

Grado en Ingeniería Telemática

Trabajo Fin de Grado

Diseño y funcionamiento del Segmento Terreno para el control
de un satélite de observación de órbita LEO

Autor: David del Álamo Castrillo

Tutor y cotutor (en su caso): Agustín Martínez Hellín

2022

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería Telemática

Trabajo Fin de Grado

Diseño y funcionamiento del Segmento Terreno para el control de
un satélite de observación de órbita LEO

Autor: David del Álamo Castrillo

Tutor/es: Agustín Martínez Hellín

TRIBUNAL:

Presidente: Manuel Prieto Mateo

Vocal 1º: Juana María López Fernández

Vocal 2º: Pablo Muñoz Martínez

FECHA: 20/11/2022

Índice de contenidos

Índice de contenidos.....	2
1 Resumen / Abstract.....	6
2 Introducción.....	7
2.1 Objetivos y desarrollo del proyecto.....	7
2.2 Campo de aplicación.....	7
3 Satélites artificiales y misiones espaciales.....	8
3.1 Partes de una misión satelital.....	8
3.2 Partes del segmento espacial.....	9
3.3 Partes del segmento terreno.....	10
4 Tipos de misión.....	11
4.1 Principales tipos de órbitas terrestres.....	11
4.1.1 Órbita terrestre baja (LEO).....	11
4.1.2 Órbita terrestre media (MEO).....	11
4.1.3 Órbita terrestre alta (HEO).....	12
4.1.4 Órbita geosíncrona.....	12
4.1.5 Órbita heliosíncrona.....	13
4.2 Principales tipos de misión según su carga útil.....	14
5 Consideraciones del diseño.....	15
5.1 Cobertura requerida por el satélite.....	15
5.2 Tipo de órbita.....	15
5.3 Cantidad de satélites a los que proporcionar servicio.....	16
5.4 Tipos de carga útil.....	16
5.5 Seguridad.....	16
5.6 Redundancia de equipos.....	16
5.7 Capacidad de ampliación con recursos externos.....	17
6 Funciones del segmento terreno.....	18
6.1 Recepción de telemetría del satélite y capacidad de comando.....	18
6.2 Recepción de datos de la carga útil.....	18
6.3 Análisis de telemetría y generación de sus productos.....	18
6.4 Solicitud y generación de productos de la carga útil.....	18
7 La misión.....	19
7.1 Objetivo del satélite.....	19
7.2 La órbita.....	19

7.3	Cobertura ofrecida por el segmento terreno.....	22
7.4	Seguridad	25
7.5	Redundancia	28
7.6	Carga útil	28
8	Subsistemas del segmento terreno.....	29
8.1	Antena:	29
8.2	Cortex y HDR:	30
8.3	FMC (FOS Monitor and Control):.....	33
8.3.1	Monitorización y control:	34
8.3.2	Proxy entre subsistemas:.....	35
8.4	IRS (Ingestion and Routing System):	37
8.5	MCS (Mission Control System):.....	39
8.6	CS (Cryptographic System)	44
8.6.1	Flujo de banda S	44
8.6.2	Flujo de banda X	46
8.7	FDS (Flight Dynamic System).....	48
8.7.1	Determinación y propagación de orbita	48
8.7.2	Control de la órbita.....	49
8.7.3	Determinación y control de actitud	50
8.7.4	Cálculo de maniobras	51
8.8	MPS (Mission Planning System)	53
8.9	Command Builder.....	55
8.10	PDGS.....	56
8.10.1	Servicio de Usuario	56
8.10.2	Descifrador	56
8.10.3	Procesador.....	57
8.10.4	Archivo	57
8.10.5	Calibración y validación (CALVAL).....	57
9	Segmento terreno en conjunto	58
9.1	Antena	58
9.1.1	Inputs.....	58
9.1.2	Outputs.....	58
9.2	CORTEX/HDR.....	58
9.2.1	Inputs.....	58
9.2.2	Outputs.....	58

9.3	FMC.....	59
9.3.1	Inputs.....	59
9.3.2	Outputs.....	59
9.4	MCS.....	59
9.4.1	Inputs.....	59
9.4.2	Outputs.....	59
9.5	FDS.....	60
9.5.1	Inputs.....	60
9.5.2	Outputs.....	60
9.6	MPS.....	60
9.6.1	Inputs.....	60
9.6.2	Outputs.....	60
9.7	Command Builder.....	61
9.7.1	Inputs.....	61
9.7.2	Outputs.....	61
9.8	IRS.....	61
9.8.1	Inputs.....	61
9.8.2	Outputs.....	61
9.9	PDGS	61
9.9.1	Inputs.....	61
9.9.2	Outputs.....	61
10	Recursos humanos de la misión	63
10.1.1	Operador de antena	63
10.1.2	SPACON (Spacecraft Controller)	63
10.1.3	Operador MPS	64
10.1.4	Operador FDS	65
10.1.5	SOE (Spacecraft Operation Engineer)	65
10.1.6	Analista de misión	66
10.1.7	Administrador de sistemas y seguridad	66
10.1.8	Operador PDGS.....	66
11	Operando el satélite.....	67
11.1	Actividades dependientes de las sesiones de contactos	67
11.1.1	Actividades antes de los contactos.....	68
11.1.2	Actividades durante el primer contacto de la sesión.....	70
11.1.3	Actividades entre los contactos de la sesión	72

11.1.4	Actividades durante el segundo contacto de la sesión	73
11.1.5	Actividades tras el segundo contacto de la sesión.....	73
11.2	Actividades independientes de las sesiones de contactos	74
11.2.1	Cálculo de maniobras	74
11.2.2	Ingeniería de subsistemas	75
11.2.3	Calibración y validación	76
11.2.4	Administración de equipos	76
11.2.5	Simulación de actividades	76
12	Conclusión	78
13	Líneas futuras	79
14	Acrónimos	80
15	Bibliografía	83

1 Resumen / Abstract

Este Trabajo de Fin de Grado consiste en el diseño y presentación del funcionamiento de un segmento terreno, partiendo de las características generales que debe reunir todo segmento terreno y particularizándolo a un caso concreto, el funcionamiento de un satélite ficticio de observación de la tierra perteneciente a una constelación real. Situado en la parte inferior de la órbita LEO.

The following Degree Final Project consist of the design and presentation of the operation of a ground segment, starting with the general characteristics that any ground segment must meet and particularizing it to a specific case, the operation of a fictitious Earth observation satellite belonging to a real constellation, located in the lower part of LEO orbit.

2 Introducción

2.1 Objetivos y desarrollo del proyecto

El objetivo de este proyecto es explicar el diseño y funcionamiento de un segmento terreno. Para ello se presentarán las características generales que debe cumplir cualquier segmento terreno, tras esto se presentará el satélite al que dará servicio y servirá como base para su diseño, un satélite ficticio de observación de la tierra mediante radar SAR situado en una constelación real de satélites que cumplen este objetivo y, por último, se presentará un diseño particularizado junto a un esquema de trabajo nominal para llevar a cabo las actividades de la operación de acuerdo a las características del satélite y del segmento terreno presentados.

2.2 Campo de aplicación

El campo de aplicación de este Trabajo de Fin de Grado es Docente, pretendiendo enseñar a los lectores el funcionamiento y trabajo real llevado a cabo en un segmento terreno desde su diseño hasta su funcionamiento nominal.

3 Satélites artificiales y misiones espaciales

En el contexto de los vuelos espaciales un satélite es un objeto que ha sido puesto en órbita intencionadamente. A estos objetos se les denomina satélites artificiales, distinguiéndolos así de los satélites naturales (como puede ser la Luna de la Tierra).

Un satélite puede servir a un propósito de forma independiente o formar parte de una constelación de satélites, es decir, un grupo de satélites artificiales que trabajan para un mismo fin como un único sistema.

Una misión espacial satelital engloba el objetivo de un satélite y todos los recursos necesarios para que pueda cumplirse este objetivo.

