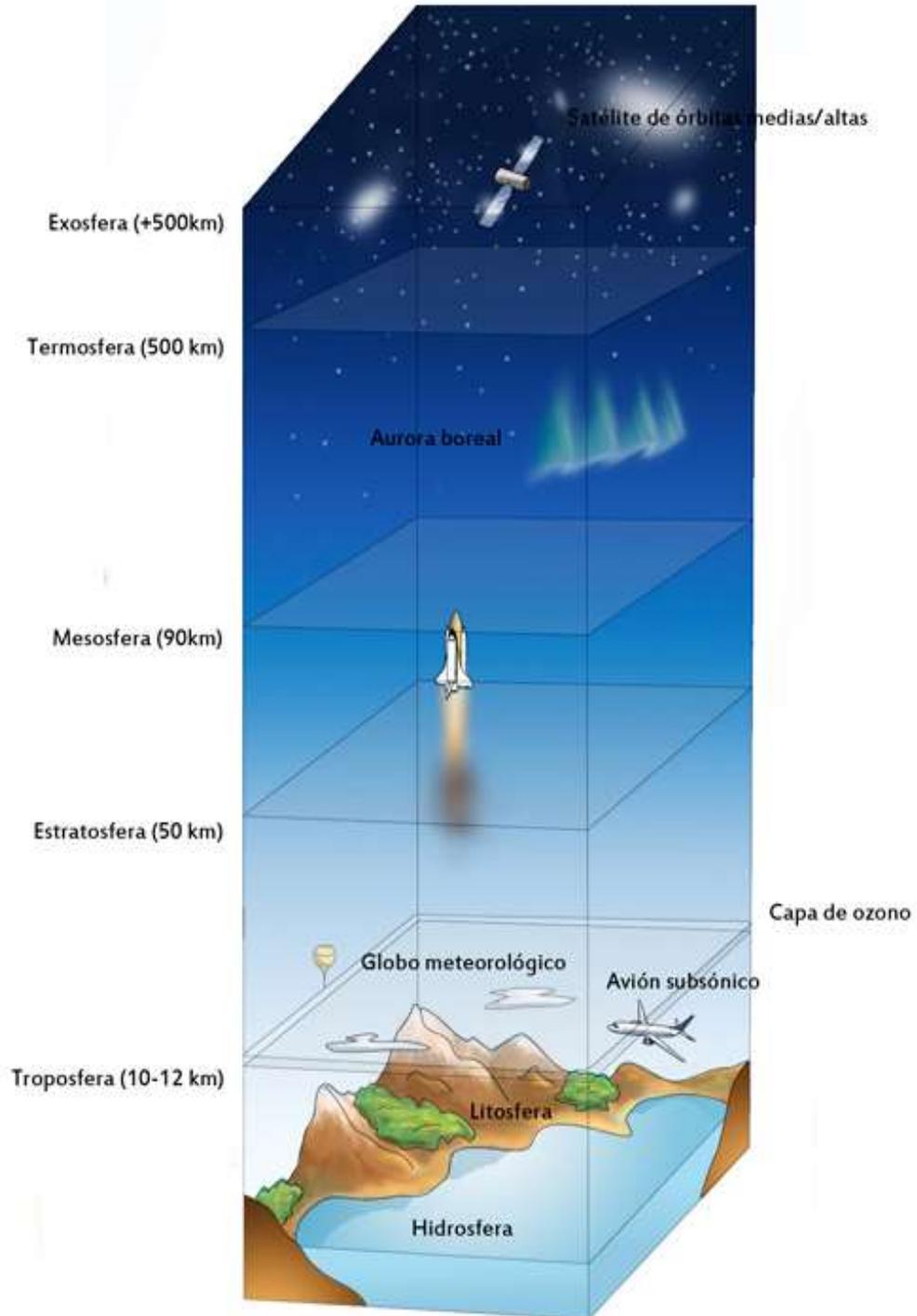


Figura 4 Altura a la que se encuentran los satélites LEO.

Es por esta razón que es preferible que los satélites ubicados en la órbita baja sean pequeños, ya que de ser su mayor volumen, dicha desintegración no se completaría, y esto ocasionaría problemas con accidentes en Tierra, aire o mar, además, de ocasionar problemas diplomáticos entre los países involucrados.

En materia de satélites de exploración de la Tierra y del servicio meteorológico, los que se encuentran en la órbita baja, tienen una importante ventaja, porque permiten obtener una mejor resolución de las imágenes y muestras que son tomadas con las cámaras y sensores integrados a estos. Asimismo su inclinación es de 90° grados respecto al plano ecuatorial, es decir, que se encuentran una órbita polar o heliosincrónica. Los satélites orbitan de polo a polo, están sincronizados con el Sol y pasan dos veces al día por el mismo punto.

En este contexto pueden ser utilizados para la obtención de datos geológicos sobre el movimiento de las capas terrestres, en la navegación para localizar icebergs o para trazar corrientes oceánicas.

Dentro de las aplicaciones de satélites LEO o de órbita baja, existe una clasificación basada en la tasa de transmisión de datos. Los “LEO Pequeños” que transmiten apenas en unas decenas de Kbps, los “LEO Grandes” destinados a servicios de telefonía y datos, transmiten de cientos a miles de Kbps y los “Mega LEO” que transmiten a tasas de Mbps, con frecuencias de transmisión diferentes que dependen de la resolución a la que están operando.

3.3 Satélite Cándor

El proyecto CONDOR surgió como resultado del convenio entre la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Aviación de Moscú (MAI) y la Universidad Estatal de Moscú (MGU) tiene como objetivo proveer capacitación necesaria a

ingenieros mexicanos en el diseño, construcción, lanzamiento y explotación de satélites pequeños.

3.3.1 Descripción de la misión

Es bien sabido que México se encuentra en una zona altamente sísmica, es por esta razón que las tecnologías que permitan obtener un diagnóstico preventivo a estos fenómenos resulta de gran ayuda. Este satélite tendrá como misión realizar investigaciones sobre los niveles de gas radón en la ionosfera, el cual, se ha teorizado, es un precursor sísmico-ionosférico, de confirmarse esta hipótesis, proporcionaría una herramienta invaluable para prevenir desastres como los ya ocurridos en nuestro país.

La hipótesis del gas radón como precursor sísmico, surgió después del terremoto en Kobe, Japón en 1995, ya que antes de producirse el movimiento telúrico, se registró una inusual lectura de gas radón, como se ve en la figura 5, que justo antes de la fecha del sismo hubo un pico en la lectura de dicho gas con una lectura cercana a los 250 [Bq/L] (Bq/L es la unidad con la que se mide la actividad radioactiva).

Este fenómeno fue explicado como que *“desde el interior de la tierra fluyó gas a través de grietas, microfallas, juntas y por la porosidad del terreno. Este hallazgo ha llevado a considerar el aumento anómalo de radón como un precursor de terremotos y erupciones volcánicas. Se sabe que la concentración de este gas, está relacionado con la presión atmosférica, humedad y temperatura; pero no sólo en Kobe sino también en otros eventos, la concentración excedió los valores normales”*⁹.

⁹ Fragmento obtenido de tesis doctoral “APLICACIÓN DE LA ENTROPÍA Y ESFERA DEBYE AL ESTUDIO DE PRECURSORES SÍSMICOS Y CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA” (Estrada, 2013, pág. 47)

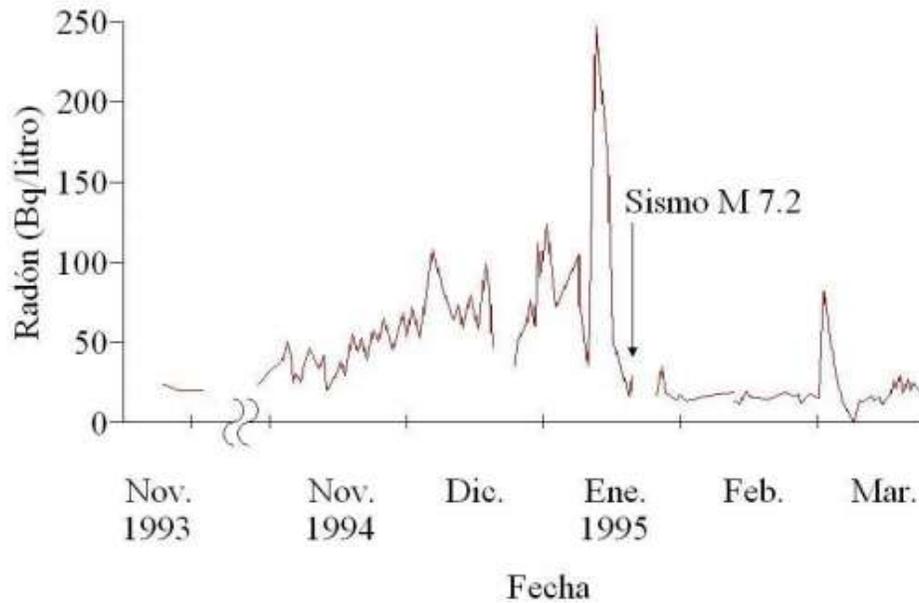


Figura 5 Exhalación de radón en Kobe antes del terremoto¹⁰

En la Figura 6 se muestra de manera que “según la actividad entre placas tectónicas previa a un terremoto, se producirá una menor o mayor acumulación de gas Radón desde las profundidades de la Tierra hasta la superficie y, luego, se dirigirá a la atmósfera. La forma en la que se puede aprovechar la presencia de este gas es a través del estudio de su influencia sobre las condiciones normales en las que se encuentra la atmósfera terrestre. Concretamente, sobre la conductividad eléctrica de la misma”.¹¹

Realizando estos estudios desde un objeto que se encuentre a una altura aproximada de 550 [Km] (la altura a la que algunos autores mencionan se encuentra el límite superior de la ionosfera) permitiría una mejor cobertura sobre el territorio y una mejor visualización del fenómeno en estudio.

¹⁰ Imagen recuperada de tesis doctoral (Estrada, 2013, pág. 48)

¹¹ Fragmento obtenido de <http://www.campusets.com/espacio/articulos/11111401.php>

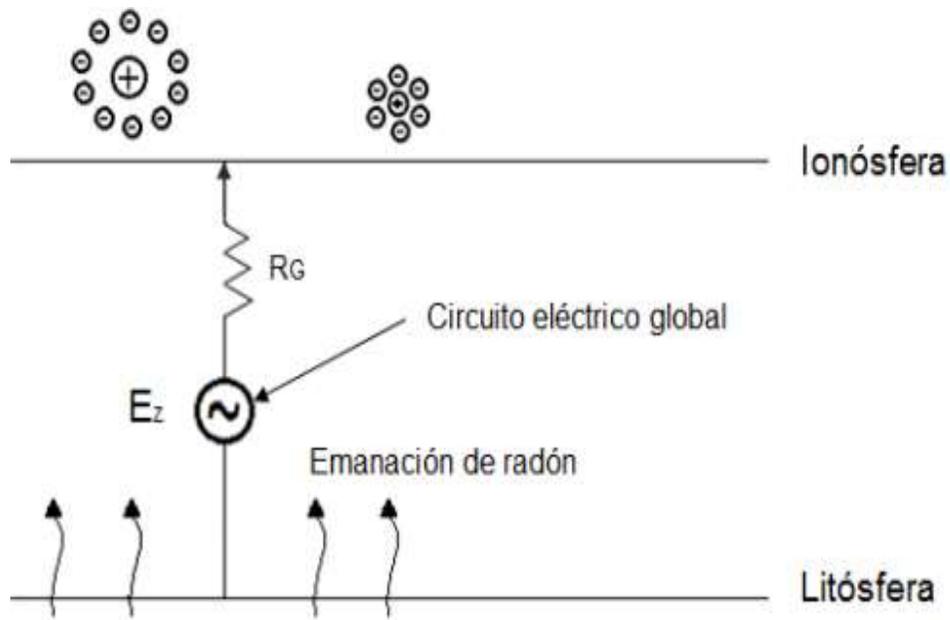


Figura 6 Hipótesis de la conexión entre la actividad sísmica con el gas radón¹²

3.3.2 Objetivos del proyecto

Los objetivos del proyecto Cándor son:

- Formar ingenieros capacitados en el diseño y construcción de satélites pequeños, específicamente en cada una de las áreas involucradas en el desarrollo de plataformas satelitales.
- Desarrollar un microsatélite para estudio de precursores ionosféricos de terremotos, clima espacial y fotografía de la Tierra.
- Probar instrumentos para medir los parámetros ionosféricos
- Desarrollar un sistema de percepción remota y de alta capacidad de transmisión de información en tiempo real para beneficio de ambos países.

¹² Imagen recuperada de (Estrada, 2013, pág. 138)

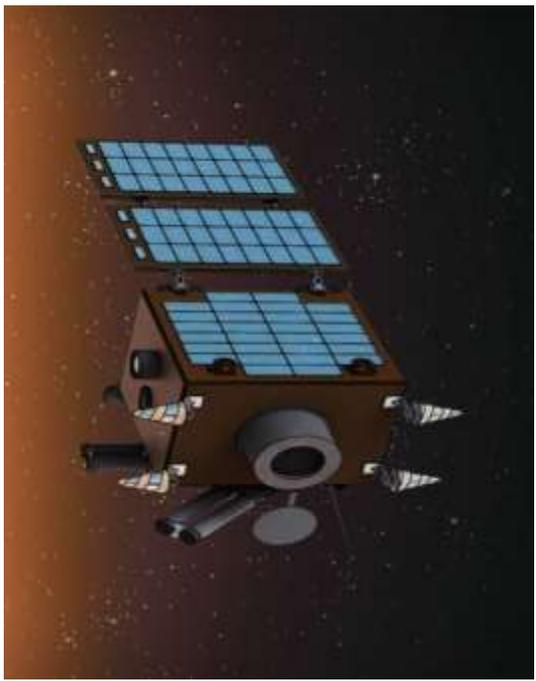
Asimismo el proyecto del satélite Cónдор representa una gran oportunidad para ensamblar en instalaciones de empresas rusas los componentes claves del satélite, con diseño conjunto México-Rusia.

3.3.3 Características técnicas y necesidades del micro satélite

A continuación en la tabla 8 se muestran las características técnicas preliminares del satélite.

Tabla 8 Características técnicas del satélite Cónдор

| Características técnicas del satélite Cónдор | |
|--|-------------------------------|
| Fabricante | UNAM-MAI |
| Modelo | NA |
| Estabilidad | Magnético, inercial en 3 ejes |
| Peso total | 95 [Kg] |
| Potencia | 12 [W] |
| Bandas de frecuencia | S y X |
| Vida útil | 1 año |
| Dimensiones | 0.62 [m] x 0.62 [m] x 1.6 [m] |
| Vehículo lanzador | Pendiente |



Se trata de características preliminares, debido a que el factor regulatorio es fundamental como se mostrara más adelante, en la toma de decisiones respecto a los transmisores y receptores abordo que se consideren comprar.

Es evidente, que, debido a las características técnicas del satélite, la necesidad principal será la de contar con una estación de telemetría, seguimiento y control (TT&C por las siglas en ingles de Telemetry, Tracking and Comand), para la ayuda en las operaciones del satélite y por ende también requerirá segmento del espectro radioeléctrico para realizar los enlaces necesarios para la comunicación entre la estación y el satélite.

