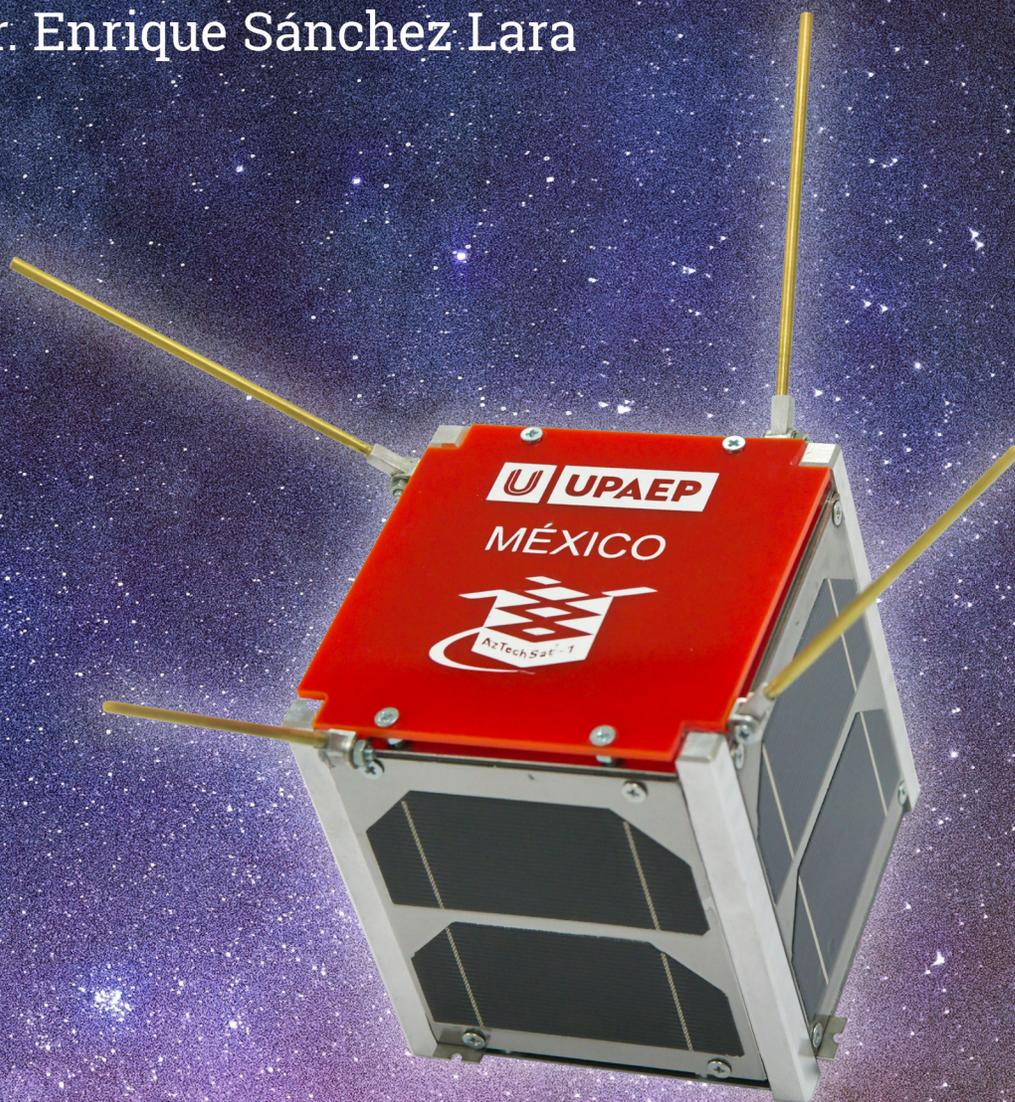


# Manual para la obtención de permisos y licencias orbitales de nanosatélites mexicanos

Dr. Enrique Sánchez Lara



## **DIRECTORIO**

**Emilio José Baños Ardavín** | Rector

**Eugenio Urrutia Albisua** | Vicerrector de Investigación

**Mariano Sánchez Cuevas** | Vicerrector Académico

**Johanna Olmos López** | Directora de Investigación

**Rosa María Contón Croda** | Decana de Posgrados en Ingeniería y Negocios

Diseño editorial: Miguel Ángel Carretero Domínguez

Coordinación editorial: Elvia Guerrero Hernández

Producción: Dirección de Investigación UPAEP

## **MANUAL PARA LA OBTENCIÓN DE PERMISOS Y LICENCIAS ORBITALES DE NANOSATÉLITES MEXICANOS**

**Enrique Sánchez Lara**

D. R. ©, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, A. C.  
21 Sur 1103, Barrio de Santiago,  
Pue., México, C. P. 72410. Tels. (222) 229-9400

D. R. © 2021, El Errante Editor S. A. de C. V.  
Priv. Emiliano Zapata 5947, San Baltazar Campeche Puebla,  
Pue., México, C.P. 72550. Tels. (222) 296-6707 / 298-0850  
elerrante\_editor@yahoo.com.mx

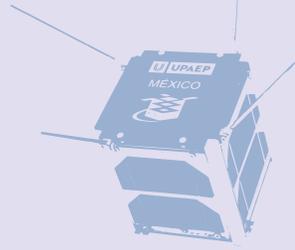
El Errante editor es miembro de la Alianza de Editoriales Mexicanas Independientes (AEMI)

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio. Se autorizan breves citas en artículos y comentarios bibliográficos, periodísticos, radiofónicos y televisivos, dando al autor y al editor los créditos correspondientes.

**Primera edición: 2021**

**ISBN: 978-607-9115-69-2**

Puebla, Pue., México  
**HECHO EN MÉXICO**



# Índice

<b>Capítulo I. Introducción.</b>	<b>5</b>
<b>Capítulo 2. Proyecto AztechSat-1</b>	<b>8</b>
2.1 Esquema Original del AztechSat-1: Servicios a Radioaficionados	9
2.2 Payload de la estructura del mensaje Token	10
2.3 Payload de la estructura de tele comando de apagado (shut off)	12
2.4 Estructura de los mensajes Token, Encendido y Apagado	13
2.5 Frecuencias, aseguramiento y minimización de posibles interferencias.	13
2.5.1 Parámetros de trabajo del AztechSat-1	13
2.5.2 Altura de órbita y velocidad	14
2.5.3 Velocidad del Satélites cubo y duración sobre el territorio nacional	14
2.6 Interferencia fuera de la República Mexicana en bandas amateur	14
2.7 Minimización de Interferencia en Territorio Nacional	15
2.8 Principio de evitar la postergación indefinida	15
2.9 Protocolo AX.25 regulado	15
2.10 Solicitud de frecuencias	17
2.11 Modulación en el segmento terrestre AztechSat-1	21
2.11.1 Modulación FSK (Frequency Shift Keying)	22
2.11.2 Modulación PSK (Phase Shift Keying)	22
2.11.3 Modulación APSK (Amplitude and Phase Shift Keying)	22
2.11.4 Modulación MSK (Minimum Shift Keying) en el AztechSat-1	22
2.12 Comentario de la Metodología de Investigación AztechSat-1	22
2.13 Comentario de los Subsistemas Iniciales del AztechSat-1	23
<b>Capítulo 3. CubeSat Design Specification (CDS) y el AztechSat-1</b>	<b>25</b>
3.1 Características obligatorias satélites tipo cubo	25
3.2 Características de los protocolos en misiones de radioaficionados	28
3.3 Características para la radio experimentación en México	31
3.3.1 Afiliación a FMRE y licencia IFT	31
3.3.2 Licencia de Recurso Orbital IFT	32
3.3.3 Misión de Radio Aficionados	32
3.4 Características respecto al apoyo en situaciones de emergencia	33
3.4.1 Mensaje de emergencia en APRS	33
3.4.2 Protocolo de atención de emergencias AztechSat-1	34

3.5 Características en protocolos para compartir bandas de frecuencia amateur . . . . .	34
<b>Capítulo 4. Propuesta de Plataforma . . . . .</b>	<b>36</b>
4.1 Origen . . . . .	36
4.2 Mandatos de la CITEL . . . . .	37
4.3 Propuesta de esquema para la compartición de bandas . . . . .	38
4.3.1 Contradicciones y dilemas . . . . .	38
4.3.2 Características de proyectos de licenciamiento . . . . .	39
4.3.3 Estrategias para compartir bandas y evitar interferencias. . . . .	40
4.4 Beneficios del esquema de compartición de banda . . . . .	41
<b>Capítulo 5. SpaceCap ITU API y Procesos de Licenciamiento . . . . .</b>	<b>42</b>
5.1 Conceptos clave en satélites tipo cubo . . . . .	42
5.2 Subsistemas comunes de un CubeSat . . . . .	43
5.3 Aplicaciones de Software críticas de la ITU . . . . .	43
5.4 Parámetros funcionales de Licenciamiento del AztechSat-1 . . . . .	45
5.4.1 AztechSat-1 CubeSat . . . . .	46
5.4.2 Operaciones de los segmentos espacial y terrestre del AztechSat-1 . . . . .	47
5.4.3 Patrones de radiación y Cálculo del Link Budget . . . . .	49
5.5 ITU Advance Publication Information (ITU API) . . . . .	54
5.5.1 Licencias del Recurso Orbital . . . . .	54
5.5.2 Solicitud de Recurso Orbital. . . . .	55
5.5.3 Uso del SpaceCap para generar la ITU API paso a paso . . . . .	55
5.5.4 Uso de SpaceVal desde Spacecap . . . . .	63
5.5.6 Uso de SpacePub desde SpaceCap . . . . .	64
5.6 Procesos principales de permisos y licencias . . . . .	65
5.6.1 Diagrama general de licencias y permisos. . . . .	66
5.6.2 Licencias de bandas de frecuencia comercial . . . . .	67
5.6.3 Licencia de radioaficionados . . . . .	69
5.6.4 Licencia de Recurso Orbital . . . . .	71
5.6.5 Licencia de bandas de radioaficioandos IARU . . . . .	74
<b>5.6.6 Permisos de traslado y exportación. . . . .</b>	<b>81</b>
<b>Agradecimientos . . . . .</b>	<b>82</b>
<b>Referencias Bibliográficas . . . . .</b>	<b>83</b>



## Capítulo I. Introducción

---

Desde el lanzamiento del primer satélite artificial el 4 de octubre de 1957, el famoso Sputnik, la ciencia y la tecnología aeroespacial han fascinado a la humanidad. ¿Qué persona en su niñez no ha soñado con ser astronauta, con ver o viajar más allá de la atmósfera terrestre? En 1999, la Universidad de Stanford y el Instituto Politécnico de California desarrollaron la Especificación de Diseño de Satélites tipo Cubo (Cubesat.org, 2017) como un esfuerzo real para acercar dicha ciencia y tecnología a los estudiantes en todo el mundo, logrando un rotundo éxito con cientos de proyectos en varios países.

En el año de 2010, la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) se interesa por estudiar la pertinencia de abrir un programa de licenciatura en Ingeniería Aeroespacial realizando, para tal efecto, estudios de mercado y planeación de proyectos académicos donde los futuros estudiantes pudieran aplicar los conocimientos adquiridos y realizar prácticas profesionales y, eventualmente, el servicio social. Algunos de los proyectos que se concibieron consistían en diseñar, construir y lanzar CanSats y CubeSats. Así las cosas, en 2014 se completa el diseño (en mancuerna con la empresa Bombardier de México) del programa académico de Ingeniería Aeroespacial para presentarse a la Junta de Gobierno de UPAEP. Paralelamente y con el apoyo del astronauta de origen mexicano, Dr. José Hernández Moreno se diseña, construye y lanza el primer CanSat en el desierto de Nevada, Estados Unidos, el 21 de noviembre de 2015, alcanzando 40 kilómetros de altura y donde se pudo probar con éxito la electrónica: sensores y sistema de telemetría. Es muy importante recalcar que el lanzamiento se tuvo que concretar en los Estados Unidos, esto debido a la complejidad de gestionar los diversos permisos necesarios para tal efecto en los Estados Unidos Mexicanos, sobre todo el de las telecomunicaciones relativas a la transmisión de información Satélite – Tierra, ya que es indispensable que no se interfiera con las comunicaciones de otros satélites, aeronaves, transportes, emisoras de radio y televisión, entre otras.

Entre los años 2015 y 2017 el equipo de trabajo que diseñó la carrera de Ingeniería Aeroespacial se da a la tarea de certificarse ante la Federación Mexicana de Radio Experimentadores como Radioescuchas, a la vez de tomar diversos cursos para cumplir la normatividad de los Satélites Cubo. En particular, un satélite cubo (de aquí en adelante CubeSat), requiere recibir información de Tierra en una banda de frecuencia para su control. También requiere de otra banda de frecuencia diferente a la primera para emitir hacia Tierra la información de su misión. Debido a que los satélites orbitan alrededor del planeta atravesando decenas de países, es necesario, hasta el momento, solicitar autorización a diversas instancias reguladoras na-

cionales e internacionales para el uso de tales bandas de frecuencia específicas, de manera prácticamente exclusiva por un período de tiempo que varía de seis meses a cinco años. El proceso actual para gestionar el uso de bandas de frecuencia, *grosso modo*, consiste en solicitarlo primero al Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), el cual después tendrá que concretarlo ante instancias internacionales como la International Amateur Radio Union (IARU) y la International Telecommunications Union, dependiente a su vez de la Organización de las Naciones Unidas, y cuyo proceso completo normalmente es de 2 a 7 años de duración.

Retomando la apertura de la licenciatura en Ingeniería Aeroespacial en UPAEP, con el Registro de Validez Oficial de la Secretaría de Educación Pública en mano, se inician los cursos en el período académico de otoño 2016 con 24 estudiantes.

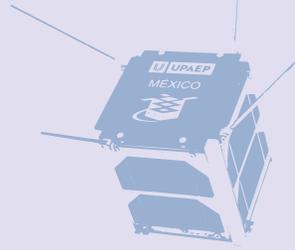
Previo al inicio de la carrera, se tuvo la posibilidad de invitar al Ing. Andrés Martínez - Spaceflight Program Manager, en aquel entonces, en NASA Ames Research Center y actualmente Program Executive, Advanced Exploration Systems, en NASA HQ - a la presentación ante la sociedad del programa de Ingeniería Aeroespacial acontecido el día 14 de octubre de 2015 en las instalaciones de la UPAEP. El Ing. Andrés Martínez (nacido en México) era y es la persona que ha impulsado, desde su posición en NASA, la colaboración de la agencia norteamericana con la Agencia Espacial Mexicana (AEM). Dentro del convenio de colaboración entre NASA y AEM se manifestaba la disposición de NASA de lanzar al espacio un CubeSat diseñado y construido por profesores y estudiantes de una universidad mexicana.

Afortunadamente la visita del Ing. Andrés Martínez, y la relación académica que se estableció con él y su equipo de trabajo, condujo a que NASA considerara a la UPAEP como la institución que realizaría el proyecto AztechSat-1. Proyecto que había sido ya titulado con ese nombre y cuya misión también había sido definida con antelación por NASA, demostrar la interconexión satelital entre AztechSat-1 y la constelación Globalstar.

En mayo de 2017, en las instalaciones de NASA Ames Research Center, se da el lanzamiento oficial del proyecto por parte del Ing. Andrés Martínez y del Ing. Eugenio Urrutia Albisua, Director General del proyecto AztechSat-1, y en julio del mismo año se da el lanzamiento del mismo en territorio mexicano.

Este documento es un manual práctico que describe el proceso que se siguió para la obtención de las licencias y permisos que permitieron al AztechSat-1 cumplir la normatividad nacional e internacional para ocupar una posición orbital, transmitir información Tierra-satélite, así como satélite a satélite. Este trabajo tiene como objetivo divulgar el conocimiento adquirido durante dicho proceso a fin de ayudar al desarrollo de proyectos similares. El presente documento está organizado de la siguiente manera: El Capítulo 1 contiene esta introducción. El Capítulo 2 describe los aspectos más relevantes del proyecto AztechSat-1 para brindar un contexto del proceso de licenciamiento. El Capítulo 3 repasa las características obligatorias de un

nanosatélite tipo cubo, las cuales se encuentran publicadas en el documento Cubesat Design Specification; también se explican aspectos relevantes del uso de bandas de frecuencia de radioaficionados en proyectos de nanosatélites. El Capítulo 4 aborda la propuesta original de crear una plataforma o ecosistema con elementos tecnológicos y legales que permitiesen el diseño, verificación y licenciamiento de proyectos con nanosatélites de órbita baja y corta duración. El Capítulo 5 consolida el contenido de los primeros 4 capítulos y ofrece una guía de los procesos de licenciamiento necesarios para un nanosatélite; muestra capturas de pantalla reales del proceso seguido para el AztechSat-1 y contiene recomendaciones que pueden agilizar el proceso. Las últimas secciones son los agradecimientos y la bibliografía.



## Capítulo 2. Proyecto AztechSat-1

El diseño y construcción de satélites (Tipo CanSat y Cubesat) es una estrategia de apoyo al programa curricular de Ingeniería Aeroespacial de UPAEP, para acercar la ciencia y tecnología aeroespacial a los estudiantes del programa y de todas las ingenierías, así como para contar con un proyecto serio que les permita realizar sus prácticas profesionales y su servicio social. El proyecto AztechSat-1 es parte de esa estrategia y es congruente con las actividades llevadas a cabo desde el lanzamiento de Ingeniería Aeroespacial.

### ■ ESTRATEGIA DEL PROGRAMA DE CANSATS Y CUBESATS

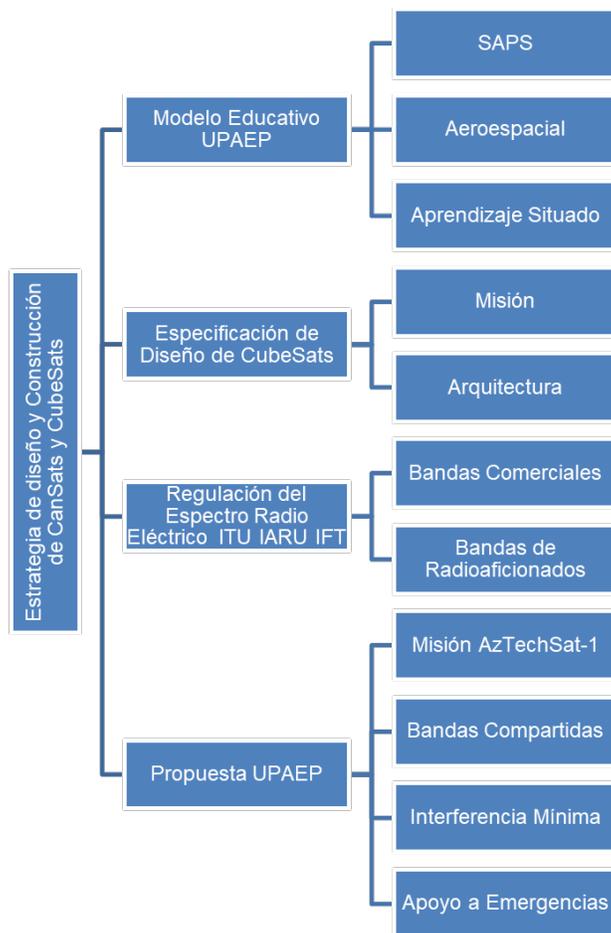


Figura XX: Esquema de la Estrategia de Diseño y Construcción de CanSats y CubeSats

Sin ser exhaustivos, la estrategia del diseño y construcción de pequeños satélites está fuertemente relacionada a elementos torales del quehacer docente, de extensión y de investigación de la Universidad, tales como su modelo educativo, la filosofía de cumplir con las normas (en este caso las del CDSr13 y las regulaciones nacionales e internacionales respectivas) y el hacer propuestas que transformen la realidad para el bien común como lo es el Proyecto AztechSat-1, como se observa en la Figura XX.

En particular, como primer paso, se decidió que la planta de catedráticos de la Facultad de Electrónica obtuviera su capacitación para ser miembros de la Federación Mexicana de Radio Experimentadores, lo cual se consiguió con éxito. Durante ese curso se llevaron a cabo, entre otras prácticas, una en la que se logró captar la señal de un satélite. Así mismo se observó que el lograr el contacto entre radio experimentadores e intercambiar tarjetas de acuse de recibo (QSL) son muy preciados, pues demuestran una actitud de convivencia entre las personas, demuestran la aplicación de la ciencia y tecnología de la transmisión y recepción de señales, el conocimiento del espectro radioeléctrico, la geografía, la disciplina y la perseverancia y más valores dignos de una universidad y de las personas.

Por todo lo anterior, se propone que la misión académica y de investigación por parte de UPAEP del AztechSat-1 sea la Instrucción Individual de Radio Experimentadores, instrucción que lograrán demostrar al usar las Comunicaciones del AztechSat-1, que se describen enseguida.

## **2.1 Esquema Original del AztechSat-1: Servicios a Radioaficionados**

Se propone que el AztechSat-1 ofrezca a los radioaficionados la posibilidad de probar su equipo, antena y procedimientos para captar una señal satelital en formato del protocolo AX.25, el cual es un protocolo estándar para este tipo de comunicaciones que requiere una inversión mínima.

Mediante el protocolo AX.25, el AztechSat-1 transmitirá un mensaje (frame) que contiene una ficha que llamaremos "token" que demuestre el contacto con el satélite, similar a los contactos que algunos radioaficionados hacen con la Estación Espacial Internacional (ARISS, 2017). Este "token" será una clave única diseñada por el equipo del AztechSat-1 que garantice que no se puede obtener por medios fraudulentos (Figura 2.1).

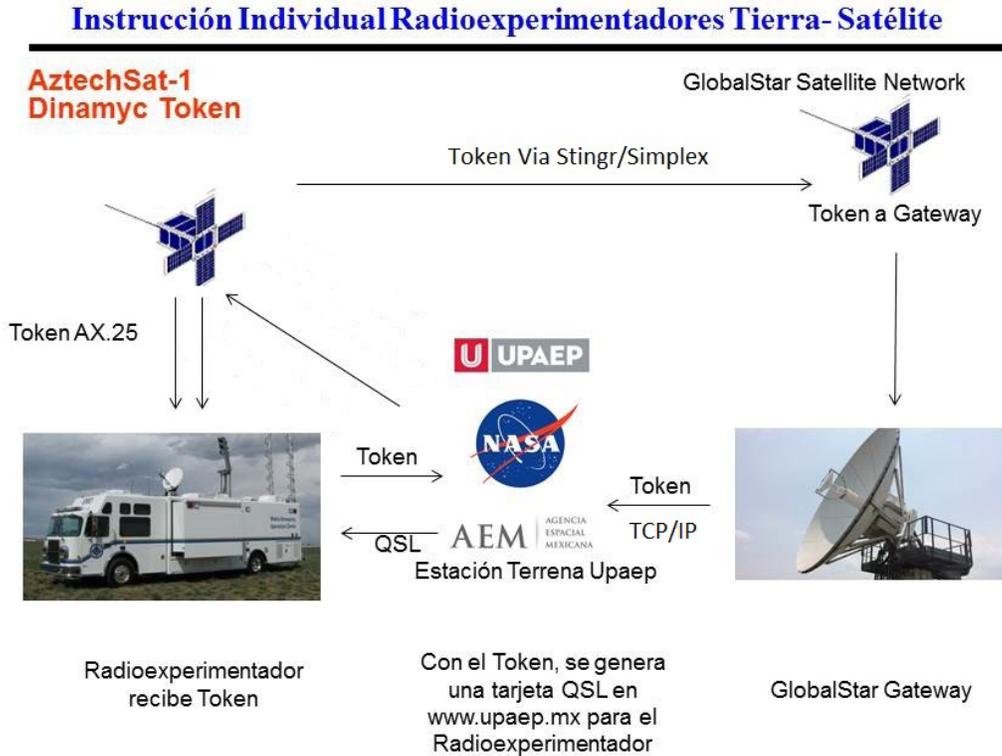


Figura 2.1: Esquema general del AztechSat-1

Con el token, el radioaficionado podrá gestionar en la página de UPAEP la generación de una tarjeta de acuse de recibo QSL, (Rinaldo, 1995) que avale el contacto con el satélite. El diseño de la tarjeta QSL contendrá los logotipos de la NASA, de la Agencia Espacial Mexicana y de la UPAEP. En septiembre de 2017 se aprobó dicha idea durante la Revisión de Diseño Preliminar del AztechSat-1 por el panel NASA – AEM – UPAEP.

## 2.2 Payload de la estructura del mensaje Token

Dado que la misión del AztechSat-1 pretende usar el mínimo de recursos, se usará una sola banda de frecuencias amateur para las comunicaciones *uplink* y *downlink*, si esto es permitido por las instancias reguladoras. Por tanto, será necesario el modo *half-duplex* para evitar interferencias. Por otro lado, si se requiriera interacción entre los radios experimentadores y el satélite, sería necesario un protocolo de tipo *request and reply*.

También, dado que las misiones en el ámbito de los radioaficionados deben ser comunicaciones abiertas no encriptadas, se debe diseñar un Token sencillo que a la vez no pueda ser falsificado. La estructura base del payload del mensaje Token se observa en la Figura 2.2.

Número de byte	Bits del Equivalente a la función "Date" en Unix
1	Bits 1 a 8
2	Bits 9 a 16
3	Bits 17 a 24
4	Bits 25 a 32
5	XOR(byte 3, byte 4)

Figura 2.2: Token base del AztechSat-1

Dado que se requiere ocupar el menor tiempo posible y el menor ancho de banda para la transmisión del Token, el Token que se transmitirá se muestra en la Figura 2.3.

Número de byte	Bits del Equivalente a la función "Date" en Unix
1	Bits 9 a 16 del Token base
2	Bits 17 a 24 del Token Base
3	XOR (bytes 3 y 4 Token Base)

Figura 2.3: Token final del AztechSat-1

La razón por la que no se transmiten los primeros 8 bits de la fecha es que permanecen fijos porque la fecha está determinada por el número de segundos desde el 1º de enero de 1970. Y la razón para no enviar el 4º byte del Token base es que se puede calcular con la operación  $\text{byte 4 Token base} = \text{XOR} [\text{bytes 2, 3}]$  (Figura 2.3).

Cuando el AztechSat-1 transmita un Token hacia Tierra, el mismo Token será enviado a la estación terrena de la UPAEP vía la constelación de GlobalStar, de manera que se le dará un QSL a los radioexperimentadores que lo capten en su radio y lo reclamen en la página de la UPAEP. En la página de la UPAEP se podrá validar la autenticidad del Token por la poca probabilidad de que el radio experimentador le "atine" al instante en que fue emitido el Token y su particular formato. Además, se le solicitará la posición geográfica en que lo captó, lo cual también se puede validar contra la órbita del satélite y su huella.

### 2.3 Payload de la estructura de tele comando de apagado (shut off).

A reserva de que el contenido del mensaje de apagado sea modificado por cuestiones de seguridad de la misión, se describe a continuación una estructura hipotética para cumplir la función de apagado del AztechSat-1.

El telecomando de apagado es necesario para que el AztechSat-1 cumpla la normatividad de ser un Satélites cubo de acuerdo a (Cubesat.org, 2017). Previendo que es posible que las señales transmitidas por el AztechSat-1 sean escuchadas públicamente y que por ser en texto claro por su naturaleza de radio afición, se deben definir al menos dos niveles de Apagado y Encendido del satélite, denominados encendido suave y encendido mandatorio, así como apagado suave y apagado mandatorio que se describen a continuación.

