

PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UN SATÉLITE DE FM



Versión inicial

Realizado por Félix Páez Pavón **EA4GQS**

para AMSAT EA





Contenido

Historial de cambios de este documento.....	4
Audiencia.....	5
Objetivos	5
Introducción	6
Consideraciones iniciales y puntos clave	7
Requisitos generales	8
Diseño y aspectos técnicos	9
Elementos a adquirir comercialmente.....	9
Elementos a diseñar y construir por AMSAT EA	10
Construcción.....	10
Pruebas y certificación para vuelo	10
Aspectos financieros	10
Requisitos de financiación.....	11
Propuestas de financiación	12
Propuesta de trabajo.....	12
Documentación a desarrollar.....	13
Formación de los grupos de trabajo	15
Colaboraciones.....	15
Conclusiones finales.....	16
Sobre AMSAT EA	17



AMSAT

Historial de cambios de este documento

- 20/05/2016: Elaboración del primer borrador. Por Félix Páez Pavón **EA4GQS**
- 14/07/2016: Elaboración de la versión inicial. Por Félix Páez Pavón **EA4GQS**



Audiencia

Cualquier persona interesada o que desee participar en el proyecto. Este documento pretende también conseguir voluntarios.

Objetivos

Realizar una propuesta y establecer la viabilidad para el diseño, construcción y lanzamiento de un satélite **pocketQube** que sirva como repetidor radio en una órbita baja (LEO).

Adicionalmente podría añadirse alguna carga para experimentos si con esto se consiguiera el apoyo de alguna institución, como una Universidad. En cualquier caso, el satélite debería ser lo más simple posible.

Este proyecto podría servir a su vez como una primera fase para futuros proyectos basados en su diseño.



Introducción

Desde hace ya varios años se viene desarrollando una nueva generación de satélites de muy pequeño tamaño, conocidos como *CubeSats*, cuyas dimensiones pueden ser tan pequeñas como las de un cubo de 10 centímetros de lado. Adicionalmente otro tipo de satélites más pequeños aún, conocidos como **pocketQubes**, con dimensiones de **5x5x5** cm o **5x5x10** cm han comenzado también a proliferar, beneficiándose de costes de lanzamiento todavía inferiores.

El avance de la tecnología y de la miniaturización permite hoy en día que ya no sea impensable para organizaciones de pequeño tamaño y recursos limitados desarrollar satélites. Incluso y aunque generalmente de forma oportunista, debido a las reducidas dimensiones y escaso peso de los ingenios desarrollados, las oportunidades para su puesta en órbita son mucho mayores, al poder incluirse como cargas secundarias en lanzamientos ya previstos o en estudio.

Quedan ya lejos los tiempos en los que eran necesarios equipos de decenas de personas y millones de dólares en presupuesto para poder diseñar, construir y poner en órbita un satélite de comunicaciones.

Demostraciones de esto son los últimos satélites puestos en órbita por otras organizaciones AMSAT, como el **AO-85 (FOX 1A)** de AMSAT NA, el **AO-73 (FunCube)** desarrollado por AMSAT UK, AMSAT NL e ISIS-BV o el pocketQube **Eagle 2 (50\$at)** desarrollado por un profesor de la Universidad de Morehead y varios radioaficionados.

Tomando como ejemplo estos casos vamos a intentar determinar bajo qué condiciones y premisas podría ser factible diseñar, construir y finalmente poner en órbita un pequeño satélite de comunicaciones para el uso de radioaficionados.



Consideraciones iniciales y puntos clave

Hoy en día se encuentran en funcionamiento, o en proyecto avanzado, numerosos satélites de similares características a las del que se presenta en esta propuesta. Esto es ya de por sí una prueba de que este tipo de proyectos son perfectamente viables.

Basándonos en la experiencia de estos proyectos, y teniendo en cuenta nuestras actuales limitaciones, al ser un proyecto nuevo y que partiría prácticamente de cero, se han establecido los siguientes puntos clave que se piensa garantizarían la viabilidad del desarrollo:

- Sencillez de diseño

El diseño del satélite será el más sencillo posible que permita realizar comunicaciones y localizar fácilmente su presencia en su zona de cobertura.