Capítulo 4. Estaciones radioeléctricas TT&C y sus características.

4.1 Clasificación de las estaciones radioeléctricas

Una estación radioeléctrica es el conjunto de elementos transmisores o receptores o la combinación de estos, incluyendo las instalaciones accesorias necesarias para el establecimiento de un servicio de radio comunicaciones en un lugar determinado.

En el artículo 1 sección II reglamento de radiocomunicaciones de la UIT donde se define la manera en la que se clasifican las estaciones radioeléctricas y estas clasificaciones van desde el servicio de radiocomunicaciones en el que participan de manera temporal o permanente, sin embargo una manera de clasificarlas consiste en especificar si se tratan, de estaciones terrenales, espaciales o terrenas.

- **Estación Terrenal:** Se trata de estaciones cuya operación se lleva a cabo en la Tierra, es decir, que no se utilizan para servicios vía satélite y es por esta razón que no se especifica esta característica por lo que simplemente se le denomina Estación.
- **Estación Espacial:** Estación que se encuentra ubicada dentro de satélites u otros objetos colocados en el espacio.
- **Estación Terrena:** Estación que se encuentra ubicada en la superficie de la Tierra, o en la parte baja de la atmósfera y su función es la de brindar servicios de radiocomunicaciones vía satélite.

Las clasificaciones Terrenal y Terrena a su vez se subdividen en fijas, móviles o terrestres quedando de la siguiente forma.

- **Estación Fija:** Estación destinada a estar en un punto determinado y utilizada para el servicio fijo (ver Figura 7).



Figura 7 Ejemplo Estación Fija

- **Estación Móvil:** Estación destinada a ser utilizada en movimiento o mientras se encuentra inmóvil en puntos no determinados y empleada para el servicio móvil (ver Figura 8).



Figura 8 Ejemplo Estación Móvil

- **Estación Terrestre:** Estación ubicada en un punto determinado de tierra continental, destinada a ser utilizada en el servicio móvil (ver Figura 9).



Figura 9 Ejemplos Estaciones Terrestres

- **Estación Terrena Fija:** Estación ubicada en un punto fijo y utilizada por el servicio fijo por satélite (ver Figura 10).



Figura 10 Ejemplo Estación Terrena Fija

- **Estación Terrena Móvil:** Estación del servicio móvil por satélite y que puede ser utilizada en movimiento o mientras se encuentra detenida en puntos no determinados (ver Figura 11).



Figura 11 Ejemplo Estación Terrena Móvil

- **Estación Terrena Terrestre:** Estación ubicada en un punto determinado de tierra continental destinada a asegurar el servicio móvil por satélite (ver Figura 12).



Figura 12 Ejemplo Estación Terrena Terrestre

Otra forma de clasificar las estaciones radioeléctricas es como se mencionó anteriormente, es de acuerdo con el servicio en el que participan. Estos servicios a su vez son clasificados por la UIT en el artículo 1 sección III del reglamento de radiocomunicaciones en donde son mencionados alrededor de 40 servicios, dentro de los que destacan:

- Servicios fijos.
- Servicios móviles.
- Servicios de radiodifusión.
- Servicios científicos.
- Servicios de aficionados, entre otros.

Ahora bien, la forma más precisa en la que se clasifica una estación radioeléctrica es considerando todas sus características y en este sentido ambas clasificaciones son válidas e incluso complementarias, de tal manera que se puede dar una descripción completa, ya que se abarca el tipo de estación, (terrenal, espacial, etc) y el servicio al que está destinada (fijo, móvil, etc).

4.2 Características de una estación terrena

Las funciones principales de cualquier estación terrena, ya sea, del servicio fijo, servicio móvil o servicio científico y de observación de la Tierra, son las de operaciones de seguimiento, operaciones de telemetría, operaciones de control y operaciones de procesamiento de datos, siendo las primeras tres, exclusivas de estaciones con el subsistema TT&C. Para todas estas operaciones existen distintos subsistemas que trabajan

coordinadamente (como se ve en la figura 13), en la transmisión y en la recepción, en este sentido la vía de transmisión consta de:

- **Interconexión con la señales de entrada:** Su función es ser la vía por la cual las señales son transportadas de la fuente o el codificador al modulador.
- **Codificador:** Es un dispositivo que convierte la señal analógica a digital por medio de un alfabeto (código), ya establecido.
- **Modulador:** Se trata del componente que se encarga de trasladar la frecuencia de la señal de información, una frecuencia baja llamada banda base, a una frecuencia más alta llamada frecuencia intermedia (IF), para después trasladar la señal al Up converter. Por lo general la señal que recibe el modulador ya está codificada.
- **Convertidor de IF a RF (Up converter):** Este sistema tiene la función de transmitir la señal en frecuencias de RF desde la Tierra al satélite en la banda asignada para los comandos que son necesarios para actuar sobre los sistemas del satélite.
- **Amplificador de potencia (HPA):** La función de este elemento, no es más que aumentar la potencia de la señal, de tal manera que esta pueda ser recuperada por el satélite.
- **Klystron:** Se trata de un elemento amplificador de señal que tienen algunas estaciones terrenas, para el apoyo en la transmisión, pero con la desventaja de no ofrecer un gran ancho de banda, es decir, que no puede amplificar muchas frecuencias al mismo tiempo.

- **Alimentación de la antena:** La alimentación de la entrada está dada por los cables y conectores que hay entre los amplificadores de potencia y la antena.
- **Antena parabólica:** Su función es la de recibir las señales de telemetría e información, además, de enviar las señales de comando.
- **Sistema de seguimiento:** La antena instalada cuenta con un subsistema, llamado sistema de seguimiento, integrado por software de control instalado en una computadora, y un servomecanismo conectado a la computadora que mantienen a la antena apuntando en dirección correcta hacia donde se encuentra el satélite, y compensa el movimiento relativo entre la estación terrena y el satélite.

Para la recepción una estación consta de:

- **Antena parabólica.**
- **Amplificador de bajo ruido (LNA):** Este dispositivo recibe la señal que llega degradada y atenuada y aumenta su potencia con una baja contribución de ruido y la señal pueda ser detectada por los demás elementos del sistema de recepción.
- **Convertidor de RF a IF (down converter):** Este sistema tiene la función de recibir la señal en frecuencias de RF y pasarla a IF.
- **Demodulador:** Este dispositivo se encarga de recibir la señal del Down converter que viene en IF, y la traslada a banda base para posteriormente recuperar la información.

- **Decodificador:** Es el dispositivo que convierte la señal digital a analógica aplicando el código establecido.
- **Duplexor:** Es un dispositivo que permite transmitir y recibir señales con la misma antena, dividiendo las funciones de transmisión y recepción para que no se interfieran durante sus funciones.
- **Interconexión con la salida a computadora:** Son los cables y conectores que van del demodulador a la computadora.
- **Software de procesamiento y monitoreo:** Software de ayuda para procesamiento de la información de telemetría, para la toma de decisiones, asimismo procesa la información de los datos obtenidos por el satélite, para su posterior análisis.

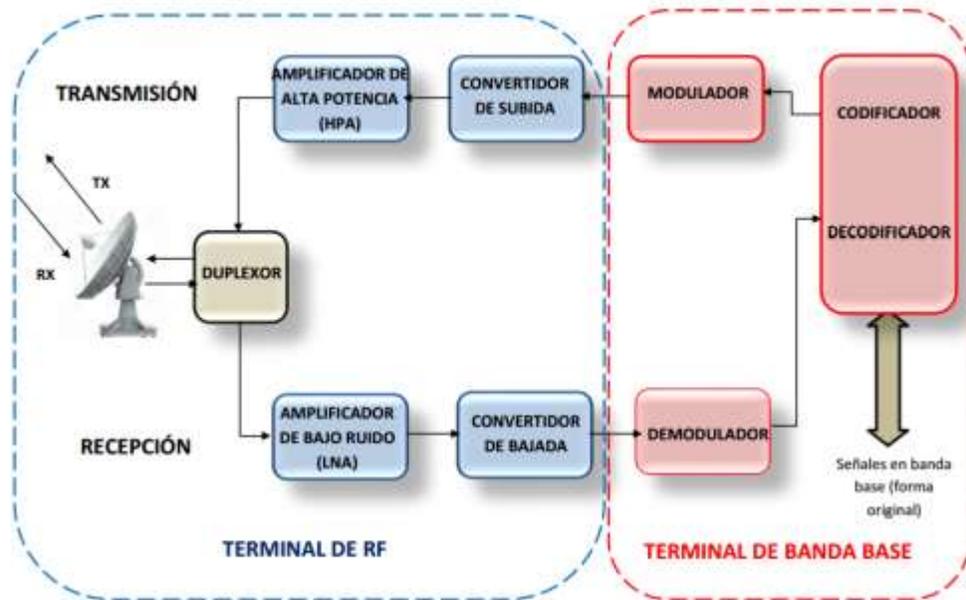


Figura 13 Configuración básica de una Estación Terrena¹³

¹³ Estrada Arellano, M. A. (2017). Estación terrena en banda S y X para telemetría, rastreo y comando de satélites LEO en órbita baja desde el UAT FI UNAM. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

4.3 Características y Funciones de las estaciones terrenas TT&C

Una estación TT&C es una estación terrena especializada en apoyar en las operaciones satelitales desde Tierra, ya que es, mediante este tipo estaciones que se puede mantener una monitorización constante del estatus del satélite o de los satélites con los que tenga enlace, y poder responder en caso de cualquier anomalía que se presente, dentro del satélite o en su órbita, no obstante, estas estaciones terrenas también pueden recibir toda la información proveniente del segmento satelital como datos experimentales o radiodifusión.

Solo algunas estaciones que se dedican a los servicios satelitales cuentan con el subsistema de telemetría, seguimiento y comando, ya que estas forman parte del segmento espacial, es decir, que estas estaciones tienen las capacidades técnicas suficientes para recibir telemetría y enviar comando desde la Tierra como se mencionó anteriormente. Por esta característica en particular, es que, se les considera parte del segmento espacial.

En el caso de las demás estaciones que son parte del segmento terrestre, las antenas solo reciben la señal de datos experimentales, imágenes o señales del servicio de radiodifusión por satélite, es decir, que estas estaciones no pueden recibir telemetría y tampoco pueden enviar comando y es por esta razón que se les considera parte del segmento terrestre. A continuación en la Figura 14 se ilustra con más detalle la diferencia entre las estaciones que pertenecen al segmento terrestre y las que pertenecen al segmento espacial.

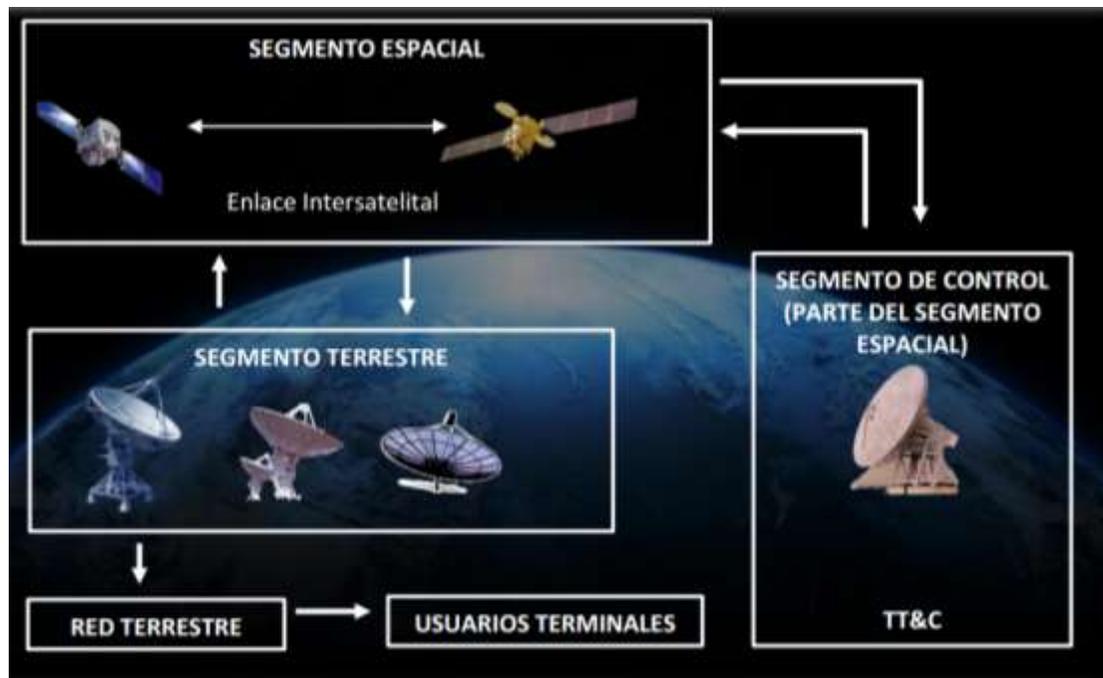


Figura 14 Configuración de un sistema de comunicaciones satelitales.¹⁴

El subsistema de TT&C, incluye dentro de la estación terrena, transmisores, receptores, una antena la cual puede ser la misma que se utiliza para la transmisión y recepción de datos, pero haciendo uso de una polarización o frecuencia diferentes, y un subsistema de rastreo, que con ayuda de un software, se pueden realizar acciones como la de seguimiento con la mínima intervención humana. Las tareas desempeñadas por el subsistema TT&C son: Rastreo, Telemetría y comando. Los cuales se explican a continuación.

- **Rastreo**

Se trata de un sistema de que se encarga de determinar la posición y el movimiento del satélite en su órbita, esto, mediante técnicas que aprovechan el efecto Doppler que ocasiona cambios en la frecuencia de las señales y las mediciones de las terminales en Tierra

¹⁴ Estrada Arellano, M. A. (2017). Estación terrena en banda S y X para telemetría, rastreo y comando de satélites LEO en órbita baja desde el UAT FI UNAM. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

como sistema de referencia, entonces este fenómeno puede ser monitorizado para determinar cambios en la posición y velocidad del satélite

- **Telemetría**

Es toda la información recabada por los sensores al interior del satélite y enviada a la Tierra de manera preventiva para conocer el estado en el que se encuentra el artefacto y tomar acciones. Los datos recibidos en Tierra son de voltaje, corriente en el subsistema de potencia y temperatura de los subsistemas más importantes.

- **Comando**

El comando es la parte en donde se toman decisiones y acciones por parte del operador o con ayuda de un software especializado. Estas acciones y decisiones son tomadas dependiendo de las condiciones recibidas por la parte de telemetría. Por ejemplo se pueden enviar ajustes en el posicionamiento del satélite, sí se detectó alguna anomalía en esta, o prender y apagar subsistemas, también se utiliza en el lanzamiento del satélite para colocarlo en órbita y para realizar el despliegue de paneles solares. Las señales de comando son codificadas con el fin de asegurar la integridad del satélite, y enviadas en las bandas de frecuencias L o S, ya que estas bandas permiten trabajar en diversas circunstancias, finalmente estas señales con el comando son decodificadas y ejecutadas por la computadora a bordo.