- Apagado suave: Obliga al satélite a dejar de transmitir hacia Tierra y entra en estado de apagado suave. Si fuera pertinente, este telecomando será público.
- Apagado mandatorio: Obliga al satélite a dejar de transmitir hacia Tierra y entra en estado de apagado mandatorio. En estado de apagado mandatorio se ignora el tele comando de encendido suave. Este comando es para operaciones de la UPAEP y AEM.
- Encendido suave: Obliga al satélite a transmitir hacia Tierra obedeciendo el plan de solo transmitir en territorio nacional. Si el estado del satélite es Apagado mandatorio, este encendido es ignorado. Si fuera pertinente, este comando será público.
- Encendido mandatorio: Obliga al satélite a transmitir hacia Tierra obedeciendo el plan de solo transmitir en territorio nacional. Si el satélite está en apagado mandatorio o apagado suave, se obedece este encendido. Este comando será para UPAEP y AEM. Adicionalmente se contemplan los comandos de Apagado ITU y Encendido ITU descritos enseguida:
- Apagado ITU: Obliga al satélite a dejar de transmitir hacia Tierra, sin importar el estado en que esté. Solo puede ser encendido por el comando Encendido ITU. El comando Encendido ITU solo tiene efecto en el territorio nacional.

La estructura del payload de los seis mensajes se muestra en la Figura 2.4.

Número de byte	Bits del Equivalente a la función "Date" en Unix
1	Bits 9 a 16 fecha significativa
2	Bits 17 a 24 fecha significativa
3	XOR(bytes 3 y 4 fecha significativa)

Figura 2.4: Mensajes de apagado y encendido

## 2.4 Estructura de los mensajes Token, Encendido y Apagado

El AztechSat-1 usará el protocolo AX.25 (Tucson Amateur Packet Radio Corporation, 2018) para sus comunicaciones half-duplex Tierra – Satélite, de manera que la estructura completa de los mensajes se muestra en la figura 2.5.

No. Bytes	Nombre en AX.25	Contenido
1	Flag	01111110
14 a 28	Addresses	Call Signs (Emisor, Receptor)
1	Control	00000011
3	AztechSat-1 Payload	Bits del equivalente a la función Date
2	FCS	Frame Check Sequence
1	Flag	01111110

Figura 2.5: Diseño frame AX.25 UI AztechSat-1

De acuerdo con (Tucson Amateur Packet Radio Corporation, 2018), en el protocolo AX.25 los *frames* de tipo UI (Unnumbered Information) tienen el propósito de enviar información sin necesidad de un control de flujo ni de acuses de recibo. Debido a esas características, el tipo de *frame* más adecuado ya que se desea simplemente contemplar los casos en que el AztechSat-1 envía el mensaje Token hacia Tierra (no se espera que haya una sincronización de parte del radio experimentador para iniciar la conversación, tampoco acuse de recibo). Del mismo modo, para los telecomandos de encendido y apagado (suave, mandatorio e ITU), el emisor en Tierra no debe esperar ningún *frame* del satélite ni viceversa. Simplemente se envía el telecomando y el satélite lo recibe para ejecutar lo solicitado.

## 2.5 Frecuencias, aseguramiento y minimización de posibles interferencias.

En esta sección se describe la estrategia y el funcionamiento del protocolo de comunicaciones AztechSat-1 hacia Tierra y viceversa, cuyos objetivos son la transmisión de los tokens, asegurar las características de contar con un mecanismo de Apagado (shut off) y Reinicio (Reset), además de lograr la transmisión de información necesaria que demuestren que el satélite está funcionando minimizando la posible interferencia.

### 2.5.1 Parámetros de trabajo del AztechSat-1

En esta sección se describen los parámetros de trabajo del AztechSat-1 tales como su altitud, velocidad, tiempo de permanencia dentro del territorio nacional. Estos parámetros permiten

entender el contexto de trabajo del satélite, así como las necesidades de comunicación en su diseño.

### 2.5.2 Altura de órbita y velocidad

El satélite AztechSat-1 está diseñado para orbitar a unos 400 kilómetros de altura, lo cual está muy relacionado con la altura de la estación espacial internacional y las naves que viajan a ella para llevarles suministros, las cuales aprovechan el trayecto para transportar los Satélites cubos.

### 2.5.3 Velocidad del Satélites cubo y duración sobre el territorio nacional

La velocidad planeada para el AztechSat-1 es de 25,000 kilómetros por hora. Dado que la longitud máxima del país, considerando sus dos puntos más distantes es de 3306 kilómetros (Figura 9, Mapa Digital de México, INEGI), el satélite, en el peor de los casos estaría 7 minutos 56 segundos sobre el territorio nacional, si su órbita estuviera sobre esa línea recta, lo cual es poco probable o posible, dada la rotación de la Tierra y la deriva del satélite mismo. Entonces el tiempo que el AztechSat-1 estaría sobre territorio nacional se estima que será la mitad de ese tiempo, aproximadamente 4 minutos.

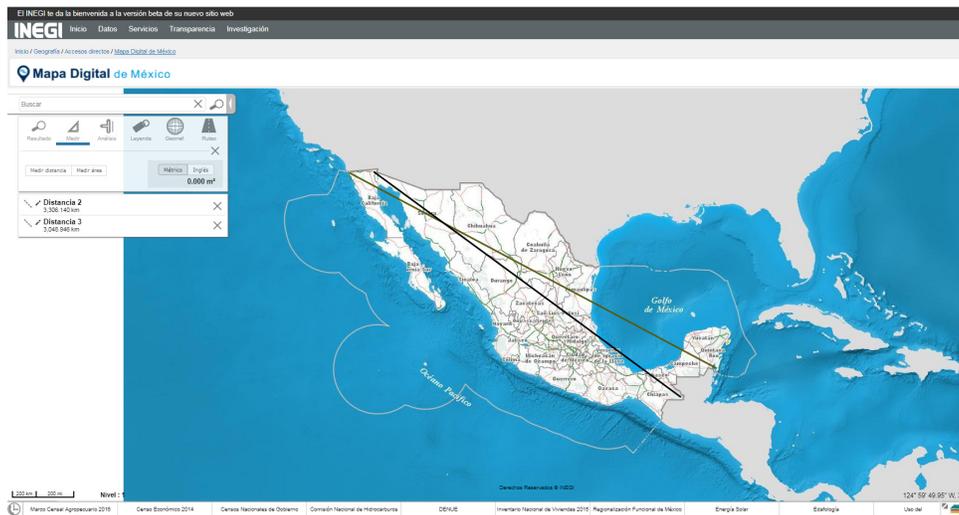


Figura 2.6: Distancia máxima de México según INEGI

## 2.6 Interferencia fuera de la República Mexicana en bandas amateur

El AztechSat-1 no representa problema de interferencia a las comunicaciones mundiales en frecuencias de radioaficionados dado que no transmitirá fuera del territorio nacional en esas bandas. En teoría, las bandas de radio afición pueden usarse en todo el mundo bajo la premisa de no causar interferencias perjudiciales. Dado que el AztechSat-1

## 2.7 Minimización de Interferencia en Territorio Nacional

Por otro lado, en el diseño de la comunicación downlink se contempla usar un chip AX100 de Gomspace que incluye la funcionalidad del protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), el cual permite escuchar si en el medio hay una señal en la frecuencia de transmisión y decidir que, si el medio está desocupado, transmitir; y si no, evitarlo para no causar interferencia (colisiones). Por lo tanto, dado que el AztechSat-1 no transmite en bandas de radioaficionado fuera del país y además dentro del país solamente transmite cuando el medio está libre, con esto se asegura una nula interferencia. Sin embargo, también debe asegurarse que en un medio saturado el AztechSat-1 realice un mínimo de su misión en el segmento terrestre (que es la Instrucción Individual de radio experimentadores), además de soportar la función mínima de Apagado para cumplir con la normativa de Satélites cubo. Este requerimiento se cumple con el “Principio de evitar la postergación indefinida” descrito a continuación.

## 2.8 Principio de evitar la postergación indefinida

En la estación terrena habrá un chip similar AX100 que emite una señal periódica tipo “ping” (diseñada para este proyecto), sobre todo en los intervalos de tiempo programados para que el satélite orbite sobre el país. Cuando el satélite esté al alcance de la señal de ping de la estación terrena, el satélite captará dicha señal y saldrá de su estado de Apagado, enviando hacia la estación terrena sus datos de telemetría y de los “token” de Instrucción Individual de Radio experimentadores.

Pudiera ocurrir que el satélite sea incapaz de captar la señal de ping de la estación terrena o de los radioexperimentadores, entonces jamás emitiría ninguna información hacia Tierra (habría postergación indefinida), lo cual podría malinterpretarse como que el satélite no está funcionando. Para evitar esta posibilidad, se propone que el satélite esté programado para detectar por GPS que ya está dentro del territorio nacional y, entonces, en esos 4 minutos asegurar el envío de un número mínimo de tokens sin necesidad de recibir el ping, como se describe en los párrafos siguientes, con el protocolo AX.25 regulado que es una propuesta de este trabajo doctoral.

## 2.9 Protocolo AX.25 regulado

Dado que el alcance máximo del chip de comunicaciones es de 700 kilómetros, los cuales son recorridos en 100 segundos a una velocidad de 25,000 kilómetros por hora, en el peor de los casos entonces habría una comunicación por 100 segundos hacia la estación terrena.

Dado que los tokens se enviarán del satélite hacia la constelación de Globalstar usando el protocolo de la tarjeta Simplex o Stingr, se emitirán, a lo más, ráfagas de 9 bytes a una velocidad de 9600 bits por segundo, lo cual consume un tiempo de 9 milisegundos aproximada-

mente por ráfaga. Se tomará como tiempo máximo de transmisión esos 9 milisegundos en el segmento espacial. Para el segmento terrestre, se usarán frames de AX.25 con un tamaño máximo de 36 bytes (288 bits) de acuerdo a lo visto en la Figura 1.8. Dado que el chip AX100 será configurado para operar a 9600 bps, el tiempo total de transmisión será de  $288 \text{ bits}/9600 \text{ bits/segundo} = 0.03 \text{ segundos}$ .

Para la transmisión AztechSat-1 hacia Tierra, se usará el protocolo AX.25 regulado. La regulación consiste en que, para transmitir los *tokens* e información de telemetría, se aplicará este algoritmo general:

**0. Crear mensaje.**

**1. Escucha el medio, si está desocupado:**

**1.1 Transmite mensaje durante 0.03 segundos.**

**1.2 Espera, sin transmitir, medio segundo.**

**2. Escucha el medio, si está ocupado:**

**2.1 Transmite durante 0.03 segundos.**

**2.2 Espera, sin transmitir, 2 segundos.**

**Fin Algoritmo.**

Con el algoritmo anterior, el peor de los casos (el medio está desocupado), el AztechSat-1 transmitirá 200 tokens cada 700 kilómetros, y dado que la República Mexicana contiene 5 segmentos de 700 kilómetros, se transmitirían, a lo más, 1000 tokens cada vez que el satélite orbite sobre México. Existe una pequeña probabilidad aún de interferir con alguna comunicación de radioaficionados, dado que el chip escucha el medio y lo ve desocupado, en ese momento se transmite, pero el satélite sigue avanzando durante los 0.03 segundos que dura la transmisión y ese espacio no ha sido “escuchado”, entonces podría afectar un área de 208 metros, lo cual es razonablemente insignificante. Luego el satélite cesa transmisiones durante medio segundo, esto es, una distancia de 3.5 kilómetros.

Por otro lado, en el mejor de los casos, cuando el satélite ya está en territorio nacional debido a que fue determinado por el GPS, pero encuentra el canal ocupado, para evitar el aplazamiento indefinido, decide transmitir durante 0.03 segundos (208 metros) y después cesa transmisiones durante 2 segundos en los cuales recorre 14 kilómetros. Si se considera el caso, por ejemplo, de que esté orbitando sobre la Ciudad de México, cuya extensión es de unos 42 ki-

lómetros de largo, el AztechSat-1 provocaría una interferencia mínima de 3 mensajes de 0.03 segundos, lo cual también es razonablemente insignificante.

Además, el período orbital es de hora y media, lo cual significa que, después de esos breves 4 minutos, el satélite estará ausente al menos hora y media, ya que la órbita no es siempre sobre el territorio mexicano.

Finalmente, el AztechSat-1 tendrá un tiempo total de vida de unos 6 meses, orbitando sobre territorio nacional un número limitado de veces a la semana.

## **2.10 Solicitud de frecuencias**

Justificado en todos los argumentos anteriormente descritos, es razonable solicitar el permiso del uso de las frecuencias más populares en este tipo de desarrollos que son:

**Frecuencia 1: 395 – 405 MHz. (Exceptuando la banda de 399.5 a 400.5 MHz)**

**Frecuencia 2: 140 – 150 MHz. (Exceptuando la banda de 143.5 a 144.5 MHz)**

**Frecuencia 3: 430 – 440 MHz.**

Las frecuencias exceptuadas están anuladas por el chip mismo, es decir, es imposible que el chip transmita en esas frecuencias para evitar interferencias con aplicaciones y actividades reguladas según el Plan de Bandas del IARU Región 2 (IARU Región 2, 2017). A las bandas genéricas anteriores se le deben analizar los rangos factibles de acuerdo a la electrónica disponible para el proyecto y las frecuencias específicas posibles según la normatividad especificadas en la ley, plan de bandas y en México el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias CNAF (Figura 1.10).



## IARU REGION 2 PLAN DE BANDAS

## 2 METROS

Frecuencias (MHz)	BW (Hz)	Modo	Aplicaciones y observaciones
<del>144.000-144.025</del>	2700	<del>Todos los modos</del>	<del>Satélites (Nota 1)</del>
<del>144.000-144.110</del>	500	<del>CW</del>	<del>TLT y señales débiles</del>
<del>144.110-144.150</del>	2700	<del>CW, DM</del>	<del>TLT y señales débiles</del>
<del>144.150-144.180</del>	2700	<del>CW, DM, SSB</del>	<del>Señales débiles</del>
<del>144.180-144.275</del>	2700	<del>CW, SSB</del>	<del>Señales débiles, QRG de llamada (exclusiva) 144.200 MHz</del>
<del>144.275-144.300</del>	500	<del>CW</del>	<del>Radiofaros</del>
<del>144.300-144.360</del>	2700	<del>CW, SSB</del>	<del>QRG de llamada 144.300 MHz</del>
<del>144.360-144.400</del>	12000	<del>DM</del>	<del>ACDS, Centro de Actividad APRS 144.390 MHz</del>
<del>144.400-144.500</del>	500	<del>CW, DM</del>	<del>Radiofaros, ACDS (radiofaros digitales) (Nota 2)</del>
144.500-144.600			Opción local
144.600-144.900	12000	FM, DV	Entrada de Repetidoras(exclusivo) (salidas +600 kHz)
144.900-145.000	12000	FM, DV	Señales débiles
145.000-145.100	12000	Todos los modos	ACDS, IVG (canales de 10 kHz) (Nota 3)
145.100-145.200			Opción local
145.200-145.500	12000	FM, DV	Salida de Repetidoras (entradas -600 kHz)
145.500-145.790	12000	Todos los modos	
145.790-145.800			Banda de protección, transmisión no permitida.
145.800-146.000	12000	Todos los modos	Satélites (exclusivo)
146.000-146.390	12000	FM, DV	Entrada de Repetidoras (exclusivo) (salidas +600 kHz) (canales entre 146.01-146.37 MHz)
146.390-146.600	12000	FM, DV	QRG de llamada FM 146.520 MHz
146.600-146.990	12000	FM, DV	Salida de Repetidoras (entradas -600 kHz) (último canal 144.970 MHz)
146.990-147.400	12000	FM, DV	Entrada de Repetidoras (exclusivo) (salidas +600 kHz) (primero canal 147.000 MHz)
147.400-147.590	12000	FM, DV	
147.590-148.000	12000	FM, DV	Salida de Repetidoras (entradas -600 kHz)

## Notas de pie de página

1 – Los proyectistas y operadores de satélites que utilizan este segmento no deben transmitir abajo de 144.0025 MHz, de modo que hay un segmento de guarda en el borde inferior de la banda.

2 – 144.490 MHz puede utilizarse para enlaces (*uplink*) de voz FM a la Estación Espacial Internacional, con prioridad a esta actividad cuando sea necesario.

3 - En la región del Caribe la frecuencia de 145.010 MHz debe ser protegida para APRS.

Figura 2.7: Plan de bandas IARU R2 (IARU Región 2, 2017)

De acuerdo entonces al plan de bandas de la IARU Región 2 a la cual pertenece la República Mexicana, al ancho de banda adecuado a la misión del AztechSat-1 y al modo permitido por la regulación, las frecuencias viables son las que están no están tachadas en la imagen 4 y que,

además, están etiquetadas como “Opción local”, “Todos los modos” y “Satélites”. En la Figura 11 se incluye esta primera lista de frecuencias viables y factibles para el chip AX100 y por lo tanto, para el AztechSat-1 (Figura 2.8).

Frecuencias ( Mhz)	BW ( Hertz)	Modo	Aplicación/Observación
144.5 – 144.6			Opción local ( IFT )
145.0 – 145.100	12000	Todos	ACDS,IVG
145.8 – 146.0	12000	Todos	Satélites

Figura 2.8: Grupo 1 de frecuencias factibles AztechSat-1

Este grupo 1 de frecuencias fue descartado como opción del proyecto AztechSat-1 por dos razones: El tamaño de la antena no es posible instalarla en un Satélites cubo de 1U. La segunda razón es que el IARU emitió un comunicado en donde informa que ya no recibe solicitudes de coordinación de esas bandas de frecuencia debido a que están saturadas.

Aunque la banda de 395 a 405 Mega Hertz merece el mismo estudio y análisis de acuerdo al objetivo general de este trabajo, al consultar al proveedor del chip (Gomspace) se tuvo la retroalimentación de que, por el tamaño del Satélites cubo, es más adecuada la banda de 430 a 440 Mega Hertz.

Por lo anterior, según (IFT, 2018) la banda factible y consensuada con el proveedor que permite un tamaño de antena adecuado a un Satélites cubo de una unidad, se consultó la normatividad de dicha banda (Figura 2.9).

### BANDA VHF 30 a 300MHz -Ondas Métricas-

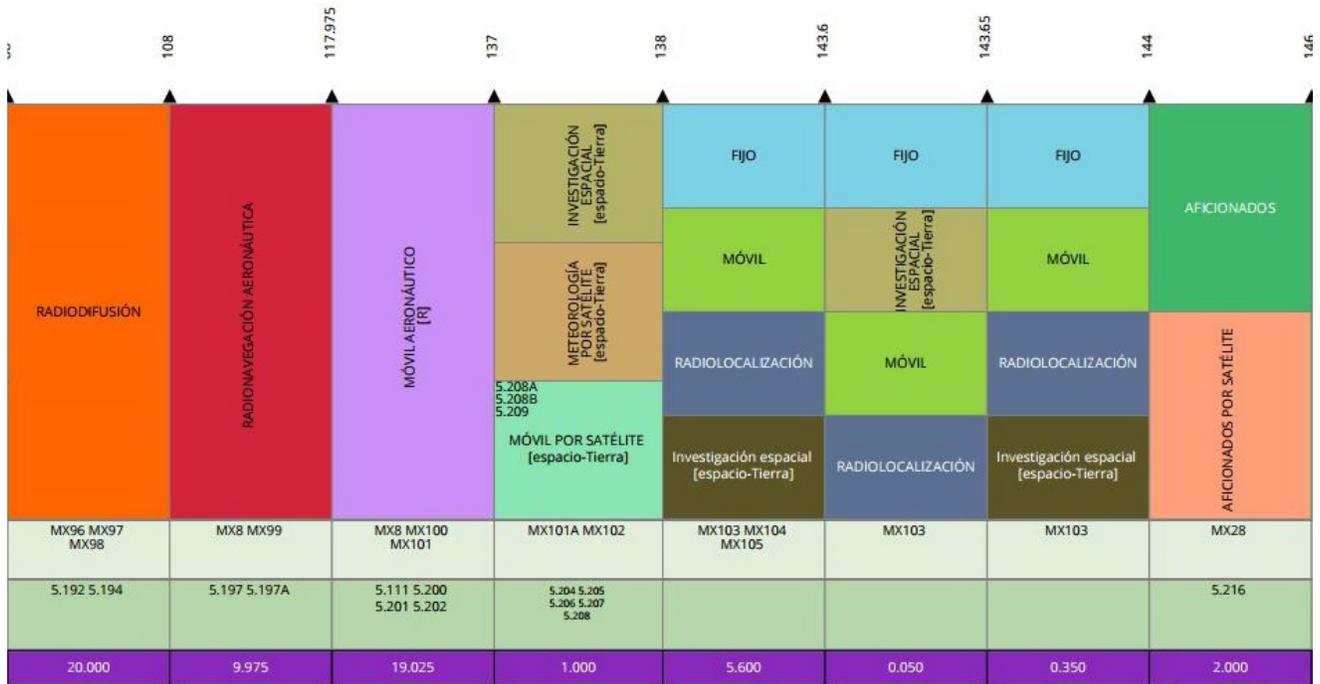


Figura 2.9: Banda 144-146 MHz CNAF. Fuente IFT,2018

La banda de 430 a 440 Mega Hertz se muestra en la Figura 13.

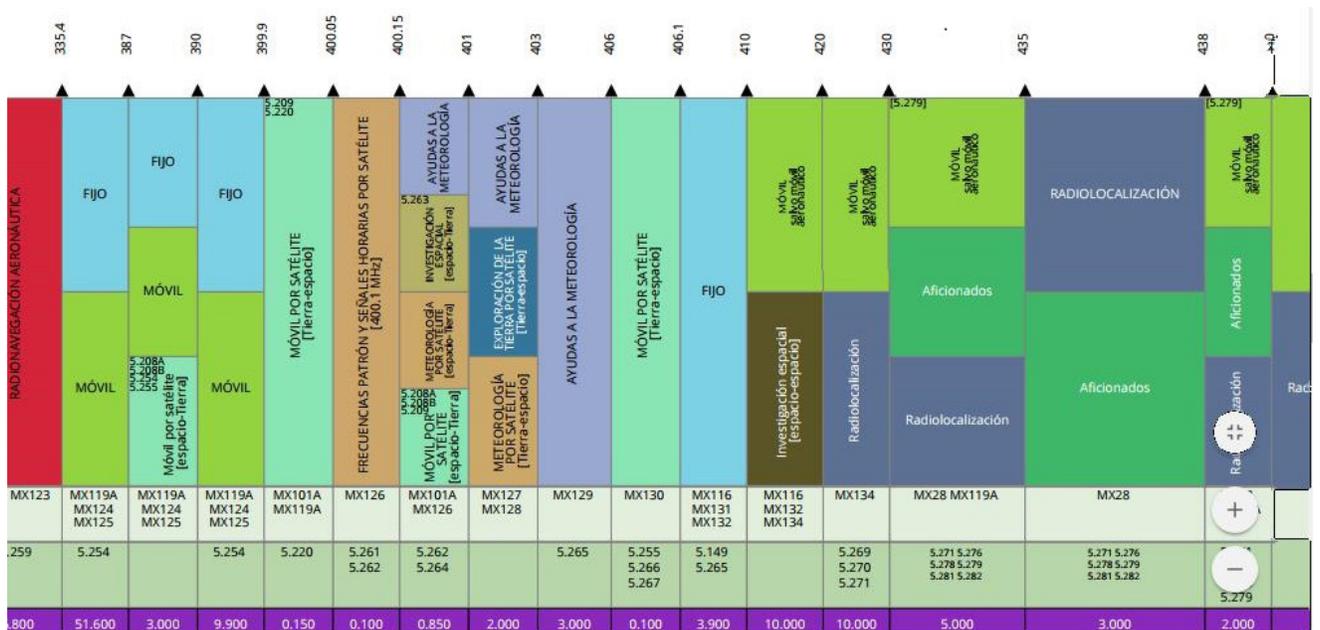


Figura 2.10: Banda 430-440 MHz. CNAF, Fuente IFT,2018

En dichas imágenes se observa la normatividad que las rigen en la parte inferior con las siglas MX28 para 144-146 MHz y las siglas MX28-MX119A para la subbanda 430 a 435 MHz y MX28 para la subbanda 435 a 440 MHz. Para decidir qué frecuencia era más factible solicitar en el proceso IFT -> SCT -> IARU -> ITU se decidió consultar al director, subdirector y jefe de departamento del IFT, y mediante mensaje de correo electrónico la respuesta fue la banda de 435 – 438 MHz (Figura 2.11).

## 70 CENTÍMETROS

Frecuencias (MHz)	BW (Hz)	Modo	Aplicaciones y observaciones
420.000-426.000		ATV	Repetidoras ATV o simplex con 421.25 MHz portadora de video, enlaces de control y experimental
426.000-432.000		ATV	ATV simplex con 427.25 MHz frecuencia portadora de video (Nota 1)
432.000-432.025	500	CW	TLT
432.025-432.100	500	CW, DM	TLT y señales débiles
432.100-432.300	2700	CW, SSB	Señales débiles, QRG de llamada SSB/CW 432.1 MHz
432.300-432.400	500	CW	Radiofaros
432.400-432.420	2700	CW, DM	Radiofaros, ACDS (radiofaros digitales)
432.420-433.000	2700	CW, SSB, DM	
433.000-433.050	12000	DM	ACDS
433.050-433.100	12000	Todos los modos	IVG
433.100-435.000			Opción local
435.000-438.000	12000	Todos los modos	Satélites (exclusivo)
438.000-450.000			Opción local (Nota 1)

### Notas de pie de página

1 – En los países donde el espectro de 430-450 MHz no está todo disponible para radioaficionados, 430-432 MHz y 438-450 MHz pueden ser utilizados con opciones locales.

Página 11 de 18

Figura 2.11: Banda factible AztechSat-1, Fuente IARU R2 Plan de bandas

De acuerdo con (Elbert, Introduction to Satellite Communication, 2008) ya han existido casos de satélites que usan una misma frecuencia para las transmisiones de subida (*uplink*) y bajada (*downlink*), por ejemplo, los satélites Iridium. Obviamente, en un esquema de half-duplex. Para el AztechSat-1, en el segmento terrestre se pretende hacer lo mismo usando la banda particular de 435 a 438 MHz.

## 2.11 Modulación en el segmento terrestre AztechSat-1

De acuerdo con (Elbert, Introduction to Satellite Communication, 2008) los satélites LEO (Low Earth Orbit) son aquellos cuya elevación sobre el nivel del mar van de 500 a 1000 kilómetros.

Según (Smallsat Satellite Conference, 2015) los satélites que orbitan más bajo que los 500 kms. se denominan ELEO (Extremely Low Earth Orbit) y se han identificado parámetros de trabajo específicos para la transmisión de información, sobre todo que en esta fuente particular se usa equipo de GlobalStar en misiones que son similares al AztechSat-1.

Según el mismo autor (Elbert, Introduction to Satellite Communication, 2008) la modulación en los Satélites cubo debe escogerse a manera de lograr varios objetivos como son:

- Minimizar el uso de energía en las transmisiones downlink.
- Sortear los problemas de interferencia en el sendero satélite – Tierra.
- Sortear los problemas de ruido en el sendero satélite – Tierra.
- Maximizar el número de bits representados por símbolo (baudios por segundo).

### **2.11.1 Modulación FSK (Frequency Shift Keying)**

Se usó en las primeras implementaciones de comunicaciones por radio debido a su sencillez, tanto conceptual como en los dispositivos físicos. Una frecuencia se usa para representar un 1 y otra frecuencia para el 0. La desventaja obvia de esta modulación es que consume mucha energía y representa un bit por símbolo.

### **2.11.2 Modulación PSK (Phase Shift Keying)**

Es la modulación digital más popular usada en las comunicaciones satelitales debido a su alto desempeño. Sus derivados como BPSK (Binary), QPSK (Quadrature) permiten representar más de un bit por símbolo.

### **2.11.3 Modulación APSK (Amplitude and Phase Shift Keying)**

Existen esquemas de modulación más complejas que combinan las propiedades de amplitud y fase de las ondas de radio. Son más efectivas en lograr representar varios bits por símbolo, sin embargo, el esfuerzo de variar la amplitud y combinarla con cambios de fase involucra el consumo de mayor energía, lo cual debe evaluarse cuidadosamente en los Satélites cubo por la poca energía disponible.