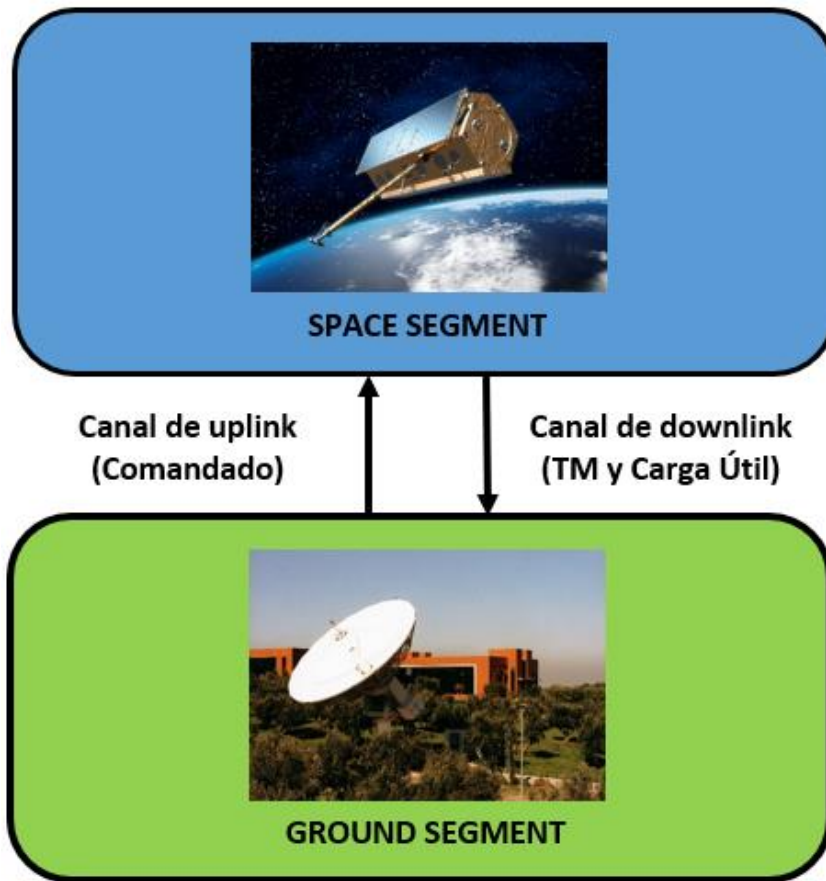
3.1 Partes de una misión satelital

Se distinguen muchas partes en una misión satelital, las cuales varían dependiendo de la etapa de la misión, desde el diseño y fabricación del satélite, pasando por su puesta en órbita y la realización de su objetivo hasta finalizar su vida útil, sin embargo, durante la fase operacional del satélite, es decir, la etapa en la que ya está en órbita cumpliendo su objetivo, distinguimos dos partes principales, el segmento espacial y el segmento terreno.

El segmento espacial (Space Segment) está comprendido por el satélite (o la constelación de satélites). Así mismo el satélite está formado por el BUS o plataforma, que son todos los subsistemas contenidos en el satélite que permiten su funcionamiento (subsistema de potencia, subsistema de control térmico, subsistema de propulsión...) y por la carga útil o instrumento, que hace referencia a los componentes que permiten al satélite llevar a cabo el objetivo de la misión (toma de imágenes ópticas, radar, toma de datos científicos, transmisión de comunicaciones...).

El segmento terreno (Ground Segment) hace referencia a la parte terrestre de una operación espacial, el término engloba todos los recursos utilizados para llevar a cabo la operación de un objeto lanzado al espacio, en este caso, un satélite. Por segmento terreno no solo se hace referencia a los sistemas y la tecnología que componen la estación de control del satélite, sino también a todo el personal especializado que trabaja con cada uno de los subsistemas de la estación permitiendo que se lleve a cabo la operación de dicho satélite.

Ambos segmentos están unidos por los enlaces ascendentes y descendentes de comunicación que permiten el comando de acciones al satélite a través del canal de uplink y la descarga de información del satélite a través del canal de downlink.



Esquema de las partes de una misión satelital

3.2 Partes del segmento espacial

En el Bus o plataforma del satélite podemos distinguir varios subsistemas distintos, los cuales están orientados a cumplir distintas funciones que permiten la vida útil del satélite. Estos sistemas están en su mayoría redundados, dado que el fallo de alguno de ellos podría significar el fin de la vida útil del satélite debido a la casi imposibilidad de reparar o sustituir uno de estos subsistemas una vez el satélite se encuentra en vuelo.

Los subsistemas que conforman la plataforma del satélite son principalmente los siguientes:

- Sistema de control de actitud y órbita (Attitude and Orbit Control System; **AOCS**) / Control de navegación (Guidance, Navigation and Control; **GNC**).
- Sistema de potencia eléctrica (Electrical Power System, **EPS**).
- Sistema de control térmico (Thermal Control System, **TCS**).
- Sistema de propulsión (Propulsion System, **PS**).
- Ordenador y software de a bordo (On-board Data Handling y On-board Software, **OBDH** y **OBSW**).
- Comunicaciones (Communications).

En cuanto a la otra parte del satélite, la carga útil (Payload), vendrá conformada por distintos tipos de instrumentos dependiendo del objetivo para el que esté diseñado el satélite.

3.3 Partes del segmento terreno

En el segmento terreno, al igual que en el espacial, podemos distinguir varios subsistemas que se encargan de realizar las distintas tareas necesarias para asegurar el funcionamiento del satélite y que se cumpla el objetivo de la misión. En el caso del segmento terreno, podemos separar estos subsistemas en tres bloques, el bloque de la estación terrestre, llamada **G/S** (Ground Station), es el enlace entre el segmento terreno y el espacial y se encarga de permitir el intercambio de datos entre ambos segmentos, el bloque operacional, llamado **FOS** (Flight Operation Segment), el cual se encarga del control y monitorización del estado del satélite y, por último, el bloque de la carga útil, llamado **PDGS** (Payload Data Ground Segment), el cual se encarga de la gestión de los datos tomados por el instrumento (o instrumentos) del satélite, es decir, los productos que se obtienen de él.

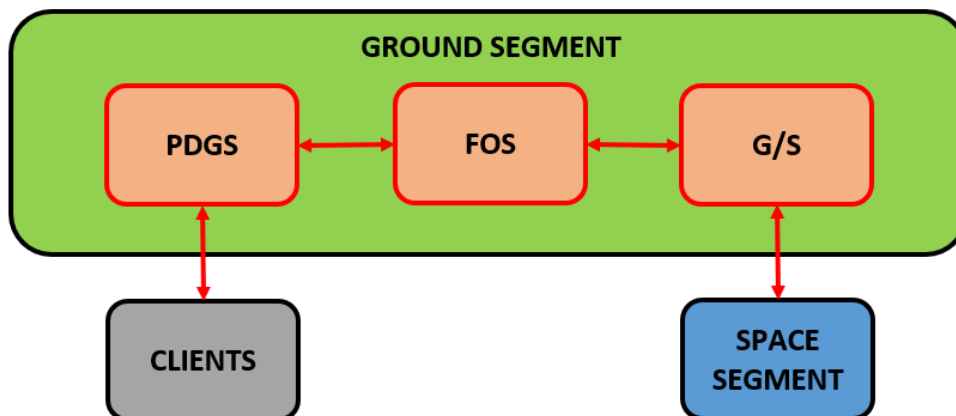
Los subsistemas que conforman la G/S son principalmente los siguientes:

- Antena.
- Elementos intermedios G/S – FOS:
 - Elementos de control de recepción y transmisión de TM.
 - Elementos de interpretación de la TM.
 - Elementos de grabación de TM.
 - Elementos de adquisición y distribución de la TM.

Los subsistemas que conforman el FOS dependen de las especificaciones de cada misión, pero son principalmente los siguientes:

- Mission Control System (**MCS**).
- Mission Planning System (**MPS**).
- Flight Dynamics System (**FDS**).
- FOS Monitoring & Control (**FMC**).