Para ello se propone diseñar un repetidor de voz en banda cruzada VHF/UHF de un único canal, con modulación FM, disponiendo así mismo de una baliza morse que permita, con un simple receptor, detectar que se encuentra en ese momento sobrevolando una zona determinada.

- Bajo coste

El coste del desarrollo debe ser muy contenido, incluyendo la realización de los prototipos y el propio hardware y software desarrollado por AMSAT EA. El esfuerzo de financiación debe centrarse en la adquisición de los elementos comerciales que se encuentren fuera del alcance del desarrollo por AMSAT EA y para las pruebas de certificación y del propio lanzamiento.

- Utilización de elementos comerciales

Todo lo que no sea posible ser diseñado, construido o ensamblado por voluntarios de AMSAT EA deberá ser adquirido o encargado a empresas o Universidades.

- Bajo riesgo de fallo

El diseño debe centrarse en ofrecer una funcionalidad que presente riesgos muy bajos de fallo. Para ello se deben utilizar elementos no susceptibles de ser alterados por cambios bruscos de temperaturas, así como soportar radiación.

- Desarrollo limitado del repetidor y la unidad de control interna

En principio los elementos a ser desarrollados por AMSAT EA serían el repetidor radio, la baliza morse y el ordenador interno de control.

- Sin necesidad de control desde tierra



El satélite debe ser completamente autónomo, sin necesidad de recibir comandos desde Tierra excepto los estrictamente necesarios por normativa, como puede ser el comando de desactivación de transmisiones.

- Voluntarios para el desarrollo

La viabilidad de este proyecto depende de que todo lo que no sea estrictamente necesario adquirir o encargar a terceras partes, sea diseñado y construido (al menos, los prototipos iniciales) por voluntarios de AMSAT EA. Es fundamental conseguir dichos voluntarios.

- Asistencia técnica de otras organizaciones AMSAT y Universidades

Será necesario obtener asistencia de otras organizaciones para todos aquellos aspectos que no puedan ser cubiertos por los voluntarios de AMSAT EA. Los primeros lugares donde buscar asistencia serían siempre otras organizaciones AMSAT. Otra posibilidad sería buscar asistencia y recursos en Universidades.

Basándonos en estos puntos clave podemos establecer unos requisitos generales para el proyecto. A partir de ellos se definirán a su vez una serie de requisitos concretos tanto globalmente para el satélite como para los distintos subsistemas que lo compondrán.

En la siguiente sección se detalla esta información.

Requisitos generales

El diseño que se lleve a cabo debe cumplir los siguientes requisitos generales:

- Dimensiones reducidas (se propone un pocketQube de 5x5x10 centímetros)
- Peso reducido (inferior a 400 gramos)
- Alineación al campo magnético de la Tierra mediante imanes permanentes
- Vida útil de al menos 2 años
- Coste de construcción inferior a 10.000 euros
- Tolerante a cambios de temperatura que no alteren significativamente sus frecuencias de trabajo
- Tolerante a fallos por radiación y temperatura
- Baliza fácilmente escuchable con receptores sencillos (potencia de transmisión suficiente)
- Posibilidad de operarse con potencias de 4W y antenas direccionales
- Diseño complementemente modular que permita el trabajo en paralelo y casi independiente de varios equipos



En base a estos requisitos generales se establece un diseño global para el satélite y se detallan los requisitos individuales de cada módulo, que a su vez permitirán realizar el diseño detallado de los mismos.

Diseño y aspectos técnicos

El planteamiento inicial es diseñar y construir en AMSAT EA todo aquello que se considere que está dentro del alcance. No se trata de construir un satélite en base a piezas obtenidas en forma de kits aunque algunas es irremediable tener que adquirirlas. Se trata también de que AMSAT EA desarrolle una pequeña parte de la ingeniería, en base a aumentar su prestigio de cara a futuros proyectos y para que otras personas se sumen al desarrollo por la motivación de enfrentarse al reto que supone.