### **2.11.4 Modulación MSK (Minimum Shift Keying) en el AztechSat-1**

Dado que en la Facultad de Electrónica se detectó la necesidad de contar con proyectos en el ámbito Aeroespacial desde el año 2015, se inició Gxiba´ que consistía en un Satélites cubo de 2U (10x10x20 cm) para la observación de la Tierra, en particular, los aerosoles emitidos por el Popocatépetl. La información obtenida por los trabajos de investigación de diferentes grupos de trabajo de ese entonces y los esfuerzos de los equipos actuales dieron como resultado la selección de GMSK.

## **2.12 Comentario de la Metodología de Investigación AztechSat-1**

Según (Mimenza, 2017) existen 15 tipos de investigación al considerar el objetivo, la profundi-

dad de la misma y el tipo de datos que se recogerán, además del tipo de metodología (cuantitativa o cualitativa) a emplear.

Por el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo, la investigación es pura o teórica, dado que el conocimiento adquirido y los datos recolectados permitirán establecer otros tipos de investigaciones respecto a los permisos y al uso de frecuencias para proyectos de nanosatélites.

Por la profundidad de este trabajo, la investigación es exploratoria, dado que se investigarán aspectos concretos de la realidad en la gestión de permisos y el uso de frecuencias y protocolos que no han sido investigados en el pasado, pretendiendo entonces obtener nuevos datos y conocimientos para planear y diseñar nuevos proyectos de nanosatélites.

Por el tipo de datos que este trabajo pretende recolectar, la investigación es cualitativa, pues se centra en aspectos descriptivos de la realidad actual que podrán ser operados para explicar de manera más clara la realidad de la gestión de permisos y el uso de frecuencias y protocolos en próximos proyectos de nanosatélites.

La investigación se centrará en el proyecto del AztechSat-1 comprometido entre la NASA, la Agencia Espacial Mexicana y la UPAEP. Dado que el compromiso de la NASA se resume en asesorar a la UPAEP en el cumplimiento de su metodología de administración del proyecto y la puesta en órbita, el compromiso de la Agencia Espacial Mexicana es apoyar en las gestiones que la UPAEP diseñe hacer, queda claro que la planeación, diseño y construcción del AztechSat-1 recae en la UPAEP. Bajo este contexto la investigación deberá realizar las siguientes actividades:

- Delimitar las características de los protocolos de telecomunicaciones en satélites tipo cubo aplicable al AztechSat-1.
- Establecer una estrategia de comunicaciones Tierra- AztechSat-1 y AztechSat-1 – Tierra que permitan misiones de radioaficionados.
- Determinar las características indispensables en los satélites tipo cubo que permitan la instrucción individual de Radio Experimentadores en México en el AztechSat-1.
- Seleccionar las características de la información indispensable en los satélites tipo cubo respecto al apoyo en situaciones de emergencia.

Establecer una estrategia para los protocolos de comunicación en satélites tipo cubo que permitan el uso compartido de bandas de frecuencia amateur en el AztechSat-1.

### **2.13 Comentario de los Subsistemas Iniciales del AztechSat-1**

Para la realización de todas las actividades descritas, el proyecto se ha dividido en once sub-

sistemas generales de acuerdo a la metodología de la NASA. Las actividades que competen a este trabajo recaen en tres subsistemas que son:

- Subsistema de Operaciones
- Subsistema de Ground Station
- Subsistema de Normatividad/Permisos

Para cada subsistema se han realizado convocatorias para reclutar estudiantes de las carreras en UPAEP que sean pertinentes al área de conocimiento, teniendo estudiantes de ingeniería en los subsistemas de Operaciones y de Ground Station. Para el subsistema de Normatividad/Permisos se cuenta con el apoyo de un abogado y un Profesor Líder.

Bajo la metodología de la NASA, todo proyecto debe pasar por diversas fases, siendo las dos primeras fases las que conciernen a este trabajo de investigación y se denominan Fase Pre-A y fase A.

En la Fase Pre-A se deben investigar y analizar todos los aspectos teóricos, conceptuales, así como los riesgos que pueden poner en diversos niveles de peligro al proyecto, y sus planes de mitigación. También se diseña el número de subsistemas, los objetivos de cada uno de ellos, los líderes y sus miembros. Después se establecen los objetivos generales y específicos del proyecto y de los subsistemas que deben estar alineados al del proyecto global, los recursos humanos, materiales y de tiempo para obtener un plan general del proyecto. También se especifica para cada objetivo específico y cada riesgo, qué tipo de actividad (prueba, inspección, validación) se requiere para saber si el objetivo se alcanza o no. Una vez logrado esto, un comité de Ingenieros de la NASA evalúa toda la documentación de la Fase Pre-A y si se cumple a satisfacción, se emite un dictamen para proceder a la Fase A.

En la Fase A se adquieren los recursos materiales que permitan dilucidar si cada concepto, prueba, riesgo es verdad o mentira, si cumple la función esperada o no. Es decir, es la fase en donde todo lo teórico se pone a prueba de manera científica y se obtienen los hechos, las evidencias, los parámetros que permiten el diseño y construcción de lo deseado.

El presente trabajo ya fue expuesto en su fase Pre-A y aprobado por la NASA, la AEM y la UPAEP. Hay partes de la documentación que no podrán aparecer en el documento mismo por ser material confidencial del convenio tripartito.



## Capítulo 3. CubeSat Design Specification (CDS) y el AztechSat-1

---

Este capítulo describe los aspectos más relevantes de un satélite cubo aplicados al proyecto del AztechSat-1. Uno de los aprendizajes a resaltar para un proyecto de Cubesat, consiste en obligar a todos los integrantes de un proyecto a que lean completamente el documento CDSr13 o la versión más actualizada disponible. Es posible que durante un proyecto de CubeSat algunas personas tengan que dejar el proyecto y otras nuevas lleguen, y la lectura del CDS brindará un contexto homogéneo para agilizar la curva de aprendizaje y, por lo tanto, la inserción exitosa de integrantes nuevos.

### 3.1 Características obligatorias satélites tipo cubo

Según (Cubesat.org, 2017) el concepto de satélite tipo cubo se desarrolló en 1999 por investigadores de la Universidad Estatal Politécnica de California y de la Universidad de Stanford. Las características obligatorias se derivan de los siguientes objetivos que persiguen este tipo de pico satélite:

- Establecer estándares.
- Minimizar el costo y tiempo de desarrollo.
- Incrementar el acceso al espacio exterior mediante lanzamientos frecuentes.

Por lo anterior, se desarrolló un documento titulado en inglés “Cubesat Design Specification” que ha evolucionado con el tiempo hasta alcanzar la revisión número 13 al momento de redactar este trabajo. De esta manera, si se desea diseñar y construir un pico satélite tipo cubo es mandatorio cumplir con las especificaciones de dicho documento que se abreviará como CDSr13.

Además de diseñar y construir el satélite tipo cubo tomando como base el CDSr13, es de vital importancia investigar, de antemano, qué empresa estará a cargo del lanzamiento y preguntar las especificaciones adicionales que ésta determina. Es común que la empresa lanzadora establezca especificaciones más restrictivas o permisivas que las del CDSr13. Por ejemplo, el CDSr13 establece una masa máxima de 1.33 Kg. para un satélite de una unidad, mientras que al menos una lanzadora admite masas mayores para ese modelo de satélite.

Por tanto, se recomiendan los siguientes pasos, en el orden en que aparecen, para entender

las características obligatorias del diseño y construcción de satélites tipo cubo en general:

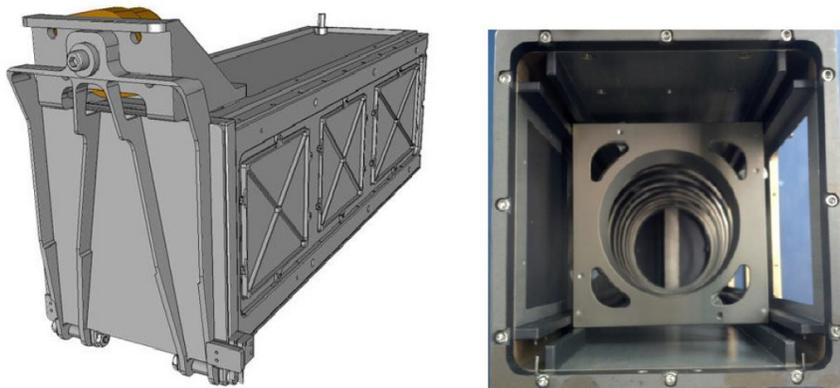
- Leer con cuidado todas las características del CDSr13.
- Investigar las características adicionales establecidas por la empresa lanzadora.
- Comprender la estructura del documento CDSr13 o la revisión válida vigente de CDS.

El documento CDSr13 o la versión válida vigente debe descargarse de su sitio oficial que es <http://cubesat.org>. En el momento de redactar este trabajo, las revisiones 9 a la 13 son válidas para el diseño y construcción de un Cubesat estándar.

Estructura del CDSr13 y características más relevantes de un CubeSat

El CDSr13 está estructurado en las siguientes 5 secciones:

- Sección 1, consiste de una introducción y una descripción breve de lo que es un CubeSat, los objetivos de los proyectos que involucran esta tecnología y sus orígenes.
- Sección 2, describe un dispositivo llamado P-POD (por sus siglas en inglés Poly Picosatellite Orbital Deployer) cuyo propósito es contener un número determinado de CubeSats e irlos liberando para que tomen su órbita en el espacio. En la Figura 3.1 se muestran dos vistas del P-POD. Debido a que el P-POD cuenta con mecanismos muy precisos para contener, asegurar, deslizar y liberar a los CubeSats, éstos deben



cumplir rigurosamente con los requerimientos generales, mecánicos, dimensionales, eléctricos y operacionales del CDSr13.

Figura 3.1: Vistas del Poly Picosatellite Orbital Deployer, Fuente CDSr13

- Sección 3, describe las especificaciones que un pico satélite debe cumplir para ser considerado CubeSat. Enseguida se enumeran algunas de las especificaciones o re-

querimientos para ejemplificar cada tipo, no son todas, consulte para verlas todas el CDSr13. tales como restricciones de que no se pueden llevar sustancias explosivas ni inflamables. También especifica qué hacer en caso de que el CubeSat se desvíe en alguno de los requerimientos, qué procesos seguir para pedir permiso de exceder algún parámetro. También describe qué otros estándares se deberían cumplir en casos específicos. describen todos los requerimientos necesarios para que un pico satélite pueda ser considerado como CubeSat. Los requerimientos son de los siguientes tipos:

- ▶ **Generales:** No se pueden llevar sustancias explosivas ni inflamables. También especifica qué hacer en caso de que el CubeSat se desvíe en alguno de los requerimientos, qué procesos seguir para pedir permiso de exceder algún parámetro. También describe que otros estándares se deberían cumplir en casos específicos.
  - ▶ **Mecánicas:** La masa máxima de un CubeSat de una unidad es de 1.33 Kg. Debe contar con rieles de acuerdo al Anexo B del CDSr13. El CubeSat debe diseñarse de acuerdo al sistema coordinado del P-POD mostrado en la imagen 9.
  - ▶ **Eléctricas:** Establece que el CubeSat debe contar con un número determinado de botones de control para mantener el satélite apagado mientras se lanza y/o esté aún en el P-POD, así como la ubicación de dichos botones. Por ejemplo, botones de liberación y de remoción antes de volar. Todos los requerimientos eléctricos tienen la finalidad de proteger la salud tanto del satélite como del vehículo que lo lanza y, en casos en que el lanzamiento es desde la Estación Espacial Internacional, protegerla.
  - ▶ **Operacionales:** Se refieren a los permisos y licencias que demuestren que todos los elementos que se usan en la fabricación del satélite, los circuitos electrónicos, las tarjetas, los chips de comunicaciones y las frecuencias de transmisión están debidamente acreditadas y certificadas
- Sección 4, enlista las pruebas y los estándares de donde se derivan las pruebas de vibración, termo vacío, de choque e inspección visual que garanticen la salud del satélite, la lanzadera y el P-POD.
  - Sección 5, contiene la información de las personas contacto que pueden proveer información adicional, como se muestra en la Figura 3.2.

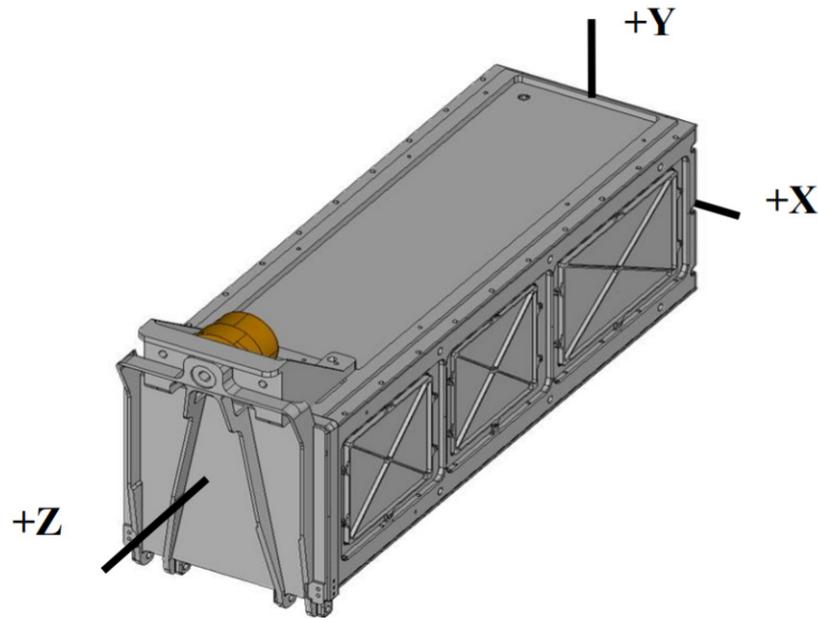


Figura 3.2: Sistema Coordinado P-POD, Fuente CDSr13

<p><b>Cal Poly - San Luis Obispo</b>            Prof. Jordi Puig-Suari            Aerospace Engineering Dept.            (805) 756-5087            (805) 756-2376 fax            jpuigsua@calpoly.edu</p>	<p><b>SRI International</b>            Dr. Scott Williams, Program Manager            Engineering Systems Division            (650) 859-5057            (650) 859-3919 fax            scott.williams@sri.com</p>
<p><b>Cal Poly Program Manager</b>            Roland Coelho            (805) 756-5087            (805) 756-5165 fax            rcoelho@calpoly.edu</p>	<p><b>Cal Poly Student Contacts</b>            (805) 756-5087            (805) 756-5165 fax            cubesat@gmail.com</p>

Figura 3.3: Contactos para el Desarrollo de CubeSats. Fuente CDSr13

### 3.2 Características de los protocolos en misiones de radioaficionados

Los protocolos en este apartado se refieren a protocolos viables para satélites cubo de 1U, dado que es la delimitación espacial establecida en este trabajo. Por lo tanto, se definirán una serie de restricciones RX donde X es un número entero.

Las primeras restricciones provienen del documento CDSr13:

**R1:** La potencia máxima de transmisión es de 1.5W a la salida (Sección 3.3.9.1 CDSr13).

**R2:** El tamaño máximo externo es de 10 cms. (Sección 1.1 CDSr13).

**R3:** La cantidad total de energía química almacenada máxima es de 100 Watt-hora (Sección 3.1.6 CDSr13).

Según (Ford, 2019) y las buenas prácticas de los Radio Amateur tenemos estas otras restricciones:

**R4:** Los satélites tipo cubo generalmente no son geoestacionarios, normalmente son de órbita baja o extremadamente baja (debajo de los 500 kilómetros de altura). Lo anterior es más cierto aún para satélites cubo de 1U.

**R5:** Debido al poco espacio disponible dentro del satélite cubo y de la electrónica disponible, normalmente es casi imposible contar con bandas de frecuencia muy diferentes para enviar y transmitir. Por ejemplo, usar la banda de 140 MHz al mismo tiempo que la de 430 MHz.

**R6:** Debido a la órbita baja y la velocidad relativa del satélite respecto a Tierra, el efecto Doppler debe ser considerado. En general, se recomienda afinar la frecuencia unos 5 KHz más o menos de la frecuencia publicada de transmisión, a esto se le llama Desplazamiento Doppler.

**R7:** Por experiencia, se recomienda contactar los satélites cuando estén a partir de 30o de elevación, entre más alto, mejor.

De acuerdo a datos del INEGI (INEGI, 2017) y considerando que los satélites cubo viajan a una velocidad promedio de 25 mil kilómetros por hora o superior, se derivan las siguientes restricciones:

**R8:** Para México, cuya distancia más larga se da entre Baja California Norte y Quintana Roo y es de 3206 kilómetros, el satélite cruzaría todo el territorio nacional en 7 minutos 40 segundos (460 segundos, que se denomina tiempo disponible td). Se desprecia el hecho de que a una altura de 400 kilómetros el arco de circunferencia sobre el territorio nacional es mayor de 3206 kilómetros.

**R9:** Considerando el mejor de los casos, la estación terrena de un proyecto de satélite cubo posicionada dentro de la República Mexicana podría tener en línea de vista clara todo el tiempo especificado en R8, a lo máximo. Esto sirve para calcular la cantidad de información máxima que se puede enviar o recibir en el peor de los casos

cuando el proyecto sólo cuenta con una estación terrena. Si el proyecto cuenta con dispositivos de una capacidad de transmisión y recepción  $C_t$  en bits por segundo. La máxima cantidad de bits enviados y recibidos sería  $M_c$  cuya fórmula sencilla es:

$$M_{cb} = C_t * T_d$$

Ahora, para un proyecto amateur existe un conjunto limitado de bandas de frecuencia que se pueden obtener del Plan de Bandas de la IARU. El Plan de Bandas de IARU especifica qué bandas son susceptibles para propósitos Satelitales y, para cada banda, el ancho de banda del canal (BW por sus siglas en inglés). Este ancho de banda de canal (B) permite calcular entonces la máxima cantidad de información que se puede transmitir. En la Figura 18 se enlistan las bandas de frecuencia satelitales y los anchos de banda de acuerdo al Plan de bandas IARU Región 2. Se descartan las bandas de frecuencia menores a 148 MHz debido a que el tamaño de antena para esa frecuencia no es viable en satélites cubo de 1U. La columna  $M_c$  muestra la máxima cantidad de baudios que se pueden enviar (usando la fórmula de Shannon-Hartley):

$$M_c = B \log_2 (1+S/N) \text{ con } S/N = 30 \text{ dB} = 1000$$

Banda	Frecuencia	Ancho Canal KHz (B)	Comentario	$M_c$ a 30 dB
435-438	MHz	12	Ninguno	119 Kbps
1260-1270	MHz	N/E	Uplink	
2410-2450	MHz	N/E		
3400-3401	MHz	3		29.9 Kbps
3401-3410	MHz	N/E	Tres rangos en plan	
5650-5670	MHz	N/E		
5830-5850	MHz	N/E	downlink	
10450-10500	MHz	N/E		
24048-24048.75	MHz	2.7		26.9 Kbps
24049-24050	MHz	2.7		26.9 Kbps
77.500-77.501	GHz	2.7		26.9 Kbps
134-134.928	GHz	N/E		
248.000-248.001	GHz	N/E		

Figura 3.4: Bandas de Frecuencia Amateur

Como se puede observar en la Figura 18, las bandas de frecuencia amateur, debido al tamaño de canal que se limita por el Plan de Bandas, ofrecen velocidades de transmisión muy bajas que, combinadas con las restricciones R1 a R9, determinan las siguientes características deseables en los protocolos para satélites con misiones amateur:

- Debe ser eficiente, debe destinar pocos bits para su preámbulo, direcciones, control y detección de errores: Debido a la cantidad muy limitada de bits que ofrecen los anchos de canal del plan de bandas IARU, no se pueden desperdiciar.
- Debe evitar mecanismos complicados de sincronización o ser configurable para evitarlo: Debido tanto a la limitada cantidad de bits que se pueden transmitir por el ancho de canal de las bandas amateur y también debido al poco tiempo disponible que cada estación terrena tiene línea de vista por la gran velocidad de los satélites de órbita LEO y ELEO.
- Debe evitar mecanismos de acuse de recibo o ser configurable para evitarlo: Por las mismas razones del punto 2.
- Debe ser no orientado a la conexión o ser configurable para que sea no orientado a la conexión: Debido a que el contacto del satélite hacia las estaciones terrenas es punto a punto, no da tiempo de realizar, por ejemplo, una conexión de tres vías parecidas a las que hace TCP debido al poco tiempo disponible por la gran velocidad de los satélites LEO y ELEO.

### 3.3 Características para la radio experimentación en México

El espectro electromagnético a nivel mundial está regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, a la cual están asociados la mayoría de los países. Sin embargo, hay un conjunto de bandas de frecuencia (38) que se administran en conjunción con la Unión Internacional de Radio Amateur (International Amateur Radio Union IARU), estas bandas de frecuencia están dedicadas a actividades de radio aficionados. A la vez, cada país puede formar asociaciones de radio aficionados y obtener beneficios, entre ellos, el uso de esas bandas de frecuencia. La IARU acepta que una y sólo una asociación se registre ante ellos para representar al país. En México, la asociación oficial que nos representa ante IARU es la Federación Mexicana de Radio Experimentadores conocida como FMRE y cuya página de Internet es <https://www.fmre.org.mx/regltec.html>

Por lo tanto, si se desea proveer a un satélite de una misión en bandas amateur, éste debe cumplir con todas las especificaciones descritas en el apartado anterior de este trabajo y, además, lo que se describe en el resto de este apartado.

#### 3.3.1 Afiliación a FMRE y licencia IFT

Es buena práctica acudir a la FMRE para asesoría, además de afiliarse, lo cual es un procedimiento sencillo y ameno. Enseguida, es recomendable conocer su reglamento técnico el cual

está disponible en la página ya citada (FMRE, 2019). En el artículo I la FMRE especifica que se debe cumplir también con la normatividad y reglamentación y ley del Instituto Federal de Telecomunicaciones, lo cual deriva en realizar el proceso para la obtención de una licencia de radio aficionado, proceso que se llama legalmente “Solicitud de Concesión de Espectro Radio Eléctrico con Propósitos de Radio Aficionados. En la Figura 2.5 se muestra parte de la solicitud vidente en 2019.



**FORMATO IFT - CONCESIÓN RADIOAFICIONADOS**

**FORMATO PARA SOLICITAR CONCESIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA USO PRIVADO  
CON PROPÓSITOS DE RADIOAFICIONADOS**

**Titular de la Unidad de Concesiones y Servicios:**  
De conformidad con la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión y los Lineamientos Generales para el otorgamiento de las concesiones a que se refiere el Título Cuarto de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, vengo a solicitar el otorgamiento de una Concesión de Espectro Radioeléctrico para Uso Privado con propósitos de radioaficionados, conforme a lo siguiente:

**I. DATOS GENERALES DEL INTERESADO**

I.1. Nombre:

Calle:

Figura 3.5: Solicitud Radio Aficionados IFT

### 3.3.2 Licencia de Recurso Orbital IFT

Después de cumplir los requisitos anteriores, se recomienda iniciar los procesos ante el IFT para obtener la Licencia de Recurso Orbital, la cual es un proceso que puede tardar hasta dos años debido a los procesos nacionales y a los procesos en IARU y en la UIT. La licencia de Recurso Orbital incluye la licencia para que el satélite pueda orbitar y las licencias de las bandas de frecuencia amateur asociadas a la órbita. En el Capítulo 5 de este trabajo se provee información al respecto.

### 3.3.3 Misión de Radio Aficionados

Finalmente, el satélite cubo debe tener definida una misión de radio afición ya que el Panel de Coordinación de Bandas de Frecuencia del IARU declina todas las solicitudes que no sean así. Las actividades de radio afición están especificadas en la siguiente liga:

<http://www.iaru.org/amateur-radio-satellite-frequency-coordination.html>

En ese documento se enlista la planificación de la misión, requisitos y detalles que hay que cumplir para que la solicitud de coordinación de frecuencias sea exitosa.

### **3.4 Características respecto al apoyo en situaciones de emergencia**

El ser un radio aficionado en cualquier lugar del mundo implica una serie de beneficios y obligaciones. Una de las obligaciones es prestar auxilio en casos de emergencia, de manera general. Es un hecho demostrado que cuando han ocurrido desastres naturales o provocados por las personas, en muchas ocasiones los medios tradicionales de comunicación y medios masivos como radio, televisión y telegrafía se ven afectados, incluso dejan de operar; sin embargo, las estaciones de transmisión de radio aficionados se mantienen funcionales y son capaces de transmitir información de calidad que marcan la diferencia entre la vida y la muerte. Es por eso por lo que, al afiliarse a la FMRE y al solicitar la licencia de radio aficionado, implícito va que se pertenece al Sistema Nacional de Emergencias y es una responsabilidad moral prestar auxilio en esas situaciones.

Por lo anterior es loable que todo satélite cubo con bandas de frecuencia amateur provea los elementos necesarios para cumplir con actividades de apoyo en situaciones de emergencia tales como:

Estar atento a la escucha de llamadas de emergencia y, en caso de recibir una, canalizarla para una pronta respuesta.

En caso de desastre natural, generar o retransmitir la información acerca del desastre hacia el sector de escucha que pueda beneficiarse de la misma o que pueda ayudar a mitigar o resolverla.

Según (APRS, 2019), la iniciativa más importante para reunir los esfuerzos de los radio aficionados en este sentido se hizo con el protocolo Automatic Packet Reporting System (APRS), el cual aparte de definir la estructura de las llamadas de emergencia, definió esquemas para el envío eficiente de mensajes de texto y correo electrónico. Por esta razón este trabajo se enfoca en este sistema de atención y apoyo en situaciones de emergencia.

#### **3.4.1 Mensaje de emergencia en APRS**

De acuerdo a los protocolos de atención de emergencias del sistema Automatic Packet Reporting System (APRS, 2018) los pasos a seguir cuando se recibe un mensaje de emergencia son:

1. Intentar contactar a la estación que envió el mensaje de emergencia para verificarlo.
  - a. Intentar enviarle un mensaje APRS.
  - b. Intentar contactarlo vía VoiceAlert en las frecuencias 146.5 MHz o 439 MHz.
  - c. Intentar contactar vía Teléfono si el mensaje de ayuda traía número.

2. Enviar un mensaje tipo Beacon para informar que se está trabajando en este evento.
3. En caso de ser incapaz de contactar personalmente:
  - a. Hacer el mejor esfuerzo con los datos actuales.
  - b. Contactar a las autoridades.
  - c. Visite el lugar de la emergencia sólo si está cerca y si no representa un peligro.

#### **3.4.2 Protocolo de atención de emergencias AztechSat-1**

Dado que el AztechSat-1 viaja a 25 mil kilómetros por hora, no es factible realizar los pasos 1 y 3, por lo cual sólo queda la opción del paso 2. Además, dado que se cuenta con el enlace de respaldo con Globalstar, el AztechSat-1 puede realizar los siguientes pasos como protocolo de apoyo para atención de llamadas de emergencia amateur:

1. Enviar un mensaje Beacon APRS.
2. Enviar un mensaje APRS encapsulado sobre el enlace Globalstar.

Respecto al paso 1 del protocolo AztechSat-1 para la atención de mensajes de emergencia, por el momento se tiene diseñado únicamente operar en la banda de 435-438 MHz, y los mensajes normalmente operan en las bandas de (144-148, 439) MHz, por lo cual se requeriría abordar el problema desde dos vertientes que se proponen como trabajo a futuro y se describe en el Capítulo 4.

#### **3.5 Características en protocolos para compartir bandas de frecuencia amateur**

Parece evidente que las bandas de frecuencia amateur más solicitadas y saturadas son las de los rangos de 144 y 435 MHz. Tan es así que según (IARU, 2017) ya no se aceptan solicitudes de coordinación de bandas de frecuencia en la de 144-148 MHz, como se muestra en la Figura 3.6

IARU most strongly recommends that satellite builders asking for coordination make sure that their mission fits the definitions of the amateur services.