Los subsistemas que conforman el PDGS dependerán completamente del tipo de carga útil que tengamos y de los servicios que se ofrezcan con respecto a esa carga útil.



Partes del segmento terreno y como se comunican entre ellas y con el exterior

4 Tipos de misión

En una misión satelital, podemos distinguir dos clasificaciones, una según el tipo de órbita del satélite (nos centraremos en las terrestres) y la otra según el objetivo de la misión, en la que el tipo de misión viene marcado principalmente por su carga útil, aunque puede tener varios tipos de cargas útiles en conjunto, siempre hay una principal y el resto secundarias.

4.1 Principales tipos de órbitas terrestres

4.1.1 Órbita terrestre baja (LEO)

Es toda órbita que se encuentra a una altura entre 200 y 2000 Km sobre la superficie de la Tierra. Los satélites ubicados en esta órbita requieren menos energía en su lanzamiento para llegar a ponerse en órbita, tienen menos latencia en las comunicaciones y requieren menos potencia en la señal usada para ponerse en contacto con ellos, sin embargo, debido a las altas velocidades necesarias para mantenerse de forma estable en la órbita (entre 7.1 y 7.8 km/segundo) y a la poca distancia con la tierra, el rango de cobertura que tienen en un instante determinado es muy pequeño y, además, varía rápidamente, por lo que para servicios que requieren una visibilidad constante con el satélite sería necesario el uso de numerosas estaciones terreno situadas a lo largo del planeta o del uso de numerosos satélites trabajando en conjunto en forma de constelación. Un ejemplo de satélites ubicados en esta zona orbital son los Starlink operados por la empresa Space X, una constelación que para finales de esta década se estima que tendrá en órbita más de 40000 satélites (multiplicando por más de cinco la ocupación actual de la LEO en cuanto a satélites activos y triplicando el número de objetos actuales orbitando en esta capa) que tiene como objetivo proporcionar un servicio de internet de banda ancha a nivel mundial. Además de satélites no tripulados, la mayoría de los vuelos espaciales tripulados, exceptuando los del programa Apollo, no han ido más lejos de esta órbita, incluyendo el que transportaba al primer ser vivo en orbitar la tierra, la perra Laika, la cual viajó a bordo de la nave soviética Sputnik 2 el 3 de noviembre de 1957.

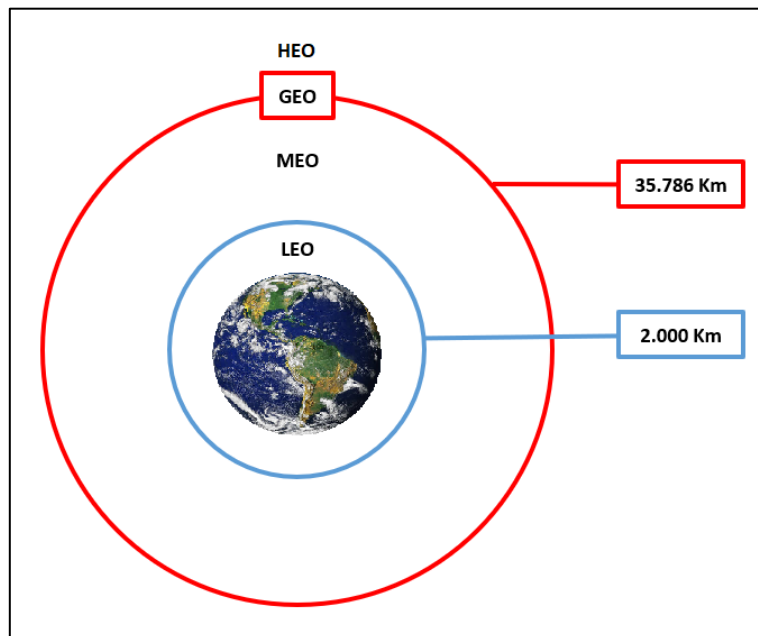
4.1.2 Órbita terrestre media (MEO)

Es una órbita que se encuentra entre 2000 y 35.786 Km sobre la superficie de la Tierra. Los satélites ubicados en esta zona tienen un periodo orbital mayor que los satélites ubicados en las orbitas de la zona LEO, lo cual hace que se requieran constelaciones más pequeñas de satélites para cumplir las necesidades de visibilidad continua, sin embargo su mayor altura hace que se requiera mayor energía para ponerlos en órbita, que se necesiten amplificadores de señal más potentes para comunicarse con estos satélites y que las comunicaciones vean aumentada su latencia con respecto a los ubicados en la órbita LEO. Esta órbita se utiliza principalmente para colocar satélites de navegación como los satélites de la constelación estadounidense GPS, la rusa GLONASS y la europea GALILEO. Además, es utilizada también por algunas constelaciones destinadas a las telecomunicaciones, como la constelación O3b, propiedad de la empresa de luxemburgués SES, que tiene el objetivo de

proporcionar internet de baja latencia con cobertura mundial, siendo esta latencia de alrededor de 125 ms, lo cual es mayor de las latencias conseguidas en LEO, pero significativamente menor que las latencias en órbita GEO (situada en el límite entre la órbita MEO y la HEO).

4.1.3 Órbita terrestre alta (HEO)

Es una órbita que se encuentra a más de 35.786 Km sobre la superficie de la Tierra. Esta altura provoca que los periodos orbitales de los satélites ubicados en esta zona sean mayores de 24 horas. Esta zona orbital se utiliza principalmente para ubicar satélites que tienen el objetivo de recoger información del resto del sistema solar y el espacio interestelar, dado que minimiza la cantidad de objetos que se interponen entre el satélite y su objetivo, al estar la gran mayoría de satélites orbitando por debajo de ellos. Algunos ejemplos de misiones ubicadas en la órbita HEO son los satélites del proyecto VELA, destinados al estudio de explosiones nucleares en el espacio y en la tierra, o el satélite de la NASA IBEX, cuya misión es elaborar un mapa de la frontera entre el sistema solar y el espacio interestelar.

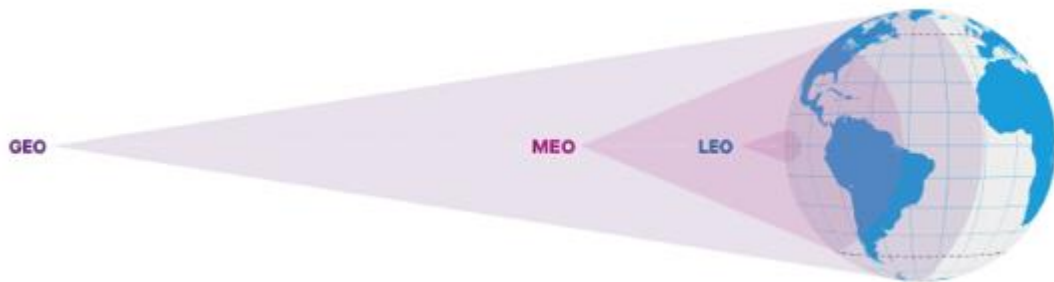


Principales zonas orbitales geocéntricas

4.1.4 Órbita geosíncrona

Es una órbita cuyo periodo orbital es igual al de rotación de la tierra. La órbita geosíncrona más conocida es la órbita Geoestacionaria (GEO), la cual es una órbita geosíncrona circular que se encuentra a 35.786 Km de la superficie de la tierra, sobre el ecuador. En esta órbita el satélite se mueve en la misma dirección de rotación de la tierra, haciendo que el satélite se encuentre en todo momento sobre prácticamente el mismo punto de la superficie terrestre y, por tanto, que parezca un objeto estático en el cielo. La órbita GEO es muy útil para situar satélites de comunicaciones y televisión, debido a que gracias a su posición casi estable con respecto a un punto fijo de la tierra y a su amplia cobertura gracias a la gran altura en la que se sitúa, permite que apuntando una antena en una dirección fija se pueda mantener un enlace permanente con el

satélite. También se sitúan en la órbita GEO una red de satélites meteorológicos, los cuales incluyen los satélites METEOSAT, construidos y lanzados por la ESA y utilizados por la organización europea EUMESAT.



