



SCT

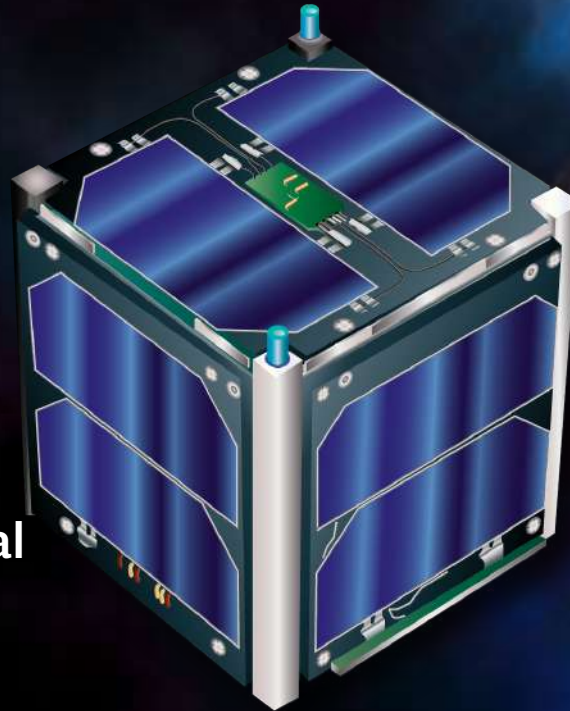
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL
MEXICANA

Mejores prácticas para el diseño de Cubesats

Innovation Match



Primer foro Internacional
de Talento Mexicano

Jalisco 2016

Mejores prácticas para el diseño de cubesats

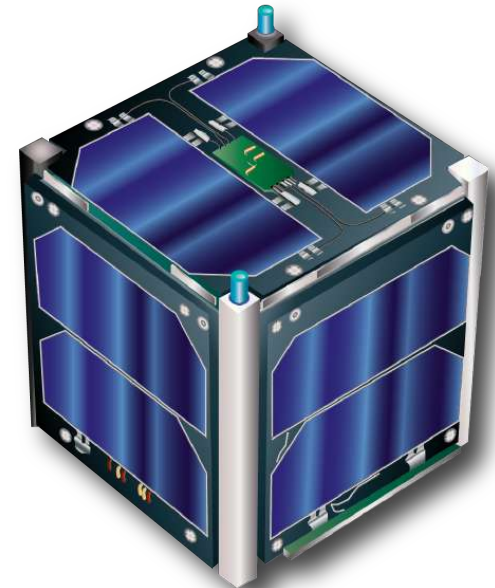


Contenido



Objetivos del taller y bienvenida.

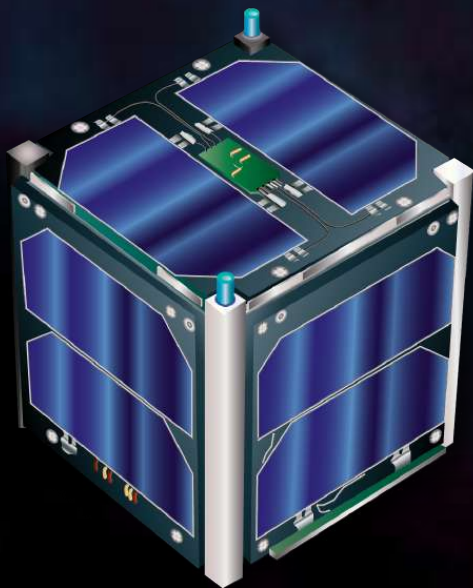
1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños).
2. Diseño y análisis de la misión:
Ingeniería de Sistemas Espaciales.
3. Desarrollo de la carga útil.
4. Adquisición de subsistemas cubesat.
5. Certificaciones para lanzamiento:
Pruebas y validación.
6. Opciones de lanzamiento.
7. Operaciones y estación terrena.
8. Regulaciones, licencias, certificaciones, costos.
9. Retos futuros, oportunidades y cierre.



Objetivo del Taller.

El objetivo del presente taller es el de proporcionar conceptos, elementos y estrategias para el diseño de misiones Cubesat.

Se presentará una visión general del desarrollo de nanosatélites cubesat y se mostrarán las practicas esenciales en el diseño de misiones de este tipo.



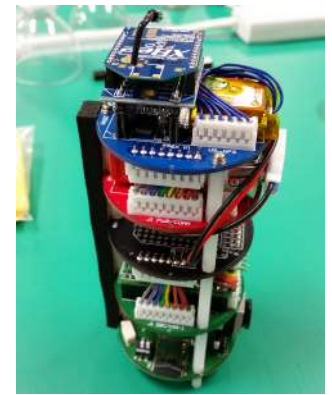
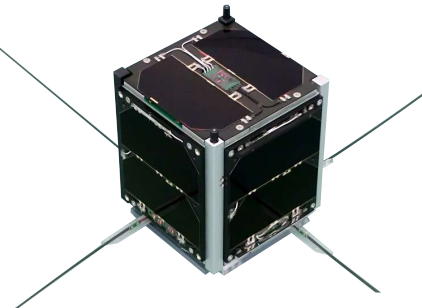
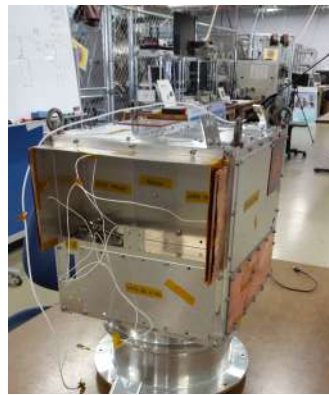
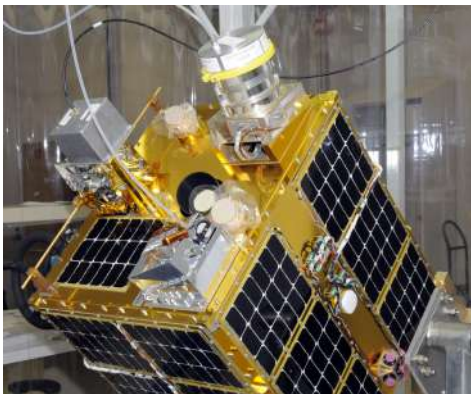
Introducción

El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños).



1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

El término de satélites pequeños se adopta en respuesta a tecnologías espaciales que surgen en aplicaciones diversas donde el volumen y masa de los vehículos espaciales se reduce significativamente respecto de las tecnologías tradicionales.



1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Estado del Arte (SoA)

En años recientes los satélites pequeños se han vuelto más atractivos debido a los menores costos y cortos tiempos de desarrollo.

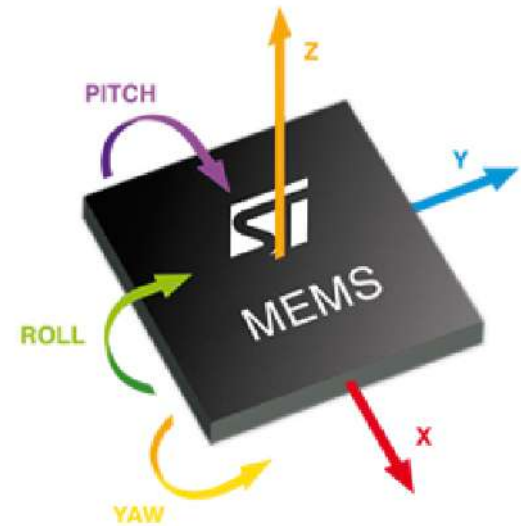
Hay un equilibrio que debe hacerse entre el tamaño y la funcionalidad de una nave espacial, pero avances la miniaturización e integración han disminuido la distancia entre dimensiones/masa y la funcionalidad.

1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Miniaturización

Un ejemplo del estado del arte en la tecnología de miniaturización son los sistemas microelectromecánicos (MEMS), componentes con características de microescala (μm).

Además de su pequeño tamaño, en algunos casos los dispositivos basados en MEMS pueden proporcionar una mayor precisión y menor consumo de energía en comparación con sistemas “convencionales mayores”.

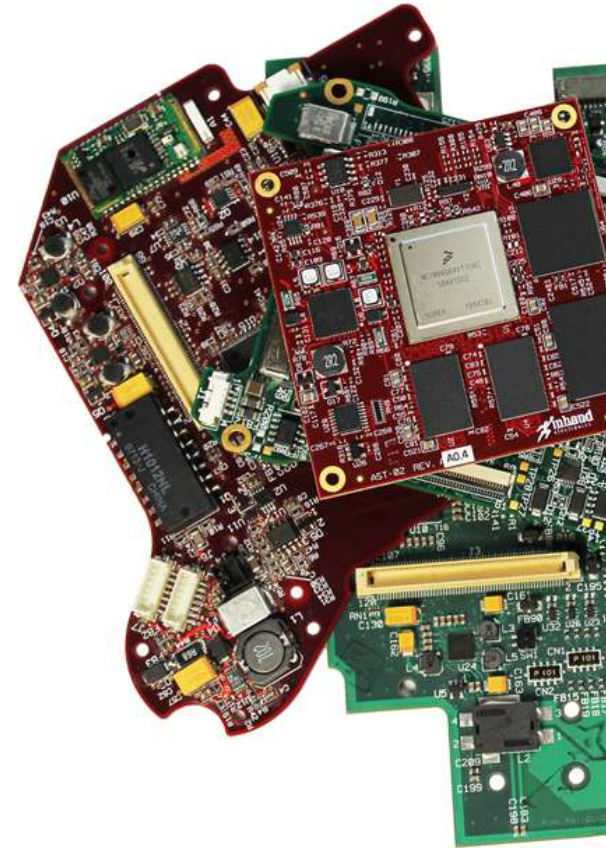


1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Estado del Arte (SoA)

Integración

- Algunos naves espaciales pequeñas se ensamblan e integran con el mismo rigor que sus contrapartes más grandes; otros se integran dentro laboratorios universitarios.
- Al integrar componentes individuales se puede aumentar considerablemente la funcionalidad y la densidad del sistema, reduciendo masa y volumen innecesario.
- Técnicas de integración de satélites pequeños tan avanzados o más que aquellas técnicas utilizadas para naves espaciales más grandes.
- EL uso de componentes comerciales de última generación (COTS) se utilizan comúnmente para construir satélites pequeños lo que reduce el costo considerablemente.



1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

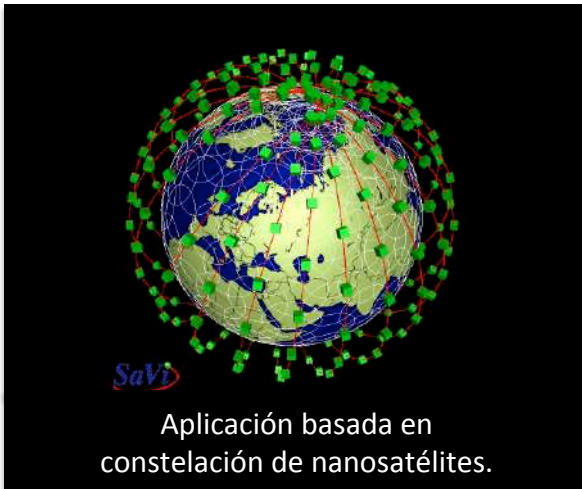
Lo que sigue...

Tendencia hacia la miniaturización y mayores niveles de integración como los observados en pico y femtosatélites. Las misiones fraccionadas prometen también un campo de investigación.



1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

¿Qué es un nano-satélite y qué ventajas ofrece?



Sistema espacial de bajo costo y corto tiempo de desarrollo:

- ~50 cm, ~10kg, hasta 5M (USD).
- Gestión eficiente y con toma de mayor riesgo.
- Basados en componentes comerciales (COTS).

Constelaciones que pueden cubrir todo el planeta:

- Puede revolucionar las aplicaciones espaciales.

Demanda creciente de nuevos interesados en tecnologías espaciales:

- Negocios pequeños, universidades y países en vías de desarrollo.

Posibilidades de:

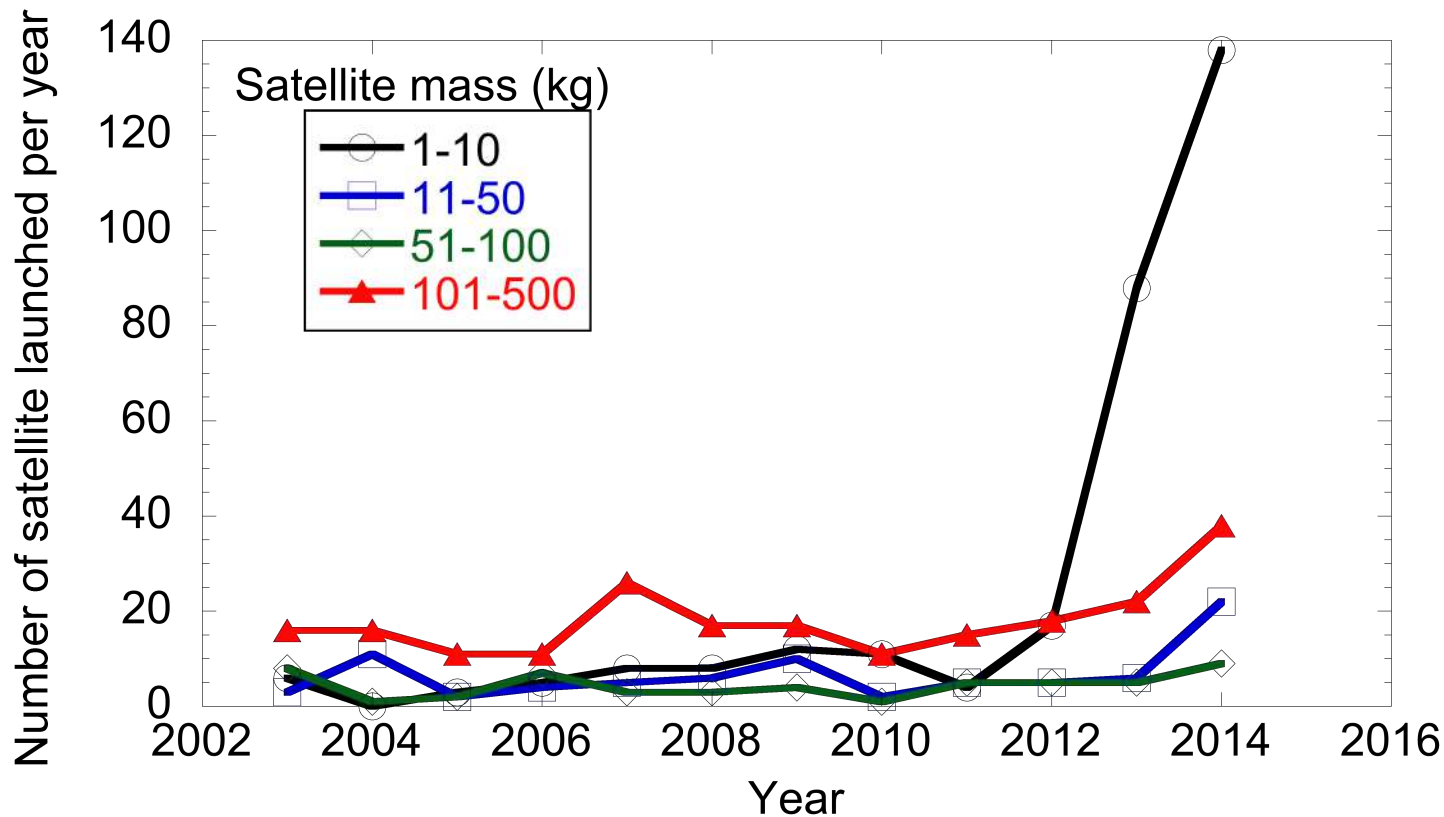
- Expansión de la base industrial espacial.
- Apertura de nuevos mercados de aplicaciones basadas en el espacio.

1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Tendencia en el desarrollo y lanzamiento de nanosatélites

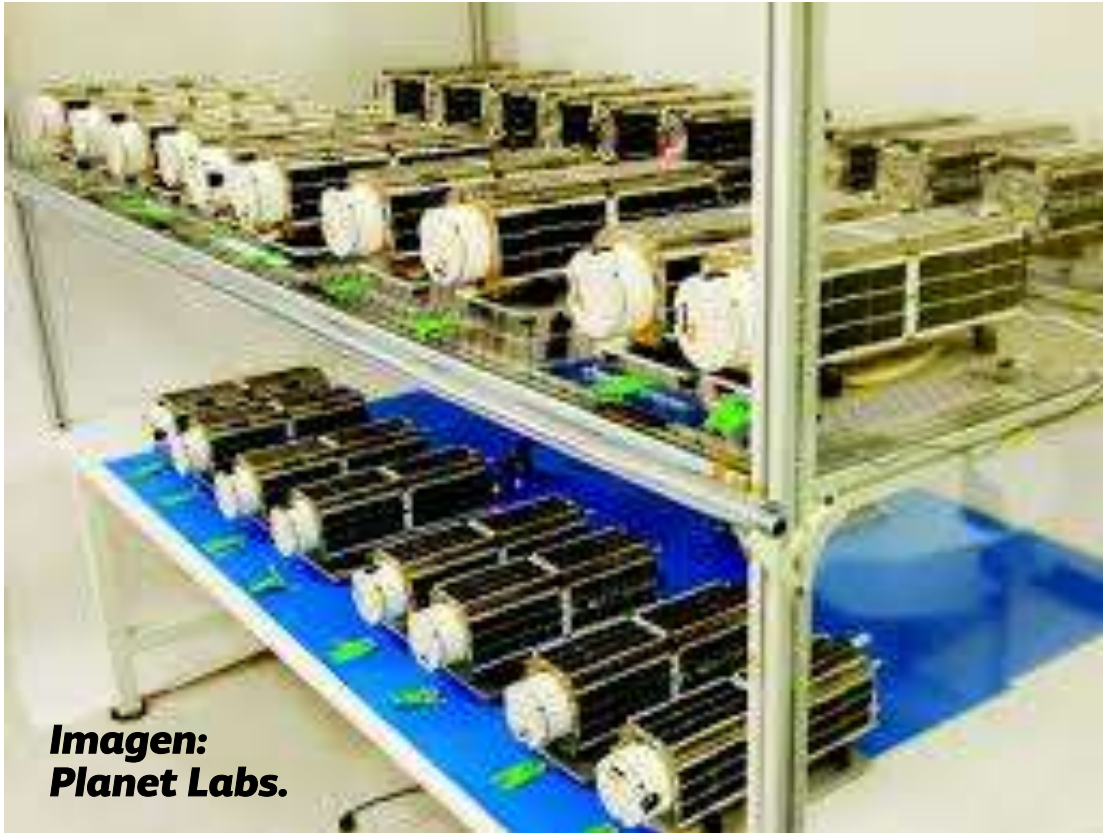
- Crecimiento explosivo de lanzamiento de nanosatélites.
- Más de 100 nanosatélites lanzados en dos años.

Fuente:
Instituto
Tecnológico de
Kyushu,
Japón, 2015.



1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Aplicaciones comerciales de nanosatélites



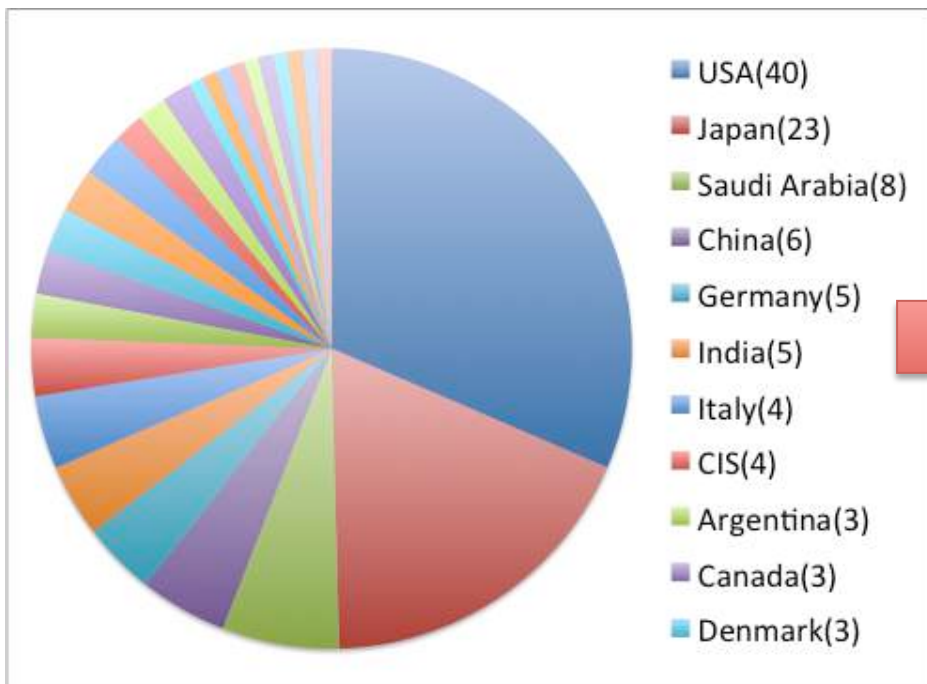
**Imagen:
Planet Labs.**

- El uso comercial de nanosatélites comenzó en 2013.
- Se espera un crecimiento para los micro/nanosatélites (<50kg) de 700 millones de dólares a los 1800 millones de dólares para 2019.

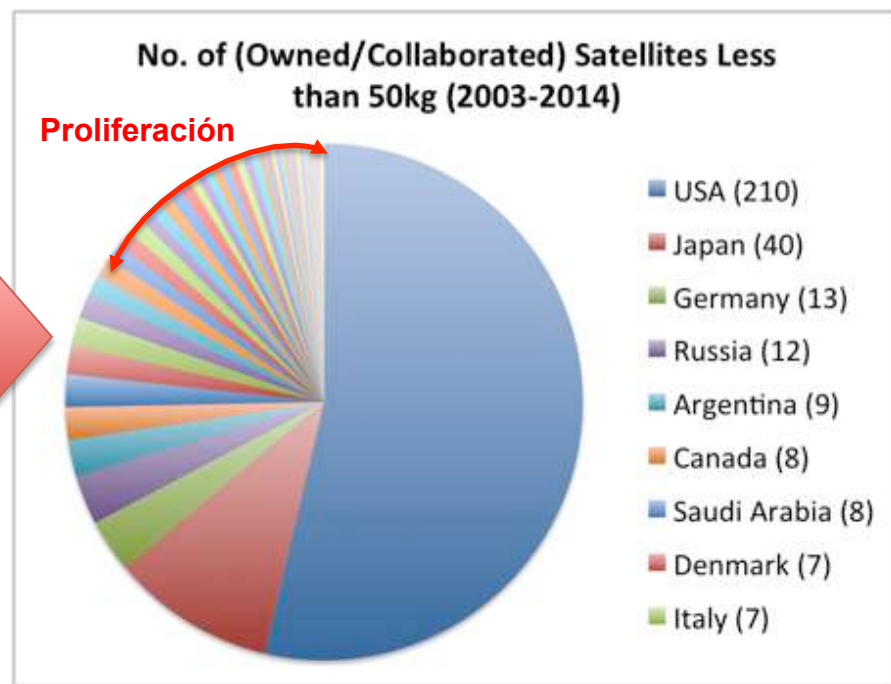
1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Dueños de nanosatélites (1~50 kg)

2003~2012 (26 países.)



2003~2014 (45 países.)



Fuente: Instituto Tecnológico de Kyushu, Japón, 2015.

1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Lanzamientos de tipos de satélites por décadas

	1990s	2000s	2010s
Nanosatellites	2	3	8
Traditional	14	10	11

Varios países se integran al sector espacial mediante la tecnología de nanosatélites.