**RR 1.56** *amateur service: A radiocommunication service for the purpose of self-training, intercommunication and technical investigations carried out by amateurs, that is, by duly authorized persons interested in radio technique solely with a personal aim and without pecuniary interest.*

**RR 1.57** *amateur-satellite service: A radiocommunication service using space stations on earth satellites for the same purposes as those of the amateur service.*

Satellite projects not conforming to these definitions may be returned for reconsideration with a recommendation to look for frequencies allocated to radiocommunication services fitting their mission requirements. Builders are also urged to support work on [ITU Resolution 757](#) in ITU-R Working Party 7B.

Beginning 1 July 2014, IARU will no longer be able to accept frequency coordination

Figura 3.6: Banda 144-146 MHz saturada IARU

Cuando se inició el proyecto del AztechSat-1, la NASA estableció como límite de tiempo para entregar el satélite ya construido y listo para las pruebas de termo vacío y vibraciones (entre otras) el mes de marzo de 2019. Esto supuso un reto adicional consistente en:

- Iniciar el proceso de cálculo de parámetros de funcionamiento del satélite sin tener el diseño terminado.
- Investigar de manera exhaustiva otros proyectos similares que ya hubieran tenido éxito y que compartieran uno o más de los parámetros, equipo o protocolos. Es decir, tomar en cuenta aquellos equipos, protocolos, señales, etc., que ya hubieran demostrado funcionar en condiciones similares o aún más agresivas que las del AztechSat-1.
- Aplicar las experiencias propias aprendidas de los CanSat que la UPAEP que se lanzaron en Estado Unidos y en México.

De los tres puntos anteriores, se desarrollaron las propuestas de características de protocolos en banda compartida que se describen el Capítulo 1 secciones 1.12 en adelante, así como la propuesta de plataforma del Capítulo 3. Refiérase a esas secciones para el detalle de las características.



## Capítulo 4. Propuesta de Plataforma

---

Este capítulo contiene los conceptos y elementos principales de la propuesta de plataforma de telecomunicaciones de bandas compartidas para nanosatélites, delimitado a las necesidades de satélites cubo de 1U como el AztechSat-1.

### 4.1 Origen

La propuesta tiene su origen en la solicitud de recurso orbital que se comenzó a trabajar en el año 2017. En ese entonces se planteó al equipo de trabajo de la Dirección de Análisis Regulatorio de dicho instituto la necesidad de contar con un proceso más ágil que favoreciera la planeación, diseño y puesta en marcha de proyectos académicos, de radio afición y/o de investigación que involucraran nanosatélites. La Dirección General de Análisis Regulatorio apoyó dicha idea, aunque desde el principio se tuvo conciencia que la legislación vigente no contemplaba estos casos.

Al mismo tiempo se comenzó a trabajar con la Agencia Espacial Mexicana para delinear un nuevo proceso en el cual se logrará esa agilidad, reduciendo los trámites y los tiempos necesarios para obtener las diferentes licencias, a saber:

- La Licencia del Recurso Orbital
- La Licencia de Bandas de Frecuencia
- La Licencia de Radio Aficionados
- Los trámites e interacciones con la Secretaría de Comunicaciones
- Los trámites e interacciones con la International Amateur Radio Union
- Los trámites e interacciones con la Federación Mexicana de Radio Experimentadores.

Después de meses arduos de trabajo, por fin se logró redactar una solicitud que contuviera todos los elementos necesarios para la Licencia de Recurso Orbital, en donde un aspecto muy difícil de lograr fue calcular, compilar y ordenar los datos y parámetros del ecosistema del nanosatélite AztechSat-1. El siguiente paso, aún más complicado fue aprender a usar el software de Buró de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT denominado como “BR Applications”, en especial el SpaceCap y el SpaceVal. En el Capítulo 5 se incluye el texto de una publicación que contiene dicha experiencia y un manual paso a paso que es parte de esta plataforma.

También se generaron diagramas de flujo y diagramas que describen los pasos específicos para cada uno de los tipos de licencia. No se incluyen en este trabajo de tesis debido a que forman parte de la documentación de la Ingeniería de Sistemas de la NASA y de la Agencia Espacial Mexicana y no se ha solicitado permiso para su inclusión aquí.

## 4.2 Mandatos de la CITEL

Actualmente la cantidad de bandas de frecuencia amateur disponibles no saturadas para proyectos de satélites pequeños es muy reducida, incluso hay bandas que la Unión Internacional de Radio Amateur (IARU por sus siglas en inglés) que ya no aceptan solicitudes, por ejemplo, la banda de 140 MHz. Aunado a esto, el proceso para la solicitud es lento y complicado, sobre todo en México, tanto para bandas amateur y comerciales.

Por lo anterior, se le propuso a la Dirección de Análisis Regulatorio del IFT desarrollar juntos un esquema de compartición de bandas de frecuencia que permitiera a varios satélites realizar transmisiones concurrentes, de tal manera que se simplifique el proceso de concesión para proyectos de corta duración como el AztechSat-1 (cuyo tiempo de vida oscilará de 6 meses a 1 año).

De esta manera, se apoya y se cumplen 11 de los 12 mandatos de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, pues de acuerdo a la resolución CITEL/RES. 85 (VII-18) aprobada en la VII Reunión Ordinaria de la Asamblea de la CITEL, los mandatos para el CCP.II para el periodo 2018-2022 son:

1. Promover entre los Estados Miembros la armonización en el uso del espectro radioeléctrico, teniendo en cuenta la necesidad de prevenir y evitar interferencias perjudiciales, como así también considerar el entorno electromagnético y sus posibles efectos en el ser humano.
2. Discutir y compartir prácticas innovadoras de la gestión eficiente del espectro.
3. Estimular y fomentar el desarrollo de los servicios de radiocomunicaciones.
4. Fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la implementación de redes y servicios de radiocomunicaciones con un uso más eficiente del espectro.
5. Promover regímenes innovadores en materia de otorgamiento de licencias para los servicios de radiocomunicaciones e incentivos para la elaboración de nuevos modelos de negocio.
6. Suministrar información a los miembros sobre los resultados obtenidos en el seno de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones y otras conferencias/asambleas regionales y mundiales relativas a los asuntos de radiocomunicaciones.
7. Coordinar la preparación regional para la Reunión Preparatoria de Conferencias, Conferencias Regionales de radiocomunicaciones y Conferencia Mundial de Radiocomu-

- nicaciones de la UIT, incluida la presentación de Propuestas Interamericanas (IAP) elaboradas de acuerdo con los procedimientos específicos del CCP.II.
8. Fomentar la participación regional en el Grupo Asesor y las Comisiones de Estudio del UIT-R, incluida la presentación de Contribuciones Interamericanas (IAC) elaboradas de acuerdo con los procedimientos específicos desarrollados por CCP.II;
  9. Llevar a cabo una labor coordinada con los diferentes comités y grupos de trabajo de la CITEI, en aquellos aspectos que por su carácter, se presten a una acción conjunta.
  10. Promover el uso eficiente del espectro de frecuencias radioeléctricas y de los recursos de orbitas satelitales en la región.
  11. Alentar la participación del sector privado, incluidas PyMEs y organizaciones sin fines lucrativos, y del sector académico como Miembros Asociados, así como estimular el diálogo entre estos y las Administraciones de CITEI.
  12. Crear mecanismos de seguimiento a la implementación de las decisiones, resoluciones y recomendaciones adoptados por el CCP II.

### 4.3 Propuesta de esquema para la compartición de bandas

Es un hecho que planear un proyecto de diseño y construcción de un satélite pequeño en México involucra una problemática muy particular que incluye los siguientes elementos:

1. Financiar el proyecto.
2. Encontrar una misión que justifique la inversión.
3. Conseguir y/o desarrollar los elementos tecnológicos que lo hagan factible.
4. Conseguir el recurso humano capacitado para implementarlo.
5. Conseguir los permisos y licencias nacionales e internacionales.
6. Realizar todo en tiempo y forma para que la misión mantenga su pertinencia.

#### 4.3.1 Contradicciones y dilemas

Un factor crítico que se aprende sobre la marcha es que las entidades que otorgan las diferentes licencias piden como requisito los datos del proyecto como si éste ya estuviera terminado. Por ejemplo, el IFT solicita la marca y modelo del equipo de transmisión, su potencia de transmisión, tipos de antena y patrones de radiación, bandas de frecuencia y canales a usar. Esta misma información se alimenta, vía el software SpaceCap, a la base de datos de la Advance Publication Information (API) que se entrega a la Unión Internacional de Telecomunicaciones. La IARU de manera explícita recomienda que se haga la solicitud de banda de frecuencia antes de que el diseño sea definitivo, es decir, que se tenga la posibilidad de cambiar la banda y el canal, lo cual exigiría al proyecto realizar una inversión para contemplar varias opciones de transmisión que, por supuesto, influye en efecto dominó en el diseño de todo el proyecto. Por ejemplo, en el Proyecto AztechSat-1, el proveedor del chip de comunicaciones para las bandas de 144 y 435 MHz hizo hincapié que la longitud de la antena para la frecuencia de 144 MHz no cabe en un CubeSat de 1U.

Un dilema en este tipo de proyectos consiste en decidir si desarrollar tecnología o comprarla hecha. Es un dilema porque si el proyecto es de investigación y de desarrollo de tecnología, lo ideal es el desarrollo; sin embargo, la NASA y las empresas lanzadoras como Nanoracks solamente aceptan equipos y dispositivos que cumplan su normatividad, todo lo cual implica una cantidad de tiempo y recursos que, si no se planean y toman en cuenta, pueden poner en riesgo todo el proyecto.

#### **4.3.2 Características de proyectos de licenciamiento**

Lo anterior genera un círculo vicioso entre el Diseño de todo el proyecto y las Solicitudes de los permisos y licencias para trabajar siempre en el marco de la ley. Por eso es muy pertinente proponer un cambio en la legislación actual que ayude a eliminar o mitigar ese círculo vicioso. Dicha propuesta debe estar alineada a los Mandatos CITELE y a la propia legislación mexicana y a los objetivos de la IARU que, curiosamente, son similares en los aspectos de:

1. Lograr un uso eficiente del espectro radioeléctrico.
2. Evitar las interferencias perjudiciales.

La IARU, de manera explícita en su documento “Spectrum Requirements for the Amateur and Amateur-Satellite Services” en su apartado 1.6 lo siguiente:

- 1.6. The growing popularity of CubeSats and other very small satellites is placing increasing stress on Amateur-Satellite allocations in the VHF and low UHF frequency ranges.

Por lo tanto, es sumamente difícil conseguir una banda de frecuencia amateur tanto en a título primario como secundario y, como se prevé, es posible que con el tiempo y la proliferación de proyectos de satélites pequeños el problema se incremente.

Es así como este trabajo propone la existencia de un proceso diferente de licenciamiento en el Instituto Federal de Telecomunicaciones (el cual habría que someterlo al Congreso de la Unión) para su aprobación. Dicho proceso de licenciamiento tiene como objetivo mitigar o eliminar el círculo vicioso antes mencionado y serían sujetos de beneficiarse de él los proyectos que reúnan una o varias de las características generales siguientes:

- Proyecto de beneficio social
- Proyecto no lucrativo
- Proyecto académico
- Proyecto de Radio Amateur
- Proyecto de Duración Corta (Menos de 5 años)
- Proyecto de Apoyo a los Sistemas de Atención de Emergencias y/o Desastres Naturales

Adicionalmente a las características generales, que el proyecto demuestre en su diseño e implementación un esfuerzo significativo y/o extraordinario para:

- Hacer un uso eficiente del espectro radio eléctrico.
- Evitar las interferencias perjudiciales.
- Adoptar una o varias estrategias que aseguren los dos puntos anteriores

#### **4.3.3 Estrategias para compartir bandas y evitar interferencias**

Las estrategias para hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico, sin ser exhaustivo, incluyen:

- Alinear la solicitud de la banda de frecuencia y el ancho del canal al tipo de aplicación deseada. Por ejemplo, el AztechSat-1 únicamente necesita enviar de Tierra a Satélite tele comandos sencillos y de Satélite a Tierra la telemetría (valores de variables de estado de salud) y un canal de 12 KHz es suficiente. Si la misión fuera enviar imágenes de observación de la Tierra, un canal de 20 o 40 MHz sería más apropiado en una banda de GHz.
- Especificar de manera precisa y demostrar que el equipo físico y su programación se restringen al uso exacto de dicha banda y canal, lo cual permitirá a otros satélites solicitar la misma banda, pero canal diferente.
- Diseñar el uso de la banda de frecuencia y el canal combinado con la ubicación geográfica y el tiempo. Si un satélite obtiene una banda de frecuencia y canal para una órbita específica, esa misma banda y canal la pueden tener otros satélites ubicados a una distancia que elimine la interferencia porque la cobertura de uno no alcanza al otro; o bien, a otros satélites que las usan en un tiempo diferente.
- Alinear el tiempo mínimo necesario para conseguir una misión y asegurar que el satélite, una vez alcanzada la misión, cese transmisiones y, posiblemente, permanezca el resto del tiempo en escucha de señales de ayuda para apoyar la atención de emergencias; de esta manera se le da un valor agregado a la misión.

Las estrategias para evitar interferencias perjudiciales, sin ser exhaustivo, incluyen:

- Adoptar las operaciones pertinentes de protocolos cuya naturaleza es trabajar en medios compartidos. Por ejemplo, un protocolo de control de acceso al medio de reconocida eficiencia y efectividad es el "Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance". De este protocolo, el verificar si existe portadora (¿Está libre el medio?) permite el envío de información mitigando la interferencia. La efectividad de CSMA/CA reside en gran parte en la relación entre el tiempo necesario para transmitir la información (longitud de la trama) versus el tiempo necesario para recorrer la distancia entre origen y destino (Stallings, 2000). Para capas superiores del Modelo O.S.I se pueden adoptar estrategias como las del protocolo TCP/IP en sus versio-

nes Tahoe, Reno, New-Reno y la extensión de Reno denominada SACK. Es notable la versión TCP Hybla que toma en cuenta la latencia satelital (Project Hybla, 2012). El desarrollo de un protocolo de esta naturaleza fue algo que se consideró al principio del proyecto AztechSat-1, sin embargo, al evaluar los recursos humanos versus el tiempo del proyecto se descartó, por lo cual el desarrollo de un protocolo propio para distancias espaciales está más allá de los alcances de este trabajo.

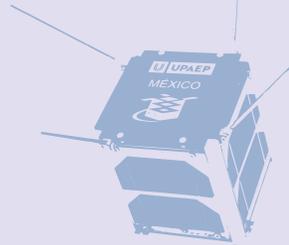
- Autolimitar el número de veces que el satélite emite tramas o paquetes, haciendo un balance entre la cantidad de información (en kilo, mega, giga bytes) necesarias para cumplir la misión y la cantidad de información posible que se puede transmitir restando los errores. Esto es, no porque se pueda enviar una cantidad holgada de información se hace, sino que se envía la necesaria mínima para cumplir la misión.
- Adoptar esquemas de modulación que minimicen la interferencia haciendo un balance entre los beneficios de evitar interferencias y el costo interno de llevarlo a cabo. Por ejemplo, la modulación Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) ofrece excelentes prestaciones de aprovechamiento del espectro radioeléctrico eliminando la interferencia externa a la señal, aunque agregando un efecto de interferencia inter-símbolo (Agency, 4).

Para terminar esta sección, es loable mencionar que en la vida real y en los proyectos de la vida real, se debe decidir entre el diseño ideal del sistema satelital como un todo versus el diseño posible y factible debido a todas las restricciones de tipo financiero, de acceso a la tecnología (por ejemplo, hay tecnología no disponible en México), tiempo, recurso humano y legislación.

#### 4.4 Beneficios del esquema de compartición de banda

El AztechSat-1 proveerá los beneficios siguientes:

- Promueve la investigación en áreas como cálculo de presupuesto de la potencia y pérdida de señal, efecto Doppler, compartición de bandas de frecuencia y prevención de interferencias perjudiciales.
- Promueve y propone un marco de trabajo de tipo colaborativo para lograr la aplicación de ciencia y tecnología aeroespacial en instituciones académicas y de investigación por medio de nanosatélites clase CubeSat, la administración de proyectos y la ingeniería de sistemas con metodología NASA.
- Provee un manual paso a paso que describe como realizar las actividades de captura, salvado y pruebas de la base de datos API.



## Capítulo 5. SpaceCap ITU API y Procesos de Licenciamiento

---

Este capítulo describe dos de las actividades más demandantes en el proceso de obtención de permisos y licencias para un satélite tipo cubo. Las primeras secciones repasan los aspectos mínimos relevantes acerca del Cubesat Design Specification versión 13, una descripción de la Advance Publication Information (API) que la Unión Internacional de Telecomunicaciones exige como requisito de sus permisos y el paso a paso para la creación de dicha API usando el software SpaceCap. Las últimas secciones repasan los procesos de licenciamiento ante las distintas instancias nacionales como el Instituto Federal de Telecomunicaciones, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Federación Mexicana de Radio Experimentadores; finalmente se repasan los procesos de licenciamiento ante instancias internacionales como la Unión Internacional de Radioaficionados (IARU por sus siglas en inglés) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

### 5.1 Conceptos clave en satélites tipo cubo

Los conceptos clave de un satélite tipo cubo, las pruebas de validación mínimas que deben aprobar pueden consultarse en el documento Cubesat Design Specification Revision 13 (cubesat.org, 2017), y al momento de escribir este trabajo eran válidas las revisiones 9ª a la 13ª. Aunque ya se explicó esto en capítulos previos, se repite aquí lo más importante para mantener este capítulo con suficiente información para guiar a miembros nuevos en un proyecto de satélite cubo. Se recomienda leer el CDSr3 completo. Para tener una visión general del CDSr13 es importante resumir los siguientes conceptos clave:

El CDSr13 está dividido en 5 secciones que son:

- Sección 1 es una introducción al documento y un repaso.
- Secciones 2 y 3 describen los requerimientos Generales, Mecánicos, Eléctricos y de Operación mínimos y mandatorios que nanosatélite debe cumplir para ser considerado como *CubeSat*.
- Sección 4 describe las los requerimientos de pruebas, tales como las de vibración, impacto, termo vacío e inspección visual.
- Sección 5 contiene la lista de personas contacto de Cal Poly y SRI International.

La Universidad Estatal Politécnica de California (Cal Poly) desarrolló un dispositivo (cubesat.

org, 2017) cuyo propósito es liberar un CubeSat de un Vehículo de Lanzamiento (LV), este dispositivo es el Desplegador Orbital Poli de Picosatélite (P-POD por sus siglas en inglés). (cubesat.org, 2017). El P-POD asegura que un CubeSat no será un riesgo para sí mismo, para otros CubeSats y el LV del vehículo de lanzamiento.

Un Cubesat sólo puede aceptarse para lanzamiento si cumple con todas las especificaciones de CDSR13, y en ocasiones el Lanzador puede permitir algunas especificaciones adicionales y especiales, en ese caso, se debe llenar y autorizar una “Solicitud de aprobación de exención de desviación” (DAR) (cubesat.org, 2017).

Un CubeSat se mide en unidades. Una “unidad” es un cubo de 10 cm de lado. Los CubeSats más comunes son de una unidad (1U), una unidad y media (1.5U), dos unidades (2U), tres unidades (3U). En el momento de escribir este trabajo, hay esfuerzos importantes para desarrollar CubeSats más grandes de 6U, 12U y 27U (Smallsat Satellite Conference, 2015).

## 5.2 Subsistemas comunes de un CubeSat

El punto de partida más importante de un CubeSat es su misión, todos los esfuerzos se hacen a su alrededor. Una vez que se planifica la misión, se puede determinar y asignar el resto del proyecto, los recursos materiales y humanos, y el tiempo. La misión CubeSat determinará la carga útil. Para soportarlo, hay un conjunto de subsistemas mínimos que casi todos los CubeSats tienen (Smallsat Satellite Conference, 2015):

- Carga útil: refleja la misión CubeSat.
- Estructura mecánica: incluye los materiales, tornillos, soportes, disparadores y todo lo necesario para asegurar la liberación del P-POD y la integridad de la carga útil.
- Energía o energía: garantiza que todos los dispositivos reciban la energía necesaria para realizar operaciones.
- Tierra y espacio: asegura los recursos necesarios en tierra (antena, radios, seguimiento), protocolos y comunicaciones en tierra y espacio.
- Actitud y control: Mantiene la órbita, dirección y velocidad. En algunos casos, se necesita mucha precisión para estabilizar el CubeSat para lograr la Observación de la Tierra y capturar imágenes y videos de alta definición para algunas áreas específicas como ciudades, volcanes, etc.

## 5.3 Aplicaciones de Software críticas de la ITU

La UIT proporciona el software SpaceCap en su página web oficial (ITU, 2017). Las versiones 7 y 8 están disponibles en el momento del desarrollo de este documento. Casi no hay información sobre cómo usarlo y ni de la relación con los otros componentes del software y las herramientas de la UIT. Para ayudar a futuros proyectos de CubeSat, en este documento se

proporcionan algunas recomendaciones y pautas obtenidas después de muchos intentos de prueba y error hasta que calcularon y capturaron todos los datos necesarios en la aplicación SpaceCap. Como resultado de lo anterior, se ofrecen recomendaciones en los párrafos siguientes.

**5.3.1** Comprender las relaciones del software: SpaceCap, SpaceVal, SpaceCom, SpaceRefdb, BR-SIS, SpacePub, SRSFixDB, SRSCovert, AP7Capture: Actualmente, hay versiones 7 y 8 para casi todas las aplicaciones y pueden coexistir al mismo tiempo en la misma computadora. Sigue estas recomendaciones:

- SpaceCap\_v7.exe, SpaceCap\_v8.exe: permite capturar la información relevante que necesita la Oficina de comunicación por radio (BR) para otorgar un permiso o licencia. Una vez que se capturan los datos, la aplicación SpaceCap genera una base de datos de Microsoft Access. Esta base de datos debe enviarse a su autoridad nacional de telecomunicaciones, en México se encuentra el Instituto Federal de Telecomunicaciones. Los datos deben capturarse seleccionando la opción “API” en la interfaz gráfica de usuario.
- SpaceVal\_v7.exe, SpaceVal\_v8.exe: una vez capturados los datos por SpaceCap, SpaceVal debe usarse para validar la API. SpaceVal creará un informe con errores fatales y / o advertencias. Todos los errores fatales deben resolverse antes de que el API pueda enviarse a su autoridad nacional.
- SpacePub\_v7.exe, SpacePub\_v8: permite crear un documento de Word con una lista legible de todos los parámetros capturados por SpaceCap. Este documento o informe se puede usar como una copia de seguridad de sus datos en caso de corrupción de la base de datos. Debería permitirle recapturar mediante el software SpaceCap o AP7capture.
- AP7Capture\_v7.exe, AP7Capture\_v8.exe: esta aplicación es utilizada principalmente por las administraciones para analizar los parámetros relevantes. Es una aplicación independiente y el usuario final debe usar SpaceCap en lugar de esto.
- SpaceRedfDB: este software es utilizado por todas las aplicaciones anteriores. Cuando se ejecuta (en el momento de la instalación), instala las tablas de referencia de la Oficina de comunicación por radio (BR), que contienen las estaciones terrenas registradas, las redes de satélite y otras cosas. Esta aplicación no tiene versión, debe instalarse con las versiones 7 y 8 siempre.
- SpaceCom: Esta aplicación debe ser utilizada por la Oficina de comunicación por radio para insertar comentarios en la API.
- SAM (InstallSAM\_v7.exe, InstallSAM\_v8.exe): es una plataforma independiente que ayuda a invocar todas las demás aplicaciones, como SpaceCap, SpaceVal, etc. No se usó en este proyecto porque se necesita instalar todo de antemano y se deben comprender las relaciones entre ellos de todos modos, por lo que fue de poca ayuda.

**5.3.2** Usar las aplicaciones correctas de la ITU: Una vez entendido el propósito de cada aplicación de la ITU y las relaciones entre ellas, escoja aquellas que se aplican a su proyecto en el orden y momento adecuado para generar la base de datos API de la ITU. Apóyese en el diagrama de la Figura 5.3.2 para entender los pasos y su orden.

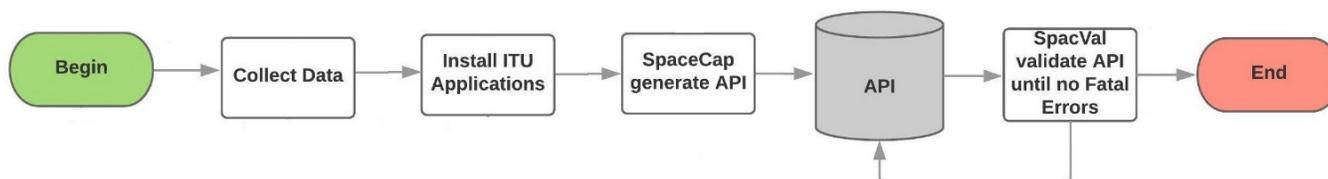


Figura 5.3.2: Proceso para generar la ITU API

**5.3.3** Observe todos los mensajes que se muestran al instalar cada aplicación: preste especial atención a la relación entre el software de la aplicación ITU (por ejemplo, si está utilizando SapceCap\_v7.exe con Microsoft Windows XP, 7, 8 y 10) y su sistema operativo. Por ejemplo, el SpaceCap\_v8 instalado en Windows 7 produce una API de ITU con errores inesperados. Por ejemplo, cuando se intenta abrir la base de datos con SpaceVal, se muestra una “Base de datos no vinculada correctamente”, y no hay documentación sobre cómo resolver ese problema, ni en Microsoft ni en las páginas web de la UIT. Se recomienda instalar el software evitando el “modo de compatibilidad”.

**5.3.4** Avance un paso a la vez: Consulte la Figura 5.3.2, intente avanzar un paso a la vez y documente cada parámetro calculado y capturado en el SpaceCap, de ser necesario, cada vez que capture un valor, verifique con SpaceVal que no existan errores y proceda a capturar otro parámetro.

**5.3.5** Instale SpaceRefDB al final: Este programa instálelo al final, pues no recibirá ningún mensaje acerca de si se instaló bien o no. Este programa necesita de que los demás módulos estén instalados y, si es así, no enviará ningún mensaje de error al encontrar lo demás instalado.

## 5.4 Parámetros funcionales de Licenciamiento del AztechSat-1

En términos generales, todos los parámetros de AztechSat-1 se diseñaron de acuerdo con dos misiones descritas en la Sección 2, a saber, la comunicación intersatelital AztechSat-1 con GlobalStar y las comunicaciones de radioaficionados. Más adelante, los valores y rangos factibles (por ejemplo, la frecuencia de transmisión y el ancho de banda) se determinaron utilizando las hojas de datos del conjunto de chips electrónicos elegidos para la misión. Se

obtuvieron otros parámetros, como los patrones de radiación del equipo específico AztechSat-1 (por ejemplo, la antena ICOM IC 9100) y luego se seleccionó el patrón de antena ITU correspondiente para la región geográfica correcta.