Los subsistemas / módulos de que constaría el satélite serían los siguientes:

- Estructura
- Sistema de orientación (pasivo, con imanes)
- Sistema de energía
 - o Módulo de baterías
 - o Paneles solares
 - o Módulo de gestión (interfaz con baterías y paneles)
- Módulo de comunicaciones (repetidor de FM)
 - o Receptor FM VHF
 - o Emisor FM UHF
 - o Interfaz de acoplamiento receptor VHF / emisor UHF
- Generador de baliza morse
 - o Interfaz de acoplamiento baliza morse / emisor UHF
- Sistema de control del satélite (basado en microcontrolador)
- Antenas (una de recepción y otra de emisión)
- Subsistema de control termal

Elementos a adquirir comercialmente

Todos los elementos que se consideran fuera de alcance, principalmente por los complejos procesos de fabricación que se requieren, se encuentran disponibles de forma comercial, de forma que no es necesario desarrollarlos. Entre ellos se incluyen principalmente, la estructura, los paneles solares y las baterías.

Los elementos que deberán ser adquiridos son los siguientes:

- Estructura (esqueleto) del satélite
- Sistema de orientación (imanes permanentes)
- Módulo de baterías
- Paneles solares
- Antenas



Existen varios fabricantes que ofrecen estos elementos en Internet. Se deberá realizar una comparativa y seleccionar los de más bajo coste que cumplan los requisitos para el proyecto.

Elementos a diseñar y construir por AMSAT EA

Se propone diseñar y construir por voluntarios de AMSAT EA y colaboradores individuales o institucionales los siguientes módulos:

- Módulo de gestión de energía (interfaz con baterías y paneles)
- Módulo de comunicaciones (repetidor de FM)
 - o Receptor FM VHF
 - o Emisor FM UHF
 - o Acoplamiento receptor VHF / emisor UHF
- Generador de baliza morse
 - o Interfaz de acoplamiento baliza morse / emisor UHF
- Sistema de control del satélite basado en microcontrolador
- Subsistema de control termal

Construcción

Para la construcción del satélite se propone una primera fase de realización de prototipos funcionales que no tienen por qué tener el aspecto final definitivo (por ejemplo, para los módulos electrónicos se puede utilizar electrónica convencional no SMD primeramente en placas de prototipos sin soldaduras o soldadas a mano). Una vez que los prototipos funcionen correctamente tanto individualmente como integrados entre sí, la fase de construcción definitiva deberá cumplir con las especificaciones pertinentes para hardware de vuelo. Estos detalles deberán plasmarse en los diseños de módulos finales.

Pruebas y certificación para vuelo

Los diseños finales para hardware de vuelo deben cumplir las especificaciones requeridas para ser candidatos un lanzamiento. Esas especificaciones se encuentran disponibles y deben ser estudiadas.

Aspectos financieros

Los costes iniciales de financiación son nulos o muy bajos. Las fases de definición de requisitos y diseño no requieren la aportación de fondos. Deben llevarse a cabo utilizando herramientas de software libre. Los prototipos electrónicos iniciales requieren tan solo la compra de materiales y componentes fácilmente accesibles y baratos. Algunos elementos como la estructura inicial de prueba (para consideraciones mecánicas) podrían adquirirse en versiones baratas (por ejemplo, de materiales como plástico) si se encuentran disponibles. Otros elementos inicialmente se pueden simular con elementos convencionales (baterías, paneles).

Sí que requerirían ya una cierta financiación los prototipos de hardware de vuelo y sus versiones finales. Se debe realizar un presupuesto detallado.

Requisitos de financiación

A continuación, se detallan los requisitos de financiación de cada fase del proyecto. Estas estimaciones son muy preliminares en cuanto a las fases de pruebas de certificación y lanzamiento. Se requiere un estudio más detallado.