Cobertura cubierta por el satélite según la altitud de distintos tipos de órbitas

4.1.5 Órbita heliosíncrona

Es una órbita alrededor de la Tierra con la combinación correcta de altitud e inclinación para que el satélite siempre cruce el ecuador aproximadamente a la misma hora local en cada órbita, lo que significa que las condiciones de iluminación son similares. Gracias a estas condiciones de iluminación tan poco variables, estas órbitas son especialmente útiles para situar satélites de observación de la tierra, por ello son las órbitas utilizadas por los satélites de la constelación usada como ejemplo para el desarrollo de este trabajo de fin de grado, formada por los satélites de observación mediante radar de apertura sintética (SAR) Tandem-X, Terrasar-X y PAZ, también iba a ser el tipo de órbita utilizado por el satélite óptico español SEOSat/INGENIO y por el satélite francés de teledetección TARANIS, los cuales no llegaron a proporcionar servicio debido a un fallo en el lanzamiento del cohete VEGA que les desplegaría en su órbita prevista el 17 de noviembre de 2020, el cual provocó la pérdida de ambos satélites.

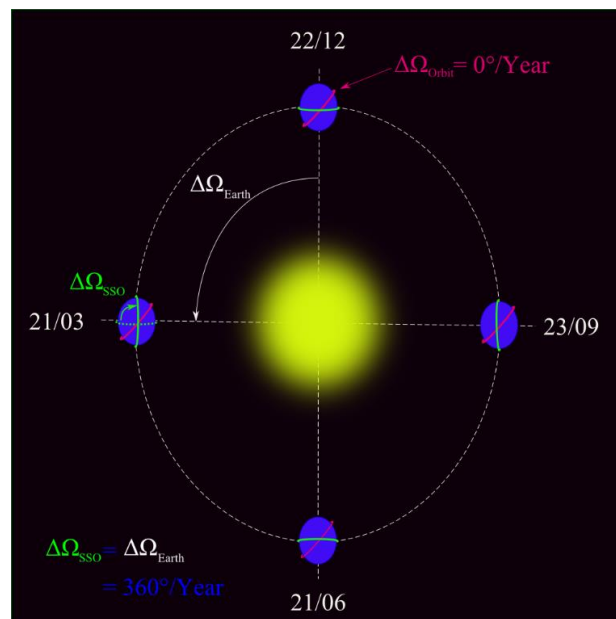


Imagen obtenida de Wikipedia que muestra como una órbita heliosíncrona (verde) mantiene su ángulo de iluminación, a diferencia de una órbita no sincrona (rojo)

4.2 Principales tipos de misión según su carga útil

- Telecomunicaciones, como SpainSat y XTAR-EUR, de la empresa española HISDESAT.
- Meteorológicos, como los satélites METEOSAT, de la organización europea EUMESAT.
- Observación de la tierra, como el satélite PAZ, de la empresa española HISDESAT.
- Navegación, como la constelación Galileo, desarrollada por la ESA y operada por la EUSPA.
- Astronomía, como el telescopio espacial Hubble, proyecto conjunto de la NASA y la ESA.
- Estaciones espaciales, como la estación espacial internacional (ISS), proyecto en conjunto de la agencia espacial estadounidense NASA, la europea ESA, la rusa Roscosmos, la japonesa JAXA y la canadiense CSA/ASC.

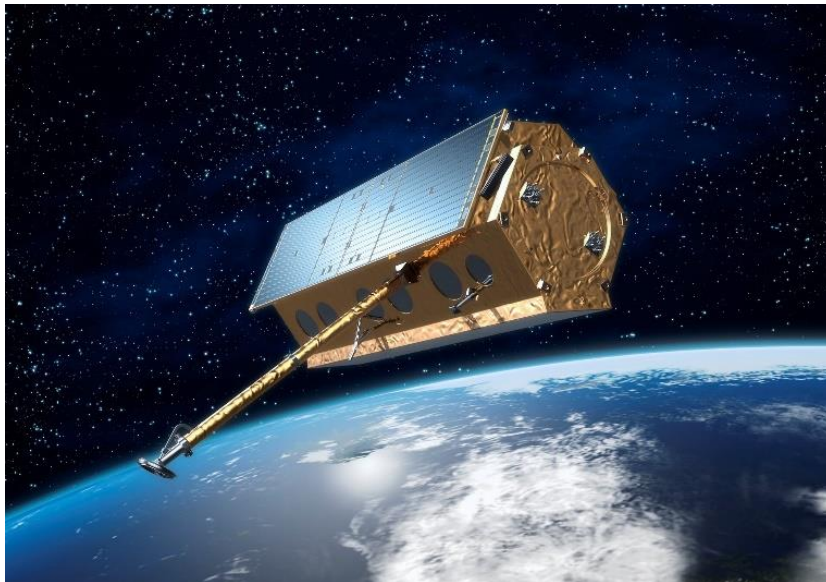


Imagen del satélite de observación de la tierra por radar de apertura sintética (SAR) TerraSAR-X, el diseño de los satélites Tandem-X y PAZ son muy similares, ya que son satélites gemelos de este

5 Consideraciones del diseño

Existen una serie de requisitos generales a tener en cuenta en el diseño del segmento terreno. Estas consideraciones dependen tanto de las características del satélite como de la misión y están relacionadas entre sí.

5.1 Cobertura requerida por el satélite

La visibilidad del satélite o duración del contacto es el tiempo total en el que se tiene contacto con el satélite por parte del segmento terreno en un solo contacto o pase, la cual vendrá dada principalmente por la altitud, siendo mayor generalmente cuanto más alejada es la órbita. También depende del tipo de órbita y el movimiento relativo que tenga el satélite respecto al segmento terreno, así pues, una órbita GEO, por ejemplo, tendrá normalmente una duración de contacto mayor que órbitas de mayor altitud, ya que tendrá visibilidad prácticamente ininterrumpida al ser su posición estática desde el punto de vista del segmento terreno.

La cobertura requerida por el satélite es el tiempo total que se necesita tener visibilidad con él al cabo de un día, es decir, el número mínimo total de visibilidades diarias, teniendo en cuenta la duración de cada visibilidad. El factor principal del que depende la cobertura requerida es la cantidad de datos que se necesita transferir diariamente, tanto por parte del satélite al segmento terreno (telemetría y carga útil) como por parte del segmento terreno al satélite (telecomandado).

Otro factor muy importante, aunque no suele ser tan limitante, es la capacidad de autonomía del satélite, la cual tiene que ser mayor que el tiempo entre contactos con el mismo. Esta autonomía está limitada tanto por la duración de las planificaciones que se suben al satélite durante los contactos (las ordenes que se ejecutarán en el satélite fuera del tiempo de contactos) como por la capacidad de mantener sin necesidad de hacer maniobras, ya sea para mantenerse dentro de su órbita como para esquivar con el tiempo suficiente objetos con los que puede colisionar debido a las características de su órbita.

La cobertura requerida por el satélite puede variar según la fase de la misión en la que se encuentre, dado que los objetivos y sus requisitos para cumplirlos pueden variar con el tiempo. Esto puede dar lugar a que en ocasiones se tenga que ampliar la cobertura dada para ciertos servicios haciendo uso de estaciones externas a las habituales que componen el segmento terreno para realizar contactos.

5.2 Tipo de órbita

El tipo de órbita marcará algunos requisitos como las características de la antena para asegurar el contacto con el satélite, la cantidad de contactos diarios y la duración de estos.

Hay factores del tipo de órbita que se pueden ajustar a las necesidades del segmento terreno, sin embargo, la mayoría de las características de la órbita del satélite vendrán marcadas por el objetivo de su misión y el tipo de carga útil que contenga, por lo que será necesario adaptar el segmento terreno a las necesidades de la órbita y no al revés.

5.3 Cantidad de satélites a los que proporcionar servicio

En caso de dar servicio a más de un satélite, ya sean de la misma misión o pertenezcan a misiones diferentes, se tendrán que cumplir los requisitos individuales asociados a las características de cada uno de estos satélites, así como una serie de requisitos adicionales ligados al servicio de todos ellos en conjunto, como la capacidad de reserva de pases para cada uno de ellos sin que interfieran con el resto.