#### **5.4.1 AztechSat-1 CubeSat**

El AztechSat-1 es un proyecto CubeSat de 1U con dos misiones principales. La primera es probar la viabilidad de obtener una comunicación exitosa entre el AztechSat-1 y la constelación de Satélites Globalstar. Esta misión está circunscrita al segmento espacial, además el sistema Globalstar puede descargar información al Segmento Terrestre a través de puertas de enlace de Internet que se encuentran estratégicamente ubicadas en el planeta Tierra. La segunda misión del AztechSat-1 consiste en promover la Instrucción Individual de Radioaficionados de acuerdo con la Constitución de IARU (IARU, 2017). Para lograr este objetivo, el AztechSat-1 utiliza una banda de aficionados para enviar y recibir información en el segmento terrestre, dando la oportunidad de contactar el satélite con Radioaficionados y obtener un tipo específico de documento QSL de NASA-AEM-UPAEP. Como se ve en la Figura 5.4.1, el AztechSat-1 envía un mensaje específico en el protocolo AX.25 a las personas de Radioaficionados que usan la banda de 435-438 Mega Hertz. La carga útil de este mensaje es un número binario de 3 bytes que tiene una estructura particular. Los radioaficionados verán la carga útil como un número simple que es una ficha. Si realmente se ponen en contacto con AztechSat-1, pueden solicitar un tipo de documento QSL en la página web de UPAEP. En la página web, a Radio Amateur se le pide el token, la ubicación, la fecha y la hora del contacto, y si todo está bien, obtienen el reconocimiento que tiene los logotipos de AEM, NASA y UPAEP. Por otro lado, el token se envía a través de la constelación Globalstar y se descarga a través de un servicio web a la aplicación web UPAEP, por lo que, de esta manera, se puede verificar el token de Radioaficionado

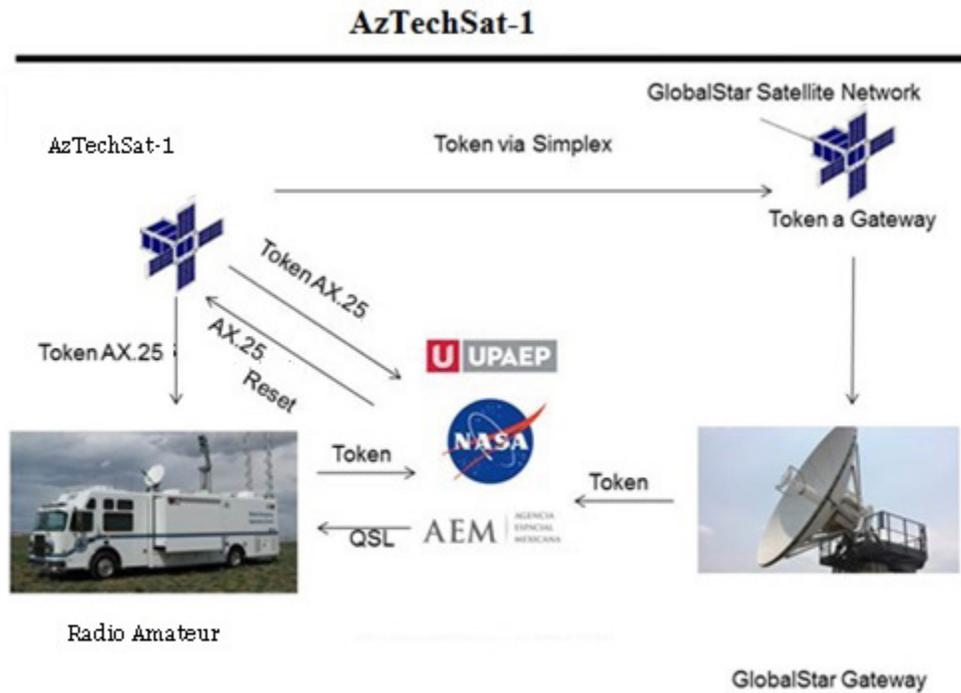


Figura 5.4.1: Segmentos Espacial y Terrestre del AztechSat-1

#### 5.4.2 Operaciones de los segmentos espacial y terrestre del AztechSat-1

Para mantener las funciones espaciales del AztechSat-1, el satélite tiene un módulo STINGR de Gomspace. Este módulo implementa comunicaciones simples, en este caso, para enviar mensajes de AztechSat-1 a la red Globalstar.

#### ■ COMUNICACIONES DEL SEGMENTO ESPACIAL

El módulo Stingr puede enviar ráfagas de mensajes de 9 bytes y luego el protocolo se obliga a dormir por algún tiempo. Este tiempo de espera asegura que el canal de comunicación no esté saturado cuando hay varios módulos Stingr que intentan comunicarse cerca uno del otro (Figura 5.4.2).

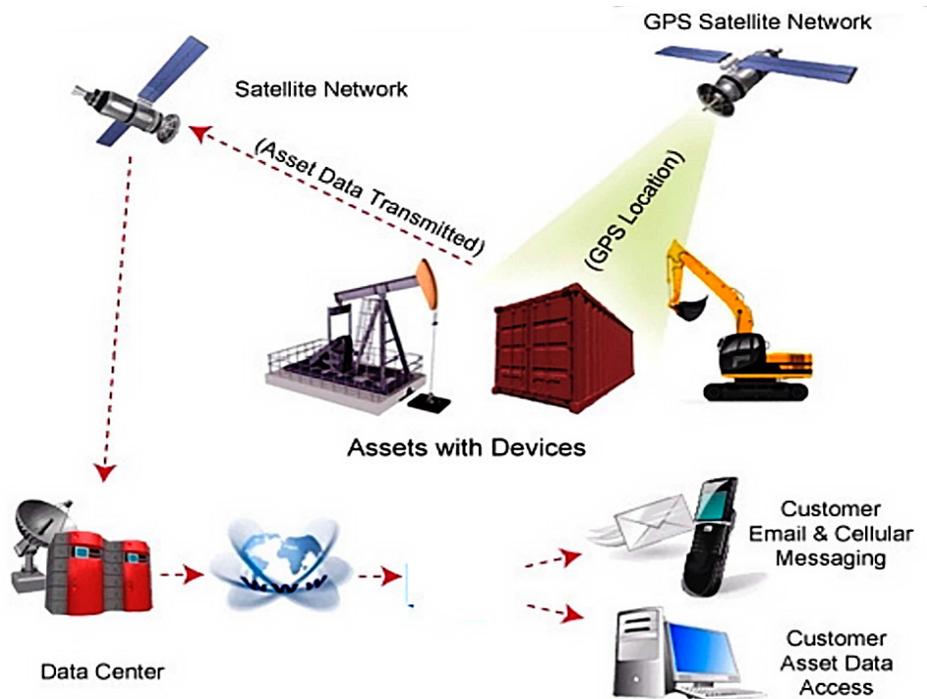


Figura 5.4.2: Sistema de Monitoreo del Satélite

El satélite AztechSat-1 será el “Dispositivo monitoreado”. En la vida real, el dispositivo monitoreado debe ser un vehículo de transporte, un dispositivo oceánico, etc. La diferencia entre el AztechSat-1 y los dispositivos monitoreados reales de Globalstar consiste en que los dispositivos monitoreados reales están a una altitud a nivel del mar y viajan a una velocidad muy baja en comparación con AztechSat-1, que viaja a 25,000 kilómetros por hora y 400 kilómetros de altura. De alguna manera, el AztechSat-1 es un dispositivo monitoreado cuya información está “más cerca” y “más rápido” de los satélites Globalstar. Los permisos de telecomunicaciones entre AztechSat-1 y Globalstar no forman parte de este documento y no se reflejan de ninguna manera en la API de la UIT de este trabajo.

## ■ COMUNICACIONES DEL SEGMENTO TERRESTRE

El software SpaceCap de la ITU maneja el concepto de “beam”. Un beam es el conjunto de características que definen un flujo de información desde el satélite a tierra (downlink beam) o las de tierra hacia el satélite (uplink beam). A ese beam se le asocian las antenas, estaciones terrenas, tipo de modulación, velocidad de transmisión, etc. Al capturar las emisiones del “beam” en la aplicación SpaceCap, se debe construir un “código de emisión”. Para comprender dichos códigos de emisión, de acuerdo con los códigos de emisión de la UIT (UIT-R, 2017). Los códigos de emisión consisten en una cadena alfanumérica de 9 caracteres alfanuméricos como se muestran en la Figura 5.4.2.1.

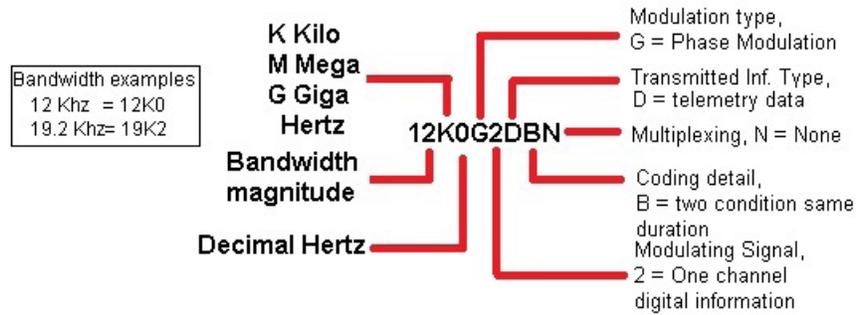


Figura 5.4.2.1: Códigos de Emisión de la ITU (en inglés)

El AztechSat-1 fue diseñado con un módulo Gomspace AX100 para comunicarse con la estación terrestre y las estaciones de radioaficionados (GOMSPACE, 2017). El AztechSat-1 envía dos tipos de mensajes hacia tierra como se describe a continuación:

- Un mensaje AX.25 que contiene una carga útil de 3 bytes para verificar que se contactó con el satélite. Muchas estaciones baratas y eficientes (por ejemplo, con el software GNU Radio) pueden hacer esto (Figura 5.4.2.2).

Byte Number	AX.25 Field	AzTechSat-1 Content
1	Flag	01111110
2 to 29	Addresses	Call Signs
30	Control	00000011
31-33	AzTechSat-1 Payload	Secret bits
34-35	FCS	Frame Check Sequence
36	Flag	01111110

Unnumbered Information AX.25 AzTechSat-1 Frame Format

Figura 5.4.2.2: Diseño de Frame AX.25 AztechSat-1

- Una señal de baliza (Beacon en inglés) simple, que contiene un patrón numérico que se repite constantemente a tierra cada minuto. Este patrón se puede capturar en tierra por los radioaficionados y verificar fácilmente en la página web de UPAEP. Se valida la información capturada por el radioaficionado y se le proporciona el reconocimiento QSL para promover las actividades de Radioaficionados.

### 5.4.3 Patrones de radiación y Cálculo del Link Budget

El patrón de radiación de un sistema de telecomunicaciones depende del tipo de antena utilizada para transmitir. En este documento, la discusión se centra en antenas direccionales y no direccionales. Una antena direccional (como un Yagi) enfoca la energía en alguna dirección particular. Una antena no direccional permite que la energía se expanda en un patrón circular,

siendo la antena su centro. Otra característica útil de las antenas es la polarización. Puede ser vertical, horizontal o circular (Figura 6).

#### ■ PATRONES DE RADIACIÓN ITU Y PATRÓN DE RADIACIÓN DEL SEGMENTO TIERRA AZTECHSAT-1

Los patrones de radiación de la antena son importantes en el diseño de un sistema de telecomunicaciones CubeSat, porque el tiempo que el satélite tiene una línea de vista hacia el receptor es muy corto. Por ejemplo, el AztechSat-1 orbitará a 400 kilómetros de altitud y viajará a 25,000 kilómetros por hora, es decir, se estima que será accesible en la República Mexicana por solo 4 minutos. Entonces, el patrón de radiación de la antena de la Estación Terrestre debe seleccionarse adecuadamente para llegar al satélite. Del mismo modo, la antena del satélite y su correspondiente patrón de radiación deben diseñarse teniendo en cuenta que el AztechSat-1 no contará con un sofisticado subsistema de actitud y control. En este caso, el satélite tendrá un patrón de radiación casi omnidireccional proporcionado por la conjunción de cuatro antenas polarizadas circulares complementarias (Figura 7).

La Unión Internacional de Telecomunicaciones define varios patrones de antena estándar que deben usarse al diseñar e implementar sistemas satelitales (UIT, 2017). Estos patrones de antena son obligatorios cuando se llena la aplicación “SpaceCap” para desarrollar la base de datos ITU API, la cual es mandatorio para obtener una licencia internacional para asignar un plano en órbita y una banda de frecuencia particular. Se debe entregar la ITU API de las estaciones satelitales y terrenas.

El satélite AztechSat-1 utiliza el ICOM 9100 con una antena modelo M6 de marca 436CP42-UG. El patrón de radiación de la antena M2 se muestra en la Figura 5.4.3.1.

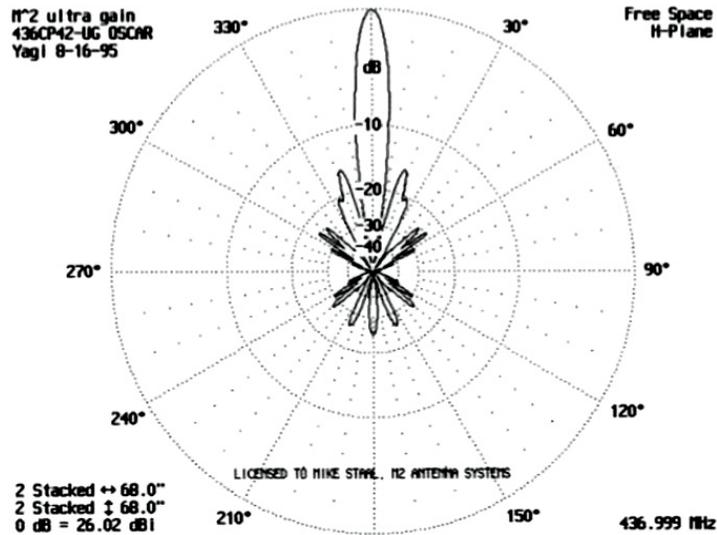


Figura 5.4.3.1: Patrón de radiación de antenna M2 436CP42UG

Para encontrar el patrón de radiación de ITU correspondiente, cada patrón de antena listado en la página web de ITU para la región de México se trazó en Excel hasta que se encontró uno bueno. El mejor patrón de antena ITU fue APERR002\_V1 con un patrón de radiación que se muestra en la Figura 5.4.3.2.



Figura 5.4.3.2: Patrón de Radiación de ITU Excel APERR002\_V1

La idea sobre el uso de los patrones de radiación consiste en encontrar el equipo adecuado cuyo patrón de radiación tenga una cobertura menor que el patrón de radiación de la UIT para evitar interferencias con otros proyectos con licencia a título primario e, incluso, secundario. La Figura 5.4.3.2 del patrón de radiación de la ITU muestra una cobertura mayor que el patrón de radiación de la antena M2, es decir, el patrón de radiación del segmento de tierra del AztechSat-1 es más pequeño que el de la ITU y de esa manera, cumple la normatividad, además de evitar errores al capturarlo en el SpaceCap y validarse por el SpaceVal.

Se realizó una investigación similar para el segmento espacial. Las características específicas de la antena espacial AztechSat-1 son confidenciales y no se pueden publicar en este momento.

## ■ CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DEL ENLACE ESPACIO A TIERRA DEL AZTECH-SAT-1

Otro cálculo importante es el presupuesto del enlace (link budget en inglés). El presupuesto del enlace calcula la potencia de transmisión total del sistema de telecomunicaciones y la pérdida total de energía debido a la distancia, la pérdida de inserción de dispositivos y la atenuación debido a factores ambientales (Elbert, Introduction to Satellite Communication, 2008). Finalmente, la pérdida total se resta a la potencia de emisión total y se encuentra un valor. Ese es el enlace de presupuesto. El presupuesto del enlace permitirá saber si el sistema diseñado tendrá la oportunidad de ser exitoso.

Las fórmulas generales para el AztechSat-1 son:

$$Pr = Ps + Gt + Gr - Spt - Pm - Pe - Pre$$

Donde:

**Pr** : Potencia recibida expresada en unidades dBm.

**Ps** : Potencia de transmisión en dBm.

**Gt** : Ganancia en el AztechSat-1 en dBi.

**Gr** : Ganancia en la Estación Terrena en dBi.

**Spt**: Suma de las pérdidas de potencia en el transmisor en dB.

**Pm** : Otras pérdidas en emisor (por difracción, reflexión, etc.) en dB.

**Pe : Pérdida o Atenuación del Espacio Libre en dB.**

**Pre: Otras pérdidas en el receptor en dB.**

Se desarrolló una aplicación en Excel para calcular todos los parámetros utilizando como valores clave la distancia en órbita (400 kilómetros), la frecuencia central (436.5 megahercios), la potencia de transmisión de la estación terrestre (2.2 vatios) y la ganancia de antena (18.9 dBi), la Potencia de transmisión de AztechSat-1 (1,5 vatios) y ganancia de antena (Cero, para tener el “peor de los casos”). Es importante comentar que todo esto se obtuvo de las hojas de especificaciones provistas por el fabricante de los dispositivos.

Por ejemplo, para calcular la pérdida o atenuación del espacio libre, se pueden usar las siguientes fórmulas:

$$Pe = 32.45 + 20 \cdot \log(\text{Frecuencia Central MHz}) + 20 \cdot \log(\text{Altura del AztechSat-1})$$

Link Budget AzTechSat-1									
INPUT DATA									
Transmission Center Frequency Mhz.	AzTechSat-1 Orbit Distance Kms.	Transmission Power AX100 Watts	Transmission Power ICOM Watts						
436.5	400	1.5	2.2						
OUTPUT DATA									
Link	Threshold	Received power dBm Pr	Transmitter power output dBm Ps	AzTechSat-1 antenna gain dBi Gt	Loss power sum dB Spt	Free Space Path Loss dB Pe	Other trans. losses dB Pm	Earth Station Antenna gain dBi Gr	Other Earth Station losses dB Pre
		Pr =	+Ps	+Gt	-Spt	-Pe	-Pm	+Gr	-Pre
<b>Down</b>	22	-94.53	31.7609126	0	0.5	137.290885	5	17	0.5
<b>Up</b>	24	-92.8667	33.4242268	0	0.5	137.290885	5	17	0.5

Figura 5.4.3.3: Excel para Calcular el Presupuesto de Enlace del AztechSat-1

En el proyecto AztechSat-1, al llegar el momento de tramitar la licencia de la banda de frecuencia de radioaficionado, se nos pidió usar el calculador de link budget de la Radio Amateur Satellite Corporation (AMSAT). Para el AztechSat-1 se usó la versión 1.0 que está disponible en una liga de la página de IARU (AMSAT-IARU link calculator) en la sección de satélites. Si se desea una versión más actualizada y que permita aprender y enseñar los conceptos invo-

lucrados de la órbita satelital, la transmisión y recepción del sistema, se recomienda usar la versión 2.4.1 o superior disponible en la página de AMSAT del Reino Unido (AMSAT-UK). Se recomienda ampliamente cualquiera de los dos, ya que se deben capturar muy pocos datos tales como la altura orbital, el grado de inclinación de la órbita, las ganancias de las antenas, la velocidad de transmisión, las potencias de transmisión, etc., y todo lo demás es calculado de manera automática. Incluso, los pocos datos que hay que capturar están indicados en color verde en celdas de Excel.

## 5.5 ITU Advance Publication Information (ITU API)

La *Advance Publication Information* de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU API en argot de la ITU) es una base de datos necesaria para obtener las licencias adecuadas para un sistema de satélite de telecomunicaciones, no importa si el sistema tiene solo un satélite o una constelación completa. No importa si el o los satélites son de órbita alta, media o baja; geo estacionarios o no.

### 5.5.1 Licencias del Recurso Orbital

Independientemente del país donde se está diseñando un sistema de comunicación satelital, en algún momento será necesario obtener, al menos, dos licencias o permisos:

- Un permiso de Recursos Orbitales: Este permiso es otorgado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, después de una cuidadosa revisión, porque se debe asegurar que el nuevo cuerpo en órbita no colisionará con otro.
- Una banda de frecuencia: el satélite necesitará una frecuencia para la dirección del enlace ascendente y otra frecuencia para el enlace descendente. En algunos casos, como el AztechSat-1, se utilizará la misma frecuencia en ambas direcciones, pero luego la comunicación será semidúplex para evitar interferencias. En la aplicación SpaceCap, las características de la comunicación de enlace ascendente y descendente (banda de frecuencia, ancho de banda del canal, frecuencia central, tipo de señal –analógica, digital– y más) se denominan “haces”. Y los “haces” se agrupan asociados con el espacio y las estaciones terrenas. Recuérdese que en inglés es “beam”.

La Organización de las Naciones Unidas tiene la Unión Internacional de Telecomunicaciones, y todos los países que forman parte de la ONU respetan las decisiones de la UIT. La UIT ha dividido y clasificado el espectro eléctrico de radio de tal manera que es un recurso que necesita un permiso específico para ser utilizado. La UIT no recibe solicitudes directas de países, empresas o personas. Cada país debe tener una entidad de telecomunicaciones que recibe la solicitud de dicho país y luego la administra a la UIT. En los Estados Unidos, esta entidad es la Comisión Federal de Comunicaciones y en México el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT).

### 5.5.2 Solicitud de Recurso Orbital

Para llenar el documento de Recursos Orbitales, el candidato debe conocer muchos parámetros sobre el satélite, entre ellos:

- Los patrones de radiación de las antenas de todo el sistema.
- El poder de transmisión y la sensibilidad de recepción.
- El ruido térmico.
- La marca y modelo del equipo de radio y sus patrones de radiación estándares provistos por la UIT.
- Las coordenadas geográficas de las estaciones terrenas.
- Las direcciones postales de las estaciones terrenas.
- El distintivo del radioaficionado(s) encargados de las estaciones terrenas.
- El ángulo de los planos orbitales y el número de planos orbitales relativos a un cuerpo de referencia. Por ejemplo, para el AztechSat-1 hay un solo plano orbital respecto al cuerpo de referencia que es el planeta tierra.
- Todas las características de los haces (beam) de subida y de bajada (Uplink, Downlink).

### 5.5.3 Uso del SpaceCap para generar la ITU API paso a paso

Después de investigar todos los parámetros técnicos necesarios para llenar la Solicitud de Recurso Orbital, debe descargar e instalar el software ITU SpaceCap. En el desarrollo de la API para el AztechSat-1, se observó que el software era inestable y después de muchos experimentos, se recomienda evitar instalarlos en Windows 7 y versiones anteriores. En Windows 10 se obtuvieron los mejores resultados. Las siguientes figuras muestran el paso principal para usar y capturar los datos adecuados en el software SpaceCap. Se asume que el software se usa en idioma inglés (es mejor así para evitar confusiones de traducción) y las figuras de este documento son capturas de pantalla reales.

Abra su aplicación SpaceCap debajo de “BR Space Applications” en el menú de Windows

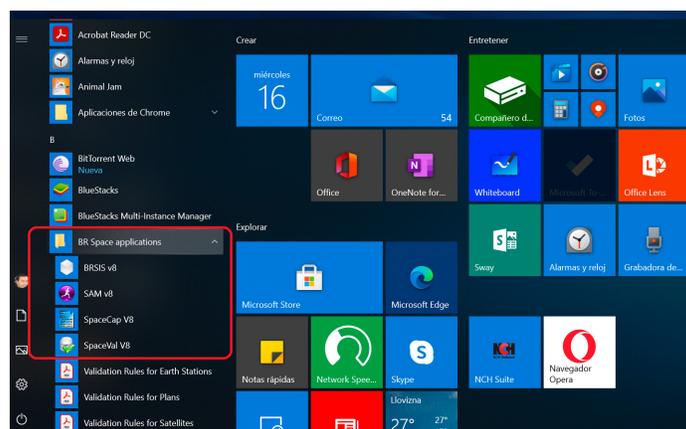


Figura 11: SpaceCap en el menu general de Windows

Seleccione la pestaña de nombre “API” en la parte superior de su interfaz y en la opción de “File” elija “New Database”

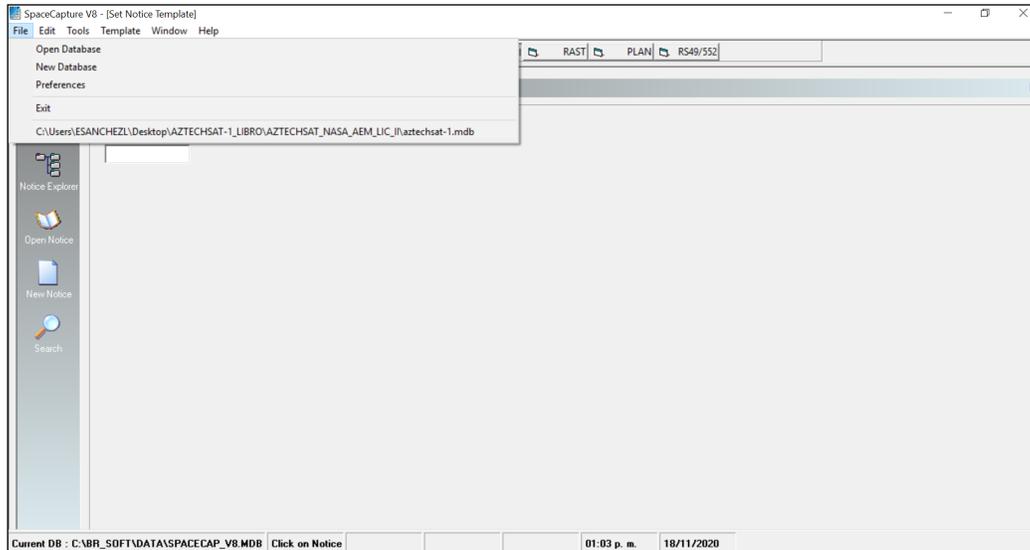


Figura 12: Interfaz del SpaceCap

Teclee un nombre apropiado para su ITU API, de preferencia un nombre que contenga el nombre del Proyecto de manera breve. Asegúrese de no escoger un nombre repetido que encime la ITU API a generar con una ya existente. Dé clic “Abrir” (Open).

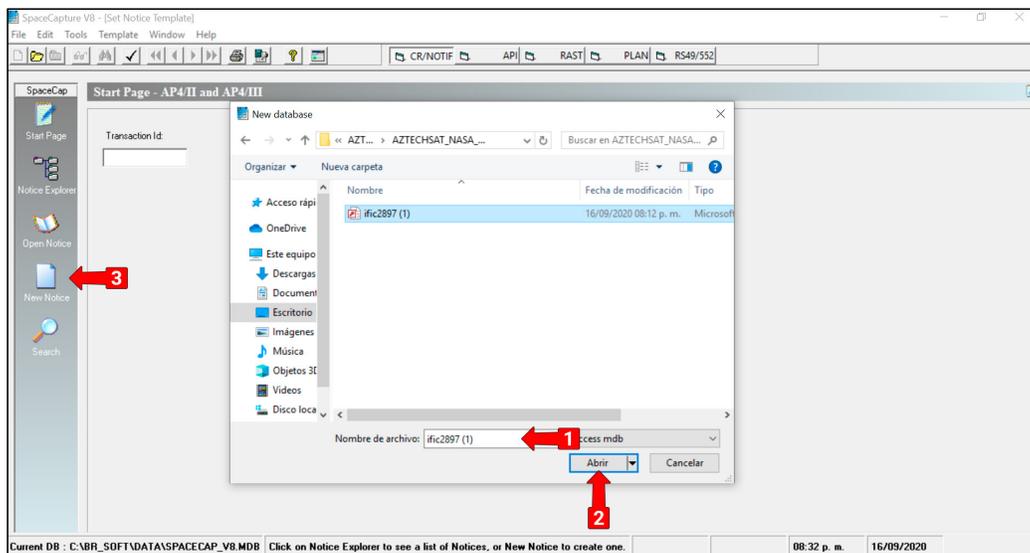


Figura 13: Selección de nombre para la ITU API

Enseguida dé click en “New Notice” y se desplegará una ventana titulada “Forms of Notice Advance Publication”. Elija “Notice” y llene los campos numerados de la Figura 14. Es importante que primero dé click en “Non Geo Stationary Network” porque eso activa las opciones correctas de las características. En la sección de “Notice intended for” elija la opción “Add”. En la ventanita numerada “A1a” escribe el nombre de su red satelital. Las secciones A4b3a y A4B3b solo se llenan si se opera en la banda de frecuencias de 3400-4200 MHz

Figura 14: Llenado de la pestaña “Notice”

En el paso numerado como 5 de la Figura 14 se debe teclear el nombre de la red satelital o del satélite cuidando que no esté repetido. Cuando es una red o satélite nuevo, no se asombre si obtiene un mensaje de error acerca del nombre inexistente, eso es normal en proyectos nuevos. El IFT y la SCT le ayudarán a registrar su nuevo satélite.