4.4 Estación de control satelital ECXSAT de la Unidad de Alta Tecnología (UAT)

El resultado de colaborar con distintas instituciones tanto nacionales como extranjeras dio lugar al desarrollo de los proyectos: CONDOR en colaboración con Rusia, QUETZAL

en colaboración con EEUU, y ULISES 2, un proyecto de CONACULTA con fines artísticos y culturales, que con ayuda de la Facultad de Ingeniería se construirá un nano satélite cuya misión será obtener fotos de la Tierra, para después ser descargadas, tratadas por artistas y finalmente expuestas.

Estos proyectos requieren de una estación terrena, desde donde puedan ser monitoreados y controlados, entonces, es de suma importancia recibir su telemetría y enviar comandos desde Tierra. Para atender esta necesidad se implementó una estación terrena (ver Figura 13), la cual fue construida con ayuda de fondos del CONACYT y la UNAM como parte del programa de laboratorio nacional de ingeniería espacial y automotriz.



Figura 15 Estación Terrena ECXSAT de la UAT-FI-UNAM

La estación terrena trabajará en las bandas de frecuencias S y X. La Banda S será para bajar telemetría, y para enviar comandos en caso de un posible cambio de modo de operación en la instrumentación abordo, o en caso de requerir ajustes en su posicionamiento y la banda X para bajar información científica e imagen de los datos obtenidos por el satélite.

Las funciones principales ejecutadas por la estación terrena, en apoyo a los proyectos satelitales involucra distintas operaciones como lo son: telemetría, seguimiento, control y recuperación de datos científicos e imagen. De igual cabe mencionar que el equipo instalado cuenta con la sensibilidad suficiente como para recibir las señales transmitidas desde el satélite con una potencia de 12 [W]. En la figura 16 se muestra un esquema preliminar de la estación terrena.

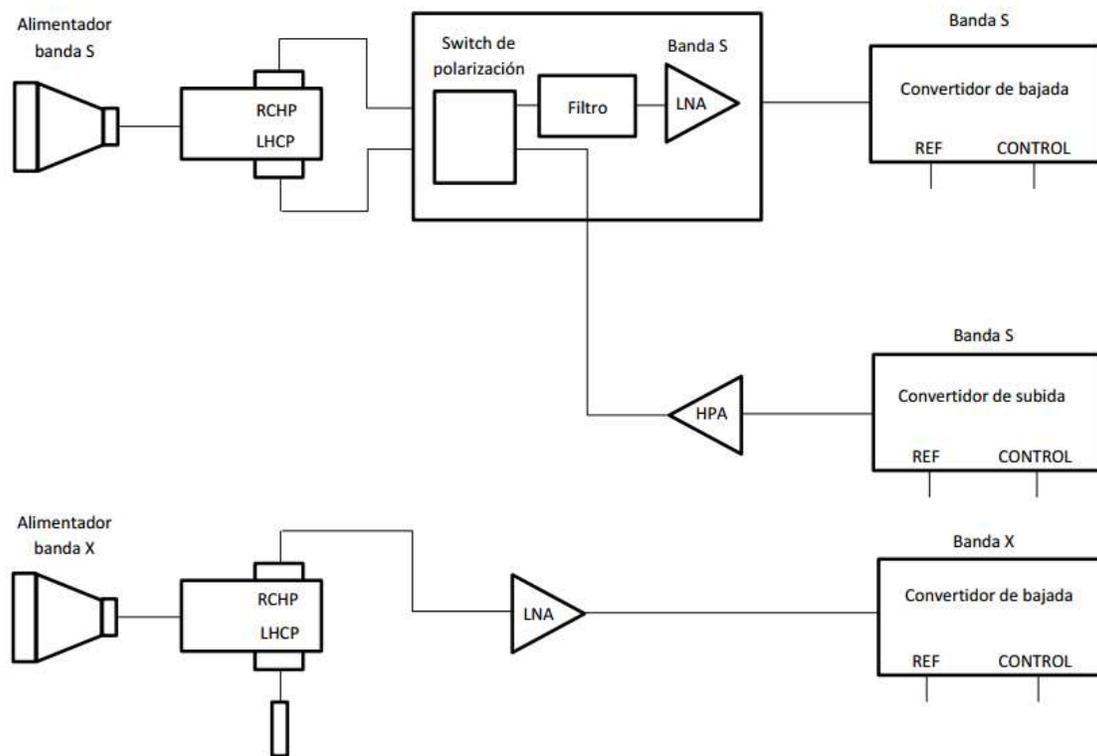


Figura 16 Esquema preliminar de La Estación Terrena ECXSAT ¹⁵

Ahora bien como ya se indicó anteriormente las frecuencias a emplear en la estación están dentro de las bandas S y X, se trata de los rangos de frecuencias que van desde 2200

¹⁵ Imagen recuperada de: Estrada Arellano, M. A. (2017). Estación terrena en banda S y X para telemetría, rastreo y comando de satélites LEO en órbita baja desde el UAT FI UNAM. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

[MHz] a 2300 [MHz] y de 2025 [MHz] a 2110 [MHz] en banda S, mientras que en banda X se utilizará un rango de 8.025 [GHz] a 8.4 [GHz]. A este respecto la prestación de servicios por satélite en estas bandas, está regido por un marco regulatorio internacional debido a la naturaleza inherente del espectro radioeléctrico de propagarse rebasando fronteras, entonces la operación de sistemas satelitales se rige por acuerdos internacionales entre los países interesados en la banda de frecuencias, con el fin de gestionar la interferencia que puede existir entre los sistemas que ocuparán las frecuencias, incluso con aquellos que se encuentran en Tierra. Las normas para manejar esas interferencias y resolver los conflictos relacionados son establecidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

De este modo se hace presente la necesidad de realizar un procedimiento de coordinación para poder operar, sin embargo para realizar estos procedimientos no es el interesado quien coordina, sino que más bien es el estado o el órgano regulador que representa a ese estado ante la UIT, quien se encarga de gestionar ese proceso de coordinación, que en el caso de México se trata del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) el órgano regulador del espectro radioeléctrico en nuestro país, pero no es este quien realiza la coordinación, ese trabajo lo realiza la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) quien es el organismo que representa a México ante la UIT, no obstante es deber del interesado presentar sus intenciones de utilizar parte del espectro o recursos orbitales ante el IFT, ya que forma parte fundamental en el proceso de coordinación.

Más adelante se expondrá el papel del IFT dentro de los trabajos de gestión del espectro, recursos orbitales, registro de estaciones terrenas y el proceso de coordinación ante la UIT.

4.4.1 Descripción técnica de los elementos de la estación EXCSAT

En la figura 17 se muestra el esquema del subsistema de telemetría y comando de la estación de donde se partirá para hacer una breve descripción de algunos de los elementos que componen a la estación terrena, además de aquellos componentes que forman parte del sistema de recuperación de datos, como la antena, up converter, down converter, amplificador de potencia y motores de apuntalamiento de la antena.

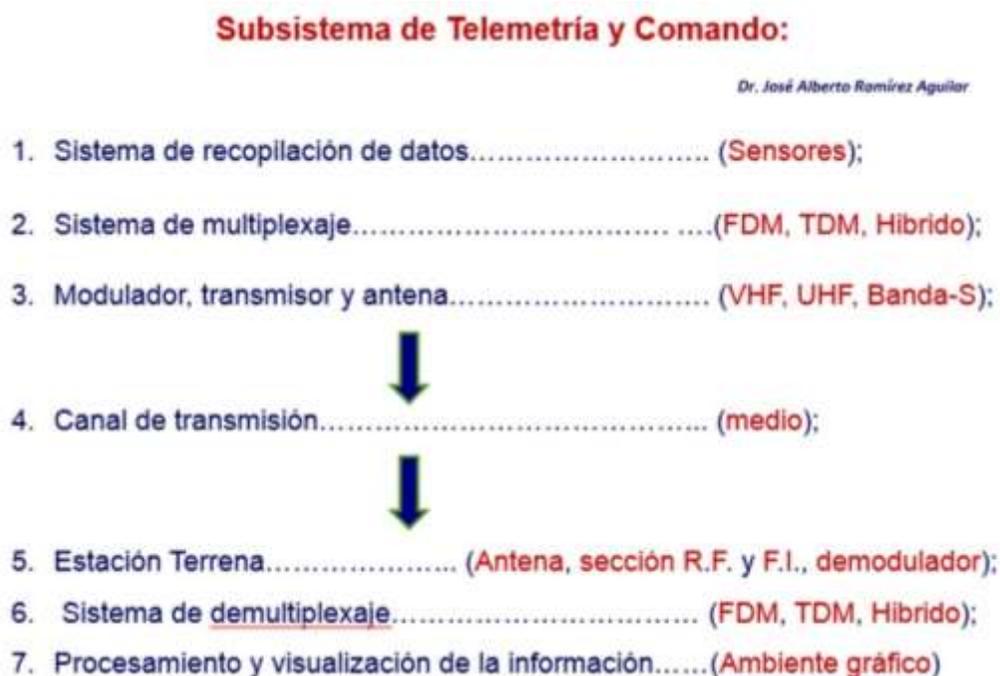


Figura 17 Esquema del sistema de telemetría y comando

El equipo instalado cuenta con la sensibilidad suficiente como para recibir las señales transmitidas desde el satélite con una potencia a 2 [W].

- Antena y sistema de apuntalamiento (ver Figura 18).



Figura 18 Modelo de Antena Parabólica

La antena para las operaciones de telemetría, comando y recepción de datos es de tipo parabólica con un diámetro de 3.4 [m] y con las siguientes características que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9 Características de la Antena

| Características de la antena | |
|-------------------------------------|--|
| Parámetro | Valor |
| Apertura | 3 [m] |
| Precisión | < 0.1° |
| Ejes de libertad | X y Y |
| Limite en los horizontes | -2° |
| Rangos de frecuencia | L, S, C y X |
| Polarización | Circular derecha y Circular izquierda |
| Desempeño típico | Para banda S -16 dB/K Para banda X -26 dB/K |

Debido a la geometría de la antena y al factor ambiente, es de suma importancia contar con el sistema de apuntalamiento, que en caso de vientos fuertes esta pueda moverse de tal

forma que la integridad de la antena no se vea comprometida. Otra de las razones es como ya se señaló, la antena al estar diseñada para satélites de órbita baja el movimiento de esta es indispensable para la recepción y transmisión. A este respecto el sistema cuenta con las siguientes características que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10 Características del sistema de apuntalamiento

| Características del Sistema de Apuntalamiento | |
|--|----------------------------|
| Parámetro | Valor |
| Resolución de posición | 0.00004° |
| Aceleración | 10°/s ² |
| Velocidad | Típico 4°/s y máximo 10°/s |
| Velocidad de viento | 100 Km/h |
| Temperatura | -10°C – 50°C |
| Humedad | 100% |
| Lluvia | Sobre 10 [cm]/hr |

- Medidor de la relación de onda estacionaria (ROE). En la tabla 11 se muestran las características del medidor de ROE empleado en la estación.

Tabla 11 Características del medidor ROE

| Características del medidor ROE | |
|--|--------------------------------------|
| Parámetro | Valor |
| Frecuencia | 140 a 525 [MHz] |
| Rango de potencia directa | 20 – 40 [dBm] |
| Ganancia | 20 [W] / 200 [W] |
| Tolerancia | +/- 10% |
| SWR sensibilidad detección | 4 [W] |
| Impedancia Entrada/Salida | 50 [Ω] |
| Conectores | Tipo N |
| Dimensiones | 150 Largo X 80 Alto X 100 Ancho [mm] |
| Peso | 0.67 Kg] |

- Amplificador de potencia para banda S. En la tabla 12 se exponen las características del amplificador en banda S

Tabla 12 Características del Amplificador para banda S

| Características del amplificador para banda S | |
|--|-------------------|
| Parámetro | Valor |
| Frecuencia de operación | 1800 – 2200 [MHz] |
| Potencia de entrada | 5 [dBm] |
| Potencia de salida | 30 [W] |
| Ganancia a 1dB de compresión | 44 – 47 [dB] |
| Return Loss | -10 [dB] |
| Voltaje de operación | 24 – 30 [V] |
| Figura de ruido | 7 – 10 [dB] |

- Up converter para la banda S. En la tabla 13 se encuentran las características del Up converter para la banda S.

Tabla 13 Características de Up converter para banda S

| Características del Up converter para banda S | |
|--|-------------------|
| Parámetro | Valor |
| Frecuencia de entrada | 70 – 140 [MHz] |
| Conector a la entrada | BNC hembra |
| Impedancia de entrada y salida | 50 [Ω] |
| Potencia de entrada | -15 [dBm] |
| Conector a la salida | Tipo N hembra |
| Frecuencia de salida | 1750 – 2950 [MHz] |
| Potencia de salida | 0 [dBm] |
| Ganancia | 15 [dB] |

- La tabla 14 muestra las características del Down converter para la banda S

Tabla 14 Características del Down converter para banda S

| Características del Down Converter para banda S | |
|--|-------------------|
| Parámetro | Valor |
| Frecuencia de entrada | 1650 o 2500 [MHz] |
| Frecuencia de salida | 70 – 140 [MHz] |
| Ganancia | 20 – 40 [dB] |

- En la tabla 15 se muestran las características del Down converter para banda la X

Tabla 15 Características del Down converter para banda X

| Características del Down Converter para banda X | |
|--|----------------|
| Parámetro | Valor |
| Frecuencia de entrada | 7 – 9 [GHz] |
| Frecuencia de salida | 70 – 140 [MHz] |
| Ganancia | 30 – 50 [dB] |

Los anteriores son algunos de los elementos con los que cuenta la estación terrena para realizar sus operaciones, teniendo esto presente se pueden justificar las necesidades de espectro radioeléctrico para realizar la solicitud pertinente.

4.4.2 Necesidades de espectro e implicaciones administrativas de la estación ECXSAT

Como es evidente la estación demanda para su operación, estar dentro del marco legal, porque requiere de una concesión de frecuencias para realizar los enlaces necesarios para las operaciones de apoyo de la misión, así como para la recuperación de los datos recabados por

el satélite, esto implica que se requiere de la autorización por parte de la IFT para transmitir señales satelitales.

Entonces es necesario entender el marco legal aplicable para la solicitud de autorización para la operación de la estación terrena, para la concesión de espectro radioeléctrico y los lineamientos, todo esto, tomando en cuenta la personalidad jurídica de la UNAM como el ente que solicita dichos permisos.

Capítulo 5.

Marco legal aplicable para la solicitud concesión para la estación terrena ECXSAT.

Como se ha mencionado, es necesario que la estación terrena este dentro del marco legal para su operación, en este aspecto el presente capítulo tendrá como objeto señalar en general las disposiciones legales, y los lineamientos para la obtención de la autorización de operación de la estación terrena, de concesión de frecuencias y concesión de recursos orbitales, también las consideraciones particulares, y las que se tienen que hacer antes de iniciar el procedimiento de solicitud, en virtud de que el proyecto pueda desarrollarse sin problemas, con sus especificaciones y requerimientos establecidos.