5.4 Tipos de carga útil

El segmento terreno deberá tener capacidad de recibir, almacenar, enviar y, en ocasiones, procesar cada uno de los tipos de carga útil que generan cada uno de los instrumentos de los satélites a los que da servicio.

5.5 Seguridad

Una de las principales causas de adición de requisitos para el segmento terreno es la seguridad de la misión. Se distinguen principalmente dos tipos de seguridad.

Por un lado, la seguridad de las comunicaciones con el satélite. Esto incluye el cifrado de la telemetría y los datos recibidos del mismo por el canal de downlink, lo cual suele ser obligatorio en el caso de la telemetría y flujo de datos relacionados con los productos que se enviarán a clientes y opcional para telemetría con información menos sensible del satélite. También incluye el comandado del satélite, el cual se lleva a cabo por el canal de uplink, caso en el cual suele ser obligatorio el cifrado de la información. La ventaja del uso de cifrado en las comunicaciones entre el segmento terreno y el satélite son asegurar el satélite ante intentos de control fraudulentos y asegurar la información sensible del mismo, que podría ser utilizada para perjudicar tanto al servicio ofrecido por la empresa propietaria del satélite como al recibido por sus clientes. La desventaja del uso de esta tecnología es que añade una mayor complejidad, tanto al diseño del segmento terreno y espacio, a nivel de software y hardware, como al diseño de protocolos y procedimientos que permiten que se lleve a cabo la misión.

Por otro lado, la seguridad de los subsistemas del segmento terreno. Esto incluye el acceso a los distintos subsistemas, aislándolos tanto físicamente, como lógicamente. Medidas que limitan el acceso a estos subsistemas pueden ser aislarlos lógicamente, conectándolos en una subred a la que no se pueda acceder desde equipos externos a ella, aislar físicamente los equipos en salas seguras, a las cuales el acceso físico está limitado a los integrantes del equipo que utilicen los subsistemas y el acceso por usuarios a los equipos, limitando los permisos de los usuarios a las funcionalidades necesarias en cada equipo para realizar su trabajo.

5.6 Redundancia de equipos

La redundancia de equipos no es necesaria para que una misión satelital pueda cumplir su objetivo, sin embargo, es aconsejable, dado que el fallo en algunos subsistemas, aunque sea temporal, puede provocar desde un leve impacto negativo en

el servicio prestado a los clientes, hasta la pérdida total de la misión, dependiendo del subsistema que falle.

5.7 Capacidad de ampliación con recursos externos

Otro requisito adicional a tener en cuenta es que el diseño de los subsistemas que conforman el segmento terreno admita la utilización de recursos externos al mismo para realizar ciertas partes de la misión, limitadas por los requisitos de seguridad de la misma. Esto es, por ejemplo, la capacidad de planificar visibilidades en otras estaciones y la capacidad de recibir y procesar los datos obtenidos en estas, a través de un procedimiento que asegure que se respetan los requisitos de seguridad del segmento terreno.

6 Funciones del segmento terreno

El segmento terreno tiene la función de permitir mantener contacto con el segmento espacio (satélite) y proporcionar los medios necesarios para que el mismo pueda cumplir todas las funciones y requisitos que exija la misión.

6.1 Recepción de telemetría del satélite y capacidad de comandado

El segmento terreno debe contener los subsistemas suficientes para permitir la recepción de la TM del satélite, conteniendo esta la información suficiente para permitir analizar el estado del mismo. Además, debe permitir enviar información al satélite, para poder comandar las ordenes adecuadas y realizar actuaciones sobre el satélite en caso de ser necesario. Para ello el segmento terreno debe tener la capacidad de conectarse con el satélite mediante un canal bidireccional.

6.2 Recepción de datos de la carga útil

Además de telemetría, el segmento terreno debe tener la capacidad de recibir la información que compone su carga útil, es decir, la información recogida por los distintos instrumentos que contenga a partir de la cual se generarán los productos finales que se enviarán a los clientes. Esta información puede ir por un canal diferente al de telemetría y telecomandado, el cuál puede ser un canal unidireccional con función única de downlink.

6.3 Análisis de telemetría y generación de sus productos

Otra funcionalidad básica del segmento terreno para la misión es la capacidad de análisis de la telemetría que recibamos del satélite. Esta telemetría puede ser utilizada en distintos subsistemas para distintos propósitos, como la valoración del estado de salud del satélite, el análisis de los distintos subsistemas abordo y sus capacidades o la determinación orbital. Además, a partir de esta telemetría también se pueden generar productos destinados a distintos objetivos, como la capacidad de dar un servicio más fiable al cliente proporcionándole información sobre la capacidad de uso del instrumento.

6.4 Solicitud y generación de productos de la carga útil

El segmento terreno debe tener la capacidad de recoger o generar las solicitudes a partir de las cuales se generará la carga útil en el satélite, así como de generar los productos finales a partir de esta carga útil.

7 La misión

Antes de diseñar el segmento terreno es necesario definir las características de la misión a la que se dará servicio, definiendo tanto las características del satélite y la órbita que sigue, como el servicio que se quiere ofrecer y los tipos de clientes a los que se quieren ofrecer estos servicios, ya que de todo ello en conjunto dependerán los requisitos que debe cumplir el segmento terreno y esto condicionará su diseño.

7.1 Objetivo del satélite

El satélite ficticio al que da servicio este segmento terreno, al que llamaremos LEOSAR-Sat, es un satélite de observación de la tierra mediante un radar de apertura sintética (SAR).

Este satélite estará incluido en la constelación de satélites formada por TerraSAR-X, TanDEM-X y PAZ, satélites que incorporan la misma tecnología, teniendo una órbita similar a la de estos satélites.

El objetivo del satélite es ampliar la cobertura del servicio de observación de la tierra dado por esta constelación de satélites, disminuyendo el tiempo de respuesta ante peticiones de clientes.

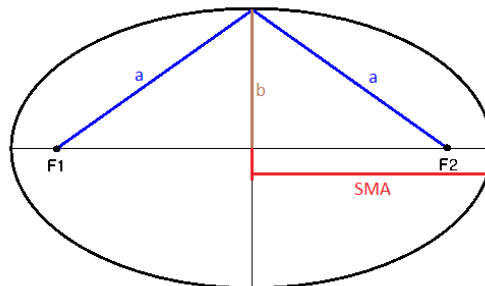
7.2 La órbita

La órbita que sigue este satélite será similar a la que siguen los satélites que forman parte de la constelación en la que va incluido. Para definirla se han realizado unos cálculos teóricos a partir de características de la órbita de TerraSAR-X y se ha modificado y ajustado con la ayuda de simulaciones mediante software para usar de referencia una órbita ficticia con características similares a las que se cumplen en esta constelación, haciendo que el ejemplo de órbita sea lo más real posible.