Proceda después a dar click en la sección A4b4 “Orbit Plane Information” que verá en color rosa. Una nueva ventana será mostrada para capturar ahí todos los datos de los planos orbitales (figura 15), tales como el ángulo de inclinación, duración del período orbital, apogeo, perigeo, etc. Apóyese, si es necesario, en los valores de ayuda que tiene la interfaz.

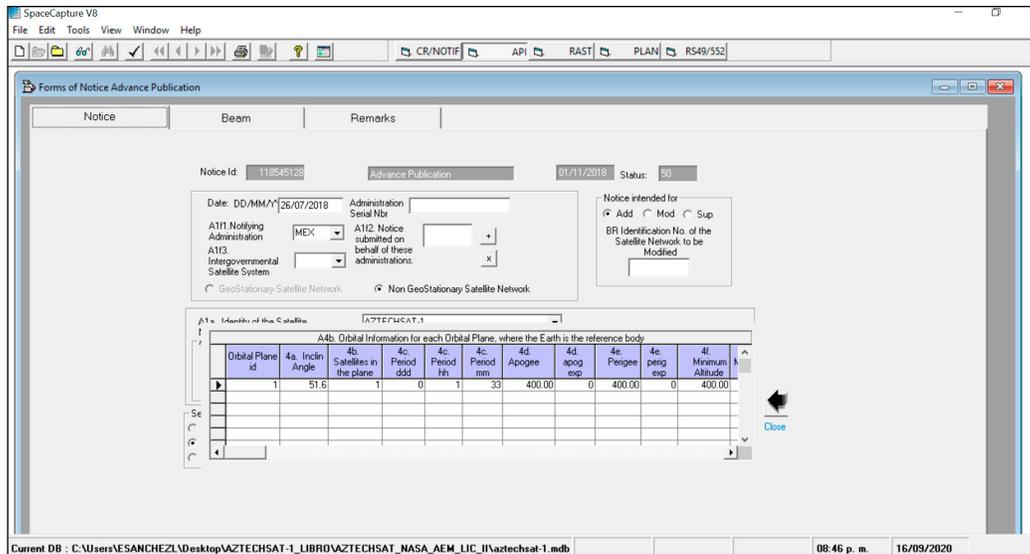


Figura 15: Captura de planos orbitales

Una vez capturados los datos de los planos orbitales, dé click en “Close” para regresar al menú principal (Figura 14).

En este punto cambiamos a la pestaña “Beam” (Figura 16) con la intención de capturar los datos de UPLINK. Haga conciencia de que en el flujo de datos “hacia arriba” intervienen las antenas de la estación terrena y del satélite, se manejan una frecuencia, una potencia del radio de la estación terrena hacia el satélite y el satélite recibe con una antena de un radio a una cierta potencia que no es necesariamente la misma que la de “bajada” del satélite hacia la estación terrena. Asegúrese (si es el caso) de elegir la opción “The current beams operates with all satellites in all orbits” de la sección B4a. La sección “Orbit Link” no la elija cuando todos los satélites usan las mismas frecuencias.

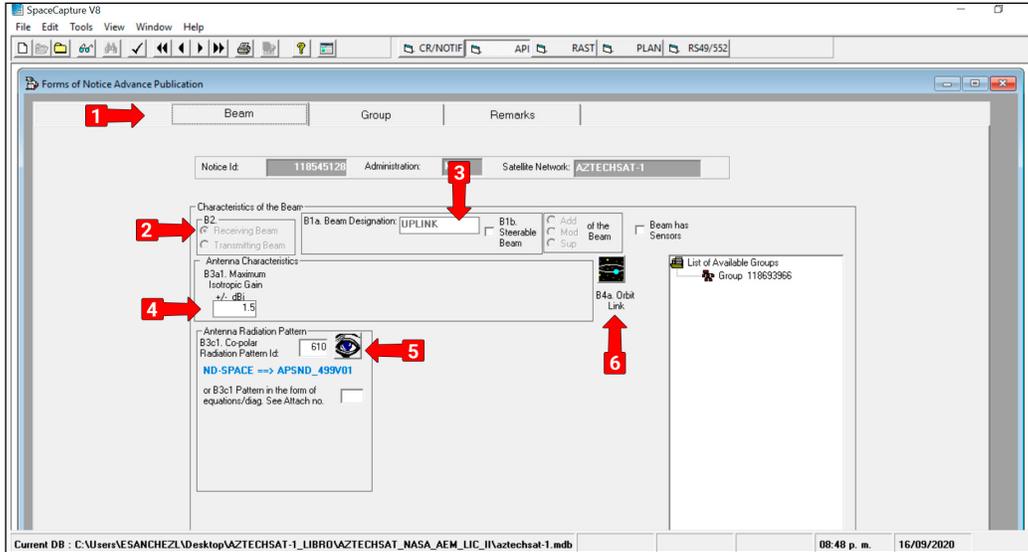


Figura 16: Captura de parámetros del “Beam”

Manteniéndose en la pestaña “Group” asegúrese de dar click en “Characteristics Common to a Group of Frequencies” y capture los datos como se muestra en la Figura 17. Sea cuidadoso con las secciones C4a y C4b “Class of Station and Nature of Service” al seleccionar su país, pues a veces marca error sin razón aparente.

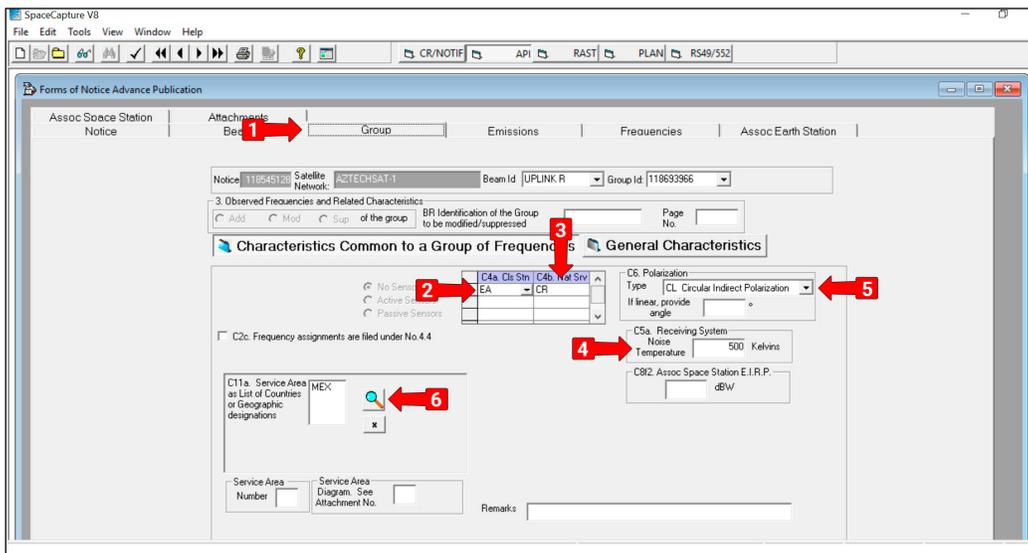


Figura 17: “Characteristics Common to a Group of Frequencies”

Manteniéndose en la pestaña de “Group” Seleccione ahora la opción “General Characteristics” y capture los valores A2b, A3a and A3b. Si su satélite o red satelital es nueva, deberá ponerse en contacto con el IFT para llenar estos datos. En el caso del AztechSat-1 se tuvo que elegir el valor 999 para A3a y el valor “Comisión Federal de Telecomunicaciones” para el A3b, lo cual

es un valor de relleno pues no importa. Al elegir el valor A3a como 999 (Other), se debe llenar un formato en papel externo a la ITU API que el IFT y la SCT envían a la ITU para dar a conocer quién será la Administración Responsable. Al terminar de capturar así esta sección, con el valor de 999 se obtendrá un mensaje de advertencia que debe ser ignorado.

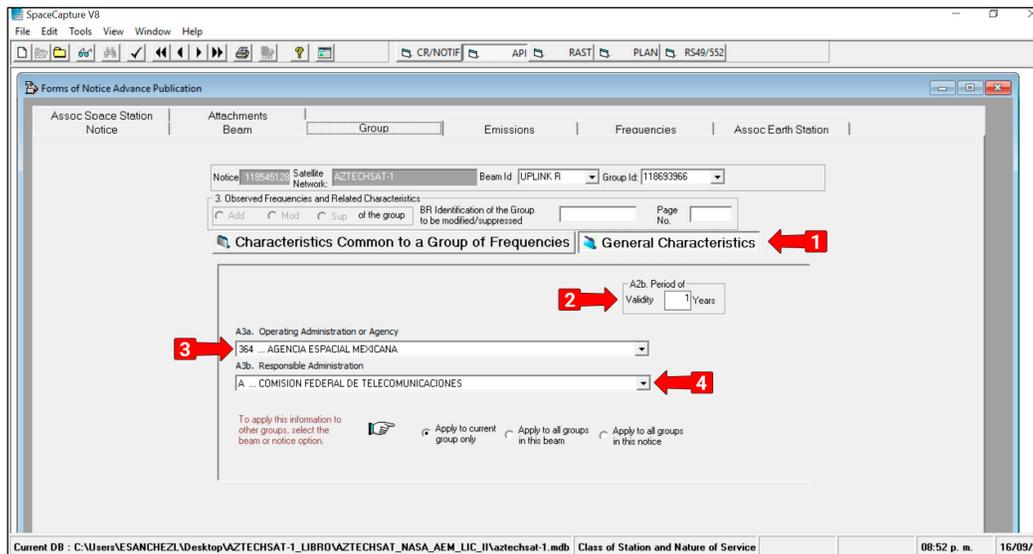


Figura 18: Captura de datos en “General Characteristics”

Enseguida dé click en la opción “Frequencies” y capture sus frecuencias de UPLINK. Recuerde que más tarde tendrá que repetir todos estos pasos para su “beam” de DOWNLINK. Un comentario importante aquí es que capturar una frecuencia, no importa cuál, es un acto de fe dado que aún no se tienen las licencias de esas frecuencias. El rango de frecuencias que se capturen debe estar de acuerdo al CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) y no se requiere que se especifique la banda del canal, sino de la banda completa.

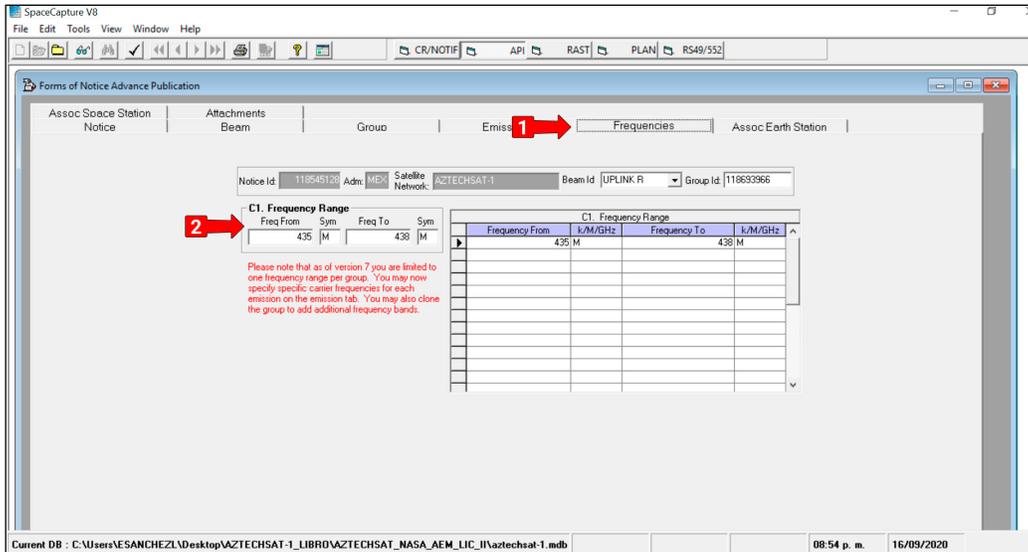


Figura 19: Captura de “Frequencies”

Ahora cámbiese a la pestaña “Emissions” en donde debe proveer el código de emisiones que se elabora según lo descrito en este documento en la sección 5.4.2 (Figura 20).

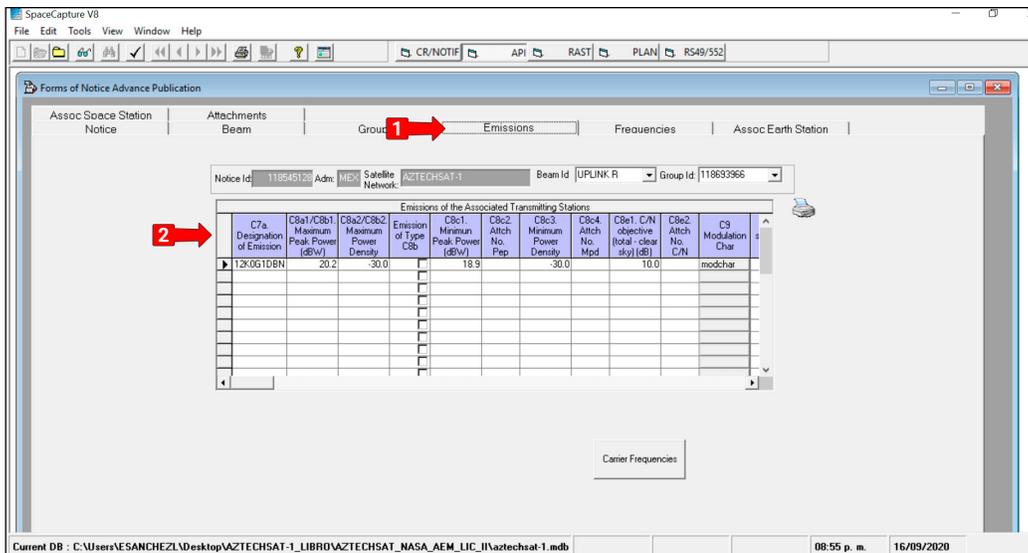


Figura 20: Captura de “Emissions”

Para cada código de emisión debe dar click en el botón de “Carrier Frequency” (Figura 21). Si está usando solamente una frecuencia, dele click a la opción “Apply these characteristics to all emissions in this group”. Recuerde que al momento de solicitar la licencia tal vez no se sepa qué canal específico será concedido, así que provea la frecuencia central de la banda completa de acuerdo con el CNAF.

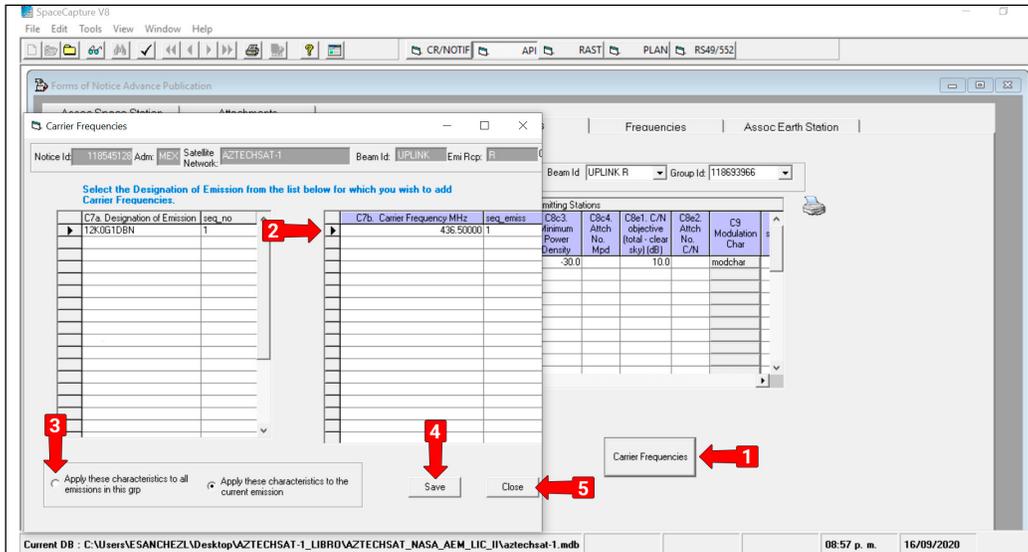


Figura 21: Captura de “Carrier frequency”

Finalmente, de click a la opción “Associated Earth Station” (Figura 22) y elija “Type of Station” into a “Typical”. Capture el nombre de su Proyecto en la opción C10b1 “Associated Earth Station Name” y Seleccione “Class of Station and Class of Service” en “C10c2 Country”. Apóyese en las opciones disponibles de la lista desplegable.

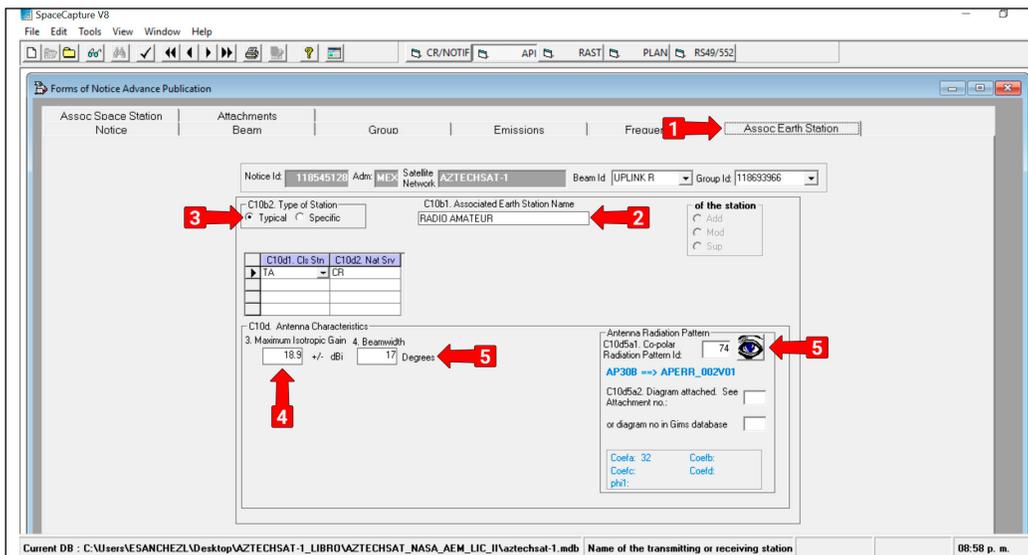


Figura 22: Captura de “Associated”

Hasta este punto, se ha logrado capturar todos los datos necesarios para el haz (beam) de UPLINK. Ahora hay que crear el haz de DOWNLINK como se muestra en la Figura 23. Repita los pasos del haz de UPLINK usando de la misma manera y en el mismo orden las pestañas

de “Group”, “Frequencies”, “Emissions” and “Associated Earth Station”. La única diferencia que va a encontrarse será que en la pestaña de “Group” no aparecerá la opción de ruido térmico, en su lugar aparecerá en C10d “Antenna Characteristics”

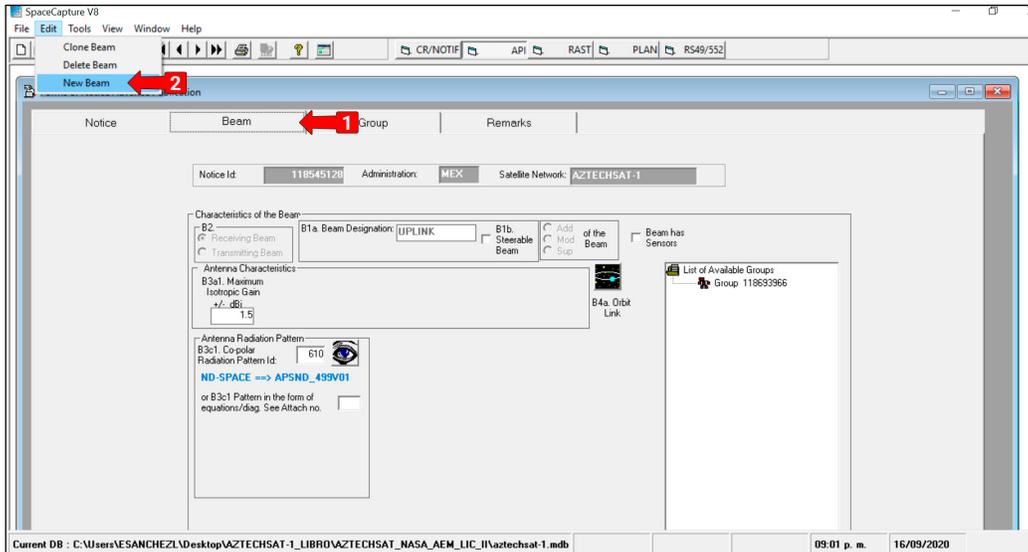


Figura 23: Creación de Nuevo haz

#### 5.5.4 Uso de SpaceVal desde Spacecap

La UIT cuenta con el software Spaceval cuyo propósito es verificar todos los parámetros que conforman la ITU API. Spaceval recorre la base de datos comprobando que todos los datos indispensables para dar un permiso de un satélite estén presentes y, además, que sus valores o magnitudes estén dentro de un rango válido. Recuerde que en este manual se indicó instalar el Spaceval como parte del paquete de software denominado “BR Space Applications”. Si el Spaceval no está instalado, instálelo ahora. También instale el software SpaceRefDB. Siempre que instale algún módulo de las BR Space Applications, debe instalar el SpaceRefDB al final.

Para verificar que la ITU API está correcta, dé click en la opción “Tools” y elija la opción “Verify Data”. Otra manera de hacer lo mismo es ir a la opción “Notice Explorer”, seleccionar la actual “Notice” y dar click a la opción “SpaceVal” ubicada a la derecha de la interfaz (Figuras 25 y 26)..

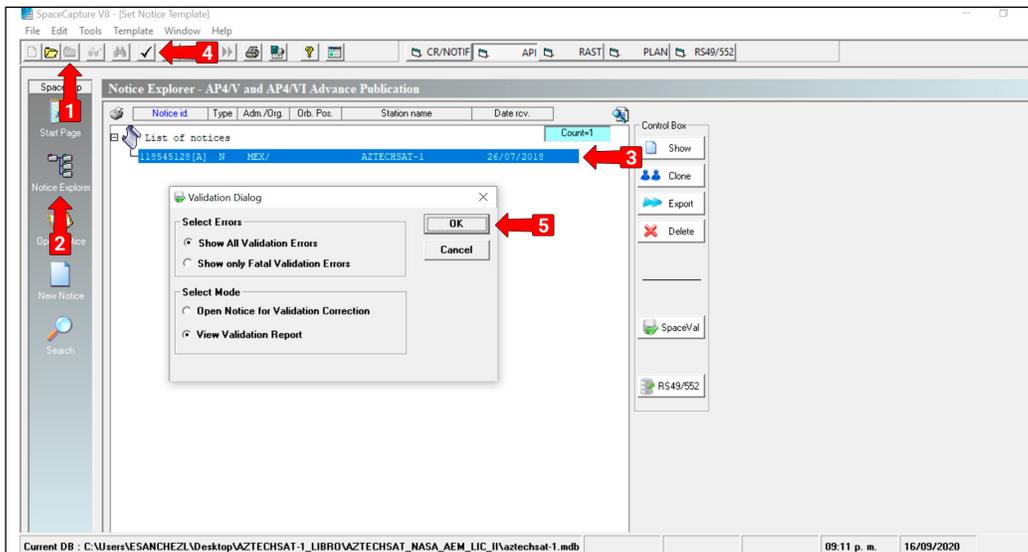


Figura 24: Validación de la ITU API

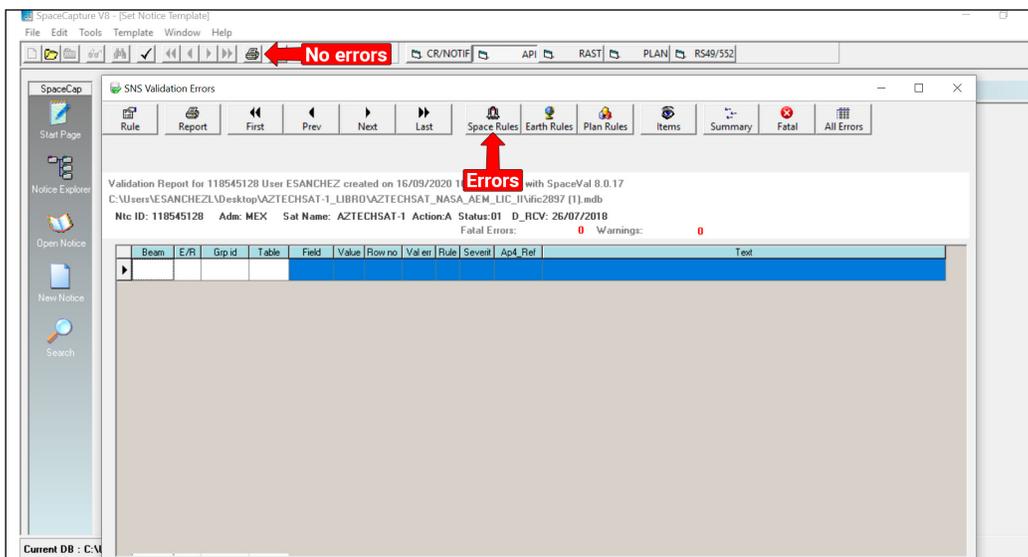


Figura 26: Ventana de errores

El IFT y la IARU van a requerir que su ITU API esté libre de errores. Posiblemente existan “warnings” pero no errores. El proceso de ir eliminando los errores consiste en ajustar los valores capturado a los valores más próximos aceptados por la interfaz del SpaceCap, siempre y cuando no sean valores inválidos para su misión. También es útil darle click al ícono de “Space Rules” para consultar el significado del parámetro erróneo y los valores esperados o permitidos por la UIT (Figura 26).

### 5.5.6 Uso de SpacePub desde SpaceCap

Una vez que haya logrado que su ITU API tenga cero errores, vale la pena crear un archivo que

contenga todos los parámetros de su satélite. Para lograrlo, se usa el software SpacePub de la UIT. Vaya a la opción “Print Notice”, la cual ejecuta SpacePub desde el Spacecap. Si no ha instalado SpacePub, hágalo ahora y También instale, como último paso, el SpaceRefDB. Si su API ya no tiene errores, podrá publicar en un archive los valores de su ITU API (Figura 27).

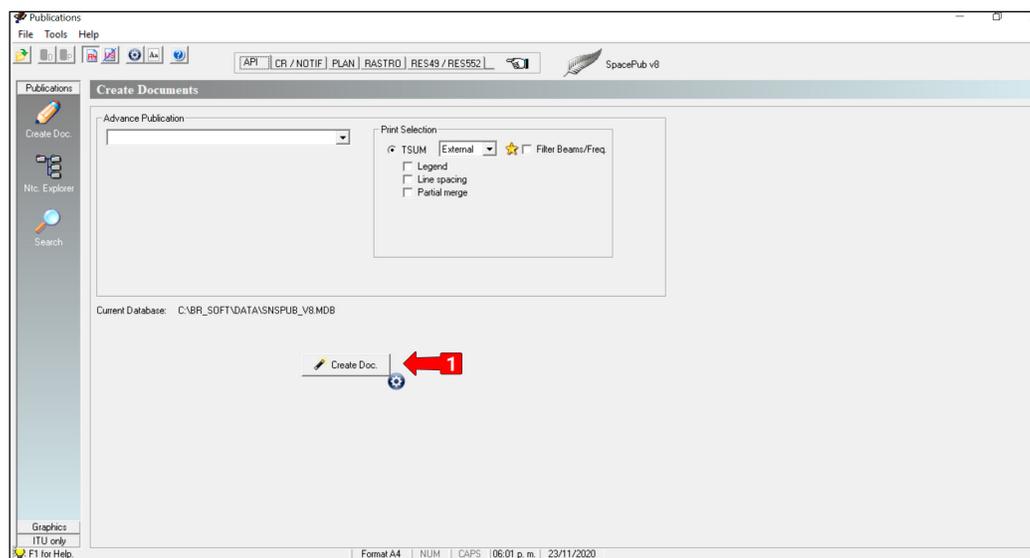


Figura 27: Uso de SpacePub desde Spacecap

## 5.6 Procesos principales de permisos y licencias

En este último apartado se describen, de manera general, los procesos principales a tomarse en cuenta en un proyecto que involucre la obtención de licencias y permisos de un nanosatélite. Este apartado es valioso en cuanto al contexto de la legislación nacional en México y los requisitos internacionales ante instancias como la IARU y la UIT. Al momento de redactar este trabajo, la Agencia Espacial Mexicana, con base a las necesidades del proyecto Aztech-Sat-1 y otros proyectos de nanosatélites están elaborando una propuesta de legislación para simplificar y agilizar la obtención de permisos y licencias en el ámbito nacional, que se espera incentive la ciencia y tecnología aeroespacial mediante el uso de nanosatélites. Es de esperarse entonces que este apartado sufra modificaciones en el futuro, cuando la legislación cambie, para lo cual es posible que trascurren algunos años pues debe turnarse al Congreso de la Unión, aprobarse, publicarse y aplicarse. También es importante resaltar que las descripciones de este apartado están basadas en las experiencias reales del proyecto AztechSat-1, deseando que sirvan como referencia y guía para proyectos similares de nanosatélites, sobre todo en el licenciamiento internacional que se espera permanezca sin cambios significativo en los próximos años.