5.1 Disposiciones de la LFTyR para la solicitud de concesión única

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTyR), el artículo 66 establece que se requerirá de concesión única para prestar todo tipo de servicios públicos de telecomunicaciones y radiodifusión. Actualmente la UNAM ya presta servicios de radiodifusión a través de radio UNAM y TVUNAM y si a esto se incluye un nuevo servicio como el de “Exploración de la Tierra por satélite”, será necesario realizar la solicitud de concesión única, para que en una sola concesión queden registrados todos los servicios que la UNAM podrá prestar.

Asimismo, el artículo 67 fracción II de la LFTyR dispone que la concesión única para uso público confiere el derecho a los Poderes de la Unión, de los Estados, los órganos

de Gobierno del Distrito Federal, los Municipios, los órganos constitucionales autónomos y las instituciones de educación superior de carácter público para proveer servicios de telecomunicaciones y radiodifusión para el cumplimiento de sus fines y atribuciones.

Al respecto, la universidad queda descrita por su personalidad jurídica como institución de educación superior de carácter público, por lo tanto la concesión que se solicitará deberá ser de carácter público, conjuntamente este tipo de concesiones se incluyen a los concesionarios o permisionarios de servicios públicos, distintos a los de telecomunicaciones o de radiodifusión, cuando éstas sean necesarias para la operación y seguridad del servicio de que se trate, con lo que se reafirma el tipo de concesión a solicitar para los fines del proyecto.

Una vez establecida la modalidad de concesión a solicitar, es importante también, mencionar el artículo 70 de la misma ley, ya que indica que se requerirá concesión única para uso público, solamente cuando se necesite utilizar o aprovechar bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico que no sean de uso libre, para lo cual será necesario revisar nuevamente las frecuencias con las que operara la estación y el satélite, con el objeto de confirmar la clasificación y servicio atribuidas las bandas de frecuencias a utilizar de acuerdo con el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) y de conformidad con el artículo 55 de la ley.

Primeramente el artículo 55 de la ley clasifica al espectro radioeléctrico en cuatro grupos de la siguiente manera.

- I. *Espectro determinado: Son aquellas bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias; a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público, definidas en el artículo 67;*
- II. *Espectro libre: Son aquellas bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el Instituto, sin necesidad de concesión o autorización;*
- III. *Espectro protegido: Son aquellas bandas de frecuencia atribuidas a nivel mundial y regional a los servicios de radionavegación y de aquellos relacionados con la seguridad de la vida humana, así como cualquier otro que deba ser protegido conforme a los tratados y acuerdos internacionales. El Instituto llevará a cabo las acciones necesarias para garantizar la operación de dichas bandas de frecuencia en condiciones de seguridad y libre de interferencias perjudiciales, y*
- IV. *Espectro reservado: Es aquel cuyo uso se encuentre en proceso de planeación y, por tanto, es distinto al determinado, libre o protegido.¹⁶*

Por otro lado el CNAF es la disposición administrativa que indica el servicio o servicios de radiocomunicaciones a los que se encuentra atribuida una determinada banda de frecuencias del espectro radioeléctrico, así como información adicional sobre el uso y planificación de determinadas bandas de frecuencias.

¹⁶ Fragmento de la Ley Federal de telecomunicaciones y Radiodifusión.

Ahora bien, como se mencionó anteriormente para el proyecto satelital se ocuparan frecuencias dentro de las bandas S y X. En banda S utilizará las frecuencias que se encuentran en el rango de 2200 [MHz] a 2300 [MHz] para recepción de telemetría y el rango de 2025 [MHz] a 2110 [MHz] para transmisión de comando, mientras que en banda X el satélite transmitirá la información recabada en un rango de 8.025 [GHz] a 8.4 [GHz]. Entonces revisando para banda S en el CNAF (ver Figura 19) se verifica la clasificación con ayuda de las notas que acompañan a las bandas ya mencionadas.

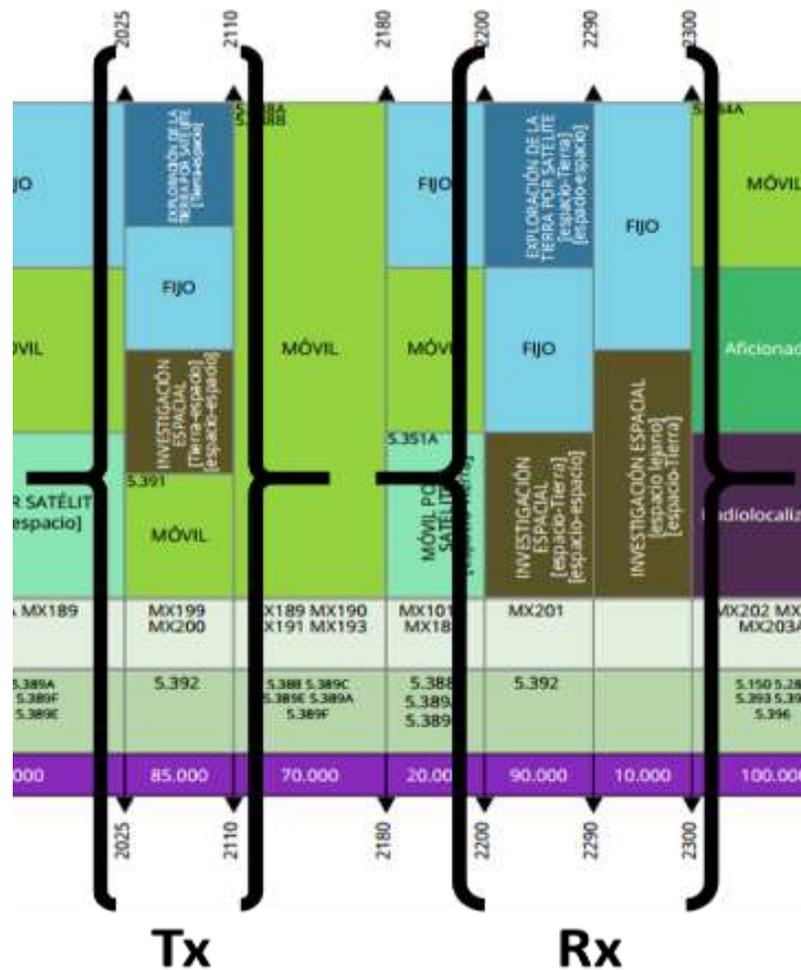


Figura 19 Frecuencias que se pretenden utilizar en banda S vistas en el CNAF¹⁷

¹⁷ Imagen obtenida de <http://cnaf.ift.org.mx/>

Como se puede observar en la figura 19, las bandas de frecuencias programadas para usarse entran dentro de la categoría de investigación espacial y exploración de la Tierra por satélite, de esto podemos confirmar que dichas bandas están atribuidas a los servicios que son afines al proyecto. También se puede observar más abajo en la figura 19 que hay matriculas que inician con MX seguidas de una cifra numérica, esto es la nomenclatura para las notas aplicables a las bandas de frecuencias de interés con carácter nacional. En el caso de las bandas que conciernen al proyecto tienen las notas MX199, MX200 y MX201.

Las notas MX199 y MX201 indican que las bandas de 2025 – 2110 [MHz] y 2200 – 2290 [MHz] se encuentran atribuidas a título primario al servicio de exploración de la Tierra por satélite, además, estas bandas de frecuencias se clasifican como espectro protegido, por otra parte la nota MX200 se refiere a un cambio en las disposiciones para atribuir la banda de 2025 – 2110 [MHz] a otros servicios distintos a los del proyecto.

Cabe mencionar que, el hecho de que las bandas a utilizar se encuentren atribuidas a título primario representa una ventaja, ya que la ley dispone que este tipo de bandas contarán con protección contra interferencias perjudiciales, pero también significa adquirir la responsabilidad de no generar interferencias que puedan afectar a otros.

Más abajo en la columna de la misma figura 19, también hay un número 5 seguido de un punto decimal y una cifra, esto hace referencia a la nomenclatura a las notas internacionales que corresponden a lo dispuesto en el reglamento de radio comunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, que para el presente caso le corresponde el 5.392. Esta nota internacional insta a las administraciones a tomar medidas para garantizar el debido uso de las bandas de 2025 – 2110 [MHz] y 2200 – 2290 [MHz].

En seguida revisando la figura 20 para banda X en el rango de 8.025 [GHz] a 8.4 [GHz], se nota que también está atribuida al servicio de exploración de la Tierra por satélite, en este caso el comentario 5.462A de la UIT hace recomendaciones en las condiciones técnicas para llevar a cabo transmisiones en esta banda en las regiones 1 y 3.

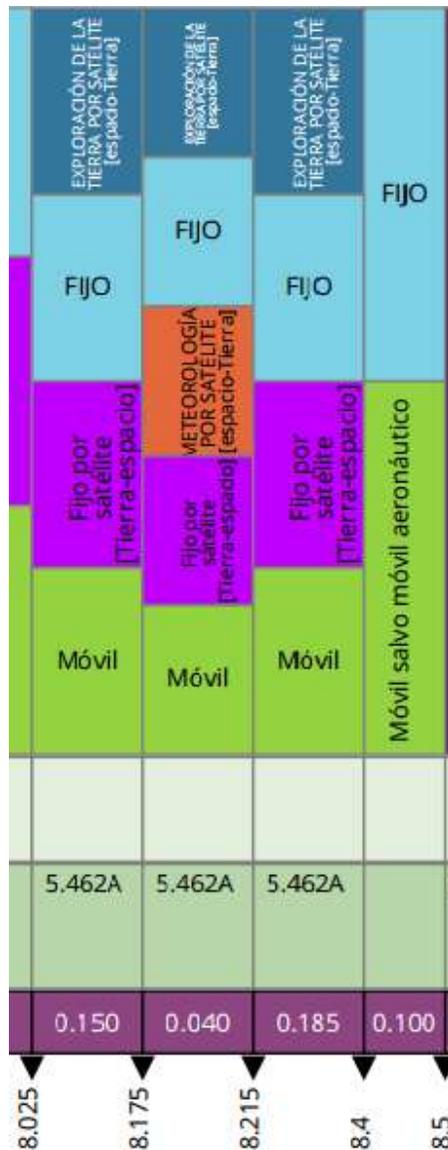


Figura 20 Frecuencias que se pretenden utilizar en banda X vistas en el CNAF¹⁸

¹⁸ Imagen obtenida de <http://cnaf.ift.org.mx/>

Por último, teniendo presente lo mostrado del artículo 55 de la LFTyR y en las notas nacionales del CNAF, se confirma que el servicio y tipo de exploración coincide con los propósitos del proyecto, en este mismo orden de ideas también se confirma la obligación de hacer la solicitud de concesión, así como la modalidad de esta.

5.2 Disposiciones de la LFTyR para las concesiones de espectro radioeléctrico y recursos orbitales

El artículo 75 de la LFTyR es relevante porque trata la duración de la concesión, además, de que explica que esta puede ser extendida de acuerdo con los términos que establece la ley, se incluye el siguiente fragmento: *“Las concesiones para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado y para la ocupación y explotación de recursos orbitales, se otorgarán por el Instituto por un plazo de hasta veinte años y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales...”*¹⁹.

Ahora bien en este mismo artículo se aclara que cuando se requiera de concesión de espectro radio eléctrico de uso determinado, al igual que concesión única, esta será otorgada en el mismo acto administrativo, de modo que, no se requerirá realizar dos solicitudes, lo cual ayuda simplificando el manejo de documentos y gestión administrativa.

Del mismo modo que el artículo 67, fracción II. El artículo 76, fracción II establece el carácter de la concesión que para los usos y fines del proyecto debe ser solicitada, y atendiendo nuevamente la condición de ente público de la UNAM, la concesión a solicitar tendrá que ser para uso público. Este artículo que en conjunto con el artículo 75 y 83, son de

¹⁹ Fragmento tomado de la Ley Federal de telecomunicaciones y Radiodifusión

interés para el caso de futuros proyectos, ya que disminuyen la carga administrativa para la petición de concesiones posteriores una vez obtenida la concesión única.

Finalmente el artículo 83 de la ley establece que: *“las concesiones sobre el espectro radioeléctrico para uso público o social se otorgarán mediante asignación directa hasta por quince años y podrán ser prorrogadas hasta por plazos iguales”*²⁰, cabe aclarar que esto solo hace referencia a la concesión de espectro radioeléctrico y no a la concesión única donde el plazo es de hasta veinte años. También añade que bajo esta modalidad de concesión no se podrá prestar servicios con fines de lucro.

5.3 Lineamientos para la solicitud de concesión de espectro radio eléctrico para uso público

Estos lineamientos fueron publicados en el diario oficial de la federación el 24 de julio del 2015 con el título de: *“ACUERDO mediante el cual el pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba y emite los lineamientos generales para el otorgamiento de las concesiones a que se refiere el título cuarto de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión”*²¹. Que de acuerdo a los fines del proyecto los artículos aplicables de los lineamientos son los artículos 3, 8 fracciones 1, III, VI y VII, y el artículo 13.

Los lineamientos de conformidad con el artículo 3º, tienen por objeto señalar los datos necesarios que se deben proporcionar, así como los requisitos que hay que acreditar para presentar la solicitud de concesión única en su modalidad de uso público y social, esta última

²⁰ Fragmento tomado de la Ley Federal de telecomunicaciones y Radiodifusión

²¹ El documento puede encontrarse en:

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5401773&fecha=24/07/2015

no es de interés para los fines del proyecto, por lo que las partes que conciernen a esta serán omitidas. A continuación se presentan los datos y requisitos, que de conformidad con el artículo 3 de los lineamientos deben ser presentados junto con el formato IFT-Concesión Única.

I. Datos generales del interesado

a) Identidad (nombre o razón o denominación social).

b) En su caso, nombre comercial o marca del servicio a prestar.

c) Domicilio en el territorio nacional.

d) En su caso, correo electrónico y teléfono, del interesado o de su representante legal.

e) Clave de inscripción en el Registro Federal de Contribuyentes

II. Modalidad de uso.

III. Características generales del proyecto.

a) Descripción del proyecto.

b) Justificación del proyecto.

IV. Capacidad Técnica, Económica, Jurídica y Administrativa.

a) Capacidad Técnica.

b) Capacidad Económica.

c) Capacidad Jurídica.

1. Nacionalidad

2. Inversión extranjera

3. Objeto

4. Duración

d) Capacidad Administrativa

V. Programa inicial de cobertura

VI. Pago por el análisis de la solicitud. ²²

Por su parte, el artículo 8 de los lineamientos establece los requisitos generales para el otorgamiento de concesiones de espectro radioeléctrico para uso público, social y privado, pero a lo que respecta al caso que se está abordando en el presente trabajo, solamente se explicarán las fracciones que son relevantes para la modalidad de uso público, que son las fracciones I, III, VI y VII.

I. En materia de telecomunicaciones, las especificaciones técnicas [...].

En este punto se enumeran los requisitos técnicos que tienen que ser acreditados dependiendo del caso que se trate, ya sea del servicio fijo, servicio móvil de radiocomunicación privada o tratándose del servicio móvil celular y del servicio de radiocomunicación especializada en flotillas.

III. Fuentes de recursos financieros para el desarrollo y operación del proyecto para el caso de Concesiones de Espectro Radioeléctrico para Uso Público [...].