El satélite sigue una órbita helio-síncrona con las siguientes características teóricas:

- Siendo el SMA la distancia media a la que órbita el satélite alrededor del centro de la tierra (ya que la tierra ocupa uno de los focos de la elipse) igual

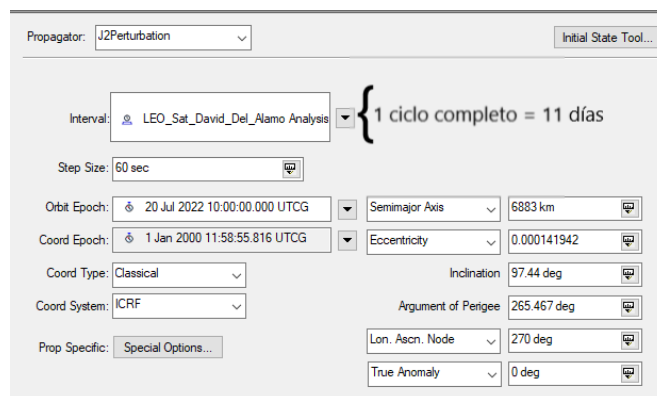
$$\text{a } 6.886,39 \text{ Km y siendo la } ECC = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} = 0.0001445.$$



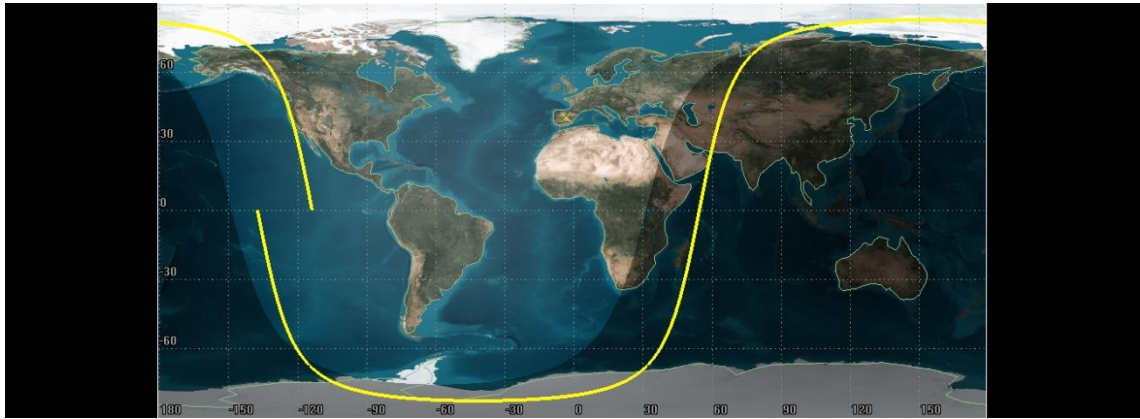
Parámetros de una elipse

- La altitud del apogeo será igual a la distancia máxima de la elipse a uno de sus focos, se puede calcular como $r_{max} = SMA * (1 + ECC) - R_T = 6.886,39 \text{ Km} * 1,0001441 - 6.371 \text{ Km} = 516,38 \text{ Km}$ (parte baja de la órbita LEO).
- La altitud del perigeo será igual a la distancia mínima de la elipse a uno de sus focos, se puede calcular como $r_{min} = SMA * (1 - ECC) - R_T = 6.886,39 \text{ Km} * 0,9998559 - 6.371 \text{ Km} = 514,39 \text{ Km}$ (parte baja de la órbita LEO).
- Para calcular el periodo orbital, es decir, lo que tarda el satélite en dar una vuelta completa a la tierra tenemos que $T = 2\pi \sqrt{\frac{SMA^3}{GM_t}}$, siendo la constante de gravitación universal $G = 6,674 * 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$ y la masa de la tierra $M_t = 5,9722 * 10^{24} Kg$, por tanto, sustituyendo:
 - $T = 2\pi \sqrt{\frac{3,265689155 * 10^{20} m^3}{3,9857128 * 10^{14} m^3 s^{-2}}} = 2\pi \sqrt{819348 s^2} = 5687,4 s = 94,8 \text{ min.}$
 - Con esto sabemos que el satélite dará aproximadamente $\frac{1440 \text{ min/día}}{94,8 \text{ min/vuelta}} = 15,2 \text{ vueltas/día.}$
- Sabiendo que la tasa de precesión de una órbita para que sea síncrona al Sol tiene que ser $\Omega_{SSO} = \frac{360^\circ/\text{año}}{365,25 \text{ días/año sidereal}} = 0,9856^\circ/\text{día}$ y que la precesión se relaciona con la SMA, la ECC y el periodo T de la siguiente manera $\Omega = -\frac{3}{2} J_2 \frac{2\pi}{T} \left(\frac{R_T}{SMA(1-ECC^2)} \right)^2 \cos i$; siendo el segundo factor de forma dinámica $J_2 = 1,08082668 * 10^{-3}$, podemos despejar la inclinación $i = \cos^{-1} \frac{\Omega}{-\frac{3}{2} J_2 \frac{2\pi}{T} \left(\frac{R_T}{SMA(1-ECC^2)} \right)^2} = \cos^{-1} \frac{0,9856^\circ/\text{día} * \frac{2\pi \text{ rad}}{86.400 \text{ s/día} * 360^\circ}}{-1,53556391 * 10^{-6}} = \cos^{-1} \frac{1,9907 * 10^{-7} \text{ rad/s}}{-1,53556391 * 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = \cos^{-1}(-0,129642324 \text{ rad}) = 97,44^\circ$.

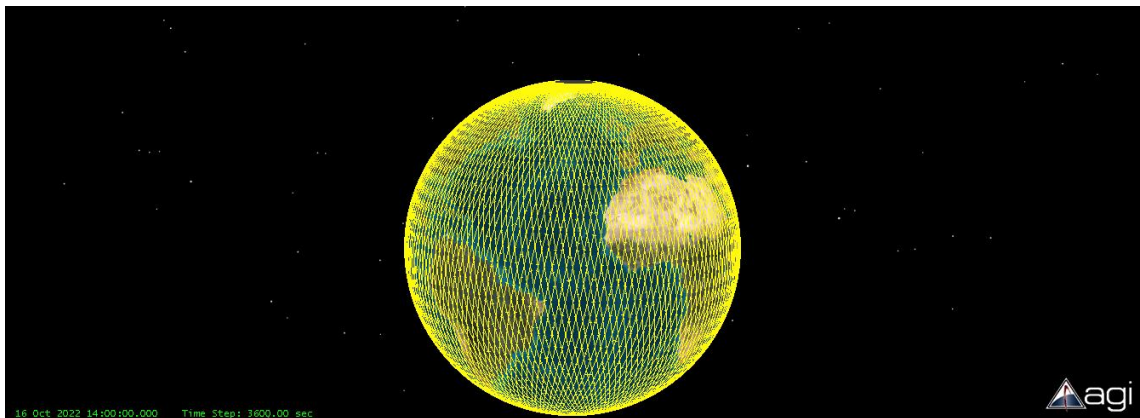
Tras el cálculo teórico de la órbita, se realiza una simulación de la misma mediante el software Systems Tools Kit (STK) del desarrollador AGI (Analytical Graphics, Inc.), en la cual se han ajustado los parámetros de la órbita teórica calculada.



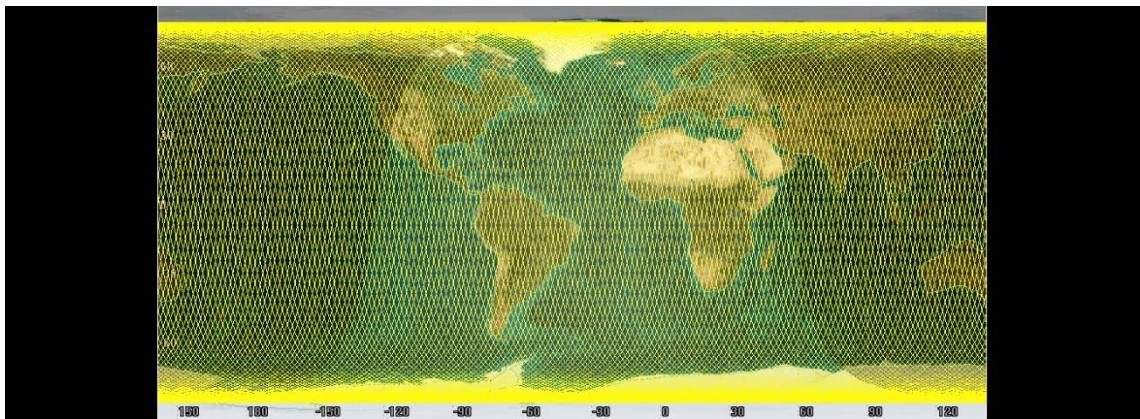
Parámetros de la órbita del satélite.



Simulación de la proyección de una órbita completa del satélite sobre un mapa 2D.



Simulación de la órbita del satélite durante un ciclo completo (11 días) en 3D.