### 5.6.1 Diagrama general de licencias y permisos

Un proyecto de diseño y construcción de un nanosatélite debe incluir la planeación cuidadosa de la obtención de todos sus permisos, licencias y certificaciones.

El punto de partida de un proyecto satelital es su misión. La misión es la razón de ser de todo el proyecto y detona la planeación que incluye los recursos de tiempo, humanos y materiales. Dependiendo de la misión, el satélite, como medio obvio de telecomunicaciones, necesitará usar bandas de frecuencia del espectro radio eléctrico, las cuales se dividen, de manera general en dos tipos que son las comerciales y las de radioaficionados.

Dado que los nanosatélites se consideran el medio más barato y completo para acceder a la ciencia y tecnología aeroespaciales, su uso en proyectos académicos y de investigación es natural. Y en ese hilo de razonamiento el tipo de bandas de frecuencia pueden ser de baja frecuencia para proyectos con requerimientos de transmisión limitada de datos hasta proyectos de observación de la tierra donde se desea transmitir imágenes y/o video con requerimientos de anchos de banda altos en frecuencias altas. En ambos casos, la selección de bandas de radioaficionados para uso satelital puede satisfacer las necesidades del proyecto, con la ventaja de que los procesos nacionales e internacionales, en general, requieren menos tiempo y son más baratos.

El diagrama siguiente contempla el uso de ambos tipos de bandas de frecuencia (Figura 5.6.1.1).

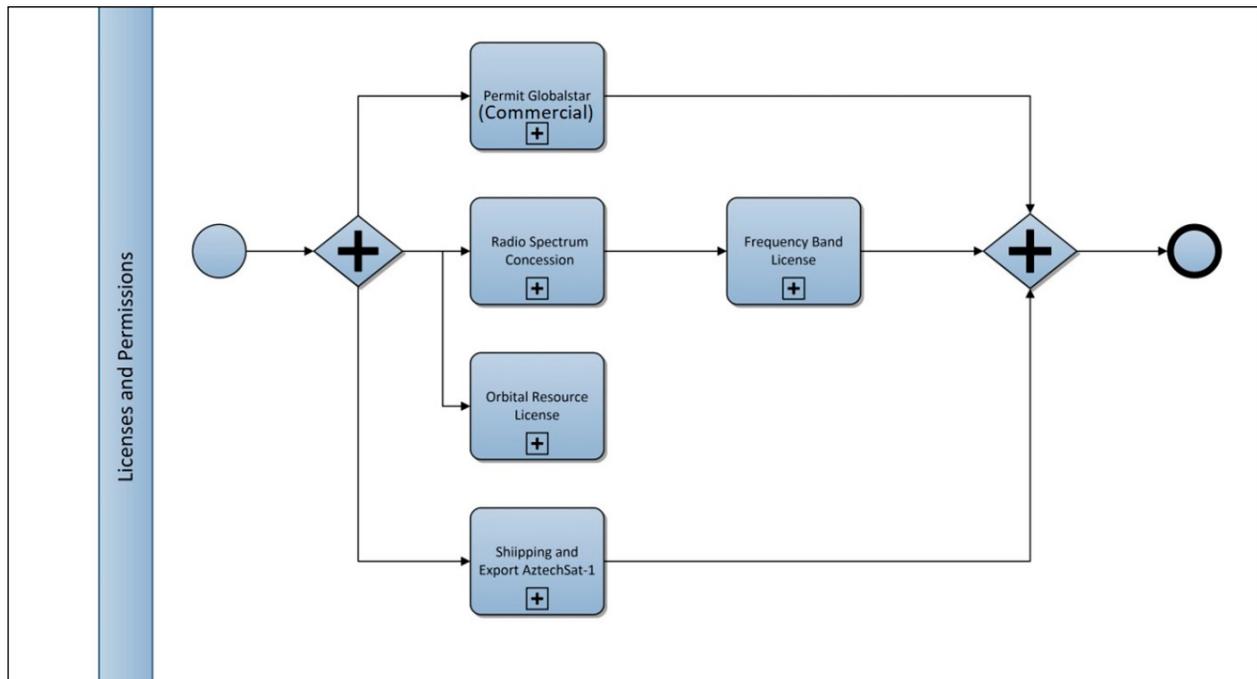


Figura 5.6.1.1: Diagrama general de licenciamiento de nanosatélites

### 5.6.2 Licencias de bandas de frecuencia comercial

En el diagrama se muestra el primer bloque de licenciamiento que es el comercial. Para el caso del AztechSat-1 se trabajó con frecuencias de la empresa de servicios satelitales Globalstar, con la ventaja de que sus frecuencias ya estaban licenciadas y bastó obtener una carta de su corporativo, avalando que la Federal Communications Commission de Estados Unidos les había concesionado dichas frecuencias.

La recomendación en el caso de que el proyecto de nanosatélite desee usar bandas comerciales, es seguir el proceso descrito más adelante para la obtención de la Licencia del Recurso Orbital, buscando la asesoría de las siguientes áreas en el Instituto Federal de Telecomunicaciones:

**Unidad de Espectro Radioeléctrico:** Específicamente a la Unidad de Análisis Regulatorio, para determinar los aspectos técnicos funcionales que serán solicitados, a su vez, por la Unidad de Concesiones y Servicios (Figura 5.6.1.2).

**Unidad de Concesiones y Servicios:** Para determinar el tipo, alcance, requisitos generales, documentación, costos (Figura 5.6.1.3).

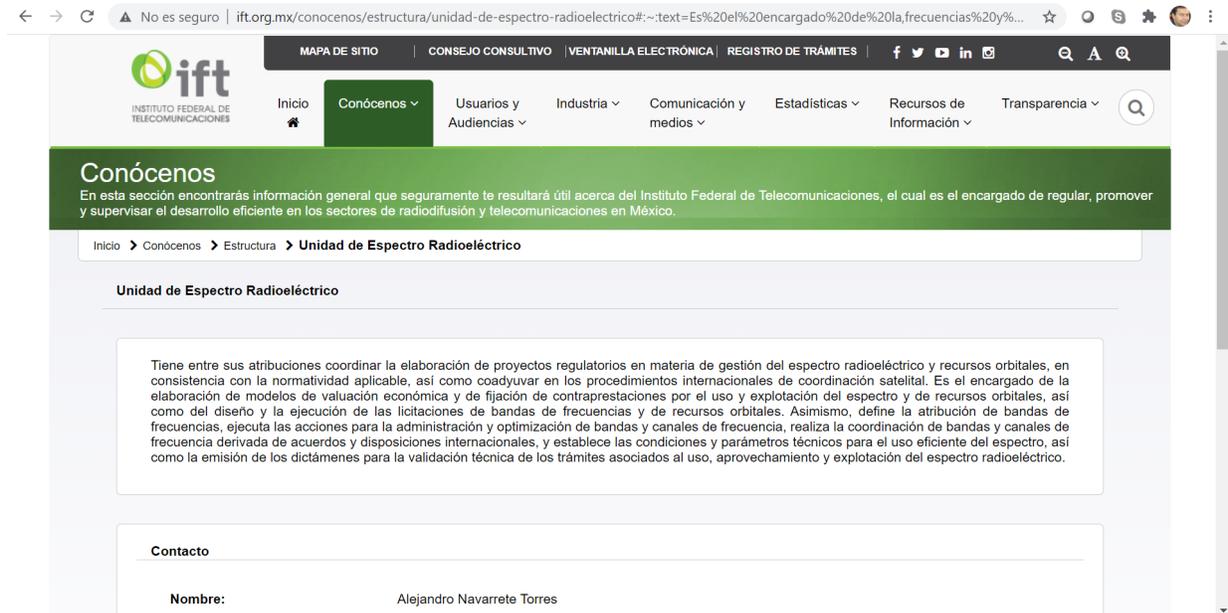


Figura 5.6.1.2: Unidad de Espectro Radioeléctrico IFT

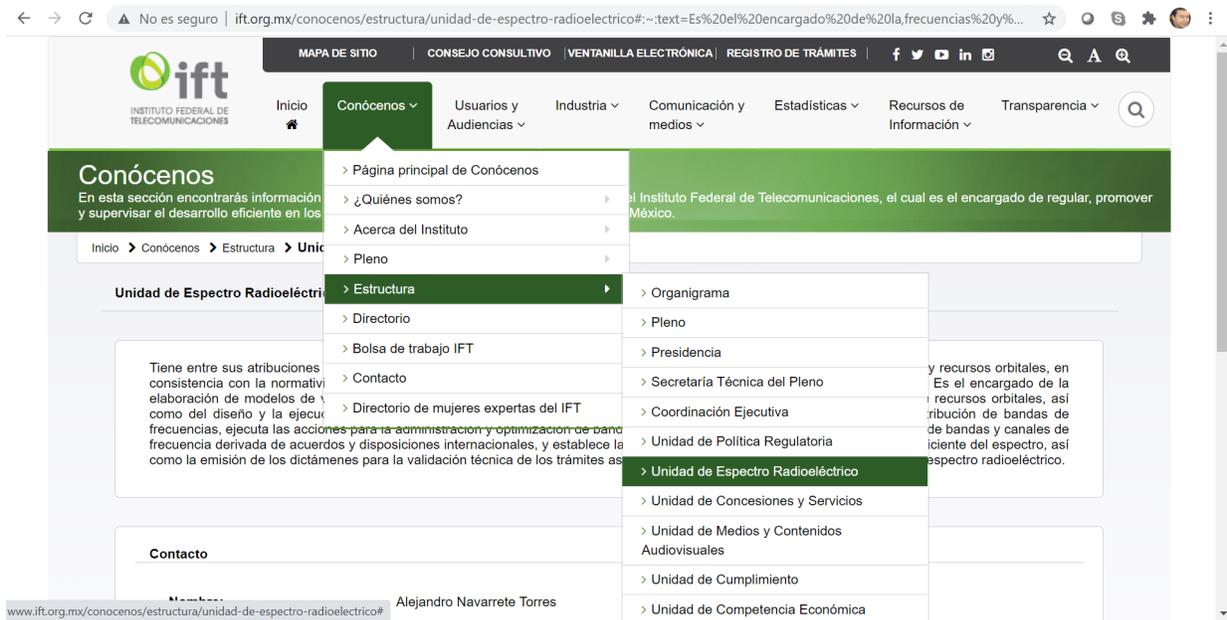


Figura 5.6.1.3: Unidades de Espectro Radioeléctrico y Concesiones y Servicios

Es de vital importancia concertar una cita con el personal experto de ambas unidades del IFT, ya que continuamente asisten a reuniones de comisiones de regulación internacional que pueden tener impacto en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias que, aunque no estén publicadas, pueden influir en un proyecto en el mediano o largo plazo. Por ejemplo, en el caso del AztechSat-1, originalmente se pensaba usar un canal en la banda de los 140-144 MHz de radioaficionados, la cual ya estaba cerrada por la IARU (Figura 5.6.1.4).

IARU most strongly recommends that satellite builders asking for coordination make sure that their mission fits the definitions of the amateur services.

**RR 1.56** *amateur service: A radiocommunication service for the purpose of self-training, intercommunication and technical investigations carried out by amateurs, that is, by duly authorized persons interested in radio technique solely with a personal aim and without pecuniary interest.*

**RR 1.57** *amateur-satellite service: A radiocommunication service using space stations on earth satellites for the same purposes as those of the amateur service.*

Satellite projects not conforming to these definitions may be returned for reconsideration with a recommendation to look for frequencies allocated to radiocommunication services fitting their mission requirements. Builders are also urged to support work on [ITU Resolution 757](#) in ITU-R Working Party 7B.

Beginning 1 July 2014, IARU will no longer be able to accept frequency coordination requests for experimental stations in the two-metre band.

Figura 5.6.1.4: Banda 2 metros cerrada por IARU

### 5.6.3 Licencia de radioaficionados

La licencia de radioaficionados, para un proyecto de nanosatélite que desea usar bandas amateurs, es necesaria para obtener las demás licencias, por lo cual debe iniciarse su obtención prácticamente en paralelo con el inicio del proyecto. Los pasos principales para la obtención de la licencia de radioaficionado se muestran en la Figura 5.6.1.5.

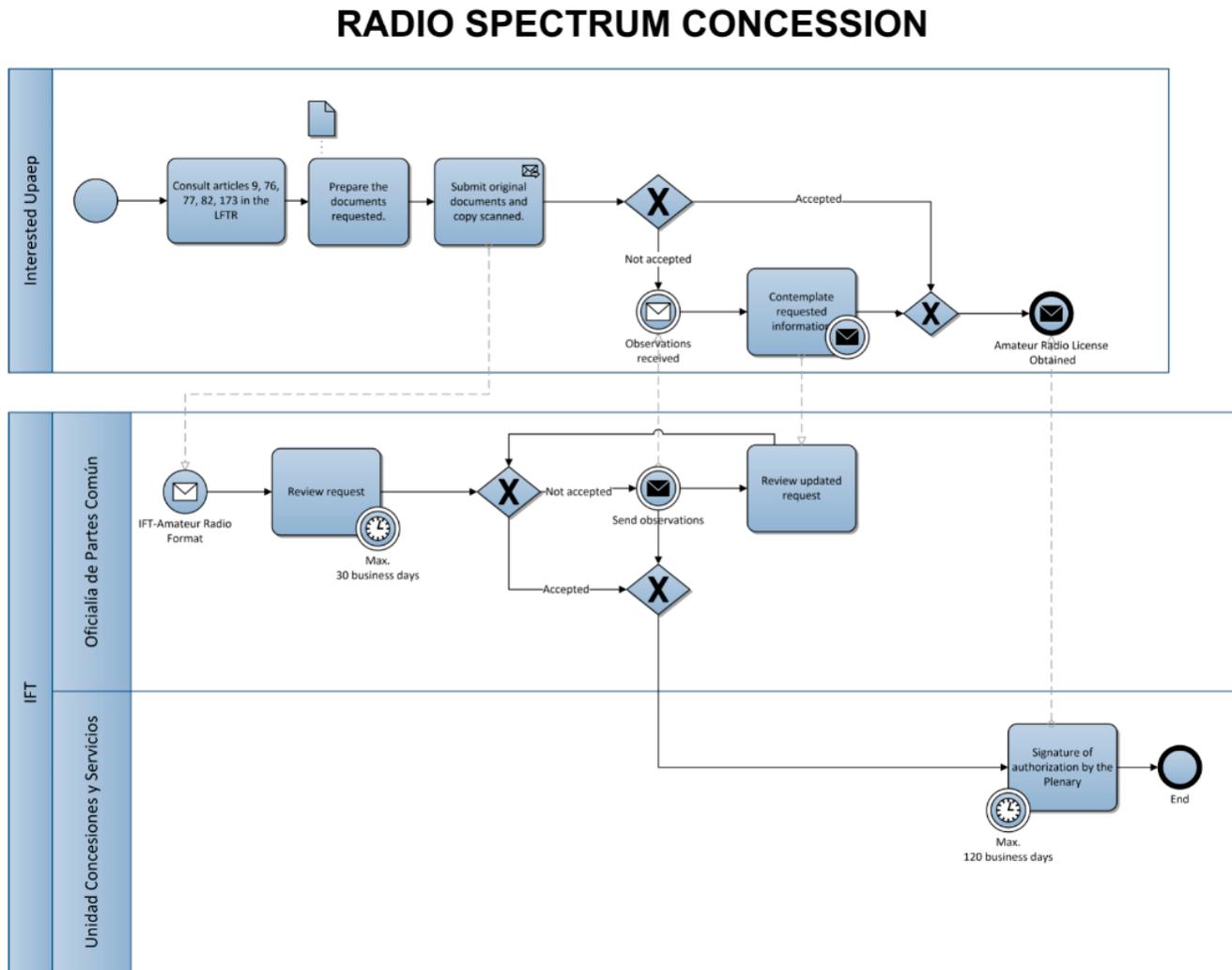


Figura 5.6.1.5: Proceso para licencia de radioaficionado

La licencia de radioaficionado inicia consultando los artículos 9,76,77,82 y 173 de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, la cual estipula qué documentos y conocimientos debe reunir una persona para tramitar la licencia. Luego se obtiene el “Formato IFT – Concesión Radioaficionados” con una búsqueda en google.

**FORMATO IFT - CONCESIÓN RADIOAFICIONADOS**

**FORMATO PARA SOLICITAR CONCESIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA USO PRIVADO  
CON PROPÓSITOS DE RADIOAFICIONADOS**

**Titular de la Unidad de Concesiones y Servicios:**  
De conformidad con la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión y los Lineamientos Generales para el otorgamiento de las concesiones a que se refiere el Título Cuarto de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, vengo a solicitar el otorgamiento de una Concesión de Espectro Radioeléctrico para Uso Privado con propósitos de radioaficionados, conforme a lo siguiente:

**I. DATOS GENERALES DEL INTERESADO**

I.1. Nombre:

Calle:

**Figura 5.6.1.6: Formato IFT – Concesión Radioaficionados**

Para llenar el formato, se debe ya tener, entre otros requisitos, los siguientes:

- Un equipo de radio comunicación operando en una estación terrena fija o móvil y se debe proveer marca, modelo, frecuencias del mismo.
- Haber aprobado un curso teórico o práctico (por ejemplo, se recomienda el de la Federación Mexicana de Radio Experimentadores) y se debe entregar una copia del certificado o curso.
- Solicitar el formato de pago, pagar y solicitar factura si es necesario. La factura es personal, no para una institución.
- Las cartas de capacidad técnica (Curso de FMRE o Kárdex que demuestre haber tomado un curso de dominio del espectro radioeléctrico) y capacidad administrativa (carta de la institución del proyecto de nanosatélite).

Una vez reunidos los requisitos, se deben foliar todos los documentos, obtener original y copia, además digitalizarlos y almacenarlos en un USB o CDROM, presentarlos en la Oficialía de Partes Común en la Ciudad de México. El IFT tendrá 30 días hábiles para revisar la documentación y contactar al candidato para que entregue documentación faltante. Una vez entregada, el IFT emitirá su concesión en un periodo hasta de 120 días hábiles.

Tome en cuenta que, si el proyecto inicia desde cero, aparte de los 150 días hábiles del trámite en el IFT, la posible adquisición del equipo de radio comunicación (4 a 6 semanas si es de importación), más el tiempo del curso de capacitación y la instalación podrían sumar casi un año. Y también es crucial tomar en cuenta que el IFT y la IARU van a requerir que la persona

demuestre tener una relación directa con la institución dueña del satélite para el cual se están concesionando o coordinando las frecuencias de radioaficionado.

### 5.6.4 Licencia de Recurso Orbital

La Licencia de Recurso Orbital es una licencia que incluye dos permisos: El permiso del uso de un plano orbital para el satélite y, dos, el permiso del uso de todas las bandas de frecuencia asociadas a ese plano orbital.

En la vida real existen países, como la India, que han lanzado satélites y han usado frecuencias de radioaficionados sin haber obtenido primero los permisos correspondientes ante IARU, por ejemplo. Esto parece ser permitido por las legislaciones locales en esos países y por las empresas lanzadoras. Para el caso de proyectos con la NASA, es indispensable y mandatorio cumplir con todas las regulaciones nacionales, dado que la NASA solamente firma acuerdos de colaboración con gobiernos y/o sus dependencias oficiales y en esos acuerdos se pone como requisito el estricto apego a la ley.

El proceso de la obtención de la Licencia o Concesión de Recurso Orbital se muestra en la Figura 5.6.1.7.

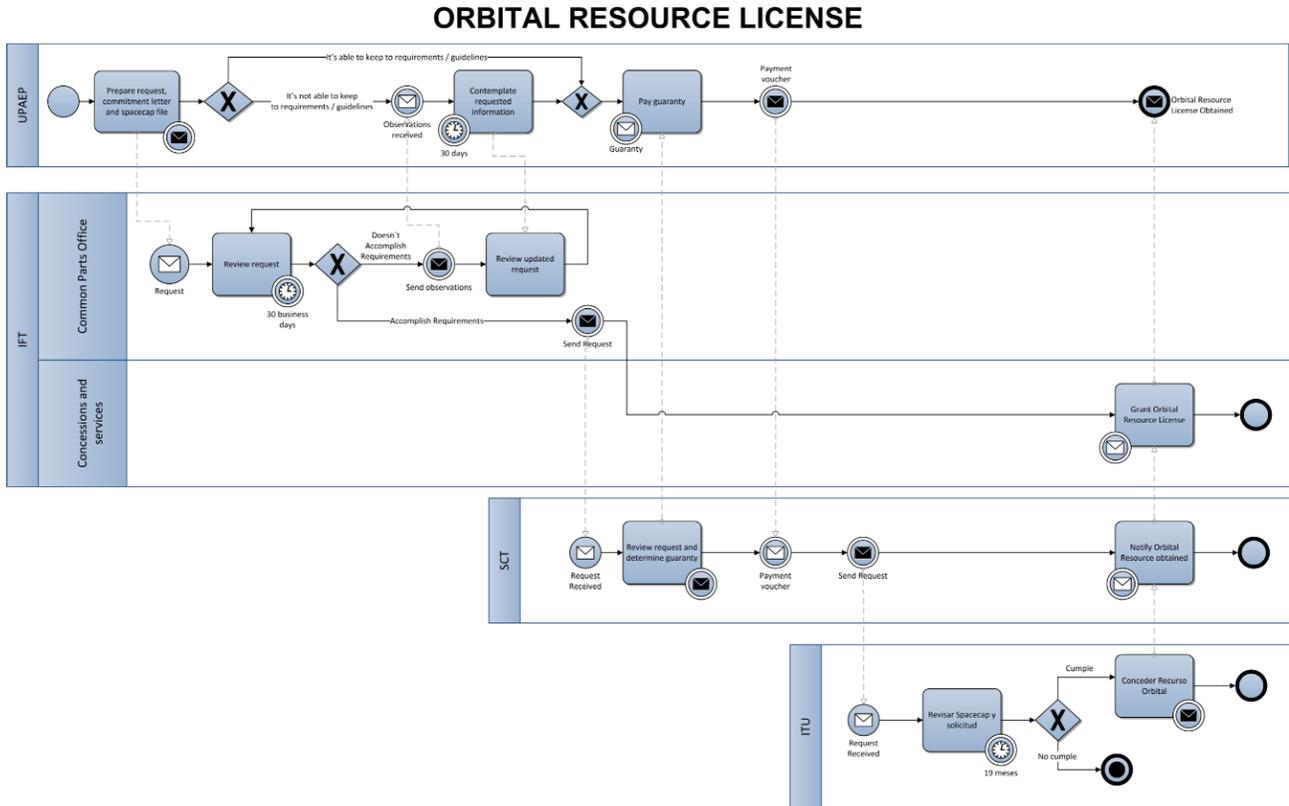


Figura 5.6.1.7: Licencia de Recurso Orbital

El primer paso es elaborar una solicitud que cubra todos los requisitos de los artículos 96 y 97 de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTR), que incluye los siguientes puntos:

Encabezado que contiene la mención de los artículos 96 y 97, la lista de personas miembros de la institución autorizados a recibir y entregar información y notificaciones ante el IFT, nombre de la entidad administrativa responsable del satélite (Figura 5.6.1.8).

**U UPAEP** **Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, A.C**

H. Puebla de Zaragoza, 8 de mayo del 2018.

INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES  
 UNIDAD DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO  
 DIRECCIÓN GENERAL DE ANÁLISIS REGULATORIO Y RECURSOS ORBITALES  
 Insurgentes Sur 1143, Colonia Nochebuena, Deleg. Benito Juárez,  
 Ciudad de México, C.P. 03720.

PRESENTE

ASUNTO: Solicitud "Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, A.C."

RECEBIDO  
 022120  
 con anexos  
 1/23

El que suscribe **MTRO. FRANCISCO FERNANDO EUGENIO URRUTIA ALBISUA**, en mi calidad de Representante Legal de la "Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, A.C." (UPAEP) y señalando como domicilio para oír y recibir todo tipo de notificaciones el ubicado en Calle 21 sur, número 1103, Barrio de Santiago, C.P. 72410, Puebla, Puebla; por medio del presente escrito y con fundamento en los artículos 96 y 97, demás relativos y aplicables de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 14 de julio de 2014, vengo a solicitar que el Gobierno Federal obtenga los recursos orbitales a favor del Estado Mexicano por medio de este escrito en alcance al escrito entregado el día 23 de marzo de 2018 en la Oficialía de Partes Común del IFT. Asimismo solicitar que la Administración Operadora o Agencia sea la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla A.C. Asimismo autorizo para recibir y oír

Figura 5.6.1.8: Encabezado Solicitud Recurso Orbital

Posteriormente, se deben proveer los siguientes datos, que son los parámetros funcionales del proyecto del nanosatélite:

- Inciso I: Carta de Manifestación de Interés y Proyecto de Inversión, consisten en una carta de formato libre en donde la Institución manifiesta su interés de la concesión de recurso orbital para el Estado Mexicano. Y el Proyecto de Inversión deben ser los documentos legales y/o financieros que demuestren la factibilidad del proyecto.
- Inciso II: Información Técnica que incluye
  - a. Banda de frecuencia, si es Geoestacionario o no y la Polarización de la Señal;
  - b. Cobertura Geográfica;
  - c. Descripción de la Órbita – Planos orbitales, Código del Cuerpo de Referencia, Inclination, Periodo Orbital, Apogeo, Perigeo, Ángulo de Fase inicial, Carácter, Tipo de Órbita, Tamaño del Satélite;
  - d. Información adicional.
- Inciso III: Tipo de servicios a ofrecer.
- Inciso IV: Descripción de la documentación que acredite la capacidad Técnica, Jurídica y Financiera del proyecto, que pueden ser:
  - ▶ El acta constitutiva de la Institución,
  - ▶ El convenio del proyecto NASA-AEM
  - ▶ Las cédulas profesionales de miembros técnicos del proyecto.
- Inciso V: Carta compromiso de la Institución para participar y coadyuvar con el Gobierno Federal en todos los trámites y requisitos ante la UIT para obtener el registro a favor del país de los recursos orbitales.
- Con base al artículo 11 fracción III del Título 4 de la LFTR se deben listar los parámetros funcionales contenidas en la API, tales como:
  - ▶ Nombre, dirección y ubicación geográfica de la estación terrena
  - ▶ Marca, modelo, tipo de antena, potencia, ganancia, ruido térmico del equipo de radio comunicación; códigos de emisión, PIRE.

El paquete de la Solicitud de Recurso Orbital debe contener la Solicitud, la Compromiso, todos los documentos probatorios mencionados en la solicitud, todo foliado en original (copias notariadas), en original y copia. Además, se debe escanear todo y entregarlo en USB o CDRom en la Oficialía de Partes Común incluyendo la ITU API.