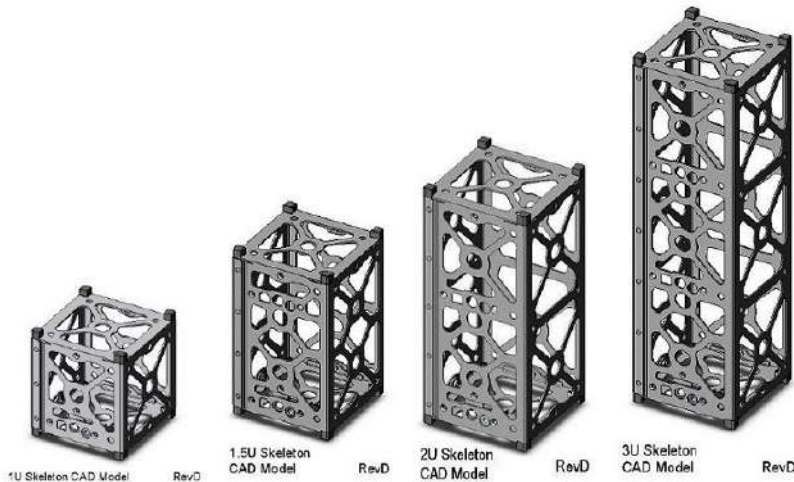
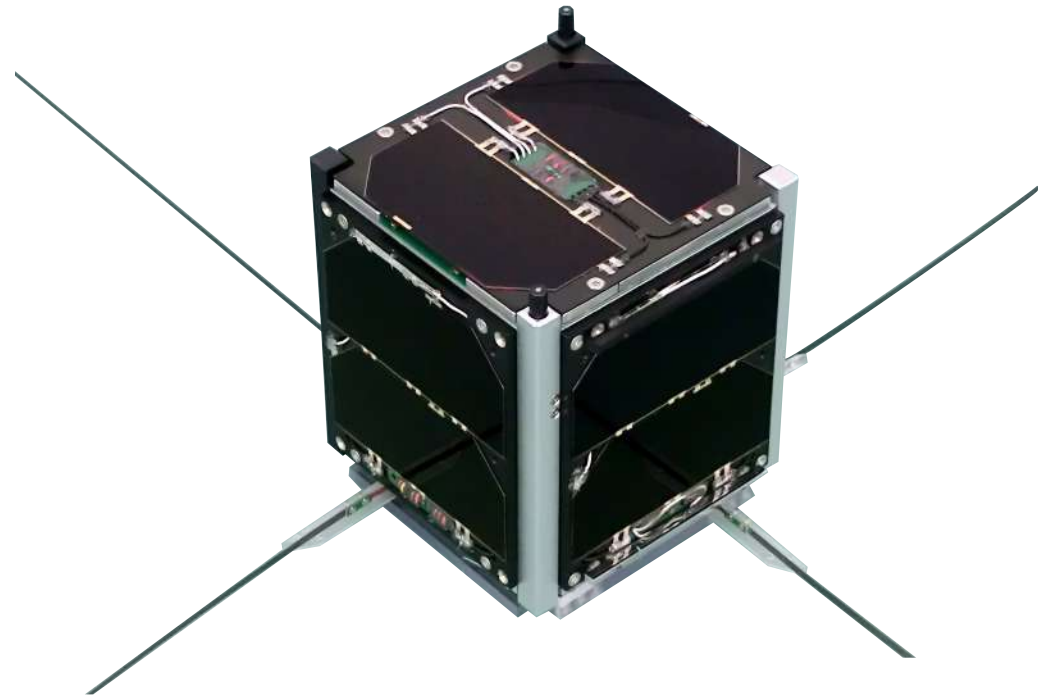
VS



1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Cubesat (definición)

El proyecto CubeSat fue desarrollado por la Universidad Estatal Politécnica de California, San Luis Obispo y el Space Systems Development Lab de la Universidad de Stanford. El programa CubeSat crea oportunidades de lanzamiento para las universidades que antes no podían acceder al espacio.

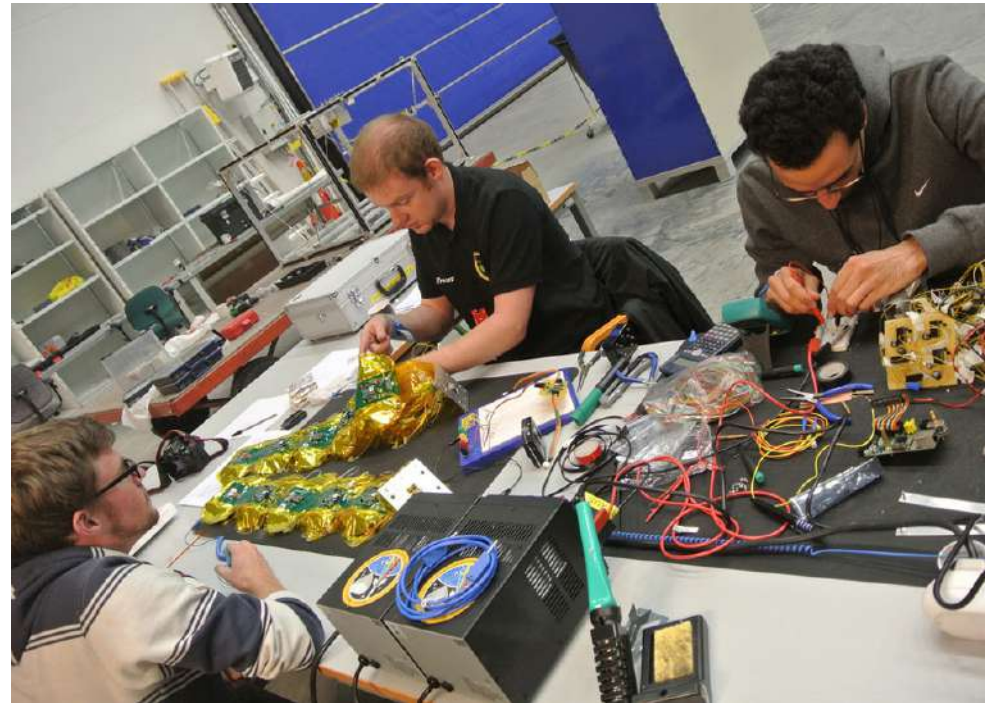


1. Introducción: El acceso al espacio por medio de cubesats (aspectos generales de los satélites pequeños)

Cubesat (definición)

El programa CubeSat busca ofrecer oportunidades prácticas, fiables y rentables de lanzamiento de pequeños satélites y sus cargas útiles. Para ello, oferta a la comunidad con:

- Un estándar de diseño y construcción.
- Un sistema de despliegue de vuelo probado (P-POD).
- Coordinación de los documentos requeridos y licencias de exportación.
- Integración y pruebas de aceptación.
- Envío del hardware de vuelo a la base de lanzamiento y la integración con el vehículo de lanzamiento.
- Confirmación de despliegue con éxito y la información de telemetría.



<http://cubesat.calpoly.edu/index.php/documents/developers>

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

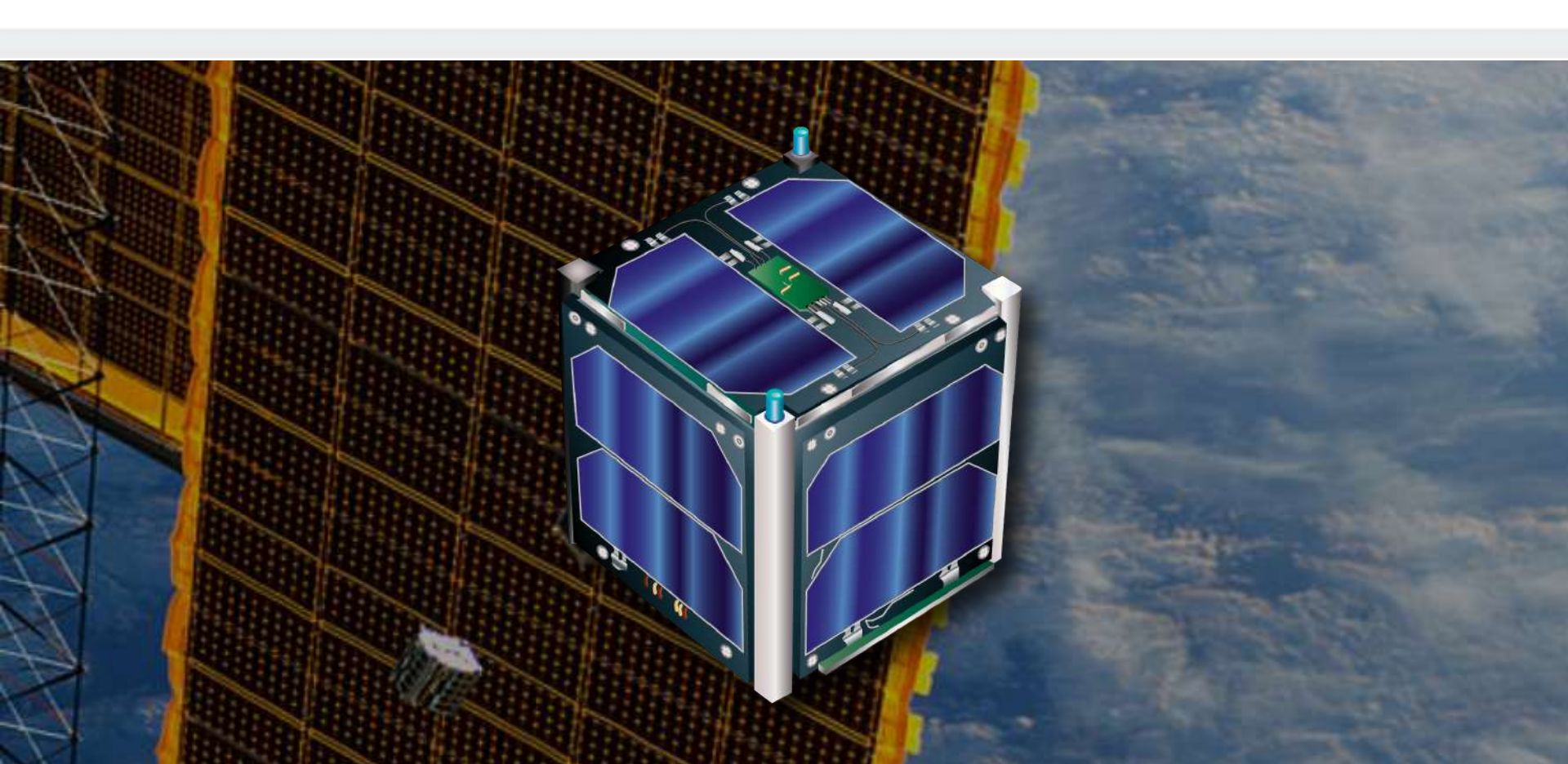
AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA



Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Existen diferentes tipos de sistemas para la exploración espacial.

Globos Meteorológicos

Globo que lleva instrumentos a grandes alturas para obtener información sobre la presión atmosférica, la temperatura, la humedad y velocidad del viento por medio de un pequeño dispositivo de medición llamado radiosonda.



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Existen diferentes tipos de sistemas para la exploración espacial.



Cohete de sondeo

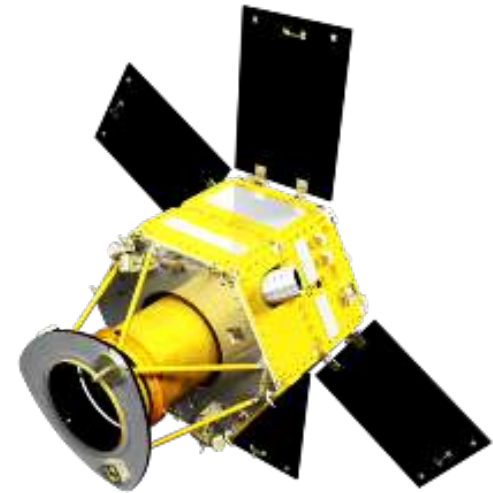
Consiste en un cohete diseñado para tomar mediciones y realizar experimentos científicos durante un vuelo sub-orbital. Llevan instrumentos a alturas de 50 a 1.500 kilómetros (31 a 930 mi) [1] por encima de la superficie de la Tierra.

2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Existen diferentes tipos de sistemas para la exploración espacial.

Nano y microsátélites

Satélites artificiales de baja masa y tamaño, por lo general de menos de 500kg. Mientras todos estos satélites pueden ser referidos como pequeños satélites, se utilizan diferentes clasificaciones basadas en su masa para categorizarlos. Una razón para la miniaturización de los satélites es reducir el costo: los satélites más pesados requieren cohetes más grandes y con mayor empuje, que también tienen mayor costo.



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Existen diferentes tipos de sistemas para la exploración espacial.



Satélites grandes

Objetos de 1000 kg o más que se utilizan para llevar cargas útiles de gran proporción como los satélites de comunicaciones, telescopios espaciales, sondas de espacio profundo, misiones robóticas, sistemas de percepción remota de alto desempeño y otros más. Por sus dimensiones se trata de sistemas complejos, con misiones de larga duración, con un costo alto y con tiempos de desarrollo también largos.

2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Desarrollo de una misión Cubesat

Misión

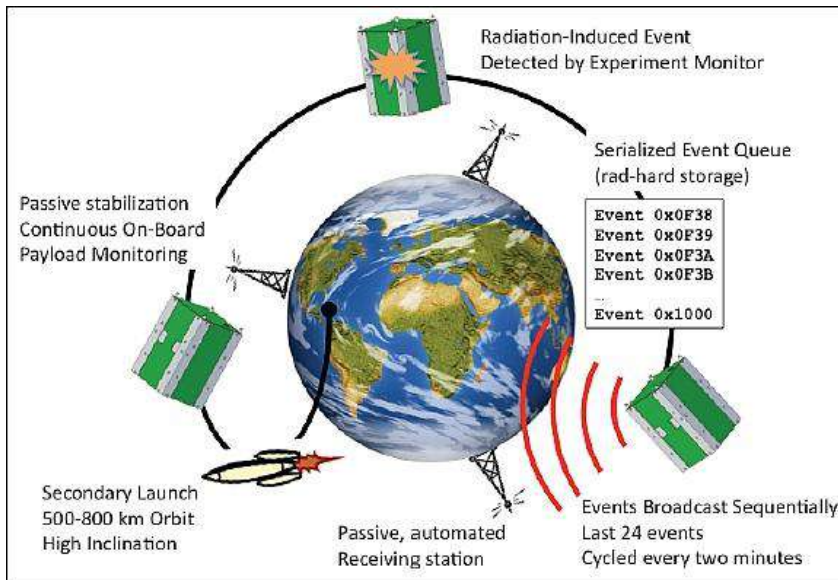
El diseño y construcción de un sistema espacial esta basado en la definición de la misión que se pretende desempeñar, a partir de los objetivos que se plantean. Se busca obtener un diseño robusto y confiable que cumpla con los objetivos.



Concepto de la misión

Se refiere a la declaración más fundamental de como operará la misión, esto es, como encajan todas las piezas, como se obtienen los datos y se realiza la misión en sí para satisfacer al usuario final.

Se pueden tener elementos principales como:



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Definición de la misión y requisitos

- Programación y control de tareas.

La manera en que el sistema decide que hacer y cómo hacerlo en el largo y corto plazo, esto es, si el propósito de la misión es proveer datos, cómo determinar la información, a quién se envía y de dónde obtenerla. Comúnmente las tareas y el control de las mismas involucran bajas tasas de transferencia pero un substancial grado de decisión, de tal manera que se debe planear como realizarlo. Ocurre en dos escalas de tiempo: corto plazo y largo plazo.

a) Tareas a corto plazo: se refiere a las actividades que la nave debe realizar en el presente momento, como por ejemplo ajuste del nivel de voltaje del bus central, envío de datos a estaciones terrenas, etc.

b) Tareas a largo plazo: se refiere a las actividades generales que el sistema debe realizar, por ejemplo la recarga de baterías, apuntamiento a determinados objetivos (en el caso de misiones de observación del cosmos), etc.]

- **Entrega de datos.** Como se colecta, distribuye y utiliza la información que se genera, de la cual se tienen dos tipos fundamentales: datos de la misión y datos del sistema de mantenimiento de la misión (housekeeping).

a) Datos de la misión. Esta corresponde a la información que se genera, transmite o recibe de la carga útil. Representa la información básica y central del motivo de la misión.

b) Datos de mantenimiento de la misión (housekeeping). Consiste de la información utilizada para el soporte de la misión en sí como lo es la órbita de la nave, su orientación, temperatura de baterías y su estado de carga, así como el estatus y condición de todos los subsistemas de la nave.

Concepto de la Misión

- Arquitectura de comunicación.

Se refiere a la manera en que se comunica cada uno de los componentes del sistema entre sí.

- Programación.

Se refiere a las diferentes etapas de planeación, construcción, desarrollo, operación, reemplazo y fin de vida de la misión. Va desde satélites individuales y hasta todo el sistema como las estaciones terrenas y constelaciones.

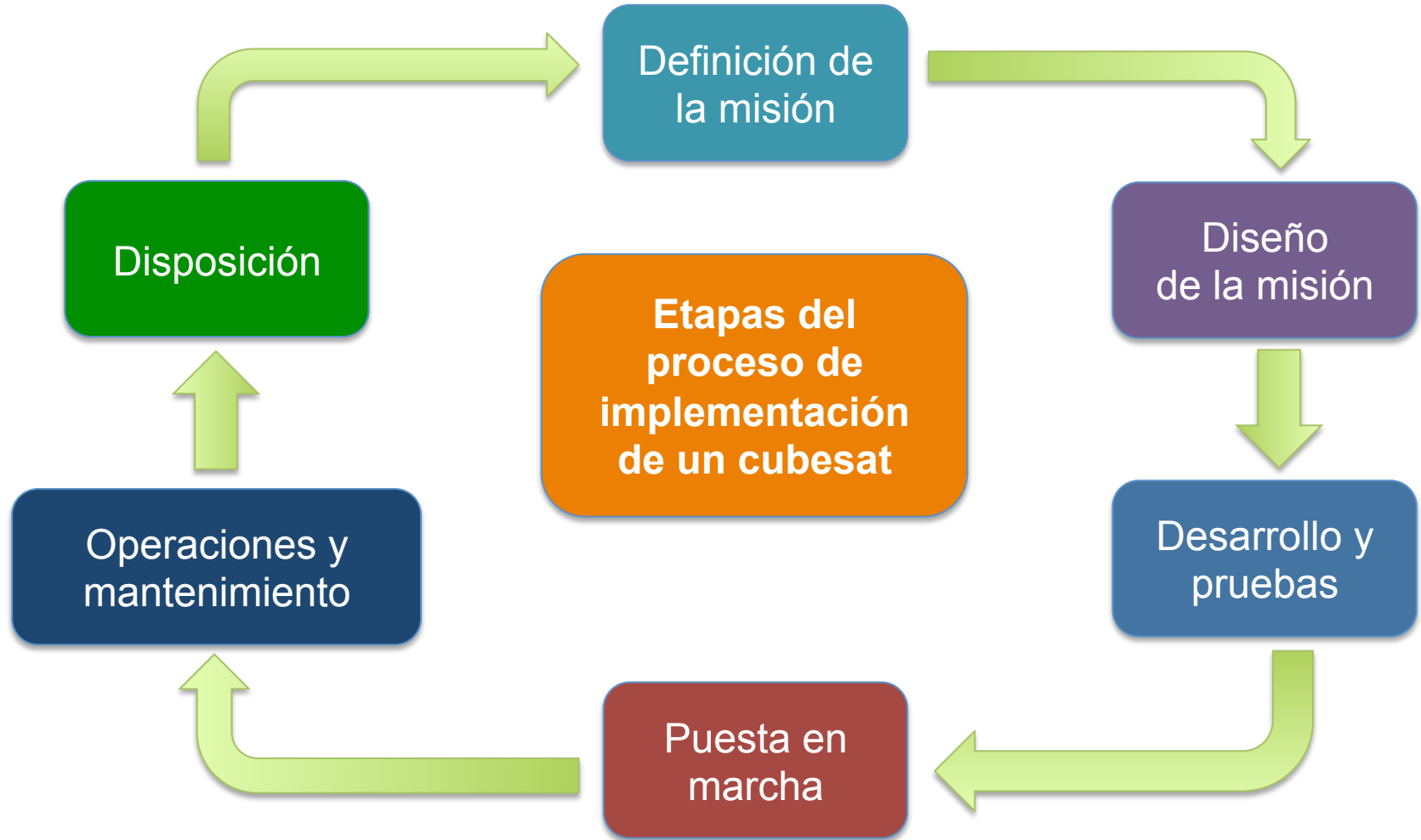
Se encuentra dividido en 6 etapas principales* ->

2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

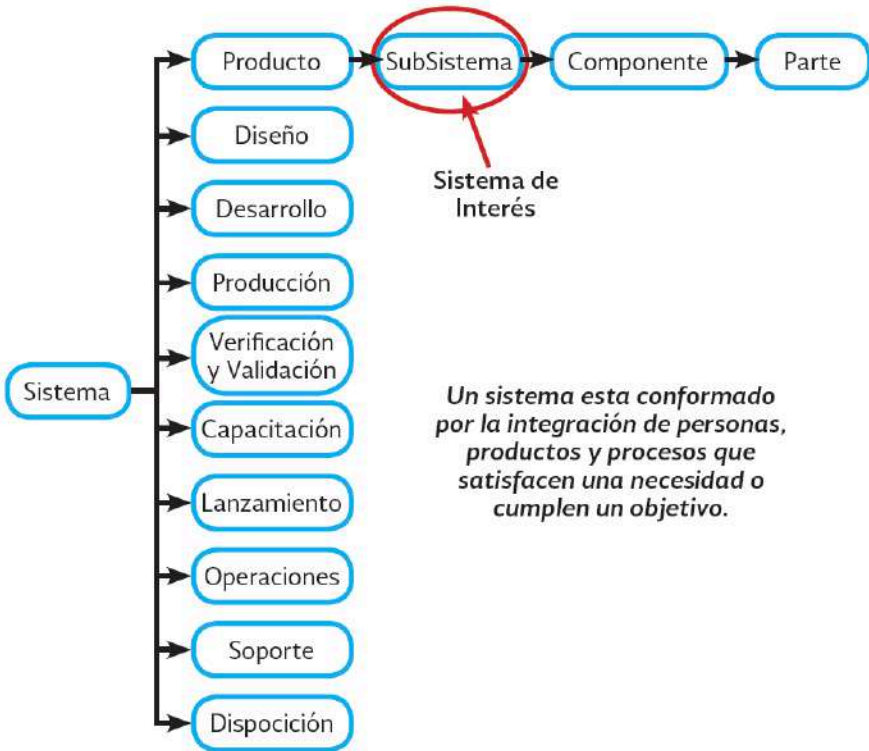
Definición de la misión y requisitos



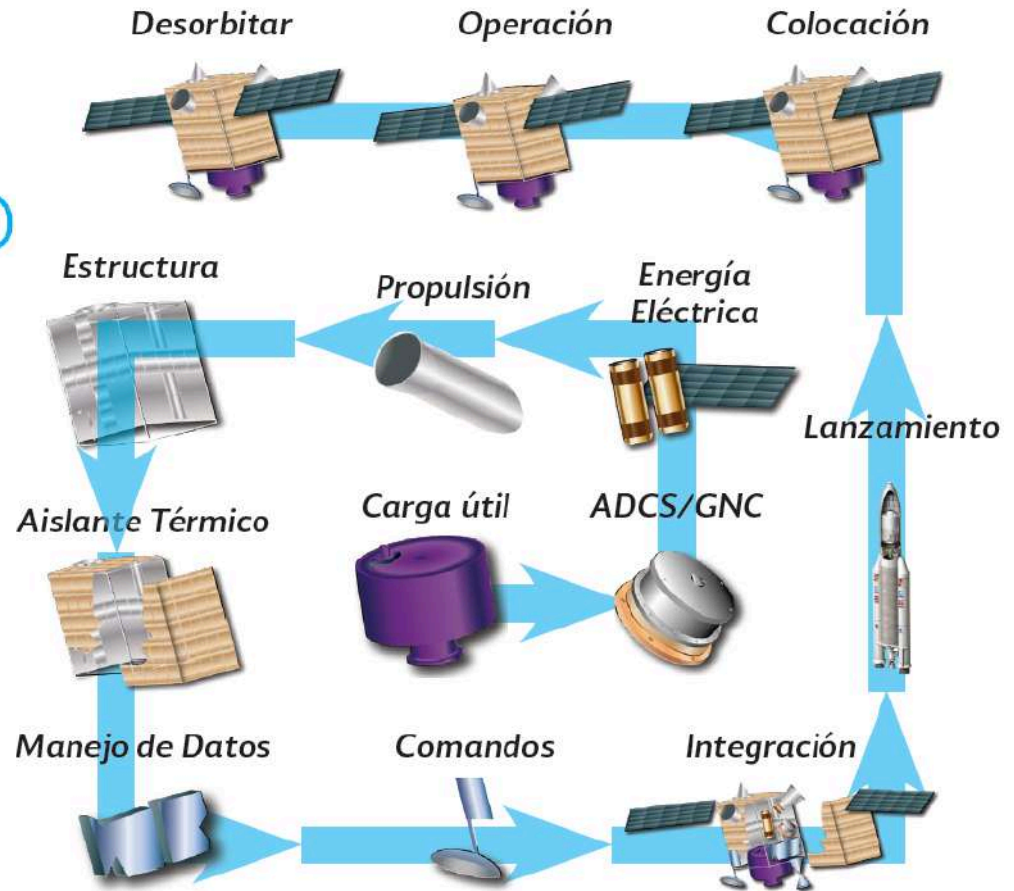
2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Definición de la misión y requisitos

La creación de una misión de tipo Cubesat es un proceso iterativo

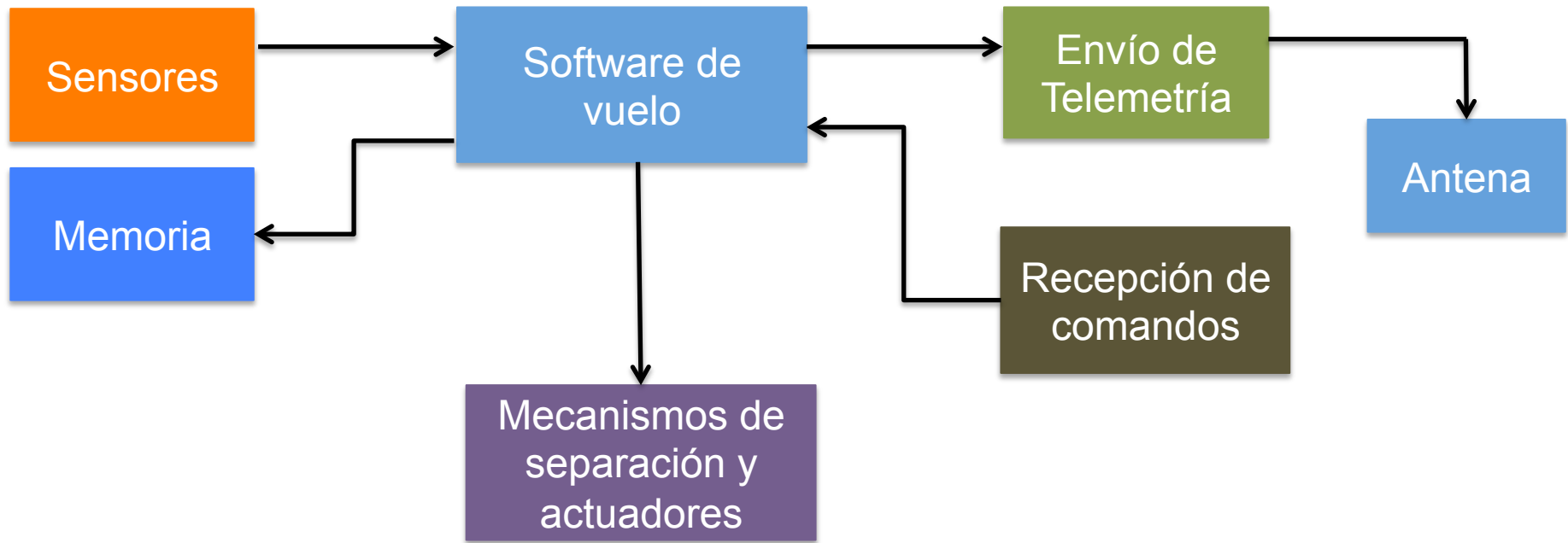


Un sistema esta conformado por la integración de personas, productos y procesos que satisfacen una necesidad o cumplen un objetivo.