Simulación de la proyección de la órbita del satélite durante un ciclo completo (11 días) sobre un mapa 2D.



Simulación de la proyección de la órbita del satélite durante un ciclo completo (11 días) sobre un mapa 2D centrado en España, lugar en que se ubicará el segmento terreno.

7.3 Cobertura ofrecida por el segmento terreno

La ubicación elegida para la construcción del segmento terreno es la Escuela Politécnica Superior de la universidad de Alcalá de Henares. Mediante simulaciones con el software STK se puede determinar la cantidad de contactos diarios que tendrá el segmento terreno con el satélite en un ciclo completo, así como el momento y duración aproximado de cada contacto, esto servirá para definir el esquema de actividades necesarias para llevar a cabo la operación del satélite.

Se comienza simulando el segmento terreno, introduciendo los datos de su localización y proyectando su cobertura a la altitud del satélite a través de un sensor.

Position

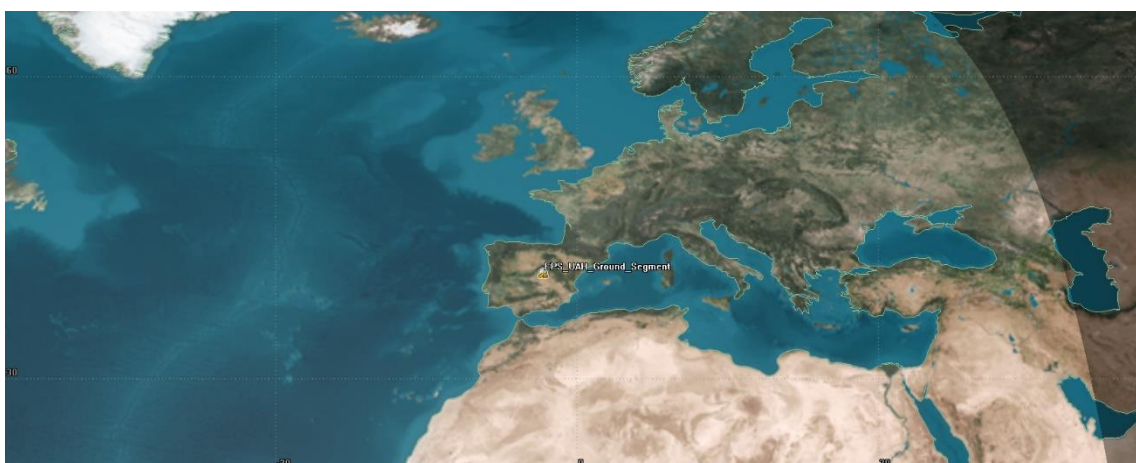
Type: Geodetic ▼

Latitude: 40.5132 deg [Map]

Longitude: -3.3495 deg [Map]

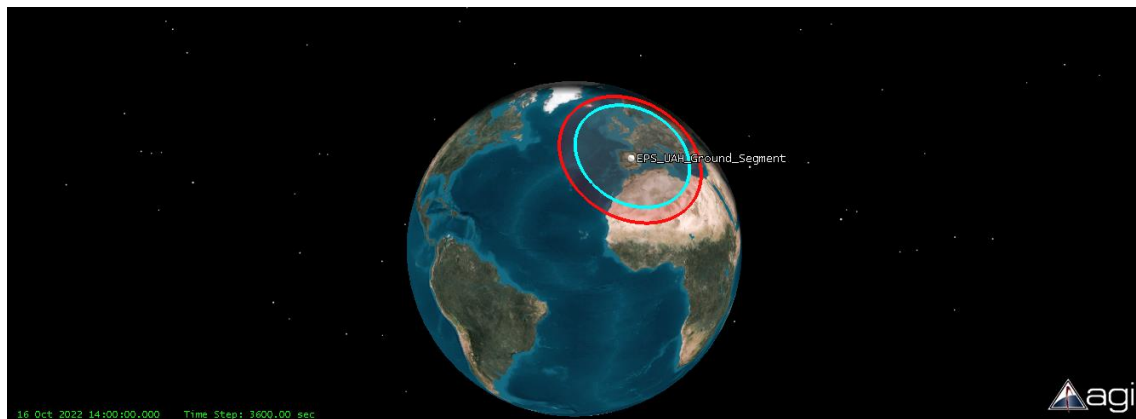
Altitude: 0 km [Map] Use terrain data

Coordenadas de la posición del segmento terreno.



Posición del segmento terreno sobre el mapa.

Aunque el segmento terreno teóricamente tiene visibilidad con el satélite a partir de los 0° de inclinación, los pases efectivos son aquellos en los que se tiene visibilidad con el satélite a 5° sobre el horizonte o más, ya que por debajo de esta inclinación no está permitido radiar, por lo que en pases de menor inclinación no se tendría comandado, además, a menos de 5° de inclinación (o incluso algo por encima de 5° dependiendo del entorno), no se asegura una buena calidad de la señal debido a interferencias y obstáculos en el entorno, por lo que no se aconseja contar con este intervalo de tiempo entre los 0° y los 5° como “tiempo de pase efectivo”. Para simular correctamente los pases se ha hecho uso de dos sensores, uno a 5° de inclinación, el cual marcará los pases efectivos y otro a 0° , el cual servirá para determinar la duración real de las visibilidades con el satélite.

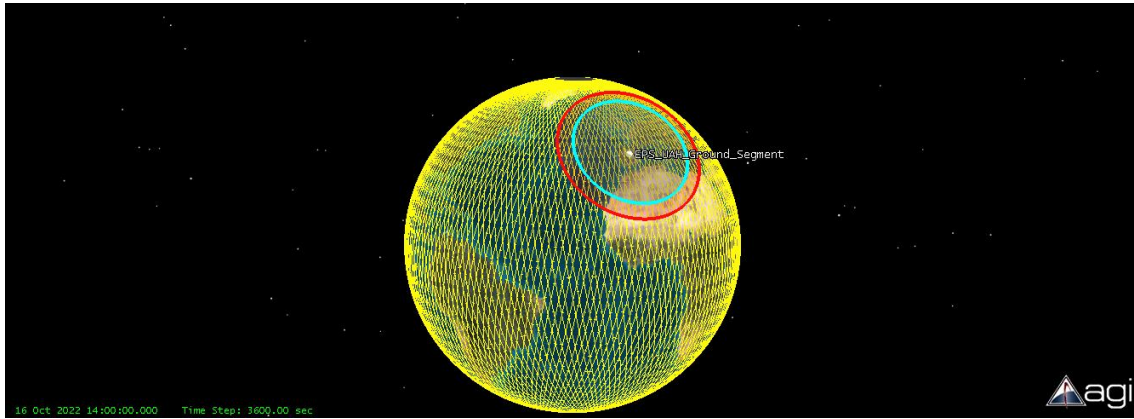


Cobertura en 3D a 0° de inclinación (rojo) y a 5° de inclinación (azul) del segmento terreno para un satélite a una altitud aproximada de 514Km de altura.

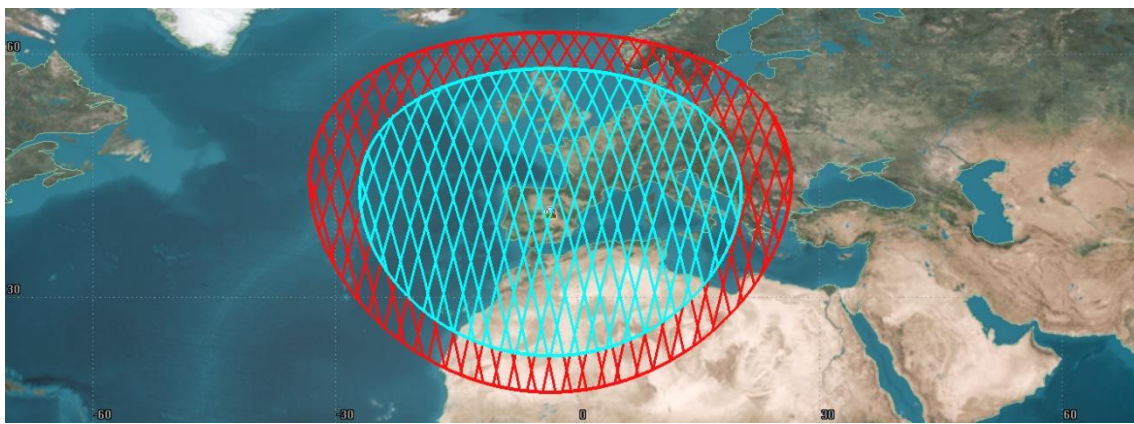


Proyección en 2D de la cobertura a 0° de inclinación (rojo) y a 5° de inclinación (azul) del segmento terreno para un satélite a una altitud aproximada de 514Km de altura.