En la fracción III se reitera la obligación de justificar la fuente de ingresos, ya sea por inversión de empresas, donaciones de instituciones como CONACYT o presupuesto público asignado para el desarrollo del proyecto en cuestión.

VI. Para concesionarios o permisionarios de servicios públicos a los de telecomunicaciones y/o radiodifusión, que pretendan obtener la asignación directa de

²² Fragmento tomado de “Los lineamientos generales para el otorgamiento de concesiones”, recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5401773&fecha=24/07/2015

las bandas de frecuencias para la operación o seguridad de los servicios que prestan, deberán acreditar la necesidad de contar con el uso de dichas frecuencias.

En la fracción VI se dispone que el interesado deberá escribir de manera clara y breve las actividades y bienes con los que cuenta, explicando de qué manera resultan necesarias las frecuencias solicitadas.

VII. Para concesiones de Espectro Radioeléctrico para Uso Público.

Esta fracción es relevante, porque presenta un paso previo en la gestión del espectro radioeléctrico y dicho punto consiste en hacer por parte del interesado un escrito previo a la solicitud, en donde, solicite al IFT la coordinación en virtud de determinar los requerimientos específicos del espectro. Posteriormente en el siguiente subtema se mencionaran más consideraciones a tomar en cuenta antes de iniciar la gestión para la solicitud de concesiones.

Por último el artículo 13 de los lineamientos precisa que las concesiones [...]. Deberán ser presentadas en la oficialía de partes del instituto dirigidas al titular de la Unidad de Concesiones y Servicios, utilizando los formatos [...].

Además, los formatos que correspondan deberán ser adjuntados a la solicitud, de manera impresa y digital (disco compacto o dispositivo USB, entre otros) conforme a los archivos electrónicos que podrán ser obtenidos de la página de Internet del Instituto.

Asimismo, la documentación que se deba anexar a la solicitud deberá estar debidamente foliada y rubricada por el interesado o su representante legal y acompañarla de manera digital conforme al párrafo anterior. En caso de que exista discrepancia entre la

información impresa y la que se presente en el medio electrónico se requerirá al Interesado para que subsane la misma.

En resumen este último artículo fija las condiciones y medios en los que la información recabada y formato debe ser presentada ante el instituto, así como la unidad y encargado al que se tiene que dirigir el interesado.

5.4 Consideraciones a priori para la solicitud de concesiones.

Antes de comenzar a reunir los datos, requisitos y el llenado de los formatos correspondientes para iniciar el proceso solicitud de concesión, es importante considerar que hay algunos puntos a resolver por parte del interesado, previo a la solicitud de concesión.

Primero, el proyecto satelital necesitará de que la estación terrena este registrada para poder utilizar bandas de frecuencias en transmisión y recepción y así operar dentro del marco legal.

Segundo, para que esto sea posible, el interesado tiene que justificar la razón de ser de la estación terrena, es decir, que debe estar ligada un satélite o sistema satelital al que apoyar en sus operaciones.

Y tercero, como consecuencia de los dos primeros, requerirá que el satélite experimental también se encuentre registrado, lo que implica obtener recursos orbitales. Entonces para resolver estos puntos debe atenderse a lo dispuesto en el artículo 96 de la LFTyR donde se estipula lo siguiente:

“Artículo 96. Cualquier persona podrá manifestar al Instituto su interés para que el Gobierno Federal obtenga recursos orbitales a favor del Estado Mexicano, para lo cual deberá:

I. Presentar solicitud en la que manifieste su interés, respaldada con un proyecto de inversión;

II. Proporcionar la siguiente información técnica:

a) La banda o bandas de frecuencias;

b) La cobertura geográfica;

c) La posición orbital geoestacionaria que se pretende ocupar o, en su caso, la descripción detallada de la órbita u órbitas satelitales, así como la del sistema satelital correspondiente;

d) Las especificaciones técnicas del proyecto, incluyendo la descripción del o los satélites que pretenden hacer uso de los recursos orbitales, y

e) Toda la información técnica adicional que el solicitante considere relevante;

III. Los servicios de radiocomunicaciones que se pretenden ofrecer en cada una de las bandas a coordinar;

IV. La documentación que acredite la capacidad técnica, financiera, jurídica y administrativa del solicitante, y

V. Carta compromiso de participar y coadyuvar con el Gobierno Federal en todas las gestiones, requisitos y coordinación necesarios para la obtención o registro de recursos orbitales a favor del país."²³

Del artículo 97 mostrado, se puede apreciar que los requisitos para esta petición, previa a la solicitud de concesión, contiene varios de los puntos anteriormente vistos en los lineamientos, por lo que en caso de obtenerse el recurso orbital y banda de frecuencias asociadas la carga administrativa para el trámite de concesión se vería reducida. Sin embargo cabe hacer énfasis en las fracciones I y V, ya que marcan requisitos adicionales, como lo es el escrito en el que se manifiesta al instituto el interés de obtener recursos orbitales acompañado del proyecto de inversión y la carta compromiso.

La ley y los lineamientos no marcan un formato en específico para realizar el escrito por lo que es un formato libre, teniendo esto en cuenta se procede a realizar la redacción de la solicitud y la carta, así como la recopilación de los documentos solicitados.

5.4.1 Gestión ante Dirección General de Asuntos Jurídicos UNAM (DGAJ)

Otro punto indispensable a tratar es la gestión al interior de la UNAM, ya que la solicitud de concesión no puede ser manejada directamente por el director de la Facultad de Ingeniería o los encargados del proyecto. En este sentido es necesario primero acercarse a la Dirección General de Asuntos Jurídicos de la UNAM, ya que es la encargada de representar a la universidad en procesos y procedimientos jurisdiccionales ante las autoridades judiciales

²³ Fragmento de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión.

y administrativas locales o federales, en aquellos asuntos en que la institución sea parte o tenga algún interés jurídico.

Es entonces necesario presentar el proyecto primero a asuntos jurídicos para que ellos resuelvan aprobar y respaldar el proyecto para realizar las gestiones ante el IFT. Llegado hasta este punto será indispensable tener preparados los documentos se mostraran en el siguiente capítulo del presente trabajo, con la finalidad de hacer entrega de estos al representante jurídico asignado por la DGAJ y de esta forma inicien las gestiones para la obtención de la autorización y la concesión.

En la Figura 21 se ilustra con un diagrama a bloques del procedimiento ante asuntos jurídicos de la UNAM que debe realizarse antes de iniciar el proceso de solicitud de concesión en el Instituto Federal de Telecomunicaciones. El primer paso es mandar un oficio de parte de los encargados del proyecto hacia la DGAJ en el que se declaren las necesidades del proyecto así como las ventajas que traería hacia la universidad el obtener el recurso, que en este caso es la concesión de espectro y recursos orbitales que solicita.

En seguida la DGAJ analiza el oficio y en caso de que se apruebe el proyecto, se procede a llenar o redactar los formatos correspondientes, para ser entregados, con el fin de la DGAJ las revise y se realicen las correcciones pertinentes en caso de errores o en su caso las complemente con datos faltantes como el nombre de la persona que será el representante legal y de este modo tenga las herramientas suficientes para realizar la solicitud de concesión ante el FT sin contratiempos, asimismo que resulte atractivo para el IFT y se pase a la siguiente fase de la solicitud.

En este punto cabe desatacar que una vez que la DGAJ inicia los trámites ante el IFT lo hará a través de un representante legal que designe y este será el encargado de dar seguimiento a la solicitud, también será quien recibirá todas las notificaciones emitidas por parte del instituto y comunicará a los encargados del proyecto.

En caso contrario, en que el oficio es rechazado, la DGAE notificará las razones por las que la solicitud no es procedente o solicitará que se dé mayor detalle del proyecto. A este respecto se procederá a realizar un replanteamiento para dar una presentación más amplia o aclarar aquellos asuntos por los que la solicitud fue rechazada.

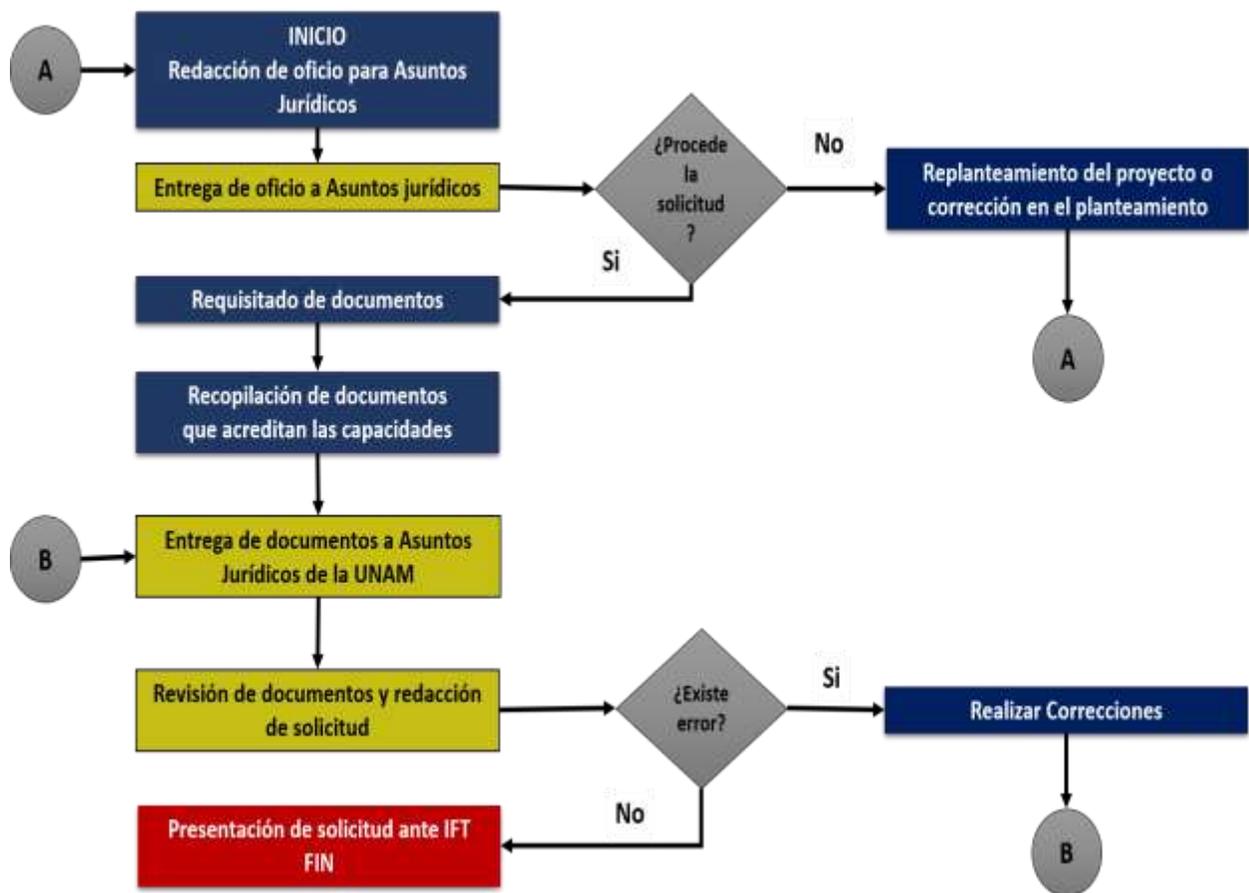


Figura 21 Esquema procedimiento al interior de la UNAM

Capítulo 6.

Presentación de la solicitud de concesión ante el IFT.

El presente capítulo presentara una aproximación del modelo documental que se podrá presentar ante el IFT, así como los plazos que conlleva el procedimiento y el monto aproximado a pagar por los derechos, todo esto de conformidad con los artículos 96 y 97 de la LFTyR y el artículo 3 fracciones VI y VII de los lineamientos generales.

Antes de iniciar cabe aclarar que los documentos que se presentan a continuación son solo ejemplos y que en la redacción real de los documentos, para ser enviadas al instituto tiene que realizarse en conjunto, por parte de asuntos jurídicos y los involucrados en el proyecto, o realizar la redacción de estos y pedir el visto bueno de la DGAJ.

6.1 Requisitado y recopilación de documentos solicitados.

6.1.1 Solicitud de interés

El escrito correspondiente a la solicitud en la que se manifiesta el interés de obtener recursos orbitales en favor del estado mexicano, debe contener los motivos por los cuales es necesario obtener dicho recurso para el desarrollo del proyecto, así como una breve descripción de este con los objetivos y ventajas que traerá consigo el llevarlo a la realidad.

En la tabla 16, se presenta una propuesta de lo que puede ser la solicitud de concesión para la ocupación y explotación de recursos orbitales.

Tabla 16 Plantilla base para la Solicitud de recursos orbitales

| Plantilla base para la Solicitud de recursos orbitales |
|---|
| <p>Solicitud para la obtención de recursos orbitales en favor del Estado Mexicano</p> <p>Ciudad de México, “día de mes de año”</p> <p>A quien corresponda ()</p> <p>Instituto Federal de Telecomunicaciones</p> <p>Presente:</p> <p>Por medio de la presente me dirijo al instituto federal de telecomunicaciones, para comunicarle nuestra intención de obtener recursos orbitales a favor del estado mexicano, así como obtener la concesión para las respectivas frecuencias asociadas para llevar a cabo el proyecto satelital Cándor actualmente que se está planeando realizar por la Unidad de alta Tecnología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.</p> <p>Mi nombre es “Nombre del Representante”, y represento a la Universidad Nacional Autónoma de México en la presente solicitud, a este respecto se anexa el documento que me acredita como el representante para los fines y propósitos de la misma.</p> <p>La obtención de recursos orbitales y la concesión para el uso del espectro radioeléctrico permitirá que los investigadores de la Facultad de Ingeniería puedan operar la estación terrena. El uso de las frecuencias radioeléctricas a través de la estación terrena referida, permitirá la ejecución del proyecto satelital anteriormente mencionado.</p> |

El proyecto satelital C6ndor es parte de un programa de colaboraci6n internacional, entre M6xico, Rusia y Taiw6n, a fin de poder desarrollar un sat6lite que ayude a probar la teor6a de los precursores inosfericos de terremotos. En el caso de probarse esa teor6a le dar6a un cambio en la prevenci6n de desastres, ya que se tendr6an los datos que permitan predecir sismos hasta 72 horas previas a un evento s6smico de magnitud 5 o mayor en la escala de Richter, lo cual es de gran inter6s para los 3 pa6ses.

El tener un desarrollo en tecnolog6a satelital tendr6a impacto en principio a sistemas de prevenci6n de desastres por fen6menos naturales que estar6a al servicio del bienestar y protecci6n de la poblaci6n.

Para m6s detalles del proyecto a continuaci6n se anexa la informaci6n que describe t6cnicamente al proyecto, as6 como la informaci6n que acredita la las capacidad t6cnica, financiera, jur6dica y administrativa.

Agradeciendo se antemano su atenci6n a la presente, me despido de forma respetuosa.

TENTAMENTE:

Firma de Representante legal

Nombre de representante

6.1.2 *Presentaci6n de informaci6n t6cnica*

El documento donde se tiene que dar a conocer la información técnica debe contener las siguientes descripciones técnicas, de acuerdo con lo especificando en el artículo 96fracción II de la ley. En la tabla 17 una plantilla que puede usarse como base para la redacción del documento oficial.