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Arquitectura general de una misión CubeSat



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Proceso de Ingeniería de Sistemas



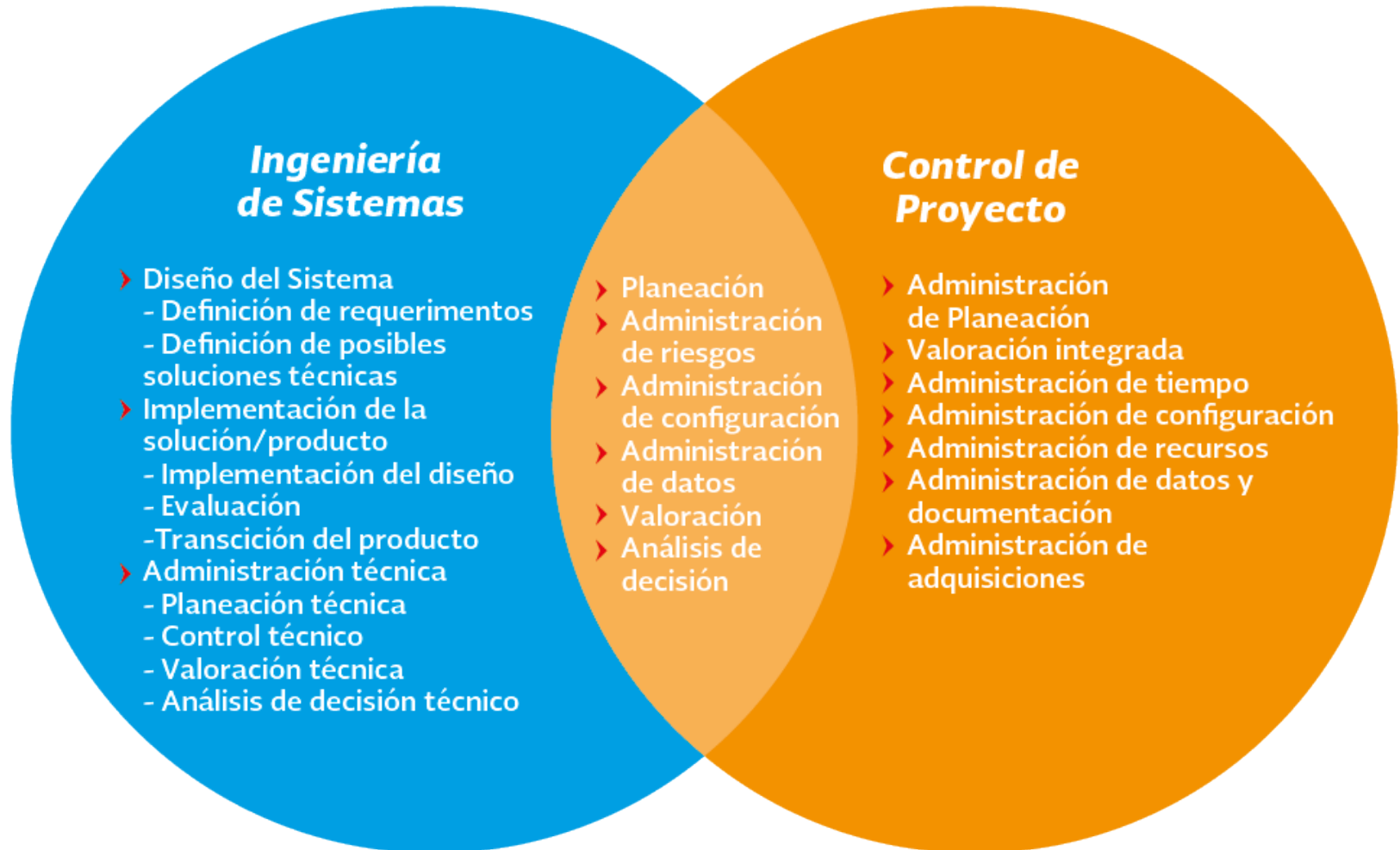
La ingeniería de sistemas consiste de un marco de actividades altamente relacionadas...

...dirigidas a convertir las necesidades del cliente en capacidades reales.



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Proceso de Ingeniería de Sistemas



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

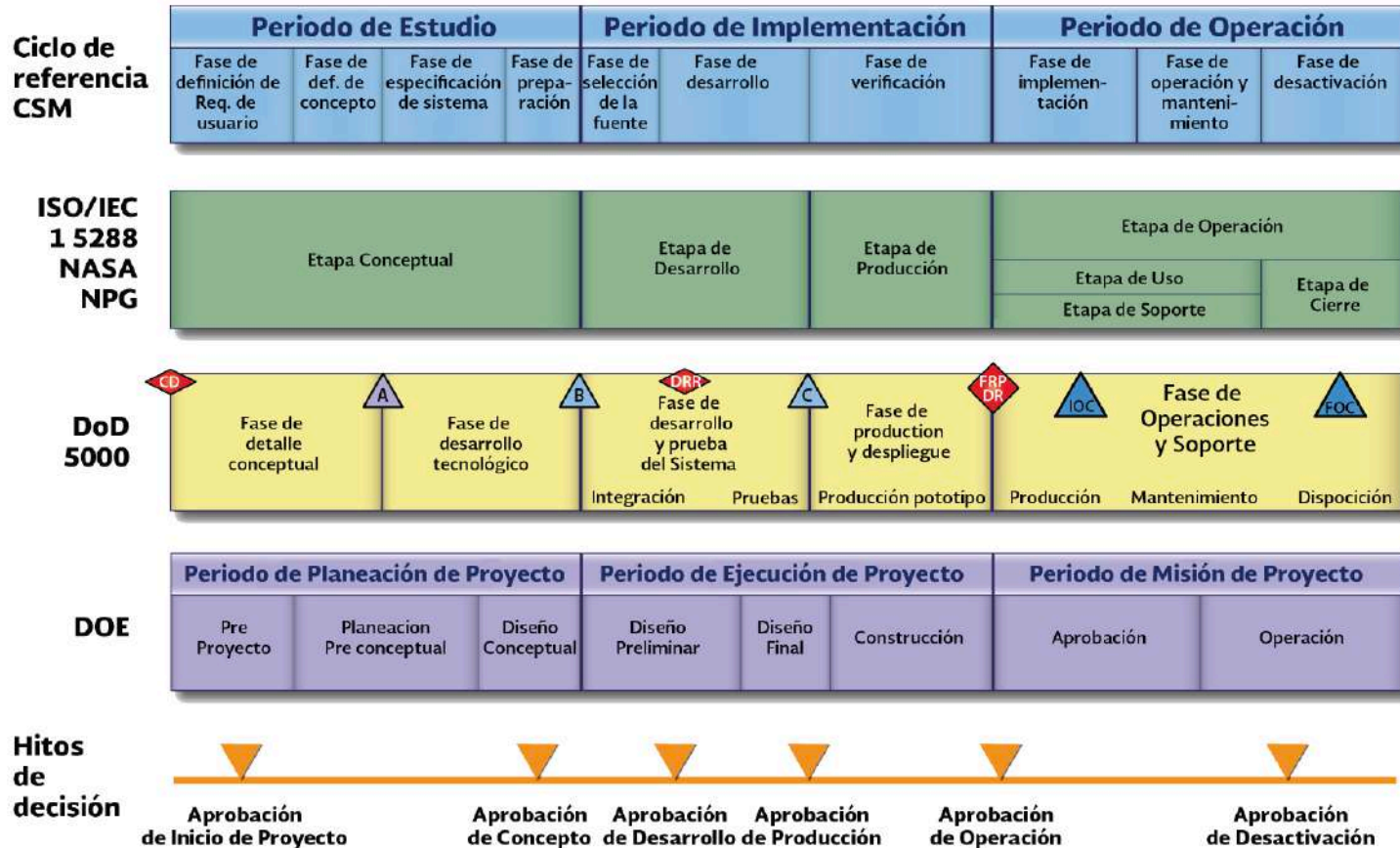
Proceso de Ingeniería de Sistemas

Tres fases principales:

1. Estudio

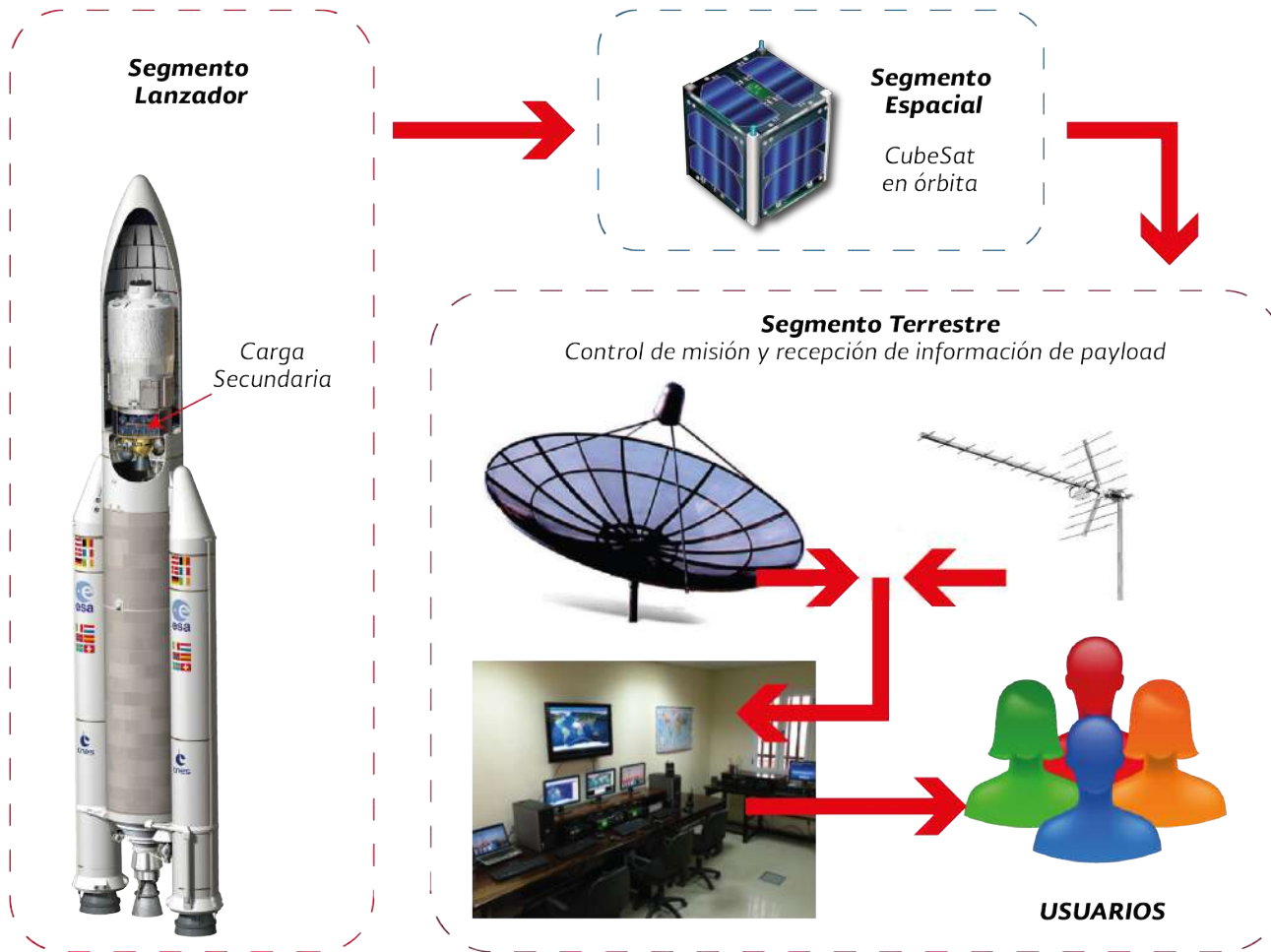
2. Implementación

3. Operación



2. Diseño y análisis de la misión: Ingeniería de Sistemas Espaciales

Arquitectura general de una misión CubeSat



SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



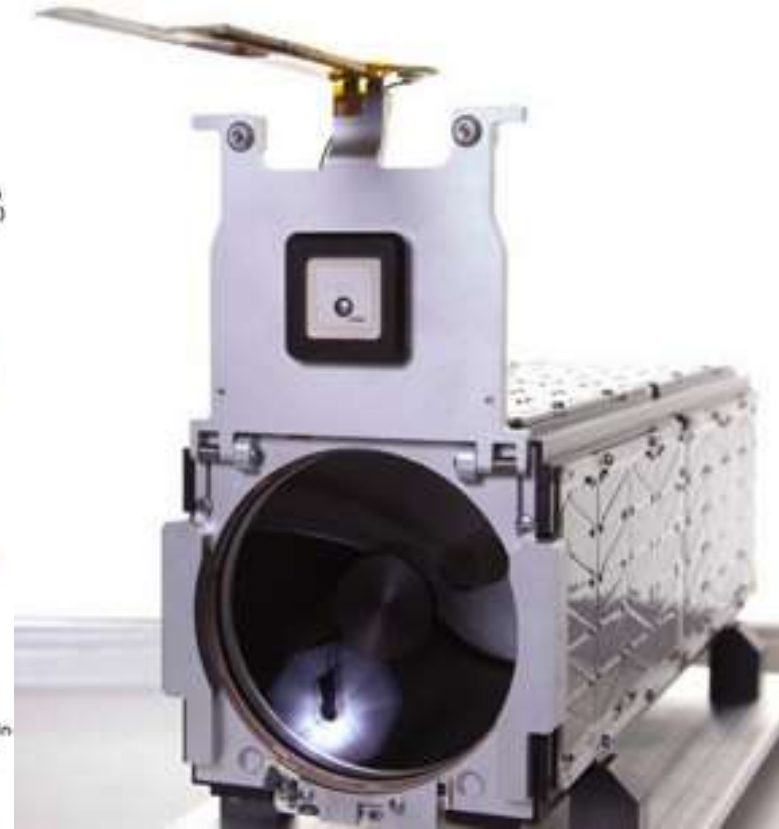
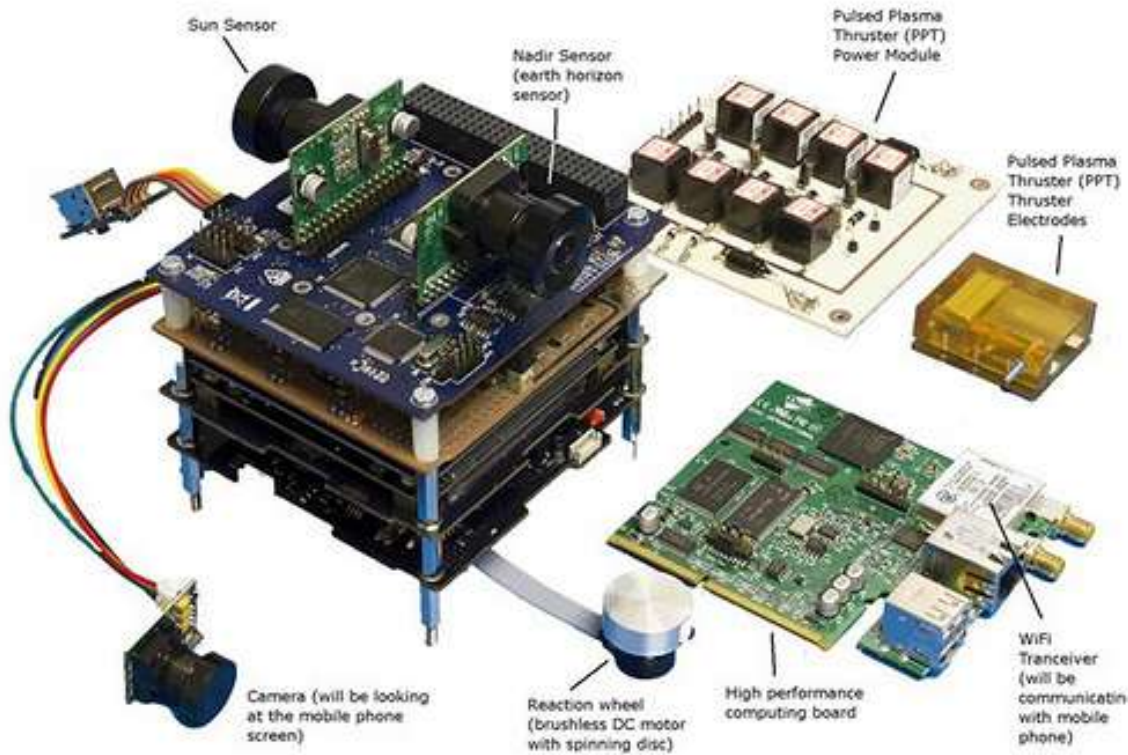
AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

Desarrollo de Carga Útil



3. Desarrollo de Carga Útil



3. Desarrollo de Carga Útil

Definición de la carga útil.

Misión espacial:

Propósito de colocar un equipo y/o personal (carga útil) para llevar a cabo actividades que no pueden realizarse en Tierra o se tiene un interés por realizarlas en el espacio.

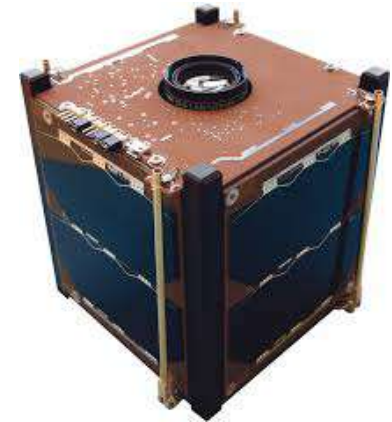
Carga útil

El diseño del equipo que llevará a cabo el objetivo de la misión está influenciado fuertemente por la misión específica misma, el tiempo de vida de ésta, así como las condiciones del vehículo de lanzamiento y el ambiente del espacio o lugar donde operará el sistema.

Necesidades.

Objetivos
y metas.

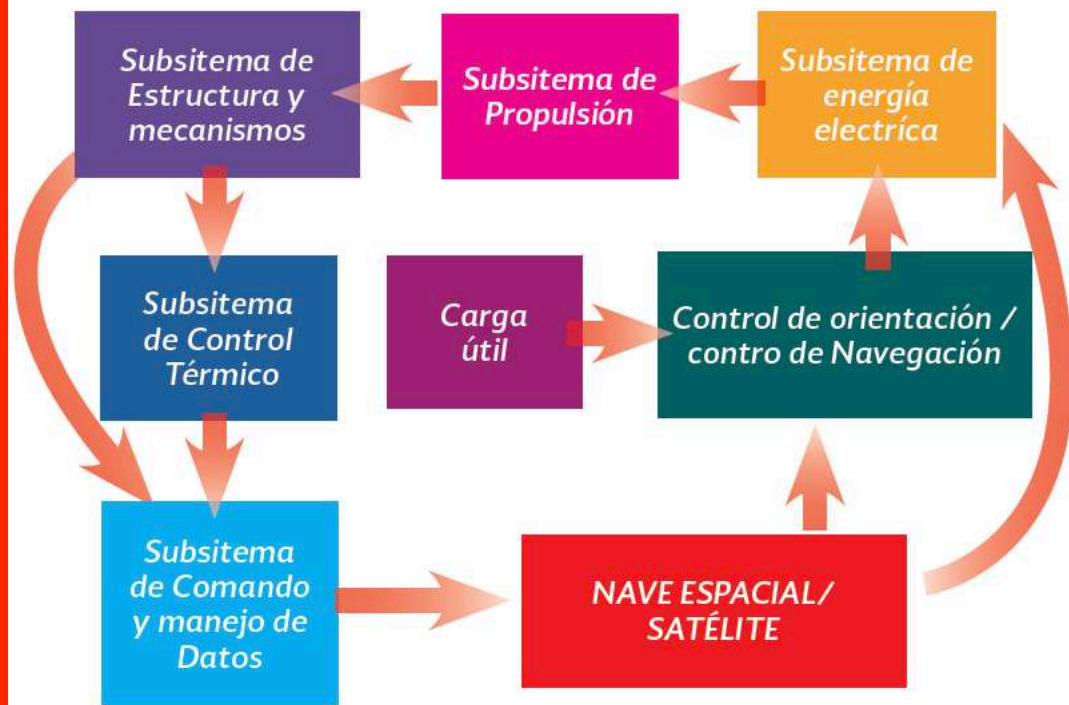
Concepto de
operaciones.



3. Desarrollo de Carga Útil

La carga útil determina el dimensionado y desarrollo de todos los demás subsistemas.

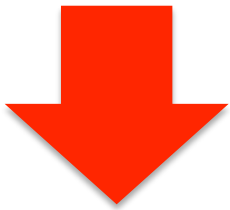
- Proceso sistemático.
- Cumplir con los objetivo de la misión.
- Estudios de viabilidad.
- Desarrollar el concepto de operaciones.
- Determinar la capacidad requerida.
- Identificar cargas útiles existentes.
- Desarrollo de nuevas tecnologías.
- Seleccionar una línea base.
- Evaluar el costo del ciclo de vida y su operación.
- Documentar e iterar.