- **Financiación de la fase de requisitos**
 - No requiere. Consiste tan solo en la elaboración de documentación. Pueden utilizarse programas de software libre (OpenOffice, etc.)
 - Coste estimado: **Ninguno**
- **Financiación de la fase de diseño**
 - No requiere. Consiste en la elaboración de documentación fundamentalmente. Pueden utilizarse programas de diseño de Software libre (KiCad, Fritzing, EAGLE en su versión gratuita, etc.)
 - Coste estimado: **Ninguno**
- **Financiación de la fase de construcción**
 - **Financiación de prototipos:** costes muy bajos. Pueden ser realizados con componentes de orificio pasante. Baterías y paneles pueden ser convencionales y la estructura podría ser de plástico, etc.
 - Coste estimado: **inferior a 1.000 euros**
 - **Financiación de módulos de vuelo:** costes medios. Deben realizarse con componentes finales que cumplan los requisitos de pruebas de vuelo.
 - Coste estimado: **Por determinar**
- **Financiación de la fase de pruebas**
 - **Financiación de las pruebas unitarias de prototipos iniciales:** no se requiere financiación. Las pruebas no tienen especiales requisitos.
 - Coste estimado: **Ninguno**
 - **Financiación de las pruebas integradas de prototipos iniciales:** en principio tampoco requerirían de financiación. La integración de los módulos podría tener un pequeño coste, pero inicialmente ninguno.
 - **Financiación de las pruebas unitarias de prototipos finales:** estas pruebas pueden requerir lugares y equipos específicos. Es posible que se requiera financiación para ellas.
 - Coste estimado: **Por determinar**
 - **Financiación de las pruebas integradas de prototipos finales:** con toda seguridad estas pruebas requerirán llevarse a cabo en un lugar especializado y con equipos dedicados.
 - Coste estimado: **Por determinar**
- **Financiación de la certificación de vuelo**



- Al igual que las pruebas integradas la certificación de vuelo con toda seguridad tendrán costes. Se requiere un estudio más detallado, en cualquier caso.
- Coste estimado: **Por determinar**
- **Financiación de lanzamiento**
 - Este es el punto más crítico del proyecto. Puede ser muy variable dependiendo de la oportunidad de lanzamientos.
 - Coste estimado: **25.000 euros (basado en otros lanzamientos)**
- **Financiación del seguimiento**
 - En principio el seguimiento en sí del satélite en órbita puede realizarse por voluntarios y no requiere de financiación específica.

Propuestas de financiación

AMSAT EA deberá proporcionar a los voluntarios la financiación o los materiales necesarios en cada fase del proyecto. Se pueden ir captando fondos a medida que las distintas fases del proyecto los vayan necesitando.

Las posibles vías de financiación (monetaria o con apoyo de materiales o ahorro de costes) serían las siguientes:

- Captar fondos de forma directa a AMSAT EA (donaciones vía cuenta bancaria o PayPal)
- Realización de crowdfunding
- Subvenciones estatales
- Apoyo de Universidades
- Apoyo de Fundaciones
- Apoyo de empresas privadas (sector telecomunicaciones o no)

Propuesta de trabajo

La primera fase de trabajo es realizar los documentos de requisitos del satélite, comenzando con un documento de requisitos globales y continuando con los específicos de cada módulo. Con eso un equipo de trabajo por módulo podría ir realizando un documento de diseño para cada subsistema. Una vez con los documentos de diseño se podría continuar con la fase de construcción de prototipos. Acabado esto, la siguiente fase sería la de pruebas y validaciones finales. Paralelamente a estas fases se debería ir consiguiendo financiación para las actividades que lo requirieran, como la elaboración de los prototipos.

Aquí se detallan las distintas fases. Cada fase requiere de finalización de la anterior. No obstante, la especificación, diseño y construcción de los módulos se puede llevar a cabo en paralelo y en general de forma independiente si bien es cierto que existen dependencias de los módulos entre sí debido a que tienen interfaces entre ellos. En cualquier caso, una vez definida la interfaz en los requisitos, el diseño y construcción de cada módulo es independiente.