Tabla 17 Plantilla base para la Presentación de información técnica

| Plantilla base para la Presentación de información técnica |
|--|
| <p>Cóndor</p> <p>El satélite cóndor operará a una altura aproximada a los 500 [Km] con órbita síncrona solar y 98.5° de inclinación. El satélite será destinado a la observación de la Tierra y tendrá paso por México y Rusia para que el satélite pueda operar utilizara en los rangos de frecuencias de 2200 [MHz] a 2300 [MHz] (espacio-Tierra) y el rango de 2025 [MHz] a 2110 [MHz] (Tierra-espacio) que se encuentran dentro de la banda S.</p> <p>Las características de la transmisión espacio-Tierra son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia 2200 [MHz] – 2300 [MHz] • Taza de transmisión 9.6 [Kbps] – 8.0 [Mbps] • Potencia de transmisión 2 [W] – 4 [W] • Modulación BPSK/QPSK • Ancho de banda 100 [MHz] <p>Las características de la recepción en el satélite Tierra espacio son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia 2025 [MHz] – 2110 [MHz] |

- Ancho de banda 85 [MHz]
- Sensibilidad -113 [dBm]
- BER de 10^{-5} (para una tasa de 9.6 Kbps)
- Recepción en modulación BPSK

Por otro lado operara dentro de la banda X en el rango de 8.025 [GHz] a 8.4 [GHz] (espacio-Tierra). La estación terrena ubicada en Querétaro tiene la capacidad de operar dentro de los rangos de frecuencias anteriormente descritos.

Las especificaciones técnicas para la transmisión en banda X Espacio-Tierra son:

- Ancho de banda 150 [MHz]
- Taza de transmisión entre 10 y 500 [Mbps]
- Modulación BPSK/QPSK/8PSK
- Codificación convolucional o TCM
- Potencia de transición de RF entre 5 [W] y 12 [W].

El satélite Cóndor tendrá la siguiente cobertura sobre territorio nacional como se muestra en la imagen 1.

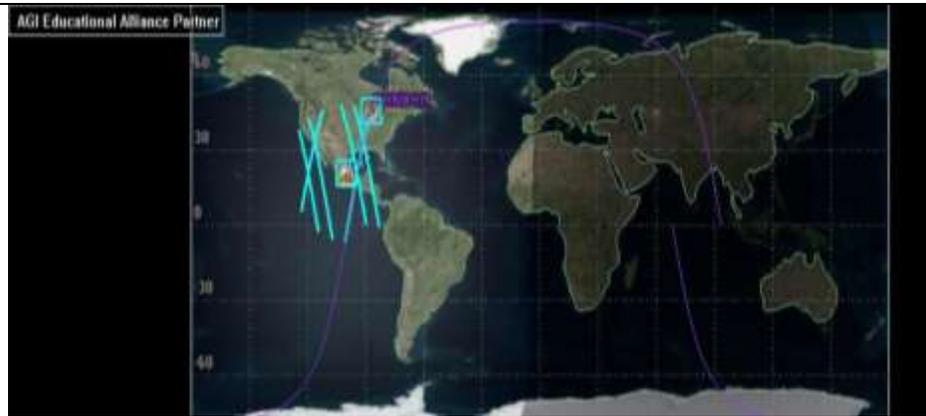


Imagen 1 cobertura del satelite C3ndor

Estaci3n terrena ECXSAT de la UAT-FI-UNAM

La estaci3n terrena ECXSAT ubicada en Juriquilla, en el estado de Quer3taro cuenta con la capacidad t3cnica, es decir, que cuenta con el equipo necesario como la antena, amplificadores para el receptor, up converter, down converter, sistema de seguimiento y el capital humano capacitados para la operaci3n de sat3lites de 3rbita baja. El centro de control permitir3 llevar acabo la activaci3n, control, monitoreo y desactivaci3n de cualquier subsistema del sat3lite.

La antena a instalar es de la marca TCS Space Component Technology y tiene las siguientes caracter3sticas.

TCS Space & Component Technology

Type 2 X/Y Tracking Antenna



| Specifications (Preliminary — Subject to Change) | |
|--|---|
| Mechanical | |
| Antenna Mount | Type 2 X/Y |
| Aperture Size | 3.0m—3.6m (Outdoor System) 3.0m—4.2m (In-Radome System) |
| Pointing Accuracy | <0.1° |
| Position Step Resolution | 0.00004° |
| Acceleration | 10°/s ² max |
| Velocity | 4°/s typical, 10°/s max |
| Degree of Freedom | 2 (X and Y) |
| Axis Travel | Full hemispheric coverage |
| Horizon limits | -2° typical |
| Control System | |
| Interface | Ethernet |
| Power | 110/240Vac, 1ph, 13A |
| RF | |
| Frequency Range | L, S, X, C, Ku and Ka Band |
| Polarization | LHCP and/or RHCP |
| Feed Configuration | Prime Focus |
| Typical Performance ⁽¹⁾ | 3.6m Outdoor S Band—14.4dB/K |
| | 3.6m Outdoor X Band—24.4dB/K |
| | 4.2m In-Radome S Band—15.5dB/K |
| | 4.2m In-Radome X Band—25.8dB/K |
| Environmental | |
| Wind Speed | 80km/h wind (Operational) ⁽²⁾ 200km/h wind (Survival) |
| Temperature | -10°C—+50°C (Operational) ⁽²⁾ -40°C—+70°C (Survival) |
| Humidity | 100% Relative Humidity |
| Driving Rain | Up to 10cm/hr |

(1) Performance at 5° elevation, clear sky

(2) Optional measures (heaters, radomes, HVACs) can be taken to improve operational environmental limits

El amplificador que se utilizará para la recepción será uno de estado sólido de la empresa EMPOWER RF SYSTEMS, INC. Con las siguientes características:



Solid State General Communication Power Amplifier

3085 - GCM4Q5EFL-ALC

1800 – 2200 MHz / 30 Watts

The GCM4Q5EFL (SKU 3085) is suitable for linear repeater and counter communication applications in the PCS and UMTS frequency ranges. This amplifier utilizes advanced LDMOS power devices that provide high gain, wide dynamic range and excellent group delay and phase linearity. Exceptional performance, long-term reliability and high efficiency are achieved by employing advanced broadband RF matching networks and combining techniques, EMI/RFI filters, machined housings and qualified components. Functions such as FWD/REV power reading and ALC circuits are included. Empower RF's ISO9001 Quality Assurance Program assures consistent performance and the highest reliability.

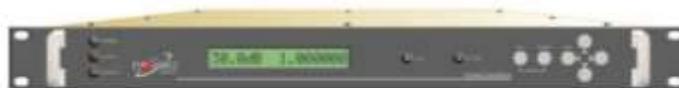


- Solid-state Class AB linear design
- Built-in ALC control circuit
- Built-in control, monitoring and protection circuits
- Small form factor and lightweight
- Suitable for CW, AM, and FM (Consult factory for other modulation types)
- 50 ohm input/output impedance
- High reliability and ruggedness

ELECTRICAL SPECIFICATIONS @ +28V_{DC}, 25°C, 50 Ω System

| Parameter | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|-----------------------------------|------|-------|------|------|
| Operating Frequency | BW | 1800 | | 2200 | MHz |
| Power Output CW | P _{SAT} | 30 | | | Watt |
| Power Output @ 1dB Gain Compression | P _{1dB} | 25 | | | Watt |
| Power Gain @ 1dB Gain Compression | G _{1dB} | 44 | | 47 | dB |
| ALC Level (external analog control voltage) | ALC | 27 | 40 | | dBm |
| Small Signal Gain Flatness | ΔG | | ±0.75 | ±1.0 | dB |
| Input Power @ Rated P _{SAT} (ALC ON) | P _{IN} | | +5 | | dBm |
| Input/Output Return Loss | S ₁₁ / S ₂₂ | | | -10 | dB |
| Noise Figure (at minimum attenuation) | NF | | 7 | 10 | dB |
| Third Order Intercept Point | IP3 | | +51 | | dBm |
| 2-Tone @ 36dBm/Tone, 100kHz Spacing | | | | | |
| Harmonics @ P _{OUT} = 30W | H | | | -30 | dBc |
| Spurious Signals | Spur | | -70 | -80 | dBc |
| Operating Voltage | V _{DC} | 24 | 28 | 30 | Volt |
| Current Consumption @ P _{OUT} = 30W | I _{DC} | | | 7.0 | Amp |

Los convertidores de subida y de bajada, es decir, el down y el up converter serán adquiridos de la empresa Novella Satcoms. Con las siguientes características para las operaciones en banda X.



D600 series of X-band to 70MHz and/or 140MHz Downconverters

| INPUT SPECIFICATION | | Options |
|--|--|-------------------|
| 1. Frequency range: | 7 to 9GHz in bands of 500MHz to 2GHz | (see model table) |
| 2. Connector: | SMA | |
| 3. Impedance: | 50Ω | |
| 4. Return loss: | ≥18dB | |
| OUTPUT SPECIFICATION | | |
| 5. Frequency range: | 70MHz, 140MHz or 70MHz plus 140MHz IF B/W: ±20MHz, ±40MHz (other values available) | (see model table) |
| 6. Connector: | SMA | |
| 7. Impedance: | 50Ω | |
| 8. Return loss: | ≥15dB | |
| 9. 1dB compression point: | +10dBm | |
| 10. Third order intercept: | +20dBm | |
| TRANSFER CHARACTERISTICS | | |
| 11. Gain: | 30 to 40dB, adjustable in 0.1dB steps | (i) 20 to 40dB |
| 12. Gain ripple: | over ±20MHz: ≤1dB p.t.p. over input band, 1GHz: ≤3dB p.t.p. over input band, 2GHz: ≤4dB p.t.p. | (ii) (iii) |
| 13. Group delay distortion: | ripple, ±20MHz: <2ns ptp linear, ±20MHz: <0.03ns/MHz parabolic, ±20MHz: <0.01ns/MHz ² | |
| 14. Gain stability, 0°C to 50°C: | ±1dB 24hr. at constant temperature: ±0.1dB | |
| 15. Frequency stability, -10°C to +60°C: | 10 ⁻⁷ from -10°C to +60°C 10 ⁻⁶ at constant temperature over 24 hrs. | |
| 16. External reference: | 10MHz, 0dBm | 5MHz, 0dBm |
| 17. Synthesiser step size: | 1kHz | |
| 18. Noise figure (full gain): | <20dB | |

Para las operaciones en banda S. El convertidor de bajada

D492 Series S-band Downconverters

| INPUT SPECIFICATION | | Options |
|----------------------------------|--|-------------------|
| 1. Frequency range: | 1,900 to 2,900MHz | (see model table) |
| 2. Connector: | N-type | SMA |
| 3. Impedance: | 50Ω | |
| 4. Return loss: | ≥15dB | |
| OUTPUT SPECIFICATION | | |
| 5. Frequency range: | 70MHz, 140MHz or 70MHz plus 140MHz IF B/W: ±20MHz, ±40MHz | (see model table) |
| 6. Connector: | BNC | |
| 7. Impedance: | 50Ω | |
| 8. Return loss: | ≥15dB | |
| 9. 1dB compression point: | +10dBm | |
| 10. Third order intercept: | +20dBm | |
| TRANSFER CHARACTERISTICS | | |
| 11. Gain: | 20 to 40dB, adjustable in 0.1dB steps | |
| 12. Gain ripple: | over ±20MHz: ≤1dB p.t.p. over input band, 400MHz: ≤2dB p.t.p. | (i) |
| 13. Group delay distortion: | ripple, ±20MHz: <2ns ptp linear, ±20MHz: <0.03ns/MHz parabolic, ±20MHz: <0.01ns/MHz ² | |
| 14. Gain stability, 0°C to 50°C: | ±1dB 24hr. at constant temperature: ±0.2dB | |
| 15. Frequency stability | 0°C to +50°C: 1x10 ⁻⁷ At constant temperature over 24 hr: 1x10 ⁻⁶ | |
| 16. External reference: | 10MHz, 0dBm | 5MHz, 0dBm |
| 17. Synthesiser step size: | 1kHz | |
| 18. Noise figure (full gain): | <17dB | |

Para las operaciones en banda S el convertidor de subida.



U492 Series S-band Upconverters

| INPUT SPECIFICATION | | Options |
|----------------------------------|--|-------------------|
| 1. Frequency range: | 70MHz, 140MHz or 70MHz plus 140MHz IF B/W: ± 20 MHz, ± 40 MHz | (see model table) |
| 2. Connector: | BNC | (O) |
| 3. Impedance: | 50 Ω | |
| 4. Return loss: | ≥ 15 dB | |
| OUTPUT SPECIFICATION | | |
| 5. Frequency range: | 1,900 to 2,900MHz | (see model table) |
| 6. Connector: | N-type | SMA |
| 7. Impedance: | 50 Ω | |
| 8. Return loss: | ≥ 15 dB | |
| 9. 1dB compression point: | +10dBm | |
| 10. Third order intercept: | +20dBm | |
| TRANSFER CHARACTERISTICS | | |
| 11. Gain: | 0 to 30dB, adjustable in 0.1dB steps | |
| 12. Gain ripple: | over ± 20 MHz: ≤ 1 dB p.t.p. over output band, 400MHz: ≤ 2 dB p.t.p. | (O) |
| 13. Group delay distortion: | ripple, ± 20 MHz: < 2 ns ptp linear, ± 20 MHz: < 0.03 ns/MHz parabolic, ± 20 MHz: < 0.01 ns ² /MHz ² | |
| 14. Gain stability, 0°C to 50°C: | ± 1 dB | |
| 24hr. at constant temperature: | ± 0.2 dB | |
| 15. Frequency stability | 0°C to +50°C: 1×10^{-7} At constant temperature over 24 hr: 1×10^{-8} | |
| 16. External reference: | 10MHz, 0dBm | 5MHz, 0dBm |
| 17. Synthesiser step size: | 1kHz | |
| 18. Noise figure (full gain): | < 20 dB | |

Así mismo cuenta con equipo de cómputo con la capacidad y el software especializado para realizar las operaciones necesarias para el apoyo de objetos espaciales que se encuentran en la órbita baja.



La información técnica sobre la estación puede ser más profunda, en este sentido la información del punto 4.4 del presente trabajo podría ser añadida con el fin de ser más precisos y dar un panorama amplio del proyecto a presentar. También cabe mencionar que al momento de describir el equipo y el funcionamiento de las instalaciones, no es necesario y recomendable colocar diagramas de conexiones o los planos de la estación, esto es por motivos de privacidad y seguridad de la información.