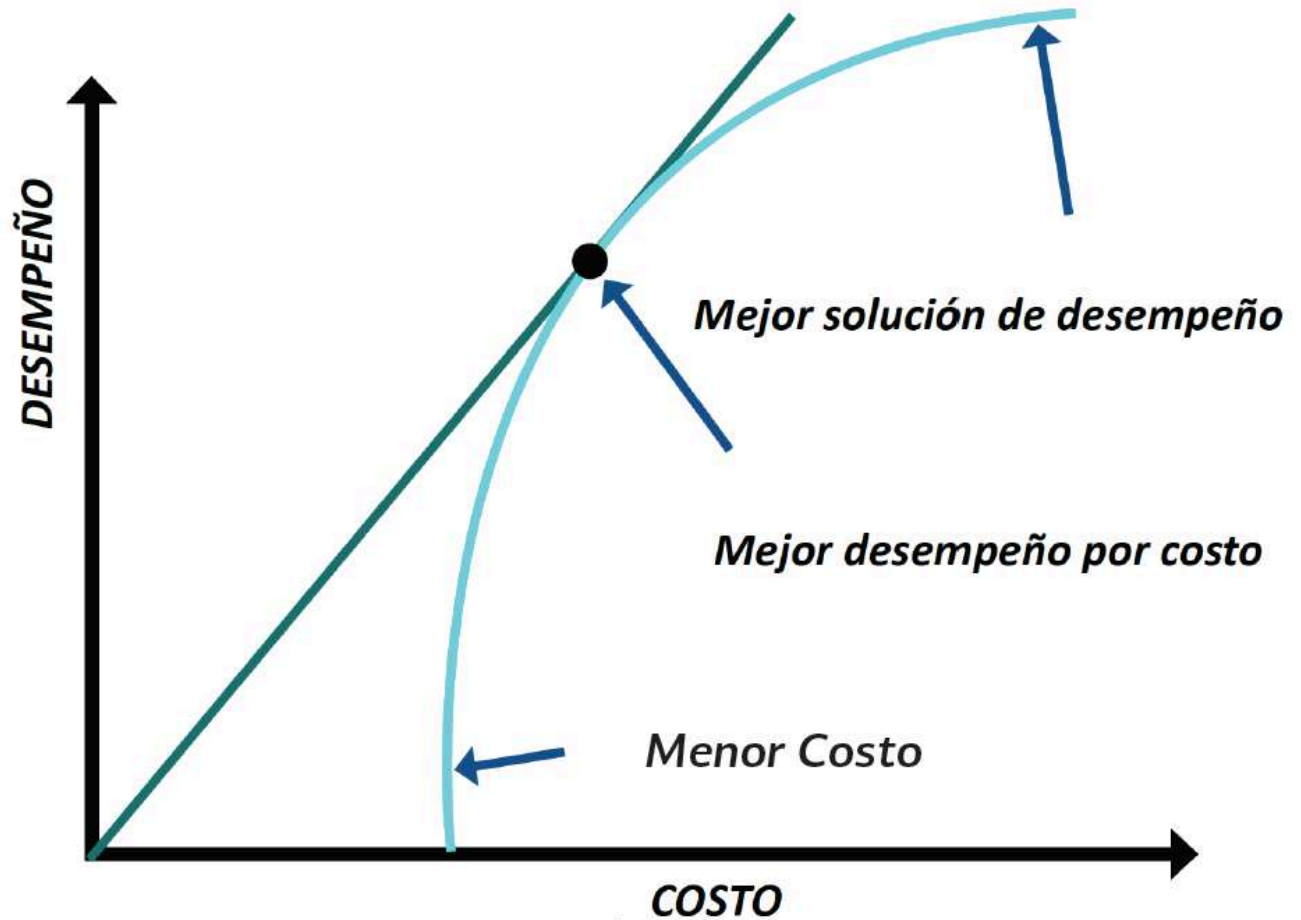
3. Desarrollo de Carga Útil

Consideraciones de diseño de la carga útil.

La órbita.
Entorno espacial.
Vehículo de lanzamiento.
Interfaz del sistema y
el centro en Tierra.



Apuntamiento.
Control térmico.
Potencia eléctrica.
Ciclo de trabajo.
Vida de la misión.



SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

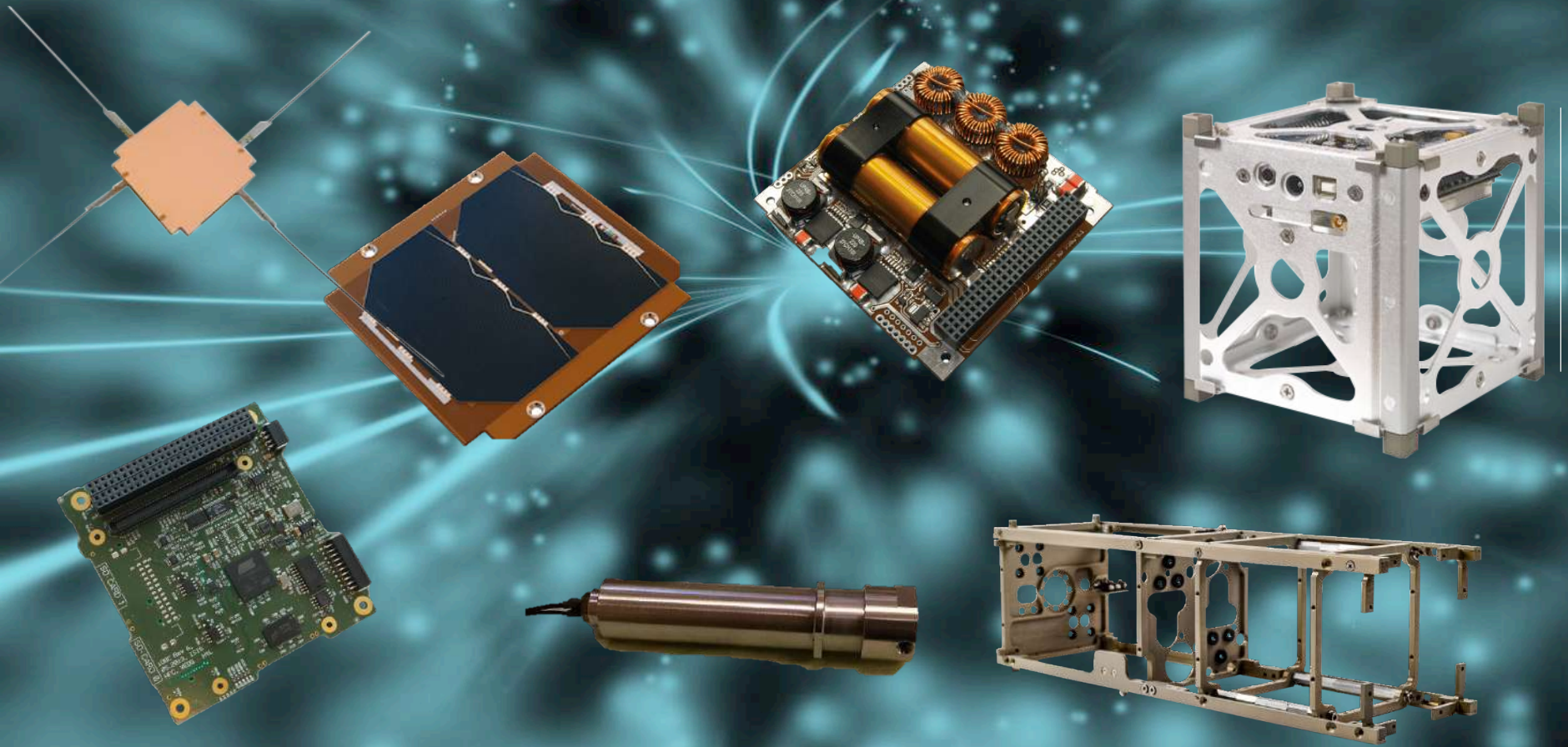
SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

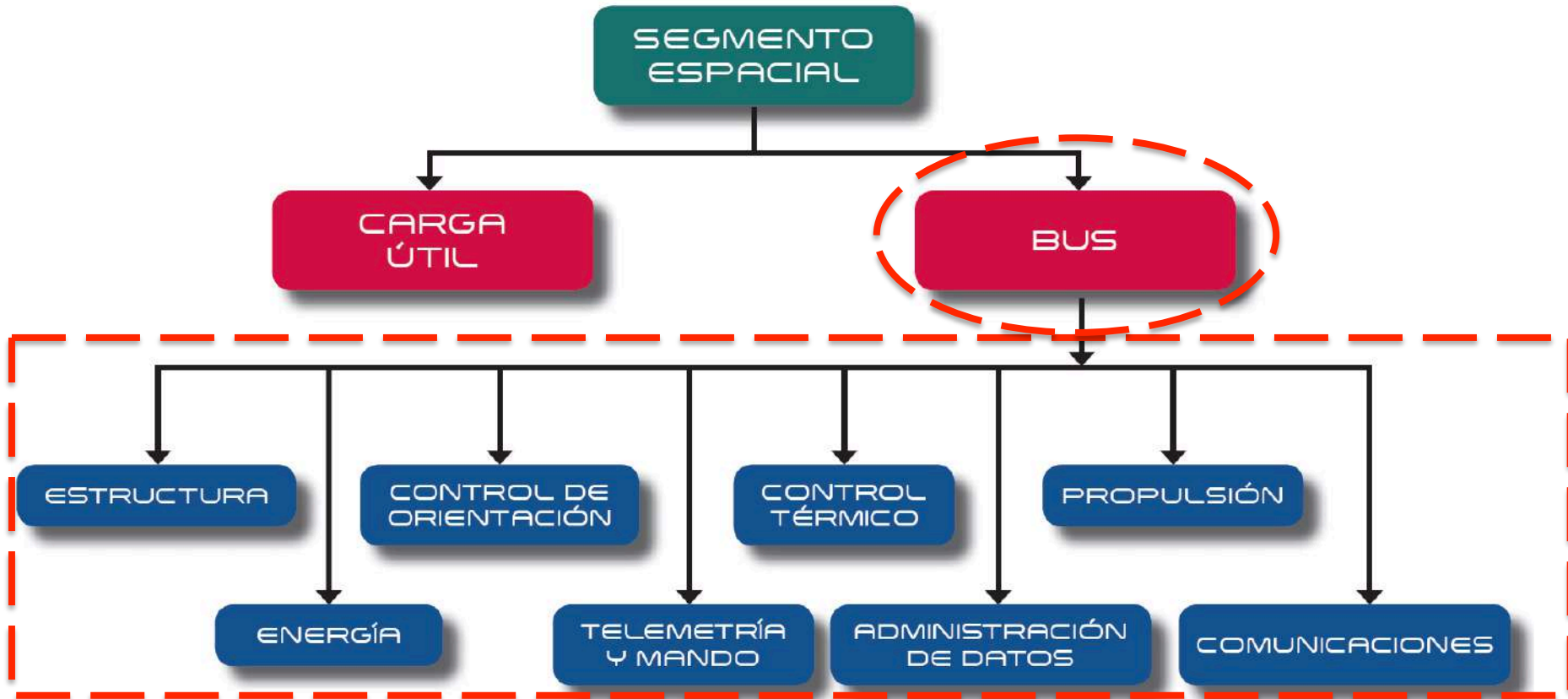
AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

Adquisición de subsistemas Cubesat



4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

La adquisición de subsistemas Cubesat (bus) permite al diseñador de la misión enfocarse en el desarrollo de la carga útil.



4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

La adquisición de subsistemas Cubesat (bus) permite al diseñador de la misión enfocarse en el desarrollo de la carga útil.

La elección de los subsistemas se debe basar en:

Subsistema ADCS

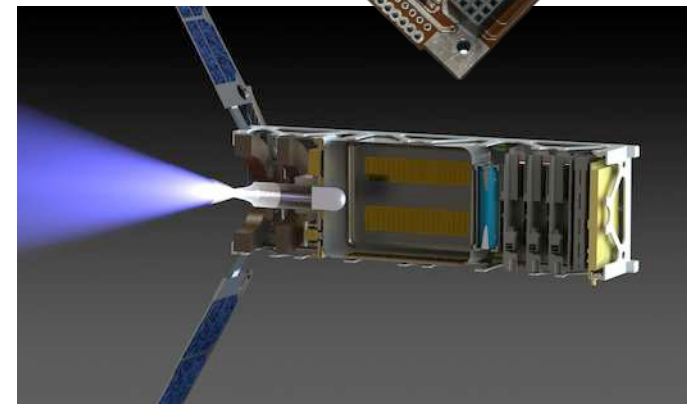
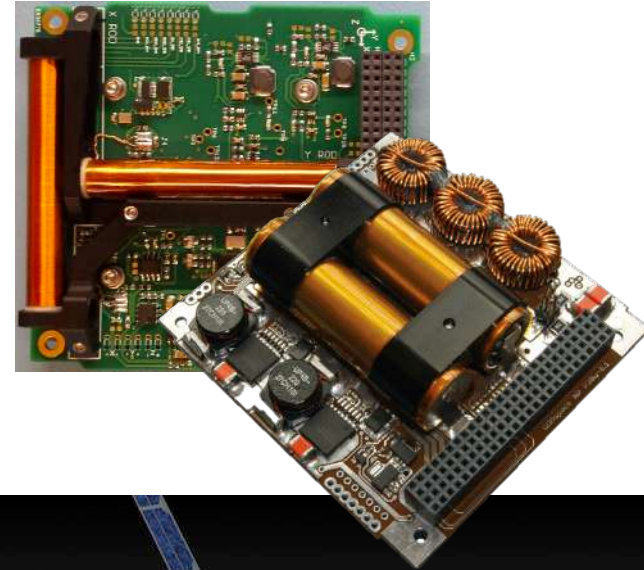
El dimensionado depende del número de ejes a ser controlados, la precisión del control y la velocidad de respuesta. Requisitos de maniobras y perturbaciones.

Subsistema de potencia (energía)

Dimensionado basado en las necesidades de potencia de la carga útil y los subsistemas de la plataforma, órbita y dimensiones del Cubesat.

Subsistema de propulsión

Dimensionado de parámetros para el subsistema: maniobras.



4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

La adquisición de subsistemas Cubesat (bus) permite al diseñador de la misión enfocarse en el desarrollo de la carga útil.

La elección de los subsistemas se debe basar en:

Subsistema de estructura

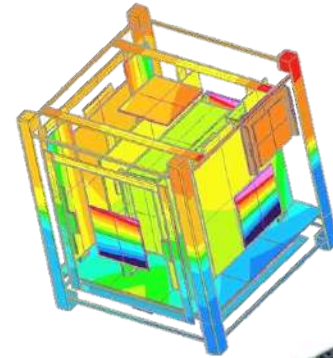
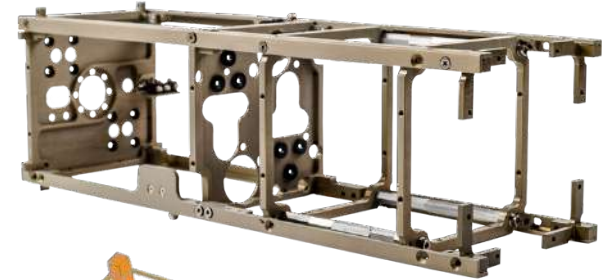
El dimensionado incluye el tamaño de todos los subsistemas (dimensiones) que requieren ser acomodados, las condiciones ambientales de operación, órbita, pruebas de vibración, impacto y estructura de montaje en el vehículo lanzador.

Subsistema térmico

Dimensionado basado en la cantidad de calor a disipar y las temperaturas necesarias de los diferentes componentes para operar correctamente.

Subsistema de manejo de datos

Dimensionado basado en la razón del volumen de datos, especificaciones.



4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

Existen soluciones comerciales que hacen uso del estándar Cubesat:

Pumpkin Inc. <http://www.cubesatkit.com/>

Tyvak <http://tyvak.com/>

Innovative Solutions In Space (ISIS)
<http://www.isispace.nl/cms/>

GomSpace <http://www.gomspace.com/>

Clyde Space <http://www.clyde-space.com/>

Stras Space <http://www.stras-space.com/>

Space Micro <http://www.spacemicro.com/>

Sequoia Space <http://www.sequoiaspace.com/>

Blue Canyon Technologies <http://bluecanyontech.com/>

Space Flight <http://www.spaceflight.com/>

TiGA-U Cubesat <http://www.cubesatpro.com/index.php>



4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

Existen soluciones comerciales que hacen uso del estándar Cubesat:

Aerojet <http://www.rocket.com/cubesat> (propulsion)

Berlin Space Technologies

<http://www.berlin-space-tech.com/>

AAC Microtec <http://www.aacmicrotec.com/>

Tethers Unlimited <http://www.tethers.com/>

Astronautical Development LLC

http://www.astrodev.com/public_html2/

Group of Astrodynamics for the Use of Space Systems (G.A.U.S.S)

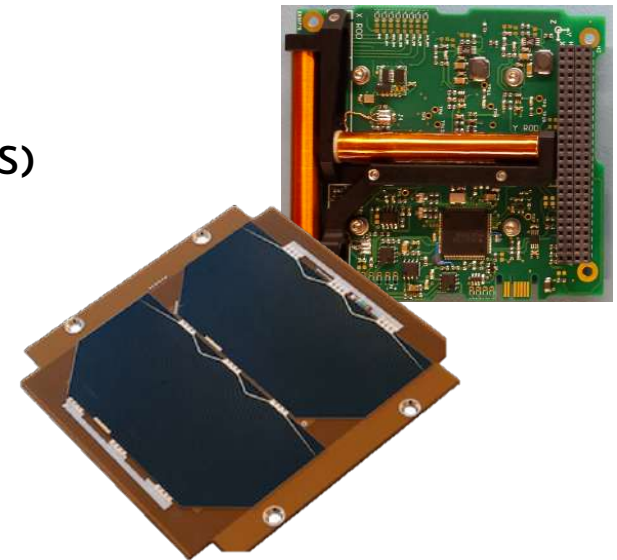
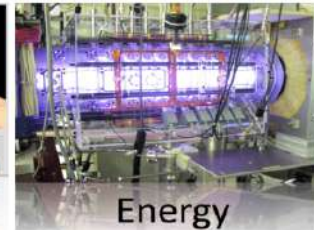
<http://www.gaussteam.com/>

SSBV Aerospace & Technology Group <http://www.ssbv.com/>

Solar MEMS <http://www.solar-mems.com/en/>

CU Aerospace <http://www.cuaerospace.com/> (propulsion)

SkyFox Labs <http://www.skyfoxlabs.com/>



4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

Existen soluciones comerciales que hacen uso del estándar Cubesat:

GUMUSH Aerospace & Defense <http://www.gumush.com.tr/>

Planetary Systems Corporation
<http://www.planetarysystemscorp.com/>

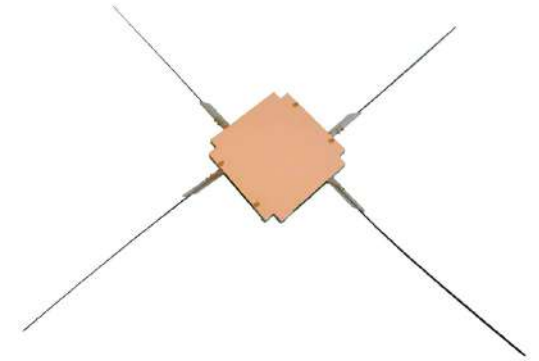
Busek Co <http://www.busek.com/> (propulsión)

Nano Avionics JSC <http://n-avionics.com/>
(integración y pruebas de Cubesats)

VACCO Industries <http://www.cubesat-propulsion.com/>
(propulsión)

IQ wireless <http://www.iq-wireless.com/en/sa-radio-technology>
(comunicaciones)

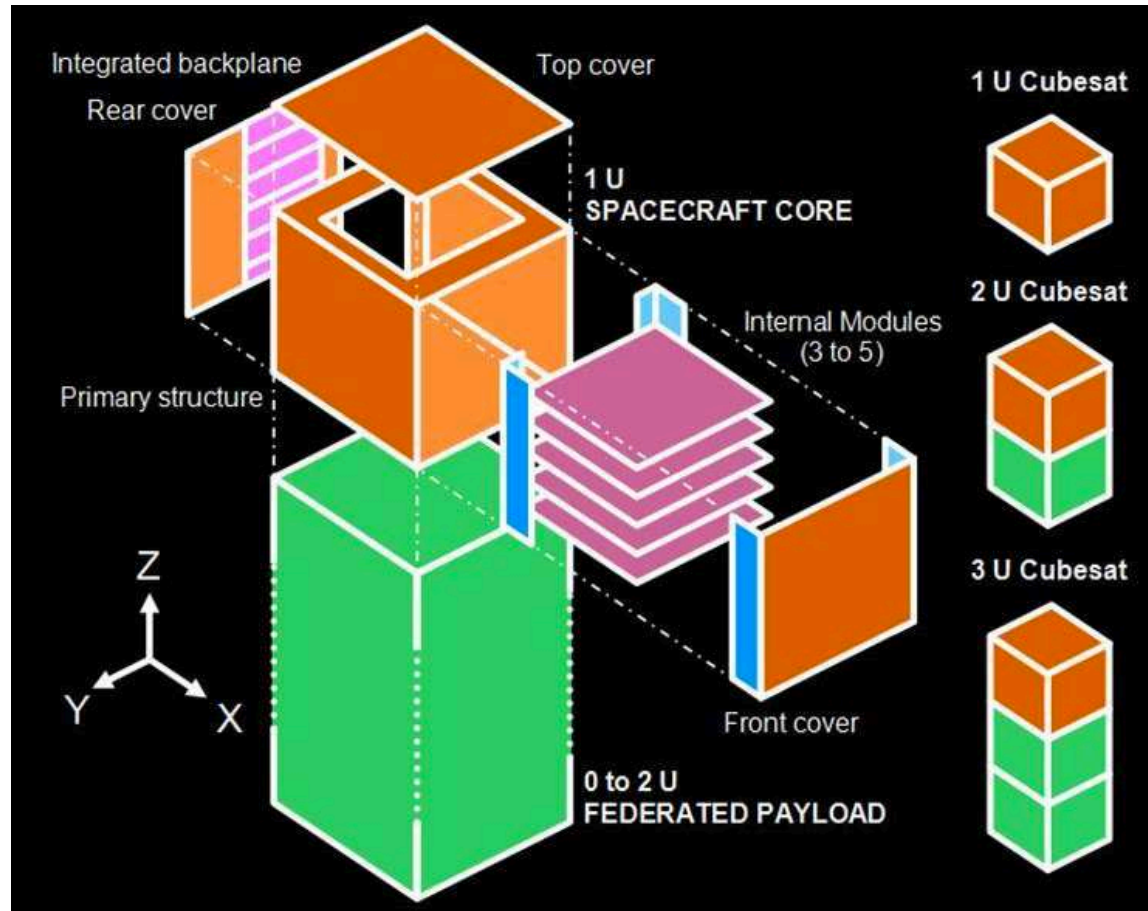
Helical Communication Technologies HCT
<http://www.helicomtech.com/>
(comunicaciones)



4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

La concepción del estándar Cubesat facilita la integración de subsistemas de diferentes fabricantes con relativa facilidad.

Además de la relativa facilidad en la integración de subsistemas y componentes de diferentes fabricantes, se tiene la posibilidad de realizar innovaciones al disponer de una plataforma estándar que sirva de prueba a nuevos conceptos.



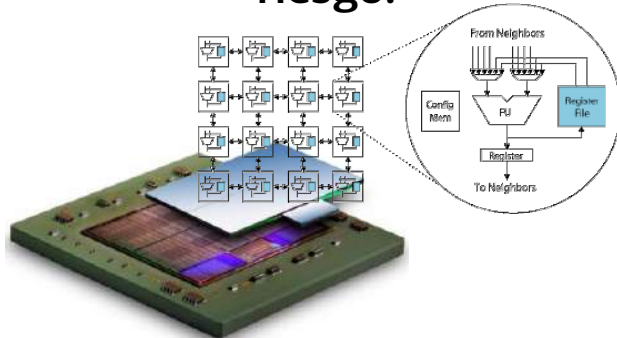
Fuente de la imagen: Clyde Space.

4. Adquisición de Subsistemas Cubesat

Dentro de arquitecturas y desarrollos innovadores de Cubesat se encuentra:



Uso de COTS para reducir costo y administrar el riesgo.



Arquitecturas reconfigurables.



Sistemas desplegados.



Sistemas autónomos

INNOVACIÓN



Formación en vuelo.



Redes distribuidas.