- **FASE 1:** Elaboración de la especificación de requisitos
- **FASE 2:** Elaboración de los documentos de diseño
- **FASE 3:** Construcción de los prototipos
- **FASE 4:** Elaboración de los documentos de pruebas unitarias
- **FASE 5:** Pruebas unitarias de módulos
- **FASE 6:** Elaboración de la documentación para pruebas integradas
- **FASE 7:** Pruebas de integración de módulos
- **FASE 8:** Construcción de los módulos finales
- **FASE 9:** Certificación para el vuelo
- **FASE 10:** Lanzamiento
- **FASE 11:** Explotación y recopilación de datos
- **FASE 12:** Finalización del proyecto tras el fin de la vida útil del satélite

Documentación a desarrollar

A continuación, se detalla toda la documentación que se debería desarrollar para el proyecto en cada una de sus fases:

Para la FASE 1: Elaboración de la especificación de requisitos

- Documento general de definición de requisitos del satélite
 - Detalle de especificaciones mecánicas
 - Detalle de especificaciones de parámetros orbitales
- Documentos de definición de requisitos de los módulos
 - Especificación de requisitos del módulo de energía
 - Detalle de especificaciones de baterías
 - Detalle de especificaciones de paneles solares
 - Especificación de requisitos del módulo repetidor de FM
 - Detalle del receptor VHF
 - Detalle del emisor UHF
 - Detalle del interfaz VHF / UHF
 - Especificación de requisitos del módulo de baliza morse
 - Detalle del interfaz con el emisor de UHF
 - Especificación de requisitos del módulo de Unidad de Control
 - Detalle del interfaz con el resto de subsistemas
 - Especificación de requisitos del módulo de orientación
 - Especificación de requisitos para el diseño termal

Para la FASE 2: Elaboración de los documentos de diseño

- Documento general de diseño del satélite
- Documentos específicos de diseño de los módulos
 - Diseño del módulo de energía
 - Diseño del módulo repetidor de FM



- Detalle del receptor VHF
- Detalle del emisor UHF
- Detalle del interfaz VHF /UHF
- Diseño del módulo de baliza morse
 - Detalle del interfaz con el emisor de UHF
- Diseño del módulo de Unidad de Control
 - Detalle del interfaz con el resto de subsistemas
- Diseño del módulo de orientación
- Diseño termal

Para la FASE 3: Construcción de los prototipos

- Documentación interna del equipo de trabajo en el módulo. En principio no serían necesarios documentos formales

Para la FASE 4: Elaboración de los documentos de pruebas unitarias

- Especificación de pruebas del módulo de energía
- Especificación de pruebas del diseño del módulo repetidor de FM
- Especificación de pruebas del módulo de baliza morse
- Especificación de pruebas del módulo de Unidad de Control
- Especificación de pruebas del módulo de orientación

Para la FASE 5: Pruebas unitarias de módulos

- Documento de resultado de pruebas del módulo de energía
- Documento de resultado de pruebas del diseño del módulo repetidor de FM
 - Detalle de pruebas del receptor VHF
 - Detalle de pruebas del emisor UHF
- Documento de resultado de pruebas del módulo de baliza morse
- Documento de resultado de pruebas del módulo de Unidad de Control
- Documento de resultado de pruebas del módulo de orientación

Para la FASE 6: Elaboración de la documentación para pruebas integradas

- Pruebas de integración
 - Documento de pruebas de integración de los módulos entre si
- Pruebas de conjunto
- Especificación de pruebas de conjunto del satélite, incluyendo
 - Especificación de pruebas termales
 - Especificación de pruebas de radiación

Para la FASE 7: Pruebas de integración de módulos

- Documento de resultado de pruebas de integración



Para la FASE 8: Construcción de los módulos finales

- Documentación interna del equipo de trabajo en el módulo. En principio no serían necesarios documentos formales

Para la FASE 9: Certificación para el vuelo

- Queda pendiente de detallar la documentación necesaria para la certificación del satélite para vuelo.