Una vez entregado, el IFT tendrá hasta 30 días hábiles para solicitar información adicional. Si la solicitud está completa, el IFT la turna a la SCT la cual revisará el paquete y determinará el monto y pago de una fianza.

Una vez pagada la fianza, la SCT gestionará el registro ante la UIT, la cual podrá tardarse hasta 2 años en realizar la coordinación o concesión hacia la SCT.

La SCT informará al IFT quien, a su vez, a través de la Unidad de Concesiones y Servicios entregará la concesión a la Institución.

### 5.6.5 Licencia de bandas de radioaficionados IARU

La licencia de bandas de frecuencia de radioaficionados se tramita ante la IARU. La IARU le llama al proceso “coordinación” y, una vez obtenida, se informa a la UIT a través del IFT.

Una decisión crucial de planeación consiste en realizar en paralelo el trámite de la Licencia de Recurso Orbital y la Licencia de banda de radioaficionados con la IARU, una vez conseguidos dos elementos: La licencia de radioaficionados y el ITU API. A partir de ahí se debe seguir el proceso mostrado en la Figura 5.6.1.9.

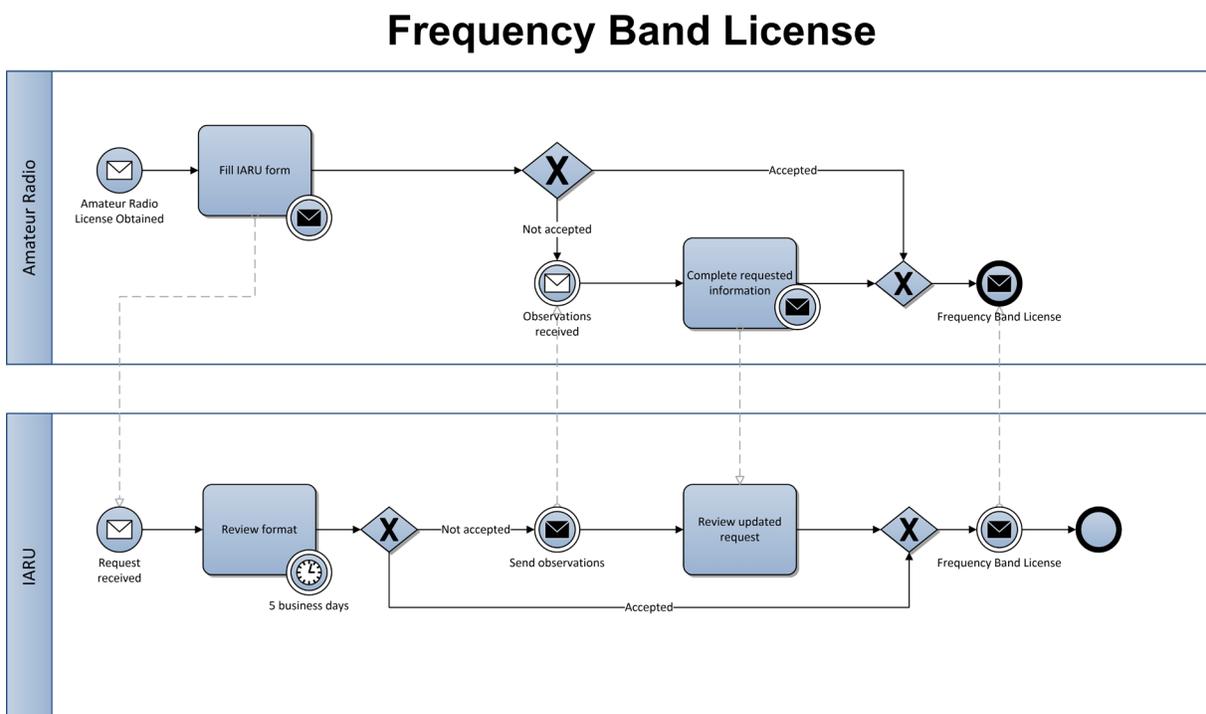


Figura 5.6.1.9: Proceso de Licencia bandas de radioaficionados IARU

Una vez obtenidas la ITU API y la licencia de radioaficionados, se deben leer cuidadosamente los documentos y materiales disponibles en la página de la IARU:

<https://www.iaru.org/reference/satellites/>

La IARU cuenta con un grupo de expertos denominado Panel de Coordinación encabezados por el presidente de la IARU, al momento de escribir este trabajo Hans Blondeel Timmerman, quien además asesora y provee información clave para el proceso. Se recomienda fuertemen-

te contactarlo por correo electrónico (su dirección está en la liga ya mencionada) y mantener con Él una relación cordial. Todos los documentos deben enviarse a la dirección [satcoord@iaru.org](mailto:satcoord@iaru.org), se recomienda en todo momento enviar copia a la dirección del Presidente de IARU.

La Solicitud completa debe incluir los siguientes documentos:

- Solicitud en pdf cuyo nombre debe ser al nombre del Satélite o proyecto y la fecha de su elaboración separados por un guion bajo. Por ejemplo, para el AztechSat-1 se elaboró el 20 de abril de 2019, por lo tanto, el nombre del archivo pdf con la solicitud fue AztechSat-1\_190420.pdf. La solicitud debe ser la última versión disponible en la página de IARU, para el caso del AztechSat-1 fue la versión 40. La solicitud está dividida en nueve secciones, cada una con incisos. En las Figuras 5.6.1.10 y posteriores se proveen capturas de pantalla de las secciones más importantes. Observe que en el encabezado de la solicitud misma se provee la liga con las instrucciones principales para su llenado.
- Archivo de Excel AMSAT-IARU para el cálculo del “*Link Budget*”, para el caso del AztechSat-1 se usó la versión 1.1.
- Carta de apoyo de la rama representativa de la IARU en el país, para el caso de México, la Federación Mexicana de Radio experimentadores.
- Carta de apoyo de la AMSAT nacional. Para el caso de México, no se pudo conseguir porque no hay capítulo de representación en México.

La solicitud de IARU es muy extensa, para el AztechSat-1 tuvo un tamaño de 13 páginas. En las figuras 5.6.1.10 a 5.6.1.14 se muestran datos del AztechSat-1 que pueden servir de guía:

#### AMATEUR SATELLITE FREQUENCY COORDINATION REQUEST

(Make a separate request for each space station to be operated in the amateur-satellite service.)

**Have you read the instructions? Here is the link**

[http://www.iau.org/uploads/1/3/0/7/13073366/instructions\\_iaru\\_amateur\\_satellite\\_coordination\\_request.doc](http://www.iau.org/uploads/1/3/0/7/13073366/instructions_iaru_amateur_satellite_coordination_request.doc)

**Please do NOT submit the request before it is 100% filled and signed.**

##### Administrative information:

0	<b>DOCUMENT CONTROL</b>	
0a	Date submitted	20-04-2019
0b	Document revision number	0
1	<b>SPACECRAFT (published)</b>	
1a	Name	AZTECHSAT-1
1b	Notifying administration	Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México
1c	API/A number	12221

Figura 5.6.1.10: Datos del Encabezado de la Solicitud a IARU (Secciones 0 y 1)

Observe el dato 1c, que es el número oficial del registro del ITU API. Ese número es publicado por la UIT

2	<b>LICENSEE OF THE SPACE STATION (published) or responsible amateur in case of educational mission</b>	
2a	First (given) name	Enrique
2b	Last (family) name	Sánchez Lara
2c	Amateur Radio Call sign	XE1SLE
2c1	licensed since	20-09-2018
2d	Postal address	
2e	Telephone number (including country code)	
2f	E-mail address (licensee will be IARU's point of contact and receive all correspondence)	<a href="mailto:Enrique.sanchez@upaep.mx">Enrique.sanchez@upaep.mx</a>
2g	Licensee's position in any organisation referenced in item 3a.	Director of Information Technologies and Communications

Figura 5.6.1.11: Datos del Radioaficionado responsable (Sección 2)

Para consultar los datos de la ITU API de un satélite, use la liga:

<https://www.itu.int/net/ITU-R/space/snl/bsearchb/spublication.asp>

y seleccione los 4 datos mostrados en la Figura 5.6.1.12

The screenshot shows the ITU API search interface. The browser address bar displays the URL: [itu.int/net/ITU-R/space/snl/bsearchb/spublication.asp](https://www.itu.int/net/ITU-R/space/snl/bsearchb/spublication.asp). The page header includes the ITU logo and navigation links for various languages (Arabic, Spanish, French, Russian) and search options. The main content area is titled "Radiocommunication Sector (ITU-R)" and contains a "Query by publication references" section. Below this, there is a form with several fields and checkboxes. The "Type of Procedure" section has checkboxes for ALL, API, Coordination, Notification, RES49, AP308.30A, and AP30B. The "Satellite Name" field is set to "AZTECHSAT-1" and "AZTEC". The "Earth Station Name" field is set to "none". The "ADM" field is set to "all". The "Network Org / Area" field is set to "all". The "IFIC/WIC Number" field is empty. The "Year" field is empty. The "IFIC Date - From" and "Date of Rcv - From" fields are set to "dd/mm/yyyy". The "To" fields for both "IFIC Date" and "Date of Rcv" are empty. The "All GSO" and "All N-GSO" checkboxes are checked. The "Nominal orbital position" section has a label "In degrees (+) for East or (-) for West:". The "From (-180)" and "To (180)" fields are empty. At the bottom, there are checkboxes for "I want only suppressed networks" and "Open the results in a new window", and "Submit" and "Restablecer" buttons.

Figura 5.1.6.12: Consulta de la ITU API

Por ejemplo, para el AztechSat-1 el resultado se puede apreciar en la Figura 5.1.6.13

ITU - International Telecommunication Union

Home : ITU-R : Space Services : SNL : Query result

Radiocommunication Sector (ITU-R)

SNL Part B - Query result

The Parts and Special Sections are not available online. They can be found in the collection of the BR WIC and BR IFIC DVD-ROM. You can [order it](#) or [get more information about this DVD-ROM](#).

Your query : / Type = gso or ngso / Satellite network = AZTECHSAT-1 / Earth station = none

Total line = 3/3

ID number (SNL)	adm	ORG or Geo.area	Satellite name	Earth station	long_nom	Date of receipt	ssn_ref	ssn_no	ssn rev/ Sup	ssn rev no	removal	Part/ Art.	WIC/IFIC (ific.mdb)	WIC/IFIC date
118545128	MEX		AZTECHSAT-1		N-GSO	26.07.2018	API/A	12221					2883	13.11.2018
118545128	MEX		AZTECHSAT-1		N-GSO	26.07.2018	API/B	1043					2894	30.04.2019
118545128	MEX		AZTECHSAT-1		N-GSO	26.07.2018	API/B	1043	M	1			2897	11.06.2019

Top - Feedback - Contact us - Copyright © ITU 2020 All Rights Reserved  
Contact for this page : Webmaster  
Updated : 2020-09-17

Your IP is 2806:10a6:13:1a24:64f2:c352:4d38:e70c

Figura 5.1.6.13: Ejemplo de consulta de la ITU API

En la Figura 5.1.6.13 se muestra en un recuadro rojo los datos del registro de la ITU API/A que se obtiene cuando la SCT registra ante la ITU al satélite. En la columna “ssn\_ref” se muestra el número que debe usarse en la Solicitud ante la IARU.

Algo valioso para un proyecto nuevo consiste en descargar la ITU API de un proyecto ya existente para tomarlo como referencia de uso para las aplicaciones de la BR (Buró de Radiocomunicaciones), en particular el Spacecap, SpaceVal, SpacePub y SpaceRefDB. La descarga se logra dando click en la celda respectiva de la columna titulada WIC/IFIC (ific.mdb). Para caso el AztechSat-1, dar click en el número 2883.

Observe que el primer registro en el caso del AztechSat-1 fue el 13 de noviembre de 2018, y el registro definitivo (API/B) fue el 11 de junio de 2019. Considere que la solicitud de Recurso Orbital ante el IFT fue el 23 de marzo de 2018, esto es, el proceso (sin considerar los trámites ante IARU) demoró 15 meses.

Continuando con el proceso ante IARU, en la Figura 5.1.6.14 se muestran los datos solicitados de la Sección 3.

3	<b>ORGANISATIONS (published) — complete this section for EACH participating organization</b>	
3a	Name of organization and/or educational institution	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla A.C.
3b	Postal address	21 sur 1103 Col. Barrio de Santiago, Puebla, Puebla 72410, México.
3c	Telephone number (including country code)	(52)2222299400
3d	E-mail address	<a href="mailto:Enrique.sanchez@upaep.mx">Enrique.sanchez@upaep.mx</a>
3e	Web site URL	<a href="http://www.upaep.mx">www.upaep.mx</a>
3f	National Amateur Radio Society (including contact information)	Federación Mexicana de Radio Experimentadores.
3g	Does your National Amateur Satellite organization and/or National Amateur Radio Society endorse this request?	National AMSAT Organisation <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no National Amateur Radio Society <input checked="" type="checkbox"/> <b>yes</b> <input type="checkbox"/> no
3h	Name and email address(es) of the person(s) you've contacted in the National AMSAT Organisation or National Amateur Radio Society	Name: Alfonso Rubén Tamez Rodríguez Email: Contact: Alfonso Rubén Tamez Rodríguez Email: <a href="mailto:xe2o@fmre.mx">xe2o@fmre.mx</a>
3i	Will any person or organisation involved with the project be, directly or indirectly, financially compensated for operating the satellite and ground station(s)	<input type="checkbox"/> yes, see 3j <input checked="" type="checkbox"/> <b>no</b>

Figura 5.1.6.14: Sección 3 solicitud IARU

Space station information:

4	<b>SPACE STATION (published)</b>	
4a	Type of mission Tick applicable box(es)	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Amateur</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Amateur combined with Educational</b> <input type="checkbox"/> Amateur combined with other mission(s)
4a3	If mission type in 4a is Amateur combined with other missions, will the transmitters or receivers operating in the amateur radio frequencies be used to control, or retrieve data (telemetry, payload, etc.) from, the non-amateur mission sub-systems?	<input type="checkbox"/> yes, see 4a4 <input checked="" type="checkbox"/> <b>no</b>
4a4	If you've answered yes in 4a3, please explain.	
4b	Mission(s): List and describe in clear text the project mission(s)	The mission for AztechSat-1 is to provide students an opportunity to lead and participate in a spaceflight project. This includes hands-on experience and valuable skills designing and building a CubeSat and all required ground segment systems and operations processes. AztechSat-1 is Mexico's first student-led CubeSat project to be launched from the International Space Station.
4b1	Amateur Satellite Bands used:	<input type="checkbox"/> 144-146 MHz <input checked="" type="checkbox"/> <b>435-438 MHz</b> <input type="checkbox"/> 1260-1270 MHz <input type="checkbox"/> 2400-2450 MHz <input type="checkbox"/> 3400-3410 MHz <input type="checkbox"/> 5650-5670 MHz and/or 5830-5850 MHz <input type="checkbox"/> 10.450-10.500 GHz <input type="checkbox"/> 24.000-24.050 GHz <input type="checkbox"/> Other (please describe)
4c	Planned duration of each part of the mission.	Three to Six Months (October 2019 – May 2019)
4d	Proposed space station transmitting frequency plan.	
4d1	List all the frequencies (or frequency bands) requested and describe the function of each	435-438 Mhz: Due to equipment and space restrictions, a 12 Khz channel will be used to send data from Satellite in a half duplex transmission.
4d2	Frequency tuning range (in MHz) of transmitter and tuning step increment (in Hz or kHz)	436.5 Mhz will be the center of the 12 Khz band. For sending and receiving half duplex. 1 Hz step increment.
4d3	EIRP (in dBm)	29.5
4d4	List all ITU emission designator For each transmitter	12K0G1DBN Telemetry, House Keeping

Figura 5.1.6.15: Sección 4 Solicitud IARU

Observe con detalle los valores que se deben proveer, tales como el tipo de misión (4a), la descripción detallada de las misiones (4b), las frecuencias, la duración de la misión, el EIRP y los códigos de emisión (4d4).

No tenga la menor duda de que su solicitud será rechazada si la misión no es claramente de propósito de radioaficionados. La simple transmisión de telemetría no es razón suficiente para obtener la coordinación. Se debe incluir una misión de verdadero propósito de radioafición para que la solicitud tenga éxito.

Las secciones 5 y 6 no se publican, ya que contienen datos de operación del satélite. La sección 7 se refiere al plan de la empresa lanzadora (Figura 5.1.6.16).

<b>7</b>	<b>Launch plans (published)</b>	
7a	Launch agency	NanoRacks
7b	Launch location	Wallops Flight Facility, Virginia, USA.
7c	Expected launch date	NET October 19, 2019 as part of the ELaNa25 mission
7d	Planned orbit.	
7d1	planned orbit apogee	400 Kms.
7d2	planned orbit perigee	400 kms.
7d3	planned orbit inclination	51.6 degrees
7d4	planned orbit period	93 minutes
7e	List other amateur satellites expected to share the same launch.	CySat-1 HuskySat-1 Phoenix CubeSat RadSat-u SPOC TJREVERB

Figura 5.1.6.16: Sección 7 Solicitud IARU

Finalmente las secciones 8 y 9 se refieren a parámetros de transmisión del satélite (Figura 5.1.6.17).

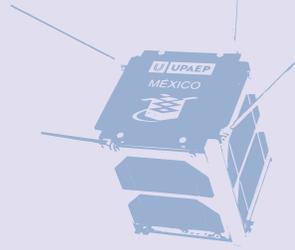
<b>Earth station information:</b>		
<b>8</b>	<b>Typical Earth station — transmitting</b>	
8a	Describe the hardware and software of a typical Earth station used to transmit signals to the planned satellite	ICOM 9100 with M2 436CP42UG antenna with APERR_002V01 Radiation pattern and Coef. 32. We will be using GNU Radio and the ICOM software in order to send the telecommand messages when necessary.
8b	Radio Link budget. Show complete link budgets for all Earth station transmitting frequencies, except telecommand.	Just one Ground Station whose location was provided before. The expected signal loss is 100 dbi and the equipment sensitivity is about -117 dbi.
<b>9</b>	<b>Typical Earth station — receiving</b>	
9a	Describe the hardware and software of a typical Earth station to receive signals from the planned satellite.	ICOM 9100 with M2 436CP42UG antenna with APERR_002V01 Radiation pattern and Coef. 32. We will be using GNU Radio and the ICOM software in order to send the telecommand messages when necessary.
9b	Radio Link budget. Show complete link budgets for all Earth station receiving frequencies.	Just one Earth Station whose location was provided before. The expected signal loss is 100 dbi and the equipment sensitivity is about -117 dbi.

Figura 5.1.6.17: Secciones 8 y 9 Solicitud IARU

Observe que se deben proveer los patrones de radiación, los valores de link Budget para todos los haces de transmisión.

### 5.6.6 Permisos de traslado y exportación

Los últimos permisos se refieren al traslado del satélite hacia el país desde donde se deberá hacer su lanzamiento. Estos permisos pueden incluir gestionar ante un transporte terrestre o aeronáutico el traslado seguro, libre de radiaciones, vibraciones, manipulación o pérdida de partes del satélite. También debe incluir el posible regreso al país de partes o de réplicas del satélite. Por ejemplo, la NASA normalmente solicita el envío de dos satélites completos idénticos. Uno de ellos es sometido a una batería de pruebas tanto de parte de la NASA como de la empresa lanzadera. El segundo satélite, en teoría idéntico, es el que se lanza dado que no sufrió fatiga por la prueba. El satélite de pruebas puede regresar a la Institución que lo diseñó. También tomar en cuenta los permisos y pagos aduanales respectivos, así como las consideraciones especiales acerca de baterías (no son admitidas en algunos transportes) u otros elementos que se consideran peligrosos.



## Agradecimientos

---

El autor agradece y dedica esta obra a las siguientes personas e instituciones, cuyo apoyo, inspiración, tiempo y/o recursos hicieron posible su elaboración y publicación:

UPAEP  
Agencia Espacial Mexicana  
NASA  
CONACYT  
IFT  
SCT  
CBTIS 147  
ESFA-1  
Plataforma Tecnológica UPAEP  
Facultad de Electrónica UPAEP  
Astronauta José Hernández Moreno  
Dr. Andrés Martínez, NASA  
Dr. Emilio José Baños Ardavin, UPAEP  
Mtro. Eugenio Urrutia Albisua  
Dra. Sandra Rocío Murillo Cano  
Dra. María de la Luz García Cruz  
Dr. Aurelio Horacio Heredia Jiménez  
Dr. Héctor Simón Vargas Martínez  
Dra. Arllene Pérez González  
Mtra. Paola Ochoa Márquez

Mtro. José Manuel Santiago Muñoz  
Mtra. Johanna Olmos López  
Ing. Vicente Hernández Luna  
Ing. Verónica Velázquez Bandala  
Ing. Ángel Rico Guzmán  
Daniel A. Loboguerrero Rodríguez  
Ing. Francisco Zacateco Aguilar  
Ing. Miguel A. Texcucano Vázquez  
Mtra. Eyra Castillo Rodríguez  
Mtra. Erika Sevilla García  
Ing. Víctor M. Guzmán López  
Mtro. Germán Soto Ponce

A mis hijos Enrique, Ricardo Iván y Alejandra  
a mis hermanos y primos que me alegran el  
día vía WhatsApp.

Y a mi esposa que, junto a las divinas coinci-  
dencias, compartimos todo en el hogar.



## Referencias Bibliográficas

---

**abc.es.** (10 de 8 de 2018). *abc.es*. Obtenido de abc.es: [https://www.google.com/search?q=chauvet&rlz=1C1CHZL\\_esMX749MX749&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj897n5jMfgAhUGKKwKHbXCDnsQ\\_AUIDigB&biw=1047&bih=719#imgrc=6dxWh5BEwp3sgM](https://www.google.com/search?q=chauvet&rlz=1C1CHZL_esMX749MX749&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj897n5jMfgAhUGKKwKHbXCDnsQ_AUIDigB&biw=1047&bih=719#imgrc=6dxWh5BEwp3sgM):

**American Radio Relay League.** (2015). *The ARRL Handbook for Radio Communications*. Newington: ARRL.

**APRS.** (01 de 05 de 2018). *APRS Emergency*. Obtenido de APRS Emergency: <http://www.aprs.net.au/emergency/emergency-beacons/>

**APRS.** (01 de 01 de 2019). *APRS*. Recuperado el 01 de 02 de 2019, de APRS: <http://www.aprs.org/aprs-messaging.html>

**ARISS.** (23 de 10 de 2017). *Amateur Radio on the International Space Station*. Recuperado el 23 de 10 de 2017, de ARISS: <http://www.ariss.org/qsl-cards.html>

**Cisco Systems.** (1 de february de 2016). *Cisco*. (Cisco) Recuperado el 5 de march de 2018, de <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/solution-overview-c22-734002.pdf>

**CONACYT.** (30 de june de 2017). *CONACYT*. (CONACYT) Recuperado el 10 de march de 2018, de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/universo/15912-aztechsat1-primernanosatelite-mexicano>

**cubesat.org.** (1 de May de 2017). *1U-3U CUBESAT DESIGN SPECIFICATION*. Recuperado el 10 de July de 2017, de [https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds\\_rev13\\_final2.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf)

**Cubesat.org.** (23 de 10 de 2017). *cubesat.org*. Recuperado el 23 de 10 de 2017, de The CubeSat Program: [https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds\\_rev13\\_final2.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf)

**Elbert, B. R.** (2008). *Introduction to Satellite Communication*. Norwood MA: Artech House.

- Elbert, B. R. (2008). *INTRODUCTION TO SATELLITE COMMUNICATION*. BOSTON: ARTECH HOUSE.
- Encyclopaedia Britannica. (1 de 11 de 2017). *Encyclopaedia Britannica*. Recuperado el 1 de 11 de 2017, de Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/topic/writing/History-of-writing-systems>
- FMRE. (01 de 01 de 2019). *FMRE*. Recuperado el 01 de 02 de 2019, de FMRE: <https://www.fmre.org.mx/regltec.html>
- Ford, S. (26 de 01 de 2019). *ARRL*. Recuperado el 26 de 01 de 2019, de National Association for Amateur Radio: <http://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/0004036.pdf>
- GOMSPACE. (1 de January de 2017). *Nanocom AX100*. (Gomspace) Recuperado el 1 de January de 2018, de <https://gomspace.com/Shop/subsystems/communication/nanocom-ax100.aspx>
- IARU. (1 de January de 2017). *IARU*. Recuperado el 1 de January de 2018, de <http://www.iau.org/constitution.html>
- IARU Región 2. (9 de 11 de 2017). *International Amateur Radio Union Región 2*. Recuperado el 9 de 11 de 2017, de International Amateur Radio Union Región 2: <http://www.iau-r2.org/band-plan/>
- IFT. (19 de enero de 2018). *IFT Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)*. Obtenido de IFT: <http://cnaf.ift.org.mx/>
- INEGI. (23 de 10 de 2017). *Mapa Digital México, INEGI*. Recuperado el 23 de 10 de 2017, de Mapa Digital de México, INEGI: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjIzLjMyM-DA4LGxvbjotMTAyLjE0NTY1LHo6MSxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZX-J2aWNpb3M=>
- ITU. (1 de January de 2017). *ITU*. (ITU) Recuperado el 1 de January de 2018, de <https://www.itu.int/en/ITU-R/software/Pages/ant-pattern.aspx>
- ITU-R. (10 de January de 2017). *ITU-R*. Recuperado el 5 de January de 2018, de <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/modulation-techniques/itu-designations-types-of-radio-emissions-transmissions.php>
- Kharu Koti LLC. (01 de 02 de 2019). *Satellite Tracking*. Obtenido de Satellite Tracking: <https://www.karhukoti.com/maidenhead-grid-square-locator/?grid=EK09uc>

- KJ Kim, A. W. (2010). Automated synthesis of resilient and tamper-evident analog circuits without a single point of failure. *Genetic Programming and Evolvable Machines* , 35-59.
- Kohanov, L. (2013). *The power of the herd: a nonpredatory approach to social intelligence, leadership, and innovation*. New word library.
- Mimenza, O. C. (13 de 12 de 2017). *Psicología y Mente*. Recuperado el 13 de 12 de 2017, de *Psicología y Mente*: <https://psicologiaymente.net/miscelanea/tipos-de-investigacion>
- NASA. (1 de January de 2017). *NASA*. Recuperado el 1 de January de 2018, de <https://www.nasa.gov/feature/release-of-revision-to-the-nasa-systems-engineering-handbook-sp-2016-6105-rev-2>
- Rinaldo, P. (1995). *Guía Internacional del Radioaficionado*. Marcombo Boixareau Editores.
- Small Satellites Conference. (10 de december de 2011). *Small Satellites Conference*. Recuperado el 4 de February de 2018, de <https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/>
- Smallsat Satellite Conference. (1 de August de 2015). *Smallsat Satellite Conference*. Recuperado el 29 de January de 2018, de AIAA/USU Conference on Small Satellites: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.mx/&httpsredir=1&article=3300&context=smallsat>
- Tucson Amateur Packet Radio Corporation. (28 de enero de 2018). *AX.25 TAPR*. Obtenido de *AX.25 TAPR*: <https://www.tapr.org/pdf/AX25.2.2.pdf>



En mayo de 2017 se firmó el acuerdo mediante el cual la Agencia Espacial Mexicana (AEM), la NASA y la UPAEP se comprometen a realizar el AztechSat-1 para ser puesto en órbita en el año 2019, con apoyo del CONACYT.

Este documento es una manual práctico que describe el proceso que se siguió para la obtención de las licencias y permisos que permitieron al AztechSat-1 cumplir la normatividad nacional e internacional para ocupar una posición orbital, transmitir información Tierra-satélite, así como satélite a satélite.

Este trabajo tiene como objetivo divulgar el conocimiento adquirido durante dicho proceso a fin de ayudar al desarrollo de proyectos similares.

ISBN 978-607-0000-00-0



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla  
21 Sur 1103, Barrio de Santiago, C. P. 72410, Puebla, Pue.  
HECHO EN MÉXICO