4. Adquisición de Subsistemas Cubesat



Integración de Cubesat de 1U

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

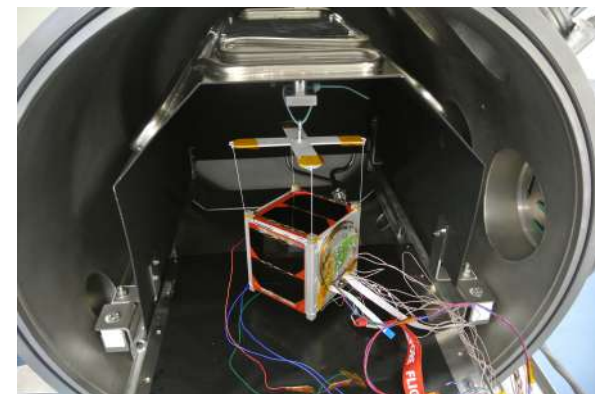
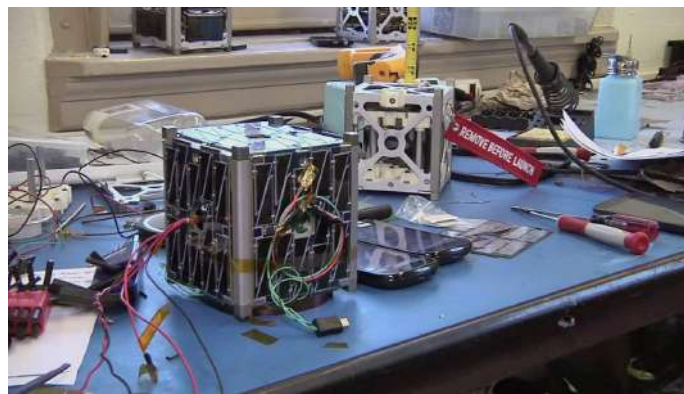
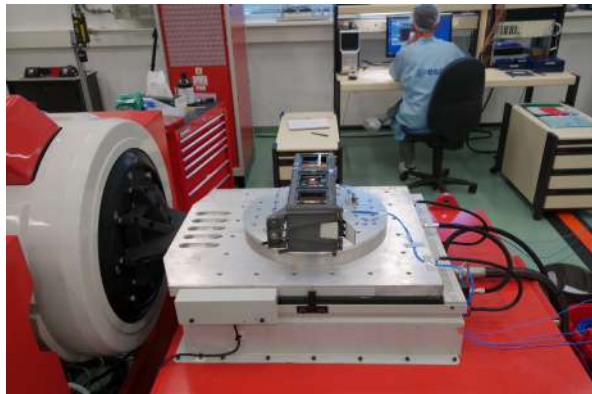
A person wearing a white cleanroom suit, mask, and gloves is working on a complex electronic device, likely a satellite component, mounted on a metal frame. The person is using a tool to adjust or connect a cable to the device. The background shows a cleanroom environment with various equipment and components.

Certificación Para Lanzamiento

5. Certificación para Lanzamiento

Las pruebas típicas de un sistema espacial consisten de:

- **Desempeño eléctrico.**
- **Procedimientos por comando.**
- **Prueba de motores.**
- **Verificación de la masa total.**
- **Verificación de telemetría.**
- **Pruebas de ensamble.**
- **Prueba de termovacio**
- **Acústica**
- **Pruebas de mecanismos.**
- **Pruebas de comunicaciones.**
- **Pruebas del sistema terrestre.**
- **Vibración e impacto**
- **Ciclado Termico Pruebas de compatibilidad electromagnetica.**



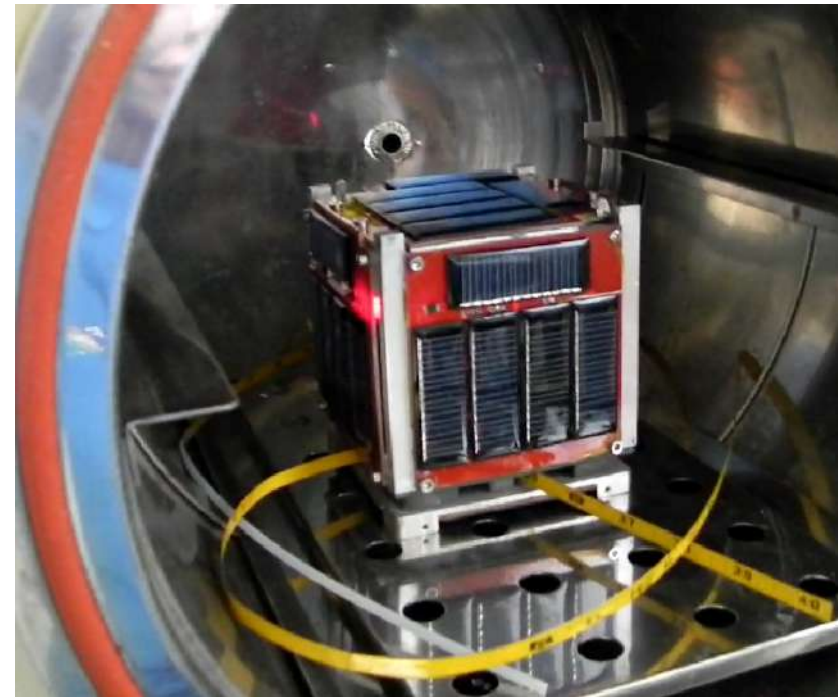
5. Certificación para Lanzamiento

Pruebas de vacío térmico:

- Necesaria para verificar el análisis térmico, las operaciones del sistema de control térmico, el balance térmico. (ausencia de convección)
- Necesaria para la integración del sistema (puede requerir prueba de no desgasificación).
- Probable re calibración de la instrumentación de abordo para altas temperaturas.

Los modelos de prototipo e ingeniería son sometidos normalmente a condiciones mas severas que las requeridas.

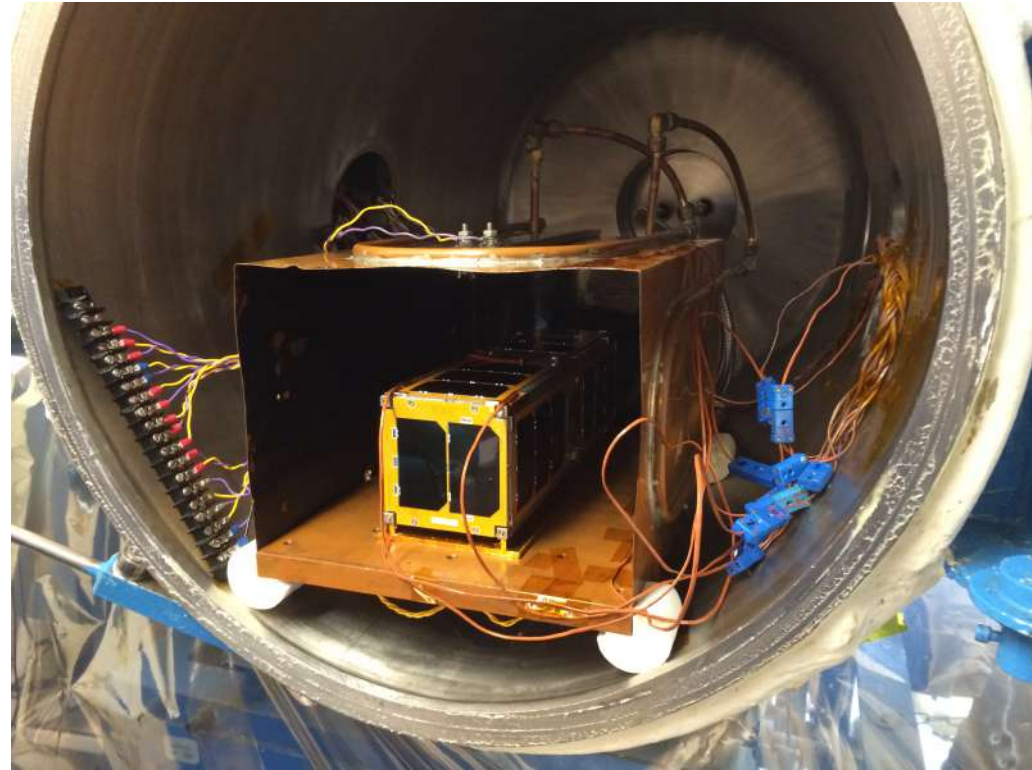
El modelo final es sometido a una prueba menos rigurosa.



5. Certificación para Lanzamiento

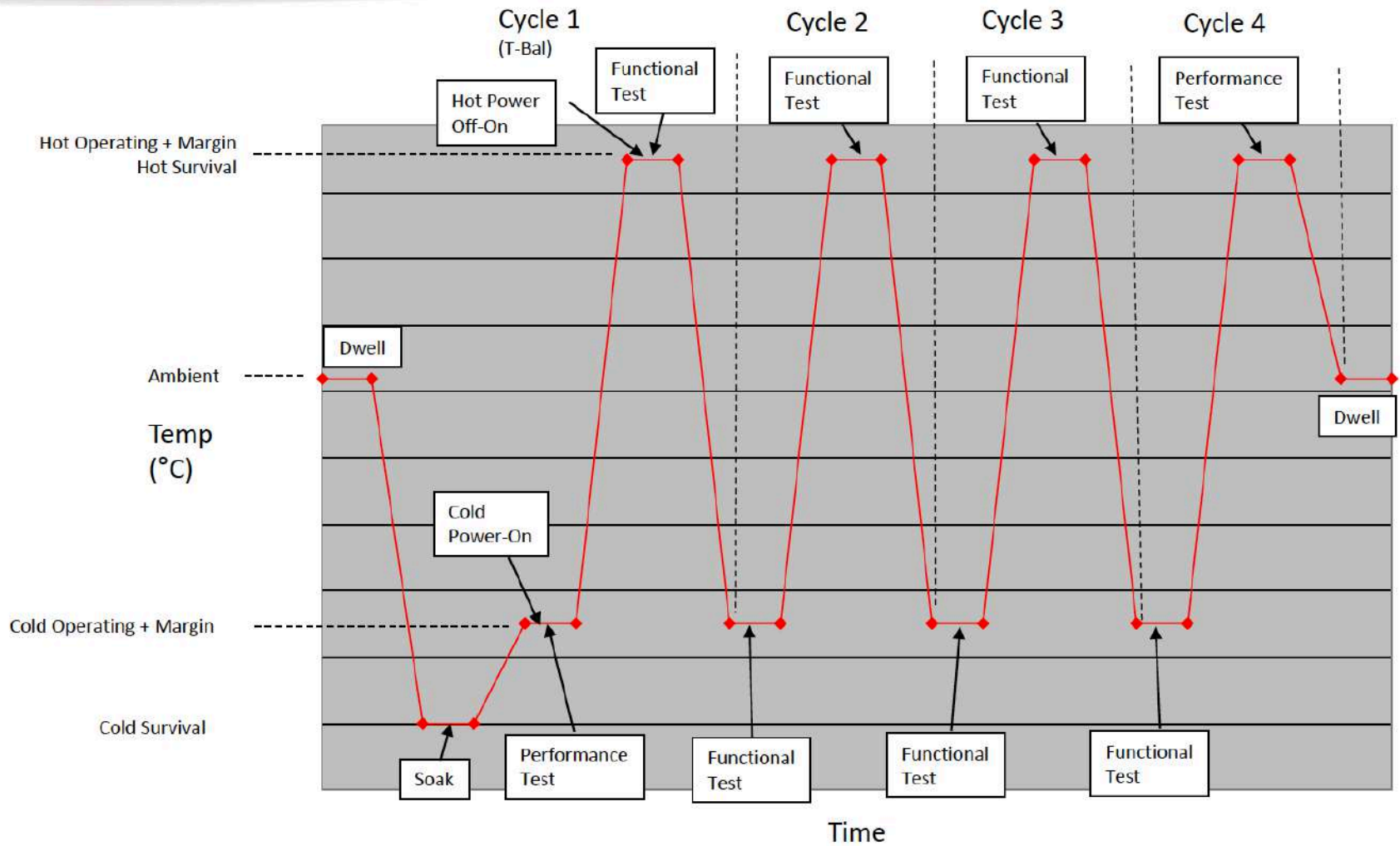
Pruebas de Ciclado térmico:

- **Identifica las fallas de los componentes debido a la expansión/contracción y define los gradientes térmicos que tendrá el satélite en orbita.**
- **Típicamente de 3 a 6 ciclos.**
- **Normalmente forma parte del la prueba de vacío térmico.**
- **La razón de cambio de temperatura típica va de de 1°C a 10°C por minuto.**



5. Certificación para Lanzamiento

Pruebas de Ciclado térmico:



5. Certificación para Lanzamiento

Pruebas de vibración e impacto:

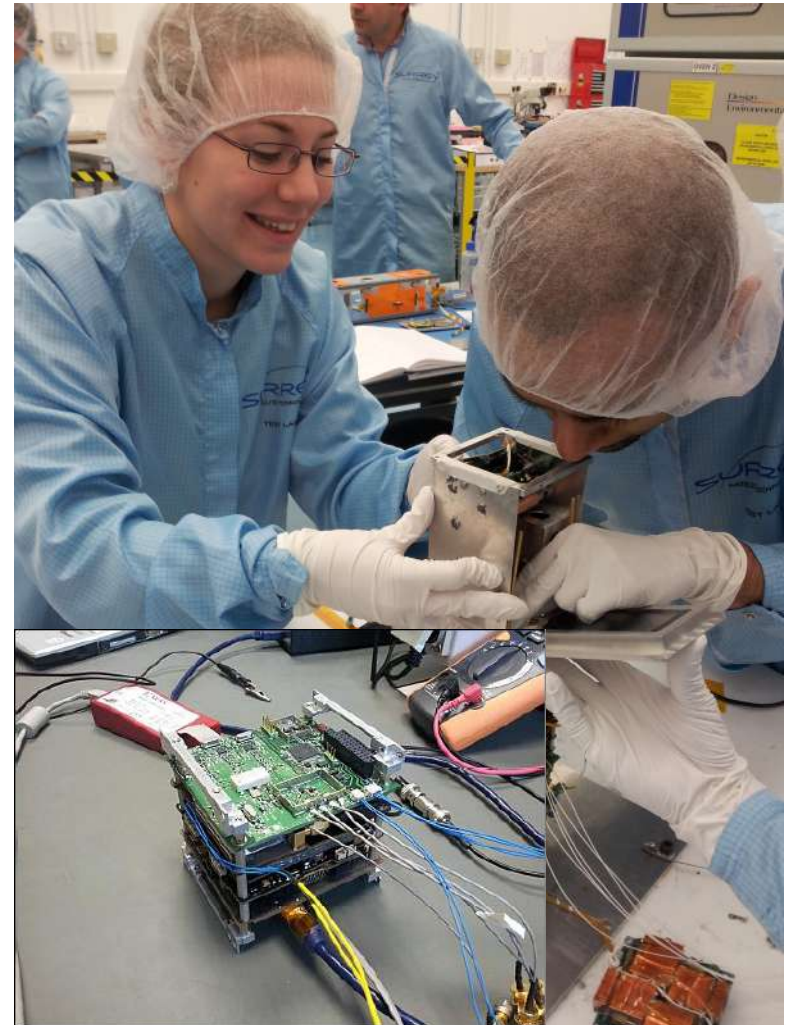
- **Se busca recrear las vibraciones que produce el lanzador y los efectos que tendrá en el sistema.**
- **La vibración puede ser longitudinal ó transversal.**
- **Las pruebas de impacto recrean el choque generado por las etapas del lanzador.**
- **Puede someterse a vibraciones aleatorias (comprobación de armónicos constructivos).**



5. Certificación para Lanzamiento

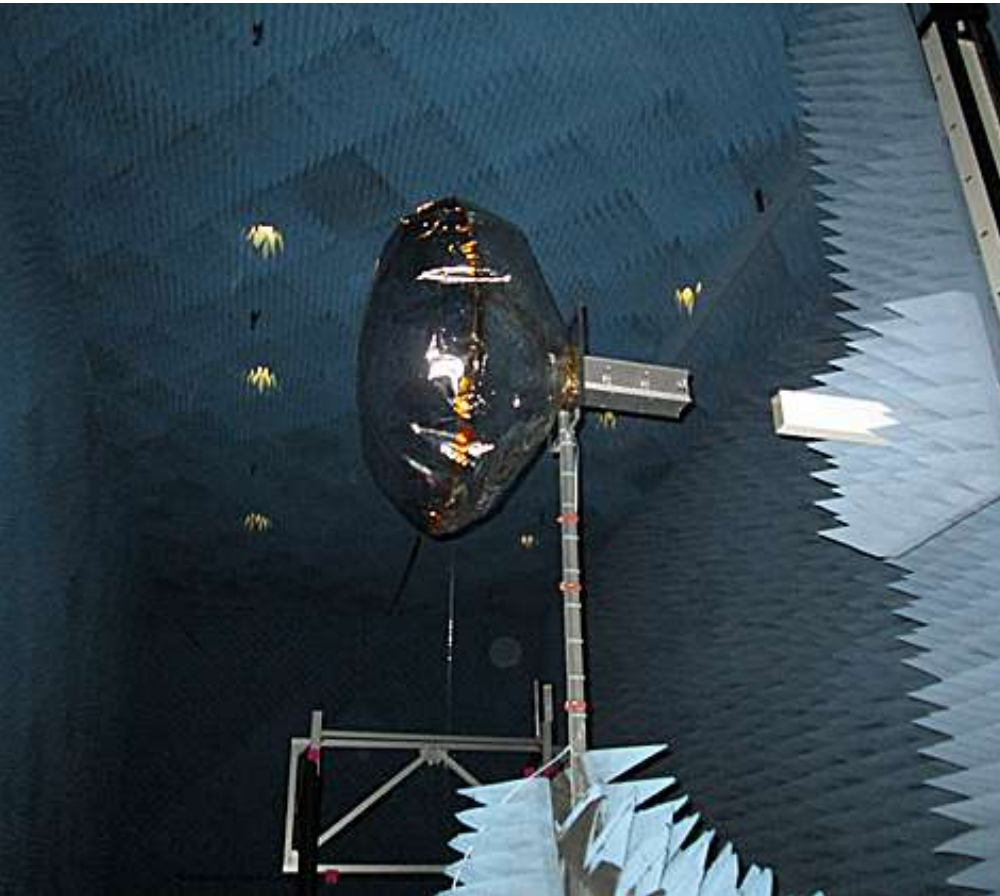
Pruebas de Desempeño eléctrico:

- **Comparación desempeño real vs desempeño esperado (referencias).**
- **Revisión del cableado.**
- **Revisión de voltajes máximos y mínimos aceptables.**
- **Ciclos de carga/descarga de la batería.**
- **Revisión de voltajes antes, durante y después de las pruebas térmicas y de vibración.**
- **Prueba de todos los modos de operación.**



5. Certificación para Lanzamiento

Pruebas de Interferencia electromagnética y radiofrecuencia:

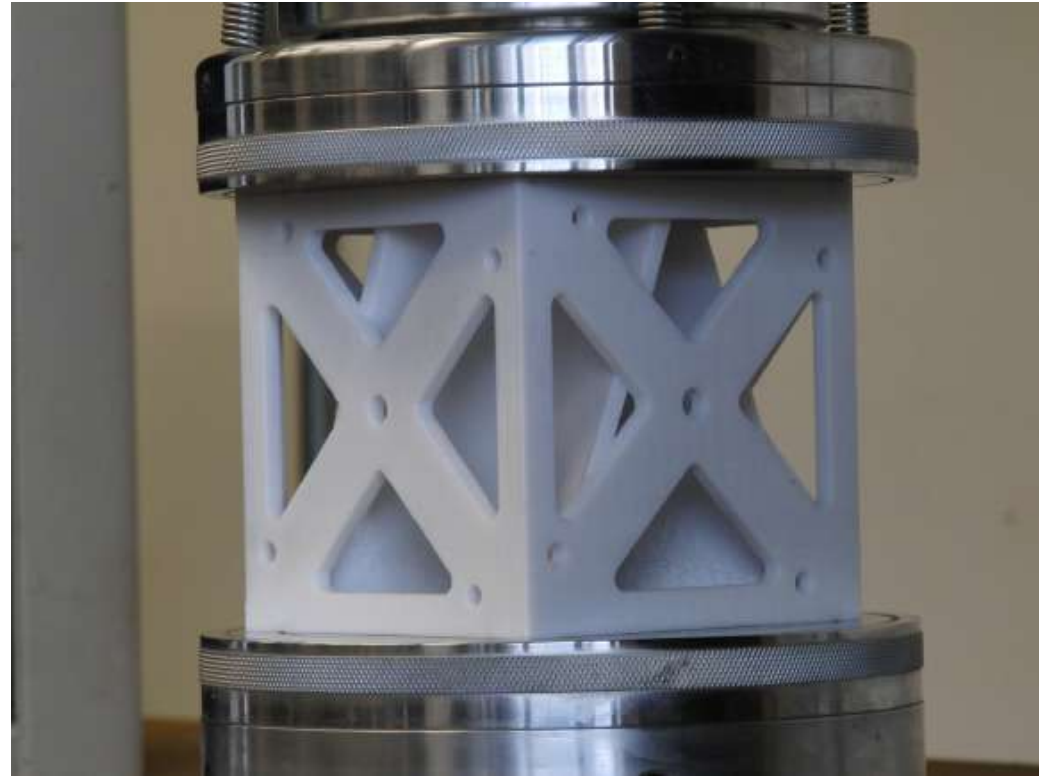


- **Se presenta principalmente en los sistemas con múltiples enlaces en diferentes bandas de frecuencia.**
- **Verificación del sistema eléctrico necesaria.**
- **Prueba de blindaje electromagnético.**
- **Calibración de sensores y antenas.**

5. Certificación para Lanzamiento

Masa y propiedades:

- **Peso (de 1 a 2 decimales en kilogramos).**
- **Centro de masa.**
- **Momentos de inercia. (plegado y desplegado).**
- **Balance dinámico. (balance de rotación).**
- **Balance estático**



5. Certificación para Lanzamiento

Pruebas mecánicas:

- **Despliegues**

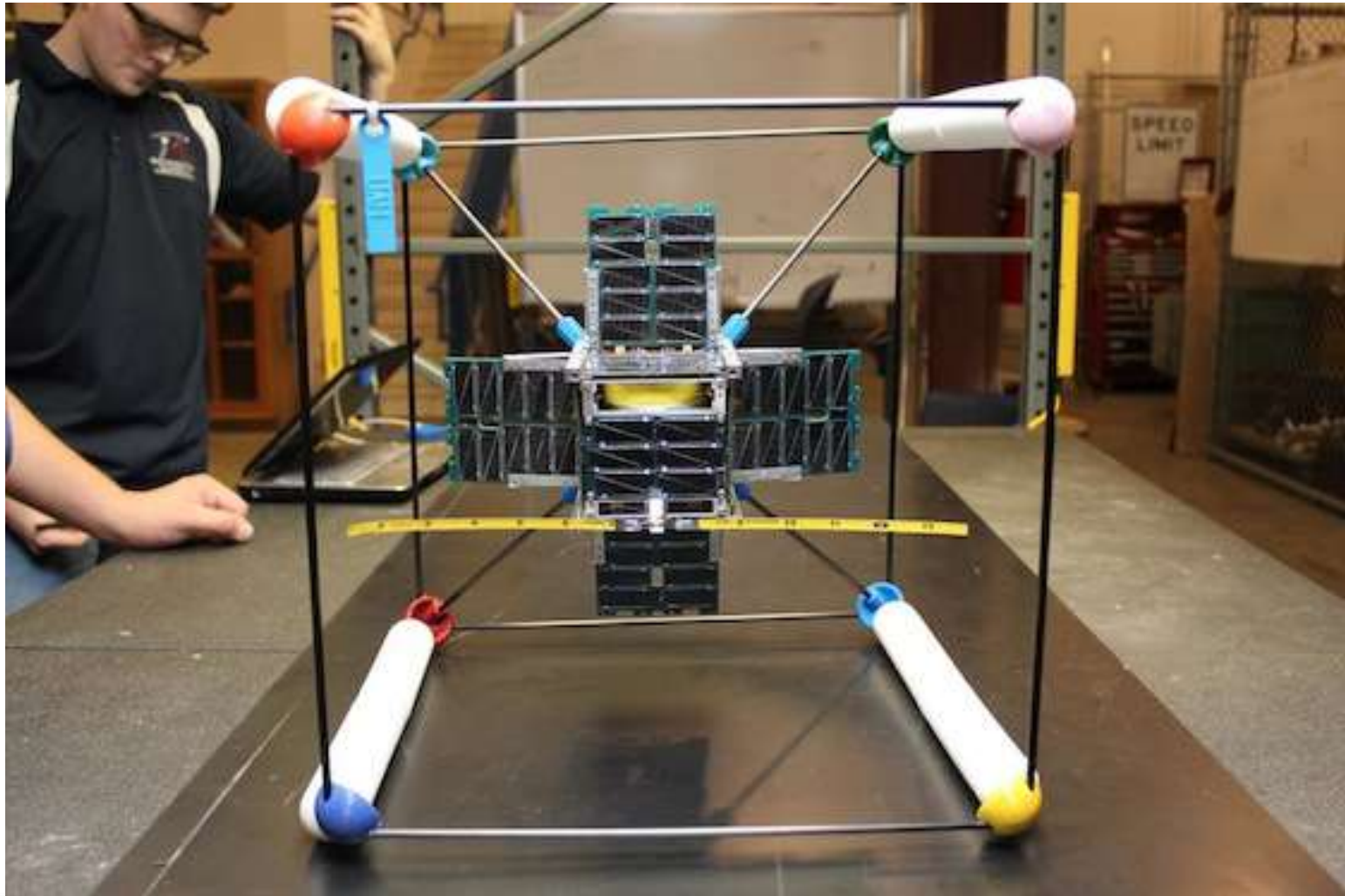
- **Todos los mecanismos de despliegue deben ser probados una vez antes y después de las pruebas térmicas y de vibración, procurando representar lo mejor posible el estado de micro-gravedad.**