Para la FASE 10: Lanzamiento

- Pendiente de detalle la documentación necesaria

Para la FASE 11: Explotación y recopilación de datos

- Elaboración de una base de datos con las observaciones que se realicen a lo largo de la vida del satélite

Para la FASE 12: Finalización del proyecto tras el fin de la vida útil del satélite

- Realización de una memoria del proyecto y conclusiones

Formación de los grupos de trabajo

El escenario ideal sería la formación de un grupo de trabajo por subsistema, pudiendo a su vez subdividirse esos grupos en otros por submódulos (caso del receptor VHF y emisor UHF por ejemplo):

- Grupo de trabajo del módulo de energía
- Grupo de trabajo del módulo repetidor de FM
 - Subgrupo de trabajo del receptor VHF
 - Subgrupo de trabajo del emisor UHF
- Grupo de trabajo del módulo de baliza morse
- Grupo de trabajo del módulo de Unidad de Control
- Grupo de trabajo del módulo de orientación
- Grupo de trabajo del diseño termal

No obstante, esta organización es orientativa dependiendo de la carga final de trabajo de cada grupo. Es muy posible que un mismo grupo de personas pudieran encargarse de varios subsistemas.

Colaboraciones

Un requisito fundamental para la viabilidad de este proyecto se basa en obtener colaboraciones de voluntarios o de instituciones. Lo ideal sería poder encargar cada módulo a un grupo externo (por ejemplo, a una facultad) pero también se puede encargar a personas



individuales con los conocimientos adecuados que estén dispuestos a donar su tiempo y su trabajo a AMSAT EA para este proyecto.

Es muy importante hacer un esfuerzo en el sentido de buscar estas colaboraciones para facilitar la viabilidad del proyecto y acortar plazos.

Conclusiones finales

Realizar un pequeño satélite dentro del marco de AMSAT EA es factible siempre y cuando se consigan las suficientes personas voluntarias, con los conocimientos requeridos, para diseñar y construir los distintos elementos de los que se compondría el satélite.

El primer paso sería definir en especificaciones de requisitos las características de los sistemas del satélite y encargar a voluntarios su diseño. No sería necesaria financiación hasta que se empezasen a construir prototipos, necesitándose más financiación cuanto más se acercase la especificación de estos prototipos a los requerimientos finales del hardware de vuelo.

Hay disponible mucha información técnica, fácilmente obtenible que ayudaría al proceso de diseño. También se puede contar con la ayuda de otras asociaciones AMSAT, como AMSAT NA que está diseñando y construyendo la serie de satélites FOX. Mucha información se encuentra publicada sobre el diseño de estos satélites. Pueden ser perfectamente una referencia para el proyecto.

Ciertamente los aspectos más críticos de este proyecto son por una parte conseguir realizar un hardware que supere las pruebas de certificación para vuelo y por el otro conseguir incluir el propio satélite en algún lanzamiento. Esto último puede conseguirse de dos maneras: mediante el pago del mismo, lo cual es muy probable que requiriera la aportación de una gran cantidad de dinero, que sin subvenciones estatales posiblemente sería muy difícil de conseguir, o conseguir que, debido a su pequeño tamaño, se incluyera en algún lanzamiento, de forma oportunist.

No obstante, el conseguir diseñar y construir un prototipo, así como probar los distintos subsistemas por ejemplo utilizando globos de helio, que simularían ser el satélite en órbita, pero a mucha menos altitud, serían ya un gran logro para AMSAT EA, que proporcionarían visibilidad a la asociación y abriría el camino para futuros proyectos, aparte de conseguir valiosos conocimientos para ellos.

Es por ello que esta propuesta pretende poner en marcha dicho proyecto y se presenta a AMSAT EA para su aprobación.



AMSAT

Sobre AMSAT EA

AMSAT (acrónimo de Amateur SATellite) es la asociación mundial dedicada al diseño y construcción de satélites de radioaficionados. Es una organización sin ánimo de lucro sustentada en el esfuerzo y la colaboración de voluntarios.

AMSAT EA es su equivalente en España.