Además, en este punto se debe presentar el costo y cotización aproximada de los equipos que componen a la estación. Como se muestra en la tabla 18

Tabla 18 Cotización de la Estación Terrena.²⁴

| Elementos que conforman la estación terrena | Costo MXN |
|--|--------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Unidad de control de la antena. • Plato parabólico de 3.4 [m] • Pedestal X/Y Tipo 2 (para 3.4[m]) • Software especializado para monitorizar y controlar al satélite de manera manual o automática. • Gabinetes de instrumentación con aire acondicionado situados en la antena. • Alimentación Banda S con TX/RX seleccionable (incluye conmutador coaxial) LHC/RHC alimentador y un LNA, rango de frecuencia 2200-4) La computadora integrada con todos los sistemas de monitoreo y control 2300[MHz]; rango de frecuencia TX 2025-2130 [MHz]. • Alimentación de banda X (8000 [MHz] a 8400 [MHz]) (ganancia de 50-60[dB], LNA de 28 grados de ruido) LHC y polarización RHC. | Costo total |

²⁴ Estrada Arellano, M. A. (2017). Estación terrena en banda S y X para telemetría, rastreo y comando de satélites LEO en órbita baja desde el UAT FI UNAM. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

6.1.3 *Características del servicio a proporcionar*

Esta información puede estar descrita dentro de alguno de los dos puntos anteriores o por separado, como se muestra en la tabla 19, añadiendo lo visto en el punto 3.3 del presente trabajo, pero describiendo con ayuda de un esquema el funcionamiento de la red.

Tabla 19 Plantilla base para la descripción del servicio a proporcionar

| Plantilla base para la descripción del servicio a proporcionar |
|---|
| <p>Servicio de exploración de la Tierra por satélite</p> <p>El servicio de “exploración la Tierra por satélite” es el servicio que será proporcionado por parte de la UNAM. Por lo que se utilizará parte de la banda que comprende las frecuencias que van de 8.025 a 8.4 [GHz] servirá para bajar la información sobre las emanaciones de gas radón obtenidas por los sondeos hechos por el quipo a bordo del satélite, para después ser analizados por el equipo de investigadores. Contar con un ancho de banda de 375 [MHz] permitirá tener una tasa de bajada de alrededor de 8 [Mbps].</p> <p>Las frecuencias que comprenden el segmento de frecuencias que van de 2200 [MHz] a 2300 [MHz] servirán para bajar la información concerniente al estatus de los elementos que componen al satélite, además, de los datos sobre su situación en cuanto al posicionamiento orbital en tiempo real.</p> <p>Las frecuencias dentro del segmento que va de 2025 [MHz] a 2110 [MHz] se utilizan para mandar comandos que enciendan o apaguen algún subsistema del satélite.</p> <p>Tanto los datos sobre las mediciones realizadas por los sensores, así como la información de telemetría y los comandos a transmitir estarán a disposición de México</p> |

acreditarse demostrando la propiedad del equipo con el que ya se cuenta o mostrando un presupuesto aproximado del equipo necesario para el desarrollo de las actividades.

- Capacidades financieras

Para el caso de la UNAM como ente público, este requisito tiene que ser cubierto por medio de un documento donde se acredite que cuenta con el presupuesto público para llevar a cabo la implementación, y desarrollo del proyecto o que este ha sido solicitado conforme a los procedimientos aplicables.

- Capacidades jurídicas

A este respecto, la manera de cumplir con este requerimiento se hará presentando una copia certificada del título del representante legal, asimismo deberá acreditar mediante un documento donde se certifique que el representante al menos cuenta con poder general para actos de administración.

Del mismo modo el representante tiene que presentar una copia de su identificación INE o cualquier otra (pasaporte o cartilla del servicio militar) donde se acredite la nacionalidad del representante junto con la de la institución.

- Capacidades administrativas

En el caso de la UNAM este rubro debe ser cubierto con una copia simple de la normatividad que aplica al interior de la institución respecto a su organización y funcionamiento.

6.1.5 Redacción de la Carta compromiso

A continuación, en la tabla 20 se muestra un modelo preliminar de la carta compromiso de conformidad con el artículo 96 fracción V de la ley.

Tabla 20 Plantilla base para la redacción de la carta compromiso

| Plantilla base para la redacción de la carta compromiso |
|--|
| <p style="text-align: center;">Carta compromiso</p> <p style="text-align: right;">Ciudad de México a “día del mes del año”</p> <p>La Universidad Nacional Autónoma de México representada por “Nombre del Representante”, se compromete a participar en todas las acciones administrativas, técnicas y jurídicas necesarias para colaborar con el instituto y la secretaria en las gestiones respectivas a la obtención de recursos orbitales a favor del Estado Mexicano.</p> <p>Durante el proceso de gestión con el fin de coadyuvar al gobierno federal en la coordinación y obtención de recursos orbitales a favor del país, la UNAM se compromete a:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bridar la información técnica adicional que sea solicitada por IFT, SCT o UIT.• Subsanan la información que resulte errónea o incompleta en el tiempo más corto posible.• Realizar el pago de la fianza generada por los gastos de representación ante la UIT. |

Después de las gestiones de coordinación y en caso de obtener el recurso a favor. La UNAM se compromete a:

- Hacer uso eficaz y responsable de la banda de frecuencias concesionada, tomando todas las medidas técnicas pertinentes para evitar generar interferencias perjudiciales.
- Cumplir con los objetivos trazados en el proyecto en la colaboración de la seguridad nacional y prevención de desastres.
- Notificar al instituto cualquier cambio que se le realizase a las características de la estación.

ATENTAMENTE:

Firma de Representante legal

Nombre de representante

6.2 Revisión de documentos y validación por parte de asuntos jurídicos de la UNAM

Como se señaló con anterioridad, presentar el proyecto ante la DGAJ de la UNAM es un paso primordial en las gestiones, ya que será por parte de este organismo de la UNAM que se llevarán a cabo las acciones que ayuden al proyecto a obtener las frecuencias requeridas para operar, además por lo dispuesto en la LFTy R y la personalidad jurídica de la UNAM como entidad pública lo demandan.

Para hacer llegar las intenciones de realizar un proceso de solicitud de concesión, primero debe redactarse un oficio en el que se ponga al tanto a la DGAJ sobre el proyecto que se pretende desarrollar, así como sus objetivos, el porqué del uso espectro y las ventajas que traerá consigo para la universidad de lograrse implementar y las ventajas para el país en general. Se trata de un documento parecido al solicitado por el IFT, pero en este caso solo se expondrán las intenciones de obtener el recurso, al mismo tiempo que se pedirá el apoyo por parte de asuntos jurídicos para llevar acabo las gestiones ante el IFT.

Una vez enviado o entregado el oficio en donde se expresan las intenciones, DGAJ enviara una respuesta en la que se señala si el proyecto es viable o no, en el caso de ser afirmativa la petición, se procederá a hacer entrega de todos los documentos correspondientes al proyecto para que estos sean revisados y validados para su posterior entrega al IFT o en su caso regresados para realizar correcciones.

6.3 Entrega de solicitud y de documentos en el IFT para la solicitud de concesión.

La entrega de los documentos tiene que realizarse atendiendo a lo establecido en el artículo 13 de los lineamientos generales, donde se explica que la solicitud y los demás documentos deben ser entregados tanto de forma impresa como de manera digital en un disco compacto o dispositivo USB. También, el articulo menciona que la documentación debe estar foliada y rubricada por representante legal.

La entrega de los documentos referidos debe realizarse en la Oficialía de Partes del Instituto Federal de Telecomunicaciones.

En la figura 22 se muestra un diagrama a bloques del procedimiento establecido en el artículo 97 de la LFTyR, que es relativo a los pasos que se llevan a cabo durante las gestiones para obtener el recurso orbital así como las bandas frecuencias asociadas.

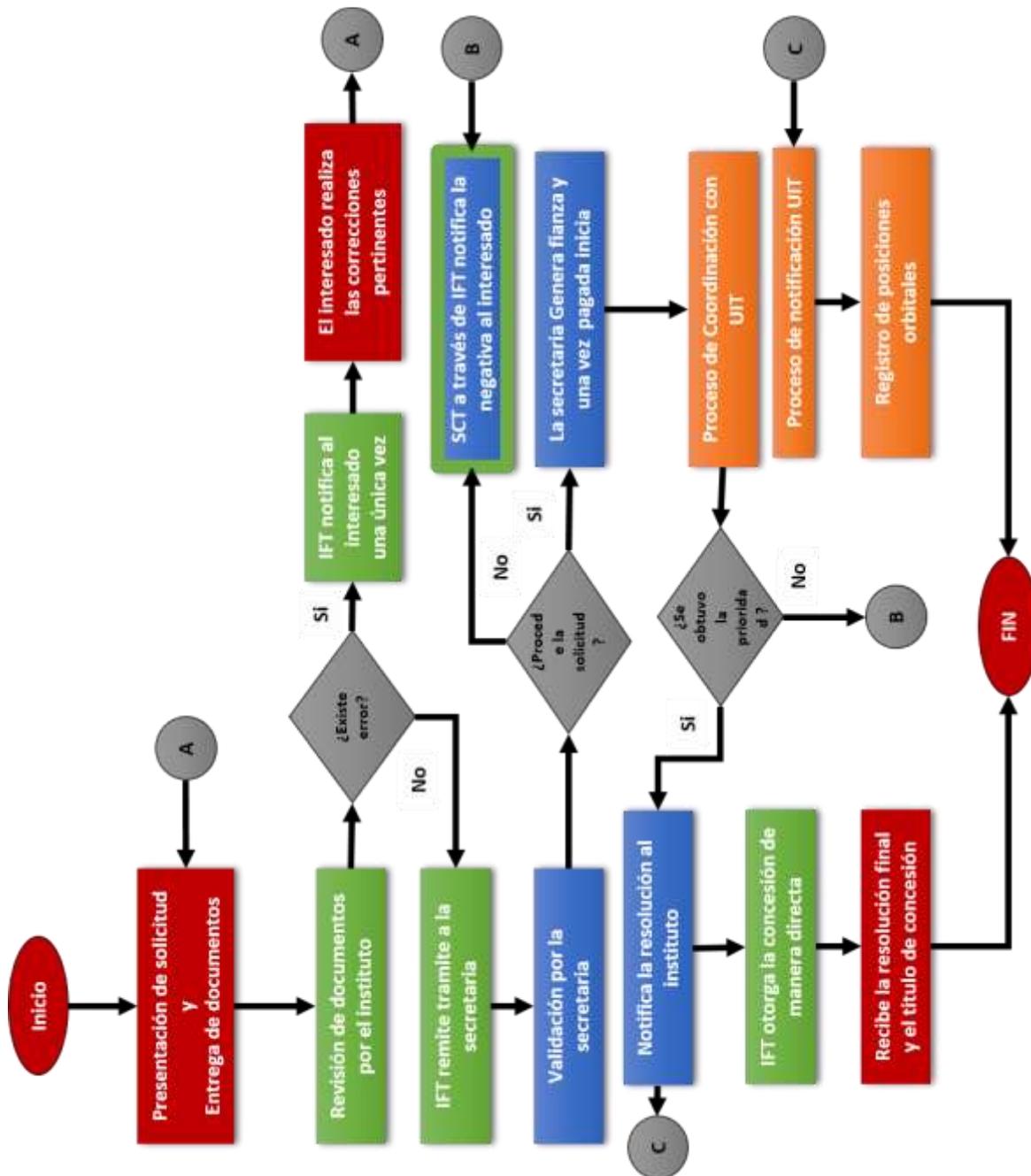


Figura 22 Diagrama a bloques del procedimiento de obtención de recursos orbitales y espectro radioeléctrico.

A continuación se hace una breve descripción de lo expuesto en la figura 22, referente al procedimiento para obtener la concesión de recursos orbitales y bandas de frecuencias.

6.3.1 Revisión de documentos e Integración del expediente

Primeramente el IFT realiza un análisis y evaluación de la documentación en un plazo aproximado de 30 días hábiles, si este presenta anomalías u omisión de algún requisito el IFT notificará por única vez al representante legal para que estas sean corregidas en un plazo igual de 30 días hábiles, en caso contrario el IFT admitirá a trámite la solicitud.

En caso de realizar correcciones a los documentos, nuevamente se entregán y en un plazo de 15 días hábiles la solicitud será admitida a trámite, una vez presentada la información el expediente se dará por integrado y será remitido a la SCT para que esta determine la procedencia de la solicitud.

Cabe aclarar que en este punto la ley menciona la estimación de gastos en los que el IFT llegue a incurrir, para después ser cubiertos por el interesado. A este respecto dicha estimación no es procedente, debido a que la solicitud va por parte de una entidad pública, y en este tipo de trámites entra como parte de las funciones del Instituto por lo que el monto a pagar es nulo, pero esto no exime a la UNAM de realizar un pago, más adelante se explicaran las razones para hacerlo.

6.3.2 Resolución de SCT y pago de fianza por concepto de representación ante UIT

En el caso de que la solicitud sea procedente, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes notificará al instituto para que este a su vez comunique al representante legal el

estatus de la solicitud. Al igual que en el punto anterior, el artículo 97 menciona nuevamente la estimación de una fianza, pero como se señaló anteriormente este no es procedente por las mismas razones que en el punto anterior, sin embargo sí que se tiene que realizar un pago y este es por concepto de gastos generados ante UIT.

Independientemente de sí se obtiene, o no, el recurso orbital objeto de la solicitud a favor del país, es un monto que debe ser cubierto por el interesado. Para establecer el monto a pagar se toma en consideración la banda de frecuencia del espectro que se trate (servicio a los que la dicha banda este atribuida), la cantidad y la cobertura, este último es un punto importante porque es en donde se definen las administraciones con las que se tiene que hacer el proceso de coordinación.

Ahora bien, el monto de la fianza para cubrir los gastos generados por los procesos de coordinación y notificación ante la UIT ronda el millón de pesos. Esta estimación es obtenida de la lista de recuperación de costos a la tramitación de notificaciones del acuerdo 482 de la UIT que se muestra en la tabla 21 y calculada de la siguiente manera.

Por la naturaleza del proyecto se espera que la coordinación este en las categorías C2 y N2 que se muestran en la misma tabla 21, las cuales corresponden a una notificación de red de satélites referente a dos o más formularios de coordinación, es decir, que se realizará coordinación de la estación terrena y del satélite a operar, asimismo se considera que canon fijo (precio de referencia) por unidad es menor a las 100 unidades, ya que la suma de los productos del número de asignaciones de frecuencias, el número de clases de estación y el número de emisiones obtenidos para todos los grupos de asignación de frecuencias no superan las 100 unidades, por lo tanto los montos a sumar son:

Coordinación C2 9 620 CHF + Coordinación N2 42 920 CHF = 52 540 CHF

La cantidad está en francos suizos, el tipo de cambio a la fecha en la que se realizó (nov 2017), este cálculo franco-peso mexicano es de 19.06 pesos mexicanos por franco, así que realizando el cambio de francos a pesos nos arroja la cantidad de 1 001 412 pesos MXN. Además de tener algún otro objeto espacial que aún se encuentre en Tierra, este también deberá ser anunciado y se cobrará un monto extra de 150 CHF como base, con posibilidad de aumentar en el caso de que las características del satélite necesiten de otra forma de coordinación.