- **Alineaciones.**

- **Medición de ángulos (antes y después de las pruebas térmicas y de vibración) de los ejes del sistema de control de actitud.**
- **Regularmente realizado mediante instrumentos ópticos.**
- **1° primera aproximación, .1° segunda aproximación, .01° tercera aproximación**

5. Certificación para Lanzamiento

Pruebas mecánicas:



SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA



Opciones de Lanzamiento

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



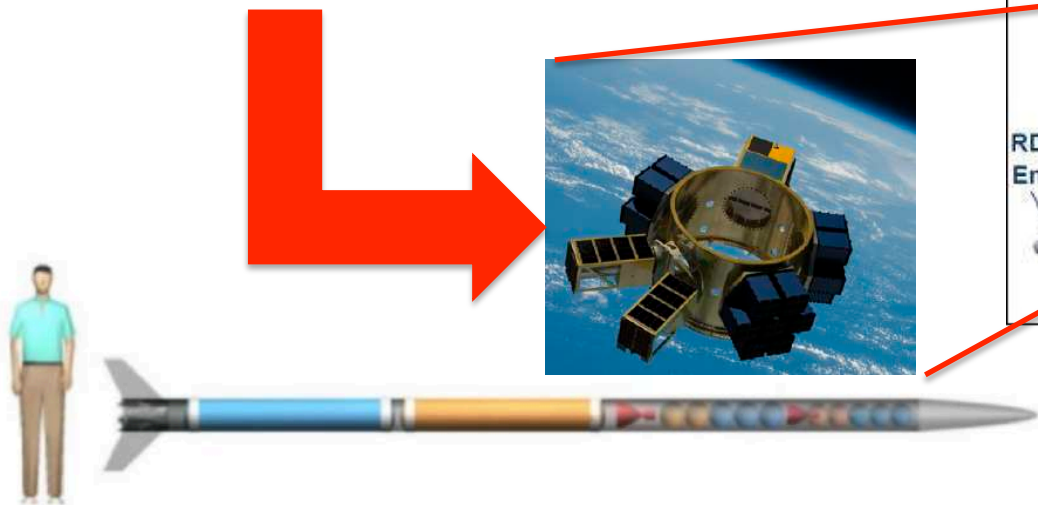
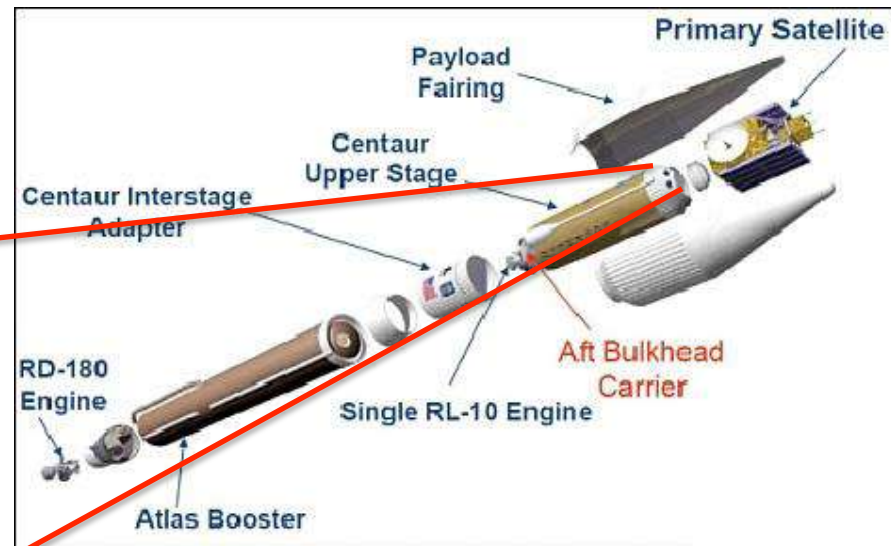
AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

6. Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO).

1. Viajan como pasajeros secundarios en misiones de satélites de dimensiones mayores.



2 Existen iniciativas para desarrollar vehículos de lanzamiento para satélites pequeños.

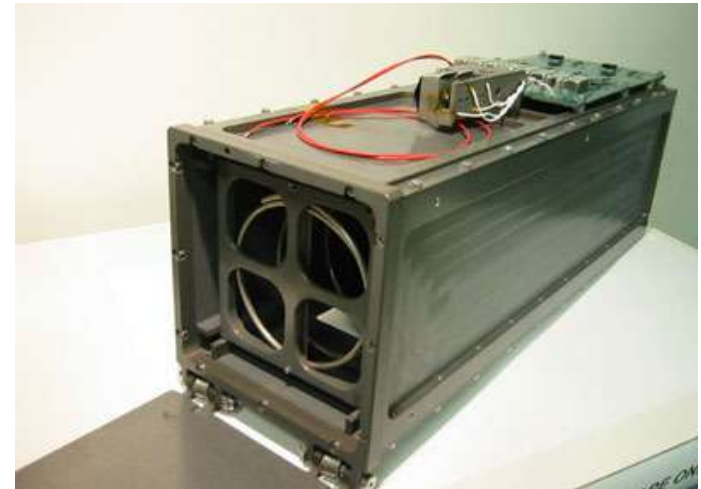
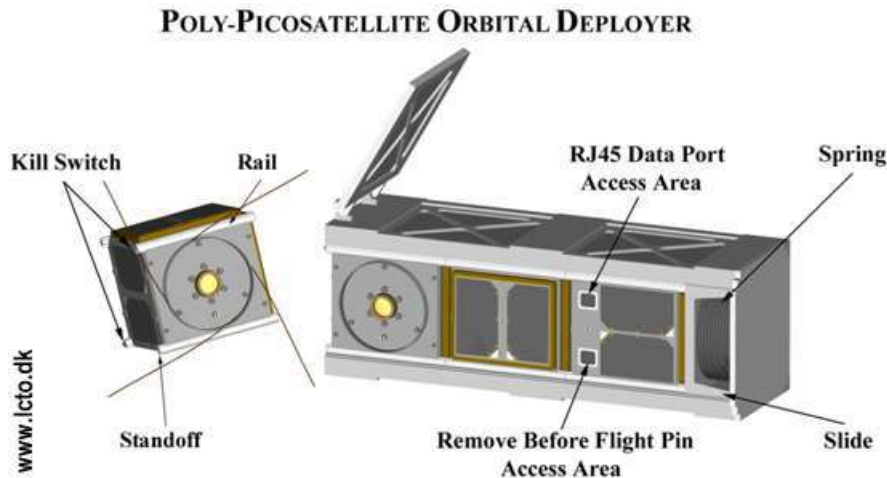
a 3 stage launch vehicle designed to put a 200 gram payload on an escape trajectory or a 1U Cubesat to low earth orbit for \$50k to \$65k

6. Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO).

Los lanzadores comerciales de satélites de dimensiones mayores se emplean como lanzamiento de sistemas Cubesat en modo de cargas secundarias.

La ventaja de utilizar un estándar es que el lanzamiento se vuelve más confiable tanto para los vehículos lanzadores como para los desarrolladores de Cubesats.



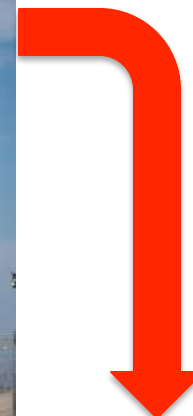
El sistema P-POD puede lanzar Cubesats de 1 a 6 unidades.

6. Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO).

Entre los principales lanzadores comerciales de satélites Cubesat se encuentran:

ULA Atlas V.
SpaceX Falcon 9.
Orbital Sciences Antares.
Lockheed Martin.
Athena
(Lockheed Martin).
ISC Kosmotras (Rusia).
Antrix PSL V (India).
ESA Vega.

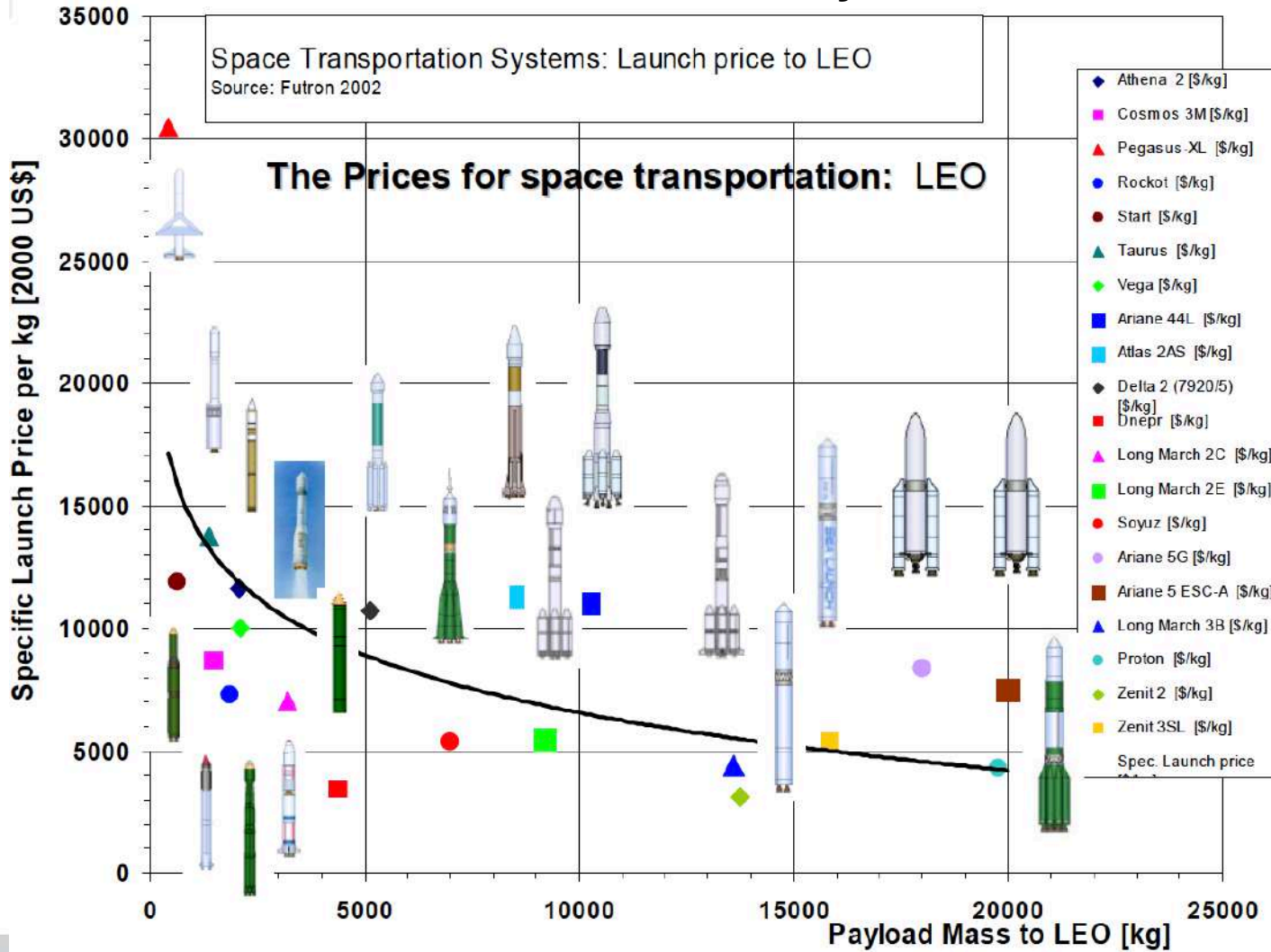


Además de los lanzamientos directamente de vehículos cohetes se tiene la opción de lanzamiento desde la ISS.



6. Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO). Costos



Fuente: D.E. Koelle, R. Janovsky, Development and transportation cost of space launch systems.

6. Opciones de lanzamiento

Lanzamiento a órbitas terrestres bajas (LEO). Costos

Diferentes vehículos comerciales presentan costos diversos por kg de masa a LEO.

Launch vehicle	LEO kg	Cost \$M	Cost/kg
Pegasus XL	443	13.5	\$30,474
Rokot	1,850	13.5	\$7,297
Start	632	7.5	\$11,867
Taurus	1,380	19	\$13,768
Delta 2	5,144	55	\$10,692
Dnepr	4,400	15	\$3,409
CZ 2E	9,200	50	\$5,435
Soyuz	7,000	37.5	\$5,357
Ariane 5	18,000	165	\$9,167
Proton	19,780	85	\$4,297
STS	28,803	300	\$10,416

Cost per kg (Futron, 2002)

El costo dependerá de las opciones de lanzamiento disponibles (ventana de lanzamiento), así como de la misión del Cubesat.

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

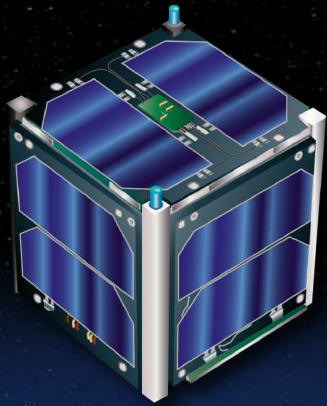
AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA



Operaciones y la estación terrena



SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

7. Operaciones y la estación terrena

Infraestructura Espacial

Toda infraestructura espacial se compone de dos segmentos principales:

- Segmento espacial.
 - Naves espaciales.
 - Vehículo de lanzamiento.
- Segmento terrestre.
 - Centros de control y operaciones.
 - Estaciones terrenas (segmento terreno y usuarios).

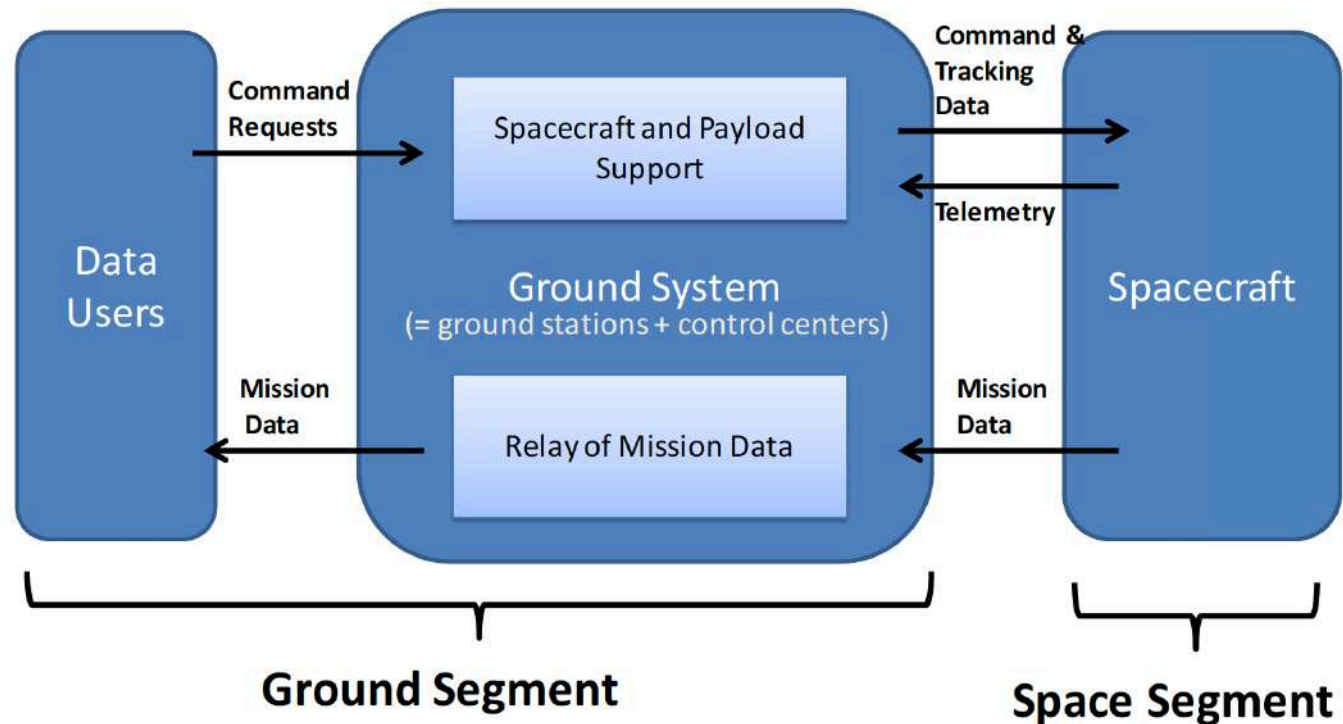


Imagen: Larson & Wertz, 2004.

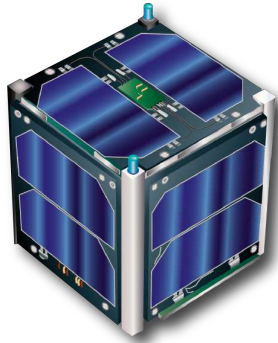
7. Operaciones y la estación terrena

Segmento Terrestre

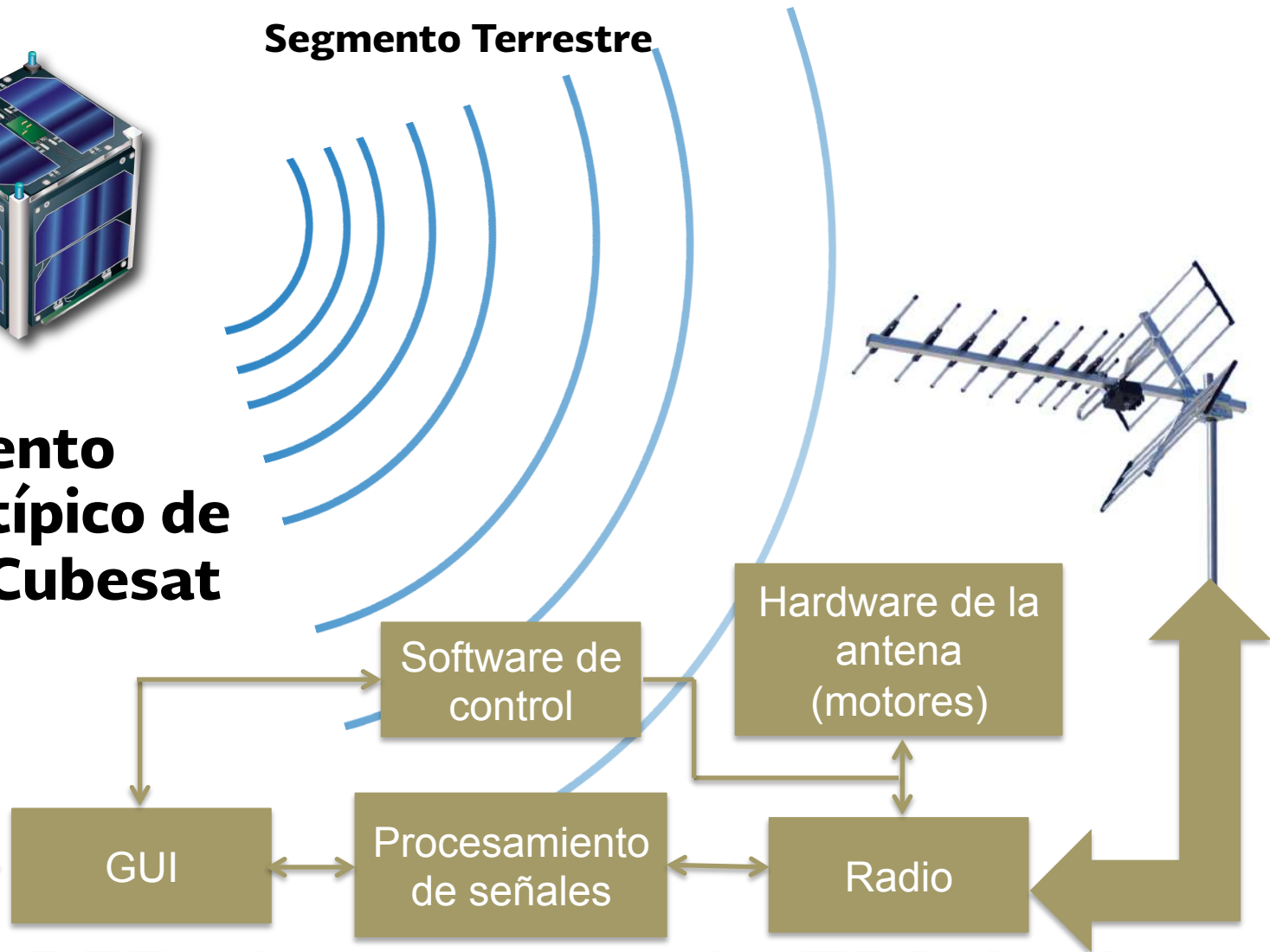
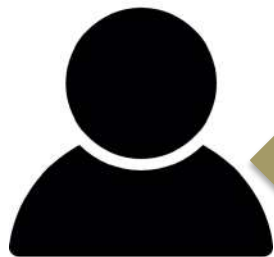
1. Segmento terrestre tradicional (no siempre en el mismo lugar geográfico):
 - Centro de control de operaciones ó SOC (Spacecraft Operations Control Center).
 - Centro de control de operaciones de la carga útil ó Payload Operations Control Center (POCC).
 - Centro de control de la misión ó Mission Control Center (MCC) / Mission Operations Center (MOC).
 - Redes de estaciones terrenas.
2. Segmento terrestre de satélites pequeños y cubesats:
 - Centro de operaciones, control, misión, carga útil y estación terrena en un solo lugar (la mayoría de las veces).
 - Uso de COTS en la implementación del segmento terreno.

7. Operaciones y la estación terrena

Segmento Terrestre



Segmento terrestre típico de misiones Cubesat



7. Operaciones y la estación terrena

Segmento terrestre tradicional vs segmento terrestre de cubesats.

Sistemas terrestres tradicionales	Sistemas terrestres de cubesats
Sistemas con herencia.	Sistemas nuevos.
Distinción clara entre centro de control de misión y la red de estaciones terrenas.	Sistema único: MCC, SOCC, POCC y la estación terrena principal forman parte de una sola entidad.
Da soporte a más de una misión y/o nave espacial, con capacidad de realizar comunicaciones de manera simultánea. Posee hardware y software diverso para este propósito.	Poseen capacidad de soportar varias misiones de manera secuencial. Dado que se dispone comúnmente de una sola antena sólo se puede comunicar con un satélite a la vez.
Capacidad de soportar misiones de larga duración (>10 años).	Dan soporte a misiones de corto tiempo de duración (de meses a un par de años).
Proporciona buena calidad de servicio (seguridad, confiabilidad, etc.).	No garantiza gran calidad de servicio.

7. Operaciones y la estación terrena

Segmento terrestre tradicional vs segmento terrestre de cubesats.

Sistemas terrestres tradicionales	Sistemas terrestres de cubesats
Operadores comerciales o institucionales.	Comúnmente los operadores son académicos o amateur.
Topología jerárquica con un pequeño número de nodos distribuidos estratégicamente alrededor del mundo.	Topología de uno a uno con un gran número de nodos “ad-hoc” que participan de manera voluntaria.
Sin flexibilidad para el uso de nodos individuales de la topología.	Muchas misiones utilizan la misma banda de frecuencias, de manera que los nodos individuales en la topología se pueden intercambiar.
Uso de banda S y bandas de frecuencia mayores.	Comúnmente se utiliza UHF y VHF.
Protocolos de comunicación de larga distancia basados en CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems).	Protocolos de comunicación basados en TCP/IP.

7. Operaciones y la estación terrena

Segmento terrestre tradicional vs segmento terrestre de cubesats.

Sistemas terrestres tradicionales	Sistemas terrestres de cubesats
Uso de antenas con grandes platos.	Utilizan antenas de pequeñas dimensiones que pueden ser de plato o no.
Soporta satélites de alta potencia (>40 W).	Soporta satélites de baja potencia (<5 W).
Soporta rendimientos de alto ancho de banda y altas tasas de transferencia.	Soporta rendimientos de bajo ancho de banda y bajas tasas de transferencia.
Grandes requisitos de software.	Bajos requisitos de software.
Instalaciones grandes y complejas con bastante personal de experiencia.	Instalaciones sencillas y comúnmente con personal de poca experiencia.

El principal elemento determinante en la implementación de una estación terrena para satélites pequeños es el costo. Para reducir costo se fusionan los tres centros convencionales: MCC (Centro de Control de la Misión), SOC (Centro de Control de Operaciones) y POCC (Centro de control de operaciones de la carga útil).

7. Operaciones y la estación terrena

Segmento terrestre tradicional vs segmento terrestre de cubesats.



Las antenas convencionales para satélites pequeños utilizan COTS para su fabricación, ya sean fijas o móviles, con cableado estándar (coaxial).

El sistema TT&C (Tracking Telemetry and Command) tanto para la plataforma como para la carga útil se maneja en una sola computadora.

7. Operaciones y la estación terrena

Estado del arte de sistemas terrestres para cubesats

Existen algunas estaciones terrenas ofrecidas por desarrolladores como soluciones llave en mano para cubesats. Los precios pueden variar entre \$10 000 y \$100 000 USD.

Nombre de la tecnología	Descripción	Desarrollador	Grado de madurez
ISIS Small Satellite Ground Station	Sistema terrestre para microsátélites y cubesats (VHF, UHF y banda S).	Innovative Solutions In Space (Países bajos)	Se ha utilizado de manera exitosa en al menos una misión (Delfi-C3 nanosat mission en 2008).

7. Operaciones y la estación terrena

Estado del arte de sistemas terrestres para cubesats.

Existen algunas estaciones terrenas ofrecidas por desarrolladores como soluciones llave en mano para cubesats.

Los precios pueden variar entre \$10 000 y \$100 000 USD.

Nombre de la tecnología	Descripción	Desarrollador	Grado de madurez
Open System of Agile Ground Systems (OSAGS).	Red de bajo costo compuesta por tres estaciones terrestres ecuatoriales.	Espace Inc. (USA).	Empleada con éxito en 2002 para la misión HETE-2 del MIT.
Satellite Tracking and Control Station (STAC)	Sistema para microsátélites y cubesats (VHF, UHF, Banda L y opciones de 2.4GHz).	Clyde Space (Escocia).	Instalado en el techo de la universidad de Strathclyde, en Glasgow, Escocia. Operacional por 2 años.

7. Operaciones y la estación terrena

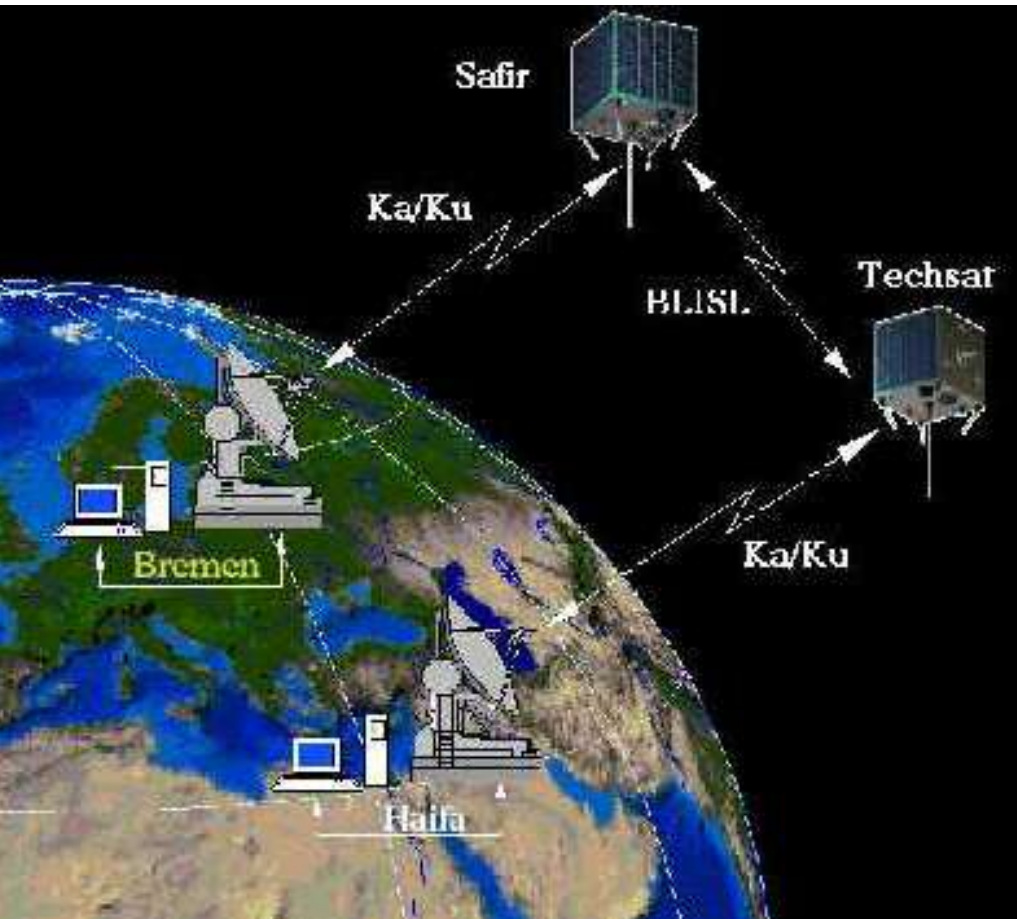
Estado del arte de sistemas terrestres para Cubesats.

Los satélites pequeños deben adherirse a las mismas regulaciones del espectro de radio para satélites grandes. Es responsabilidad de los desarrolladores de Cubesats el seguir las regulaciones necesarias para operar sus satélites.

- Uso tradicional de bandas de frecuencia de radio amateur (VHF, UHF).
- La transición a misiones mas complejas en satélites pequeños hace necesario el uso de comunicaciones con mayores tasas de transferencia.
 - Un ejemplo es la misión Cubesat DICE (Dynamic Ionosphere CubeSat Experiment) lanzado en 2011. Usa 460-470 MHz (banda de satélites meteorológicos). Produce 1.5 Mbps (downlink).
- Conforme las misiones Cubesat se mueven a bandas de mayor velocidad (tasas de transmisión) se producen cambios en los requisitos de las estaciones terrenas.
 - Radio amateur produce beacon a cualquier operador de radio amateur.
 - En bandas más allá de la región amateur se establece comunicación punto a punto, por lo que las estaciones terrenas deben operar con licencia.

7. Operaciones y la estación terrena

Estado del arte de sistemas terrestres para Cubesats.

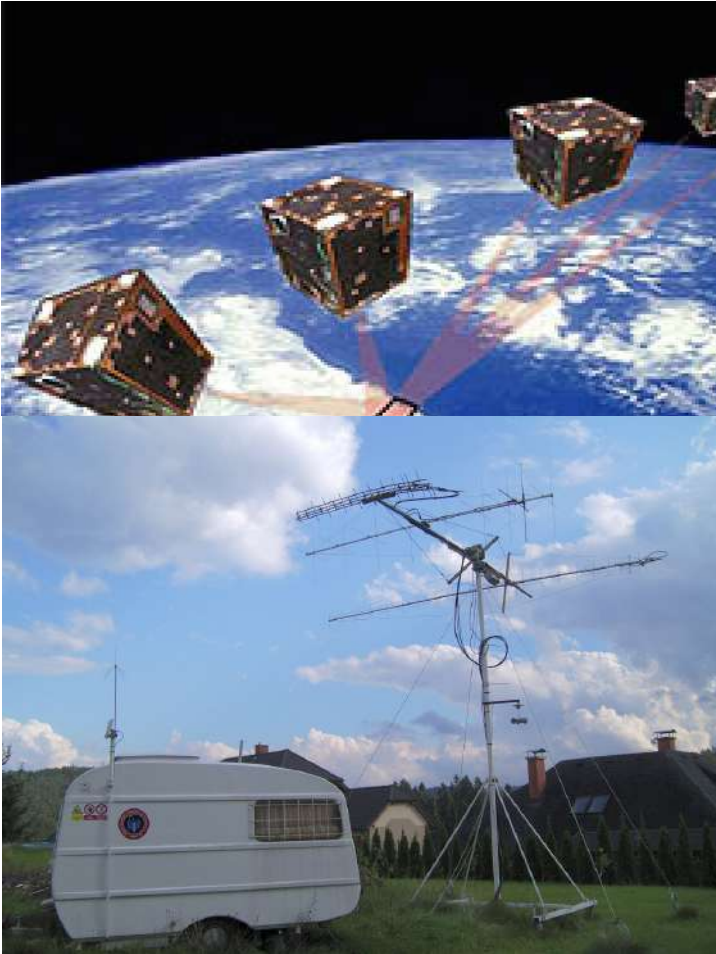


Otra posibilidad se refiere a la comunicación con satélites especializados en redes telefónicas (Orbcomm, Globalstar, Iridium) para optimizar la transmisión de información de la misión.

- La misión TechEdSat-1 lanzada en 2012 desde la ISS, es un cubesat 1U que transmitió satisfactoriamente con dos modems Q1000y Q9602, con la constelación Iridium [4].
- Una nueva misión TechEdSat-3p lanzado en 2013 realizó la misma misión mediante Quake Global Q9603 modems redundantes.

7. Operaciones y la estación terrena

Estado del arte de sistemas terrestres para cubesats.



Las futuras estaciones terrestres deberán:

- Considerar el balance entre la calidad de la información que se envía, el tamaño y el costo.
- Búsqueda de opciones de comunicaciones “(no amateur) y uso de enlaces con otros satélites.
- Redes de estaciones terrenas de radio amateur. Proyecto GENSO (The Global Education Network for Satellite Operations) de ESA. => prueba del concepto de redes de estaciones terrenas.
- Formaciones y/o constelaciones de satélites pequeños requerirán mayores capacidades del segmento terrestre.

7. Operaciones y la estación terrena

Operaciones

Dentro de las actividades a realizar en el proceso de operaciones de un Cubesat se debe considerar:

- **Administración de las operaciones.**
 - El objetivo es producir resultados confiables al realizar las operaciones satelitales. Generalmente se tiene una estructura jerárquica comenzando con el encargado de las operaciones.
- **Staff.**
 - Contar con el número adecuado de personas para mantener funcionando las operaciones de la misión.
 - Depende de la complejidad de la misión, si la carga útil se encuentra activa o no.
 - Grado de automatización del control de la operaciones.
 - Cuántos satélites se opera de manera simultánea.
 - Si se controla o no a la antena.
 - Si se requiere de personas externas para las operaciones.
 - Posiciones como: controlador, controlador de carga útil, controlador de los sistemas terrestres, planificador de la misión, analista de datos de la misión, analista orbital, ingeniero de operaciones, analista de la carga útil, ingeniero de operaciones, administrador de sistemas y bases de datos son esenciales dependiendo de las misión y requiere de perfiles.
 - Roles de turnos para supervisar y trabajar en la estación terrena. Importante en misiones complejas.

7. Operaciones y la estación terrena

Operaciones

Dentro de las actividades a realizar en el proceso de operaciones de un cubesat se debe considerar:

- **Entrenamiento y certificación.** Tiene dos objetivos principales:
 - Moldear una cultura y comportamiento (en el ambiente del centro de operaciones) en los operadores para interactuar con las interfaces internas y externas.
 - Enseñar al equipo de operaciones como operar los segmentos de vuelo y terrestres. Un importante concepto es “Practica como si fueras a volar y vuela como practicaste”.
 - Se deben simular y practicar operaciones rutinarias y de contingencia (anomalías).
 - **Certificación:** un individuo es capaz de realizar determinadas funciones sin supervisión directa. Motiva para mantenerse al día y continuar aprendiendo.
- **Mejora de procesos.** Se requiere de realimentación por parte de las operaciones. Se debe diseñar el proceso de mejora de procesos en el sistema desde el comienzo de diseño de la misión de manera que aparezcan en los requisitos de diseño.
 - **Factores (métricas):** la medición de la efectividad proporciona mediante un análisis empírico y subjetivo, qué áreas de operación pueden mejorarse o automatizarse para incrementar la eficiencia.
 - Reducción de costos y riesgos.
 - Ejemplo de misión de grandes proporciones donde faltó la mejora de procesos: telescopio Hubble.
 - Importante llevar un registro (log) de eventos.

7. Operaciones y la estación terrena

Operaciones

Dentro de las actividades a realizar en el proceso de operaciones de un Cubesat se debe considerar:

- Mejora de procesos.

Medida de la Efectividad (MoE)	Método de medición
Error de rastreo (tracking)	Bitácora (automática o manual) de todos los errores encontrados y corregidos.
Factor de complejidad	Determinado de líneas de tiempo y calendarios.
Factor de “prisa”	Guarda el tiempo en que se completa cada paso en cada proceso, incluyendo la ejecución en el satélite.
Factor de esfuerzo	Guarda el tiempo utilizado por cada persona en evento de la misión que se procesa.
Factor de respuesta	Se determina a partir de los tiempos almacenados en la bitácora y la complejidad de cada evento de la misión.
Factor de fatiga	Determina las horas trabajadas.
Factor moral	Utiliza encuestas de calidad total de rutina del personal y toma en cuenta la tasa de rotación y la tasa de denuncias.

7. Operaciones y la estación terrena

Operaciones

Dentro de las actividades a realizar en el proceso de operaciones de un cubesat se debe considerar:

- Desarrollo de la estación terrestre (MCC, SOCC, POCC).
 - Dependiendo del tipo de misión determina la conformación de la(s) estación(es) terrestre(s).
- Operaciones de pre lanzamiento.
 - Se refiere a probar al satélite y sus instrumentos como serán operados y operar al satélite y sus instrumentos como fueron probados.
 - El propósito de realizar pruebas es el de validar los sistemas, procedimientos, cronogramas y personal de operaciones.
 - La validación prueba que el sistema funciona conforme al diseño.
 - Incluye a todas las personas involucradas en la misión.
- Operaciones durante el lanzamiento y los primeros días de operación.
 - Proceso más riesgoso de una misión. Primeras pruebas en órbita de un nuevo satélite IOT (In Orbit Testing).
 - Primeras pruebas con equipo nuevo de la estación terrena.
 - Curva de aprendizaje.
 - Planificación y desarrollos de maniobras.
 - Ejecución de procedimientos conforme a las secuencias de la misión.

7. Operaciones y la estación terrena

Operaciones

Dentro de las actividades a realizar en el proceso de operaciones de un cubesat se debe considerar:

- Planificación y calendarización de la misión.
 - Planificación de eventos.
 - Calendarización de maniobras.
- Operaciones de control en tiempo real.
 - Monitorización de telemetría.
 - Envío de comandos.
- Almacenamiento de datos de la misión (plataforma y carga útil).
- Manejo de diferentes misiones de manera simultánea.
- Automatización y manejo de alarmas.
- Procesamiento de información de la carga útil.
- Soporte ante contingencias.
- Mantenimiento del software de vuelo.
- Mantenimiento de los sistemas terrestres.

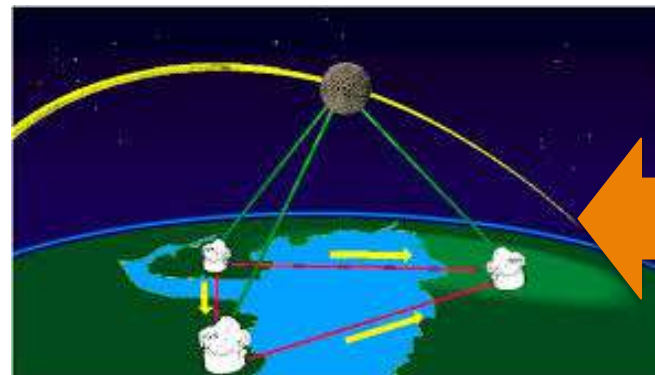
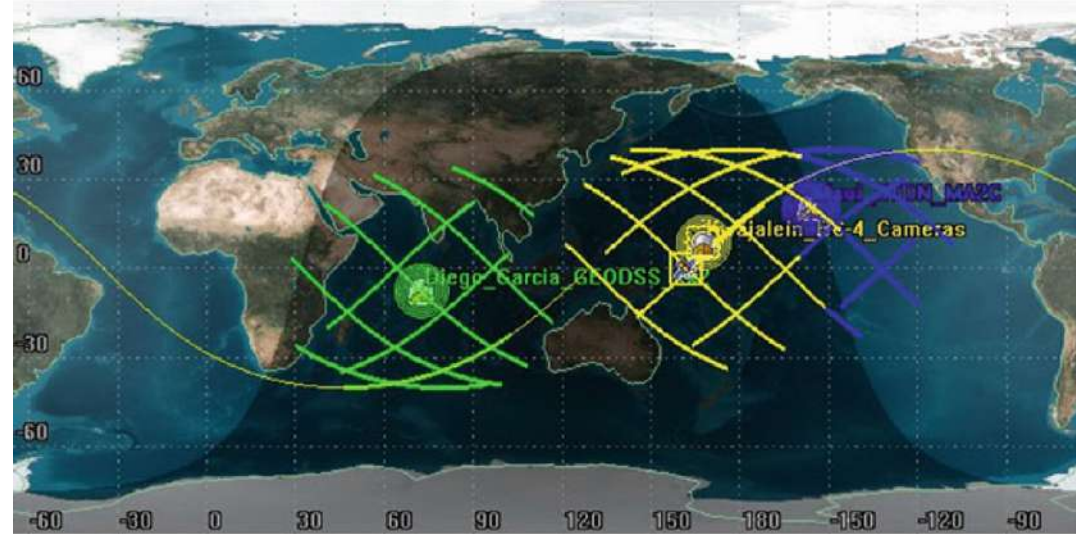


7. Operaciones y la estación terrena

Observabilidad

La observación de pequeños satélites debe ser:

- Conocida, en especial si no incorporan sistemas de maniobras (propulsión).
- El grado en que el estado de movimiento de un satélite se puede determinar depende del número de observaciones que se puedan realizar de éste desde tierra.
- Con una mayor cobertura de una o varias estaciones en tierra. Se debe seleccionar una órbita con un apogeo e inclinación tan altos como sea posible.



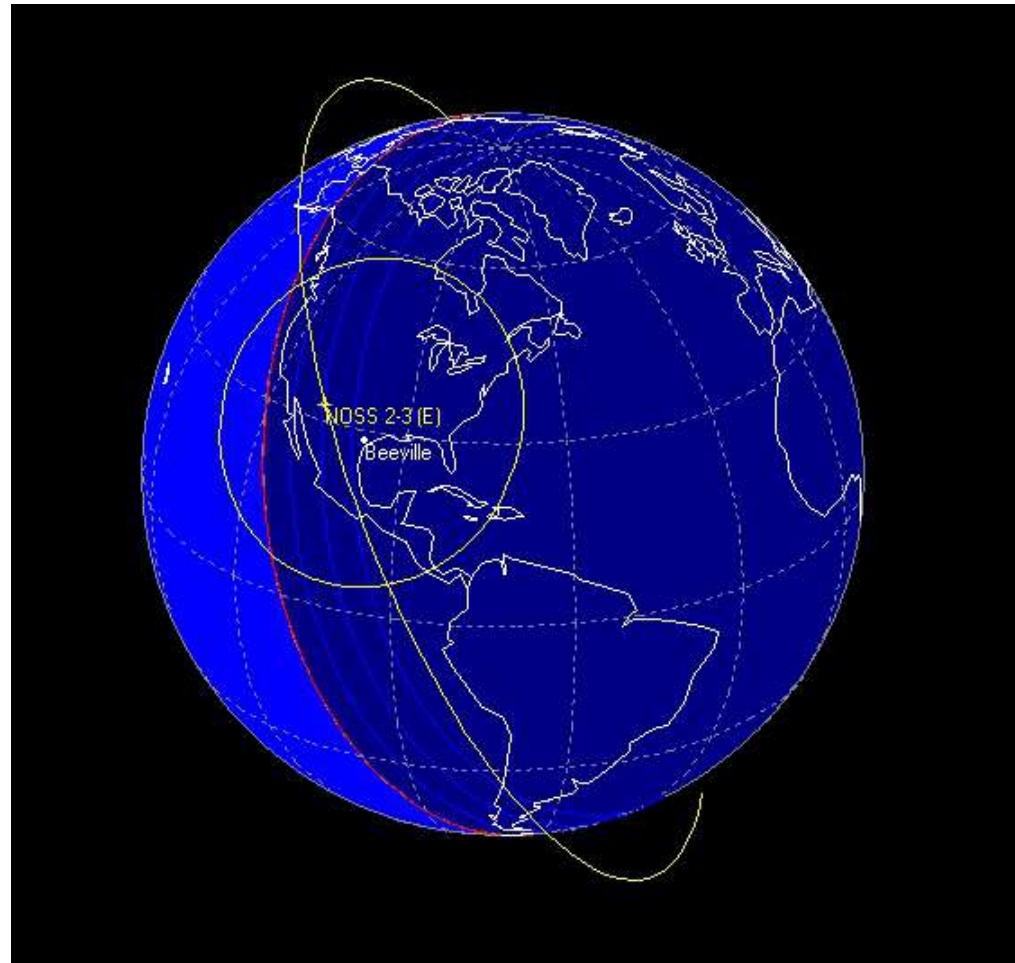
Determinación de órbita con dos ó más de una estación terrestre.

7. Operaciones y la estación terrena

Maniobrabilidad

Los satélites Cubesat poseen poca capacidad de maniobra:

- Poca masa inicial disponible como propelente.
- Se requieren ΔV grandes para generar cambios significativos en órbita baja. Si 90% de la masas de un satélite fuese propelente, se obtendría un $\Delta V \sim 1\text{k/m}$.
- Uso limitado de fuerzas del ambiente para control de maniobras (limitado).
- Límite para el control de órbita y visibilidad (tiempo de vida de la misión).



SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



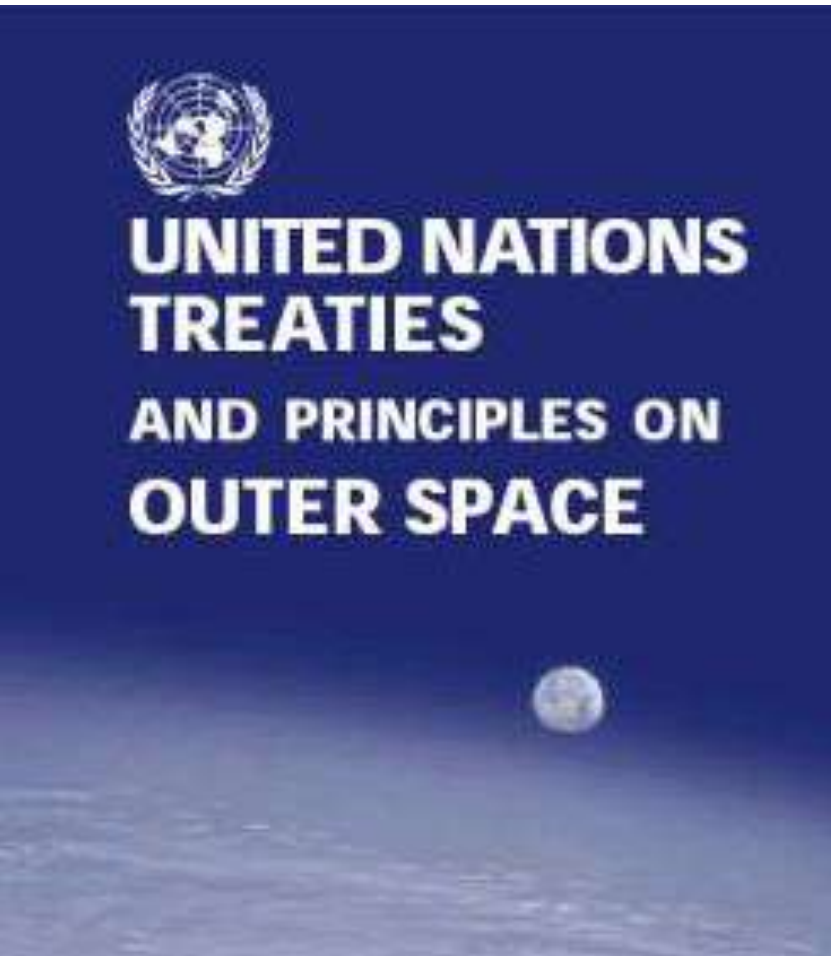
AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

Regulaciones, licencias, certificaciones, costos



8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.