Tabla 21 Lista de recuperación de costes a la tramitación de las notificaciones de redes de satélites en francos suizos.²⁵

| Tipo | | Canon fijo por notificación (en CHF) (≥ 100 unidades, si es aplicable) | Canon fijo por notificación (en CHF) (< 100 unidades) | Canon por unidad (en CHF) (< 100 unidades) | Unidad de recuperación de costes | |
|------|----------------------------|--|--|---|----------------------------------|--|
| 1 | Publicación anticipada (A) | A1 | 570 | | No aplicable | |
| 2 | Coordinación (C) | C1* | 20 560 | 5 560 | 150 | Suma de los productos del número de asignaciones de frecuencias, número de clases de estación y número de emisiones obtenidos para todos los grupos de asignación de frecuencias |
| | | C2* | 24 620 | 9 620 | | |
| | | C3* | 33 467 | 18 467 | | |
| 3 | Notificación (N)a) | N1* | 30 910 | 15 910 | | |
| | | N2* | 57 920 | 42 920 | | |
| | | | 57 920 | 42 920 | | |
| | | N3* | | | | |
| | | N4 | 7 030 | | No aplicable | |

²⁵ Tabla obtenida del documento de UIT titulado “Aplicación de la recuperación de costes a la tramitación de las notificaciones de redes de satélite”

Cubierto este monto se considera de manera formal la solicitud y se procede con las gestiones para la obtención de los recursos orbitales y frecuencias asociadas.

6.3.3 Gestión ante UIT para la obtención del recurso orbital

Las gestiones ante la UIT, las entidades reguladoras de otros países y los concesionarios nacionales y extranjeros que operan en el país, son realizadas por la SCT con la colaboración del IFT, en este sentido, el papel del representante legal es el de recibir cualquier notificación y comunicarla al interesado, respecto a la petición de información faltante o complementaria, así como documentos que ayuden a concluir con el proceso de coordinación y de esta forma obtener la prioridad de la ocupación de los recursos orbitales.

6.3.4 Plazo de resolución sobre la petición de concesión

La duración del proceso de coordinación depende en gran parte al servicio al que la banda de frecuencias de interés esta atribuida ya que de esto surge el número de interesados y de concesionarios que ya ocupan esa banda y que podrían verse afectados por la entrada de un nuevo concesionario. Así que revisando el reglamento de radiocomunicaciones en las figuras 23, 24 y 25 se muestran a qué servicios están atribuidas las bandas de frecuencias.

| |
|--|
| 2025-2100 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-espacio) FIJO INVESTIGACION ESPACIAL (Tierra-espacio) (espacio-espacio) MÓVIL |
|--|

Figura 23 Atribución de servicios de la banda S de transmisión²⁶

²⁶ Imagen obtenida de la Versión Integral del CNAF, publicado en el DOF el 3 de marzo de 2017

| |
|---|
| 2200-2900 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (espacio espacio) FIJO INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) (espacio-espacio) |
|---|

Figura 24 Atribución de servicios de la banda S de recepción²⁷

| |
|---|
| 8.025-8.175 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) FIJO Fijo por satélite (Tierra-espacio) Móvil |
| 8.175 - 8.215 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Fijo por satélite (Tierra-espacio) Móvil |
| 8.215-8.4 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) FIJO Fijo por satélite (Tierra-espacio) Móvil |

Figura 25 Atribución de servicios de la banda X de recepción²⁸

De las figuras 23, 24 y 25 se puede constatar que, efectivamente están atribuidas al servicio de exploración de la Tierra, pero también que están al servicio fijo, fijo por satélite entre otras, entonces podemos inferir que hay un interés importante en estas bandas y que el proceso de coordinación puede al igual que en las solicitudes para satélites geoestacionarios. Aunado a esto cabe mencionar que la Unión Internacional de Telecomunicaciones no

²⁷ Imagen obtenida de la Versión Integral del CNAF, publicado en el DOF el 3 de marzo de 2017

²⁸ Imagen obtenida de la Versión Integral del CNAF, publicado en el DOF el 3 de marzo de 2017

clasifica los satélites por su tamaño o periodo de vida, sino que simplemente los divide en geoestacionarios y no geoestacionarios, por lo tanto el periodo de tiempo para la resolución queda definida por el tiempo que se tarda en coordinar la banda de frecuencias que es un aproximado de 7 años.

Una vez obtenido el recurso orbital a favor del estado mexicano, UIT envía la información pertinente a la SCT sobre la notificación y esta pasa al IFT para finalmente emita la concesión y la otorgue al interesado.

6.4 Obtención de la concesión, periodo de expiración y prorrogas

Si como resultado de los trabajos de coordinación de la SCT y del IFT se obtuviera a favor del país para ocupar los recursos orbitales, la LFTyR establece en el mismo artículo 97 que el IFT deberá otorgar la concesión del recurso orbital de manera directa y en un plazo de 15 días hábiles esta deberá estar registrada en el registro público de concesiones.

El título de la concesión obtenida deberá tener como mínimo la siguiente información:

- El nombre y domicilio del concesionario: En el caso de la UNAM deberá ser el nombre UNAM con la dirección de la Unidad de Alta Tecnología
- El uso de la concesión: Público
- La autorización para operar
- El periodo de vigencia
- Las características generales del proyecto
- Los compromisos de presupuesto asignado al proyecto
- Los demás derechos y obligaciones del concesionario

El periodo de duración de la concesión sobre el recurso orbital y la frecuencia será el periodo de vida del satélite en cuestión. En el caso de interesarse de obtener un prórroga, esta deberá notificarse al menos un año antes de que se cumplan cuatro quintas partes del periodo de tiempo de expiración y el instituto definirá en ese plazo si hay interés público en recuperar o no el recurso en cuyo caso se notifica al interesado y se procederá a la terminación de la concesión una vez terminado el plazo de la concesión. En caso de que el IFT determine que no hay interés público por recuperar el recurso se procederá a otorgar la prórroga por el mismo plazo que en la anterior concesión, siempre y cuando se acepten las nuevas condiciones emitidas por el Instituto.

Capítulo 7. Comentarios y recomendaciones

Hasta hoy día no se ha definido un procedimiento claro por parte del Instituto Federal de Telecomunicaciones en el que se defina la solicitud de concesión de frecuencias y la autorización de operación de estaciones terrenas con fines de investigación científica, porque esta se ha enfocado en los sistemas comerciales, sin embargo esto no significa que no hay oportunidad para estos proyectos dentro del Instituto, ya que como se vio anteriormente, en el presente trabajo esto puede ser posible mediante los artículos 96 y 97 de la ley federal de telecomunicaciones y radiodifusión. Asimismo en la UIT no existe aún el concepto de satélites pequeños, sino simplemente se clasifican a estos objetos como geoestacionarios o no geoestacionarios, siendo el segmento de espectro radioeléctrico el punto medular dentro de las gestiones.

Conjuntamente con los artículos 55, 66, 67, 70, 76, 83 la LFTyR y los lineamientos generales para el otorgamiento de las concesiones, se tiene una mejor referencia sobre cómo proceder a realizar la solicitud ante el instituto, la duración de concesión y sobre el procedimiento de prórroga de la concesión, aunque esto puede llegar a ser ambiguo, puesto que la ley no especifica claramente a qué se refiere con “servicios distintos a los de telecomunicaciones y radiodifusión” y qué pasos se deben seguir para cada una de las modalidades de concesiones, por lo que se asume que lo establecido en dichos artículos y lineamientos son aplicables para los casos de investigación científica.

Es necesario presentar ante el instituto un proyecto que sea amplio, como lo puede ser un plan de orbita como se ve la tabla 22, en el que se asegure el mayor aprovechamiento de las bandas solicitadas en el tiempo que dura la concesión, esto con la idea de que en el

proceso de coordinación la SCT tenga las herramientas con las que pueda justificar el uso de dichas bandas y tener más oportunidad de obtenerlas en favor del estado mexicano, ya que si solo se presenta un solo satélite de corta duración, esto puede causar que pueda ser catalogado como no procedente y dejar el proyecto inconcluso.

Tabla 22 Plan de orbita para futuros proyectos

| Misión | Cóndor | Ulises 2 | Quetzal | | | | |
|------------------------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Duración de la misión | 2 años | 2 años | 2 años | 2 años | 2 años | 2 años | 2 años |

Asimismo, al presentar una solicitud de esta naturaleza, la institución se estará comprometiendo a cumplir con la agenda anteriormente mostrada de obtener el recurso a su favor. En este sentido los encargados de los proyectos deberán tener bien definidos los proyectos con sus respectivos tiempos de construcción y vida útil así como sus costos de construcción.

Ahora bien la universidad cuenta con la mayor parte de los requisitos para llevar a cabo la solicitud las gestiones necesarias para obtener la concesión, ya que cuenta con las capacidades administrativas y jurídicas lo suficientemente sólidas. Sin embargo aún hay partes que se tienen que atender como lo es la capacidad financiera, que si bien la tiene, al momento de realizar estos trámites el tener un plan estructurado de gastos e inversión significa tener una mejor presentación del proyecto ante el instituto. En cuanto a la capacidad técnica aún hay equipo faltante, pero esto no es un problema, ya que en la solicitud se puede inscribir el equipo que se planea utilizar y ser adquirido durante el proceso de la obtención concesión o una vez obtenido el recurso (espectro) por parte del instituto.

Otra cuestión importante es que la ley puede llegar a ser restrictiva para las instituciones públicas de educación superior en algunos aspectos, debido a las disposiciones actuales, ya que si estas tratan de utilizar bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radioaficionados puede presentarse un problema. Esto es que el servicio de radioaficionados está dentro de las concesiones para uso privado y en esta disposición quedan fuera las instituciones de carácter público como la UNAM, ya que para eso existe la concesión de uso público. En este aspecto queda analizar una vía alterna o la posibilidad de un acuerdo en donde exista la posibilidad de utilizar estas bandas de frecuencias en caso de que resulte necesario.

También cabe señalar que el marco regulatorio está siendo continuamente revisado, por lo tanto puede cambiar, entonces se recomienda revisarlo y constatar que puntos del presente trabajo pueden ser considerados en la gestión de obtención de autorizaciones y concesiones.

Finalmente cabe mencionar que las instituciones nacionales e internacionales han estado trabajando en distintos comités tales como el Comité Técnico en Materia de Espectro Radioeléctrico (CTER), organizado por el IFT y el Comité Consultivo Permanente II (CCP II), de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL), con miras a obtener un marco regulatorio que pueda coadyuvar al desarrollo de estas tecnologías que se encuentran en crecimiento.

Capítulo 8. Conclusión

Durante el desarrollo del presente trabajo se encontró que el IFT tiene disponibles los formatos para la solicitud de concesiones de espectro radioeléctrico y recursos orbitales, pero estos están diseñados para solicitudes que involucran satélites geoestacionarios con fines comerciales, en consecuencia proyectos de investigación sin fines de lucro que además no utilizan posiciones geoestacionarias, quedan al margen al no haber formatos ya establecidos por parte del IFT.

También al buscar ejemplos del formato para la solicitud de espectro radioeléctrico y recursos orbitales, con el perfil de una concesión pública para fines de investigación, se encontró con que no hay instituciones que hayan pedido una solicitud con tales características, por lo que no hay un antecedente que sirva como referencia para la elaboración de la solicitud.

Por otro lado, las solicitudes de las que si hay antecedentes, son aquellas que tienen fines comerciales, sin embargo, no pueden ser tomadas como referencia debido a que no hay acceso a estos documentos por motivos de confidencialidad y seguridad de la información. Esta falta de información sobre los formatos de petición de solicitud, dificultó la tarea de realizar los formatos adecuados a las necesidades de la estación terrena ECXSAT y al satélite Cóndor para ser presentados ante el IFT.

Mientras se redactaban las plantillas, se observó la necesidad de tener el apoyo de la parte jurídica, para formalizar los documentos de solicitud de concesión, por esta razón se recomienda que se unan esfuerzos entre la parte técnica y la parte jurídica.

Atendiendo parte de estas necesidades, el presente trabajo deja la base del procedimiento a llevarse a cabo para la obtención de la autorización de operación de la estación terrena ECXSAT, así como para la obtención de la concesión de espectro radioeléctrico y recursos orbitales para los proyectos que se están desarrollando actualmente en la Facultad de Ingeniería. También se mostraron los propuestos de documentos, preliminares para iniciar las gestiones ante el IFT.

Se deja la base para realizar la solicitud de autorizaciones y concesiones ante las instancias pertinentes, para cualquier proyecto que se desarrolle en cualquier Facultad o Instituto de la UNAM que ocupe de hacer uso del espectro radioeléctrico. Del mismo modo el material aquí presentado servirá como referencia para cualquier otra institución que desee realizar proyectos de esta naturaleza y requiera de un documento en materia regulatoria que sirva de apoyo y que además tenga un ejemplo práctico que ayude a entender la gestión para realizar la solicitud de autorizaciones y concesiones ante las entidades encargadas de regular el espectro radioeléctrico y recursos orbitales.

Finalmente se dejan los fundamentos para que más adelante pueda generarse una guía con el respaldo legal apropiado, que permita impulsar en este sentido al desarrollo en materia espacial del país.

Capítulo 9. Trabajo a Futuro

El trabajo a futuro será reunir los datos técnicos sobre la estación terrena y el satélite, además, los documentos que acreditan las capacidades financieras, jurídicas y administrativas, y de este tener toda la información que sirva de respaldo para las gestiones necesarias.

También documentar todo el proceso de solicitud de concesión de espectro radioeléctrico y recursos orbitales con la idea de generar una guía en la que se expongan los pasos llevados a cabo en el proceso de obtención de la concesión, los problemas que surjan y la forma en la que se subsanaron, de esa forma generar una metodología que puede ser utilizada para realizar los tramites

Referencias

- Huidobro, J. M (2014). Comunicaciones por Radio. Tecnologías, Redes y Servicios de Radiocomunicaciones. México DF, México: Alfaomega.
- Carlson, B. A. (2017). Sistemas de Comunicación, México DF, México: McGraw-Hill
- Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (2014)
- Estrada Arellano, M. A. (2017). Estación terrena en banda S y X para telemetría, rastreo y comando de satélites LEO en órbita baja desde el UAT FI UNAM. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Estrada Estrada, J. H. (2013). Aplicación de la entropía y esfera de Debye al estudio de precursores sísmicos y calidad de la energía eléctrica. (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia). Disponible en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12193/1/jorgehern%C3%A1nstradaestrada.2013.pdf>
- De la Flor, L. M (2014). El papel del gas Radón como precursor sísmico. Espacio Campus. Recuperado de:
<http://www.campusets.com/espacio/articulos/11111401.php>
- (2013). Acuerdo por el que se expide el programa nacional de actividades espaciales. Disponible en:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5388707

- Regulación Satelital en México, Estudio y Acciones [Archivo PDF]. Recuperado de <http://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/regulacion-satelital-en-mexico-estudio-y-acciones>
- Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias [Archivo PDF]. Recuperado <http://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/cuadro-nacional-de-atribucion-de-frecuencias-cnaf>
- Versión Integral del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/cuadronacionaldeatribuciondefrecuenciasa.pdf>
- Guía de orientación regulatoria para satélites pequeños no sujetos a coordinación [Archivo PDF]. Disponible en: http://smallsats.cicese.mx/res/GOR_11.pdf
- Acuerdo 482 de la UIT (2012) Aplicación de la recuperación de costes a la tramitación de las notificaciones de redes de satélite [Archivo PDF], Disponible en: [https://www.itu.int/en/ITU-R/space/Documents/Decision%20482\(C2012\)-S.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-R/space/Documents/Decision%20482(C2012)-S.pdf)