Todos los satélites pequeños son objetos espaciales que están bajo las leyes internacionales.

El lanzamiento y operación de los satélites pequeños están sujetos a las leyes establecidas por las Naciones Unidas.

La nación a la que pertenece el satélite es responsable del mismo.

Deben seguirse regulaciones nacionales e internacionales debido a que se trata de recursos limitados (órbitas y frecuencias).

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

De acuerdo al trato del uso del espacio exterior de 1967:

- Todos las entidades (gubernamentales y no gubernamentales) son libres de explorar y utilizar el espacio exterior sin discriminación alguna.
- Todos las entidades (gubernamentales y no gubernamentales) tienen prohibido la apropiación del espacio exterior (cualquier cuerpo, recurso y/ó posición).
- Esta prohibido poner en orbita cualquier objeto nuclear y/ó armas de destrucción masiva.
- Las actividades espaciales privadas deben de ser supervisadas por la entidad correspondiente del país de origen.
- Todos los lanzamientos, objetos en orbita y uso de frecuencias deben ser registrados ante los organismos internacionales correspondientes.

<http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html>

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Instancias reguladoras: nacionales e internacionales

En México, las instancias reguladoras para el lanzamiento y operación de Cubesats son:

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
- Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT).

Internacionalmente se debe seguir la regulación de parte de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Instancias reguladoras nacionales.

El procedimiento para la construcción y operación de un Cubesat debe iniciar a la par del procedimiento de uso de frecuencias en México y el extranjero.

- El trámite de uso de frecuencias lo inicia el desarrollador del nano-satélite en México ante el IFT, quien posteriormente pasa la solicitud ante la SCT.
- La SCT es la dependencia del gobierno mexicano que realiza las peticiones y uso de frecuencias ante la ITU. Por eso el trámite debe realizarse a través de la SCT pero iniciando en el IFT.
- La SCT realiza la coordinación de frecuencias ante la UIT en el Registro Internacional de Frecuencias (MIFR).

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Instancias reguladoras nacionales.

- El trámite de uso de frecuencias lo inicia el desarrollador del nanosatélite en México ante el IFT, quien posteriormente pasa la solicitud ante la SCT.
- La SCT es la dependencia del gobierno mexicano que realiza las peticiones y uso de recursos orbitales (frecuencias) ante la ITU, entidades de otros países y concesionarios nacionales e internacionales (artículo 9, fracción IX de la LFTR). Por eso el trámite debe realizarse a través de la SCT pero iniciando en el IFT.

Reglamentos y leyes:

Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión:

<http://www.sct.gob.mx/comunicaciones/ley-federal-de-telecomunicaciones-y-radiodifusion/>

Otorgamiento de concesiones de parte del IFT:

<http://www.ift.org.mx/industria/lineamientos-generales-para-el-otorgamiento-de-las-concesiones-que-se-refiere-el-titulo-cuarto-de-la>

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Obtención del recurso orbital (regulación nacional).



Fuente:

**Regulación de Satélites Pequeños,
Lic. Héctor Edmundo Valdés Moreno, Ing. Alfredo Morales Desachy.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.**

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Instancias reguladoras: ¿Qué tipo de concesión requiere?

De acuerdo con la LFTR, existen diversos tipos de concesiones: comercial, pública, privada y social.

Las redes satelitales para el servicio de radioaficionados, requieren de concesión para uso privado.

Dicha concesión no otorga el derecho para explotar servicios comerciales.

Nota: El artículo 76, fr. III, inciso b, LFTR, identifica específicamente los servicios de experimentación, radioafición, etc.

Fuente:

**Regulación de Satélites Pequeños,
Lic. Héctor Edmundo Valdés Moreno, Ing. Alfredo Morales Desachy.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.**

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

¿Qué frecuencias se utilizan?

Los satélites tipo cubesat utilizan recurrentemente las bandas de radioaficionados:

A. Bandas de frecuencia en VHF:

- I. De 153.0125 Megahertz (MHz) a 153.2375 MHz.
- II. De 159.0125 MHz a 159.2000 MHz.
- III. De 163.0125 MHz a 163.2375 MHz.

B. Bandas de frecuencia en UHF:

- I. De 450.2625 MHz a 450.4875 MHz.
- II. De 455.2625 MHz a 455.4875 MHz.
- III. De 463.7625 MHz a 463.9875 MHz.
- IV. De 468.7625 MHz a 468.9875 MHz.

El IFT evaluará la solicitud y solicitará la opinión técnica no vinculante a la SCT.

Cumplido con todos los requerimientos, se otorga la concesión.

Nota: el plazo máximo para el otorgamiento es de 120 días hábiles.

Fuente: SCT <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/normatividad/>

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Instancias reguladoras internacionales

La UIT regula todas las actividades de telecomunicaciones a nivel internacional.

Se requiere de:

- Reglamento de radiocomunicaciones.
- Reglas de procedimiento.
- Software:



<http://www.itu.int/en/ITU-R/software/Pages/space-network-software.aspx>

Fuente:

**Regulación de Satélites Pequeños,
Lic. Héctor Edmundo Valdés Moreno, Ing. Alfredo Morales Desachy.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.**

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Tipo de Trámite

Actualmente, los procedimientos para el registro de redes satelitales no hace distinción entre el tamaño y peso de los satélites.

Sin embargo, dependiendo del tipo de órbita (geoestacionario o no geoestacionario) y del tipo de bandas de frecuencias que ocupen, pueden estar sujetas o no a coordinación.

Fuente:

**Regulación de Satélites Pequeños,
Lic. Héctor Edmundo Valdés Moreno, Ing. Alfredo Morales Desachy.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.**

8. Regulaciones, licencias, certificaciones y costos.

Costos

Dentro de las redes satelitales no sujetas a coordinación, la ITU no cobra para las bandas de frecuencia de radioaficionados.

Costo del registro de API 520 CHF

Excepción: Servicio de radioaficionados (Acuerdo 482 del Consejo de la UIT)

Costo Notificación e Inscripción MIFR 7,030 CHF

Excepción: Servicio de radioaficionados (Acuerdo 482 del Consejo de la UIT)

Costo Solicitud de Coordinación 5,560 – 33,467 CHF. Dependiendo del número de Unidades

Fuente:

**Regulación de Satélites Pequeños,
Lic. Héctor Edmundo Valdés Moreno, Ing. Alfredo Morales Desachy.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.**



NOTA: CHF: franco suizo (~18.2 pesos mexicanos).

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

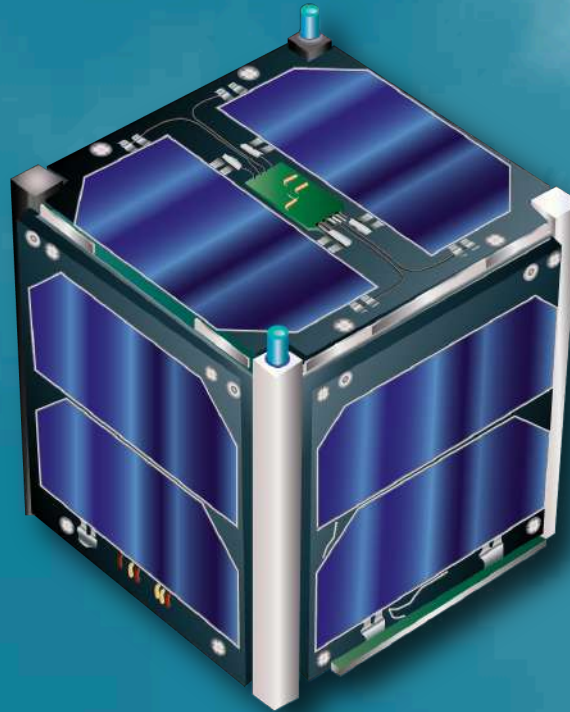
SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

Retos Futuros y Oportunidades.

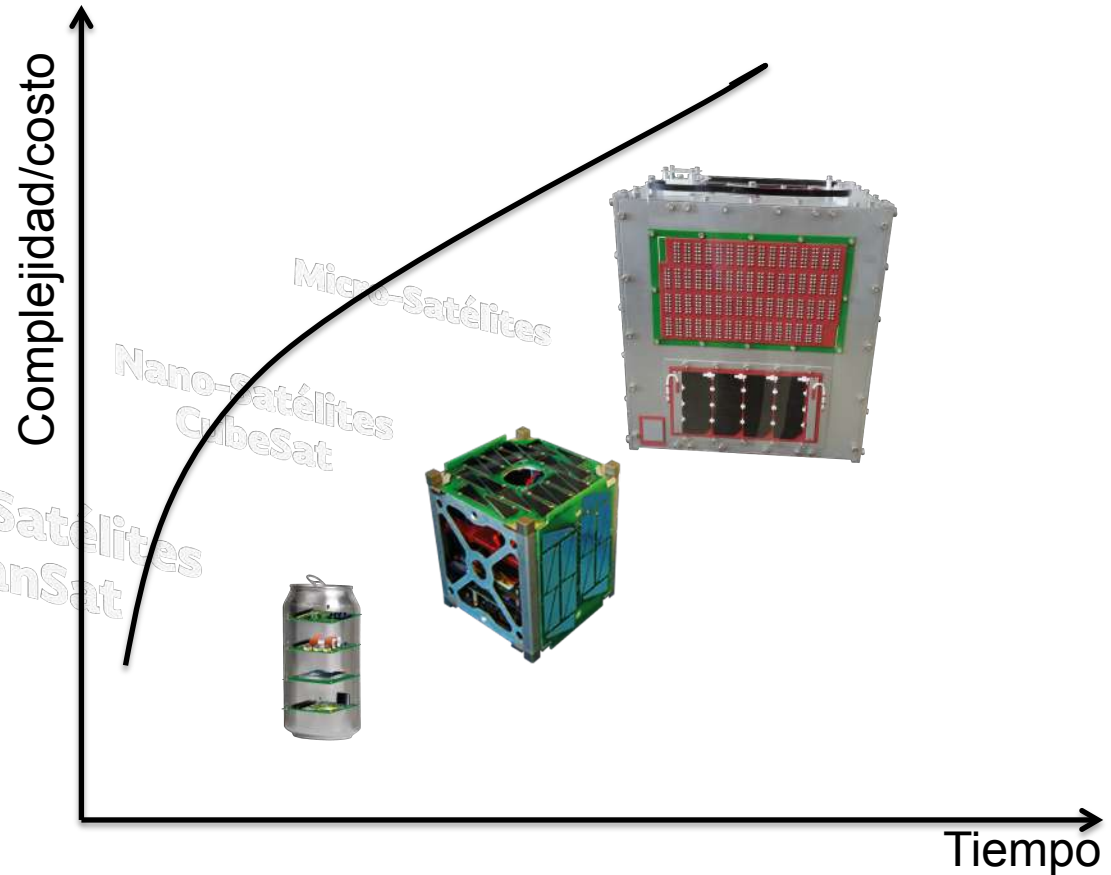


9. Retos, futuros y Oportunidades

¿Cómo comenzar un programa espacial?

Servir a las necesidades del país:

- Identificar las necesidades.
- Proponer soluciones basadas en el espacio.
- Visualizar planes estratégicos.
- Realizar la política para poner en marcha los planes.
- Continuar con la política.



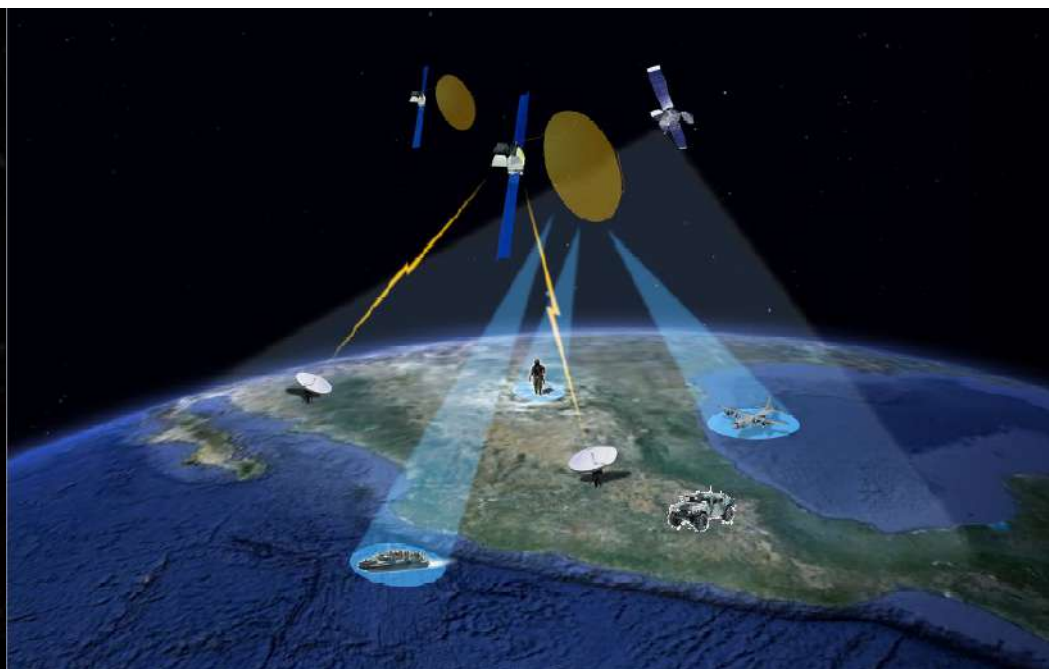
9. Retos, futuros y Oportunidades

Fase de desarrollo del programa espacial nacional

Primer generación: adquirir tecnología espacial de otras naciones.

Segunda generación: diseñar tecnología espacial en el país construirla en países con industria espacial.

Tercera generación: diseño y construcción de tecnología espacial en el país.



9. Retos, futuros y Oportunidades

Fase de desarrollo del programa espacial nacional

Se requiere de un organismo responsable de la política y su implementación (Agencia Espacial Mexicana).

Desarrollo de recursos humanos para formar parte del núcleo de instituciones con investigaciones y desarrollos en el área espacio.

La sustentabilidad es clave:

- Desarrollo continuo y suficiente de recursos humanos.
- Investigación persistente y estudios en el campo de la sustentabilidad.
- Preparación de profesionales que se enfoquen en la investigación de tecnología espacial reciente.
- Las universidades y los centros de investigación son responsables de realizar estas tareas.

9. Retos, futuros y Oportunidades

Importancia de un programa espacial en Universidades

- Investigación, educación y servicio a la sociedad.
- Generación constante de recursos humanos al programa espacial del país.
- Investigación y desarrollo de tecnología de frontera.
- Investigación fundamental para el futuro.
- Promoción industrial.
- Avance (superación).
- Debe ser robusto ante disturbios socio-económicos y políticos.
- Un programa espacial universitario puede ser la base del programa espacial nacional.



9. Retos, futuros y Oportunidades

Los involucrados



9. Retos, futuros y Oportunidades

¿Cómo comenzar?

- Darse cuenta que el espacio es alcanzable.
- Programa universitario de cubesats.
 - Demostrar que la construcción y operación de un satélite puede realizarse por estudiantes.
 - **Primer misión consiste en un proceso de demostración de capacidades.**
- Aprender el proceso completo de un programa satelital.
 - Desde la conceptualización de la misión hasta la disposición de la misma.
- Entender los aspectos importantes:
 - No es la tecnología sino la ingeniería de sistemas, la administración del proyecto, el trabajo en equipo y una voluntad fuerte lo fundamental.

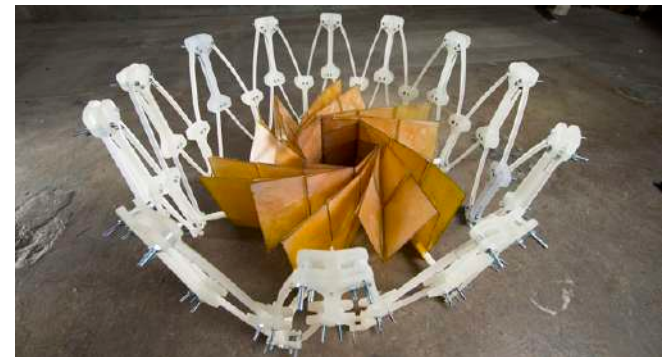
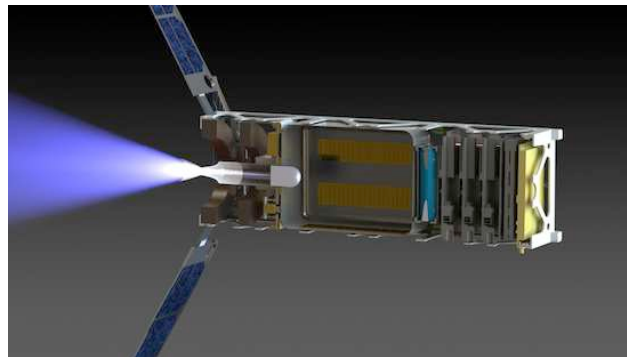
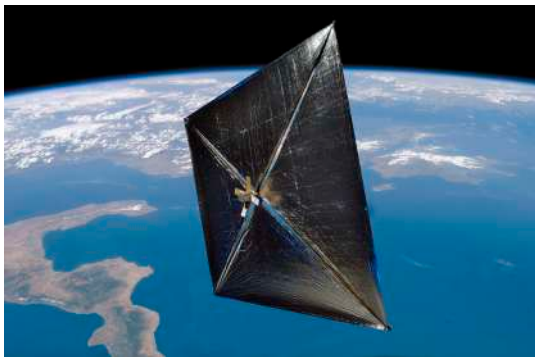
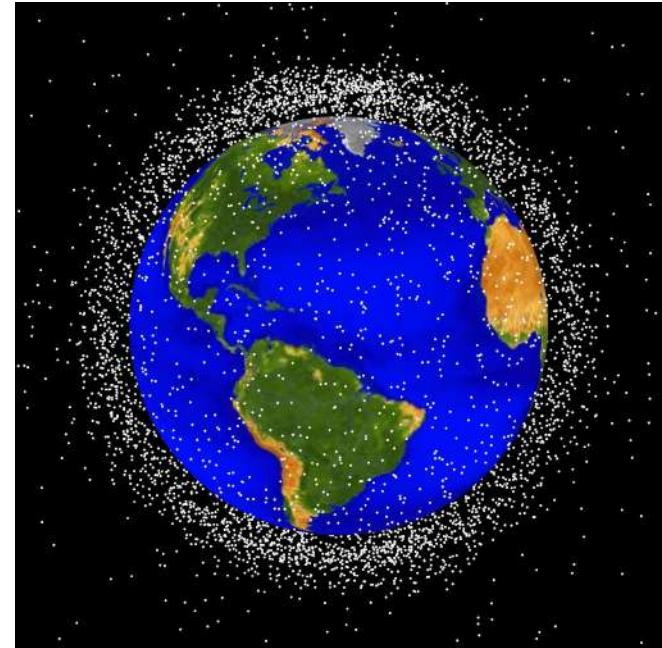


Construir bases sólidas en investigación satelital dentro de las universidades por los graduados de programas Cubesat y buscar nichos de oportunidad.

9. Retos, futuros y Oportunidades

Retos en el área de pequeños satélites (desarrollos)

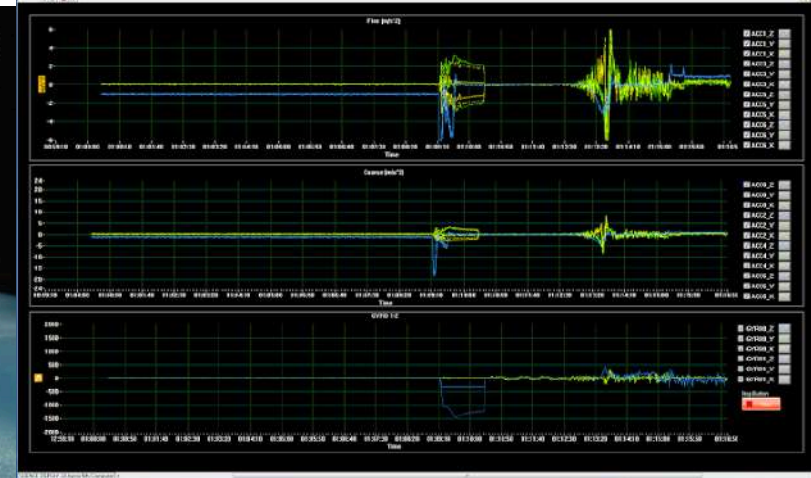
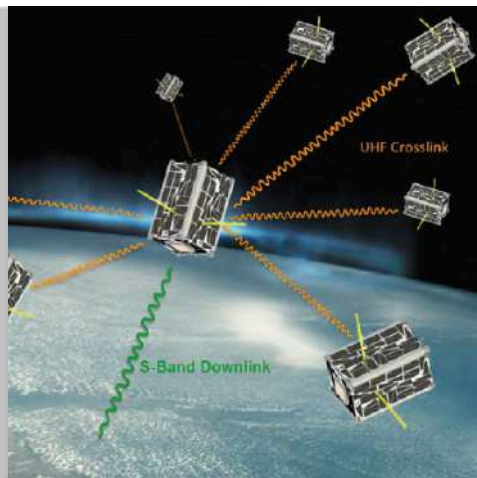
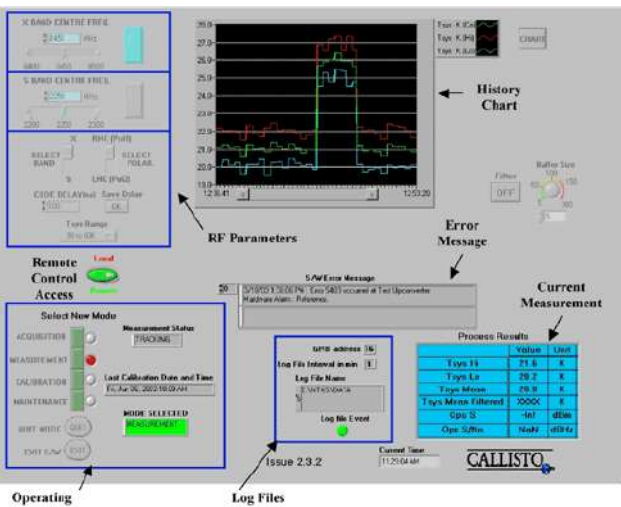
- Capacidades para desorbitar los satélites.
- Uso de cambio de momento, despliegue de superficies y sistemas de desorbitación/ maniobra.
- Utilización de arreglos de antenas en fase y sistemas codificadores para transmitir más información por bit que se envía.
- Antenas desplegadas que permitan comunicaciones con mejores tazas de transmisión y ganancia.



9. Retos, futuros y Oportunidades

Retos en el área de pequeños satélites (desarrollos)

- Constelaciones de satélites pequeños.
- Vuelos en formación y conformación de sistemas mayores.
- Acoplamiento con otras naves y cubesats.
- Constelaciones de satélites pequeños.



10. Referencias

- [1] Small Spacecraft Technology, State of the Art, AMES Research Center, NASA 2014 .
- [2] Ram S. Jakhu, Joseph N. Pelton, Small Satellite and their Regulation, Springer.2014.
- [3] The Consultative Committee for Space Data Systems,
<http://public.ccsds.org/default.aspx>.
- [4] Löfgren, H. et al.: TechEdSat: a minimal and robust 1U CubeSat architecture using plug-and-play avionics. 9th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation. Berlin, Germany, 2013.
- [5] Satellite Mission Operation best Practices, Ray Harvy, Johns Hopkins Applied Physics Laboratory, 2013.
- [6] M. Rycroft, N. Crosby, Small Satellites: Bigger Business?, Springer 2002.
- [7] Cubesat Design Specification, California Polytechnic State University.
- [8] ITU, The International Telecommunications Union:
<http://www.itu.int/es/ITU-R/pages/default.aspx> Consultado al 1 de abril de 2016.
- [9] D.E. Koelle, R. Janovsky, Development and transportation cost of space launch systems, DGLR/CEAS European Air and Space Conference 2007.
- [10] Taller de regulación de satélites pequeños, CICESE, 14 octubre 2015.



AEM

AGENCIA ESPACIAL
MEXICANA

¡Muchas gracias!
¡Nos vemos en la IAC 2016!

rebollar.blanca@aem.gob.mx
fajardo.isai@aem.gob.mx

www.aem.gob.mx
www.educacionespacial.aem.gob.mx
ww.haciaelespacio.org

Presentación disponible en:
https://www.dropbox.com/home/Taller_cubesats_CIIA_2015



SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL
MEXICANA