Una vez se conoce la cobertura ofrecida por el segmento terreno al satélite, se superpone la simulación de las órbitas del satélite con la cobertura del segmento terreno, para obtener los pases disponibles por ciclo.



Simulación conjunta en 3D de las órbitas del satélite en un ciclo completo y la cobertura con el mismo del segmento terreno.



Simulación de los pases del satélite a los que da cobertura el segmento terreno, diferenciando la visibilidad a 5° (azul) y la visibilidad a 0° (rojo).

Para simular las horas y duración aproximada de todos los pases de un ciclo completo se utiliza la herramienta de generación de reports, generando un informe de los tiempos y duración de los pases efectivos, es decir, los que tienen visibilidad con el sensor a 5ª (azul). Como este ciclo se repite con muy poca variación (dependiendo de la desviación de la órbita real del satélite con respecto a la órbita teórica calculada), estos tiempos se podrán utilizar como referencia para todos los contactos del segmento terreno con el satélite a lo largo de la misión, a los que se puede aplicar una corrección conociendo la órbita real del satélite en el momento del cálculo.

DoC (Day of Cycle)	Contact of the day	AOS@5° (UTC)	LOS@5° (UTC)	Duration (sec)
1	1	02:19:36.554	02:28:48.131	551.577
	2	03:56:00.707	04:00:52.598	291.891
	3	15:23:59.786	15:33:17.689	557.904
	4	17:00:16.497	17:03:25.901	189.404
2	1	02:02:39.024	02:11:26.398	527.374
	2	03:37:34.323	03:44:33.391	419.068
	3	15:06:49.964	15:15:59.524	549.560
	4	16:41:54.950	16:47:46.981	352.031
3	1	01:45:53.822	01:53:57.279	483.457

	2	03:19:37.580	03:27:49.552	491.972
	3	14:49:47.612	14:58:29.146	521.534
	4	16:24:06.546	16:31:29.490	442.944
4	1	01:29:23.618	01:36:18.248	414.630
	2	03:01:58.394	03:10:52.994	534.599
	3	14:32:55.022	14:40:44.200	469.178
	4	16:06:31.627	16:14:53.296	501.668
5	1	01:13:15.974	01:18:21.948	305.974
	2	02:44:32.680	02:53:47.730	555.051
	3	14:16:17.885	14:22:38.908	381.023
	4	15:49:05.380	15:58:03.380	537.999
6	1	02:27:18.741	02:36:35.441	556.700
	2	04:04:41.356	04:07:53.424	192.069
	3	14:00:17.715	14:03:51.561	213.846
	4	15:31:46.069	15:41:01.636	555.566
7	1	02:10:16.084	02:19:16.652	540.568
	2	03:45:47.365	03:51:59.514	372.149
	3	15:14:33.227	15:23:48.609	555.382
	4	16:50:04.509	16:54:57.627	293.117
8	1	01:53:25.189	02:01:50.986	505.797
	2	03:27:39.962	03:35:24.100	464.139
	3	14:57:27.328	15:06:23.888	536.560
	4	16:32:05.950	16:38:52.678	406.729
9	1	01:36:47.794	01:44:16.843	449.048
	2	03:09:53.696	03:18:32.469	518.773
	3	14:40:29.921	14:48:45.908	495.987
	4	16:14:25.859	16:22:23.956	478.098
10	1	01:20:28.503	01:26:29.793	361.290
	2	02:52:22.278	03:01:30.769	548.491
	3	14:23:44.716	14:30:50.872	426.157
	4	15:56:56.011	16:05:39.869	523.858
11	1	01:06:13.582	01:10:05.116	231.534
	2	02:36:45.463	02:46:03.320	557.856
	3	14:08:57.432	14:14:19.562	322.131
	4	15:41:16.169	15:50:24.504	548.335

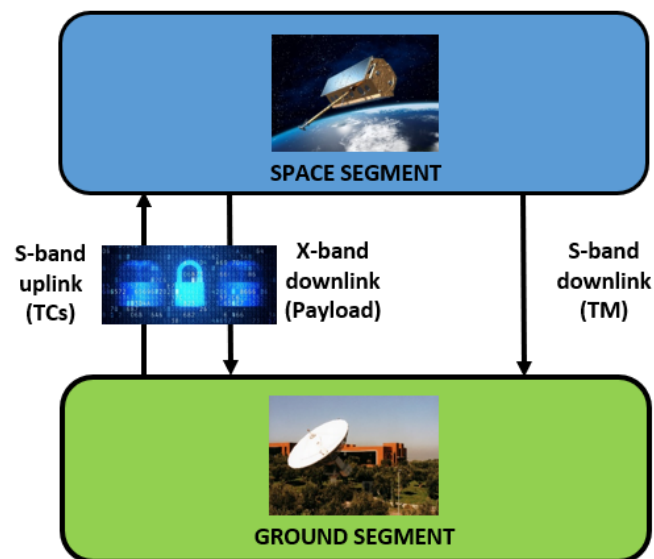
Tabla con las horas de todos los pases efectivos del satélite LEOSAR-Sat sobre el segmento terreno creado en la ubicación de la Escuela Politécnica Superior de la UAH durante un ciclo completo (11 días)

7.4 Seguridad

El diseño de este segmento terreno deberá proporcionar las siguientes medidas de seguridad en las comunicaciones con el satélite:

- Confidencialidad, autenticación e integridad para el canal de uplink de banda S, por el cual se enviarán los TCs que contienen las ordenes que controlan las acciones que realiza el satélite.

- Confidencialidad para el canal de downlink de banda X, ya que por este canal se descargarán las imágenes tomadas por el satélite, las cuales hay que asegurar que no se puedan obtener en claro sin tenerlo contratado con el operador del satélite.
- Para el canal de downlink de banda S no es necesario ningún tipo de cifrado, ya que por este canal solo se descarga información del estado del satélite y datos cuyo conocimiento por parte de terceros no repercute en la oferta del servicio proporcionado por el operador, tampoco es posible obtener a partir de estos datos información relevante sobre las imágenes que se toman ni sobre las claves de cifrado que se utilizan en los otros dos canales de comunicación con el satélite anteriormente mencionados.

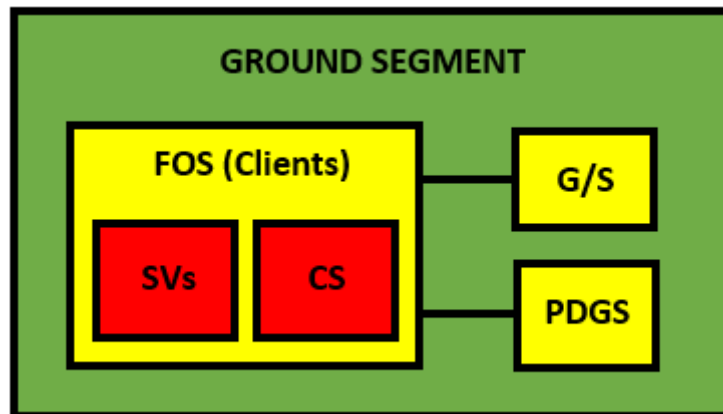


Esquema de cifrado de los distintos canales de comunicación con el satélite

En cuanto a los requisitos de seguridad del propio centro se incluyen los siguientes:

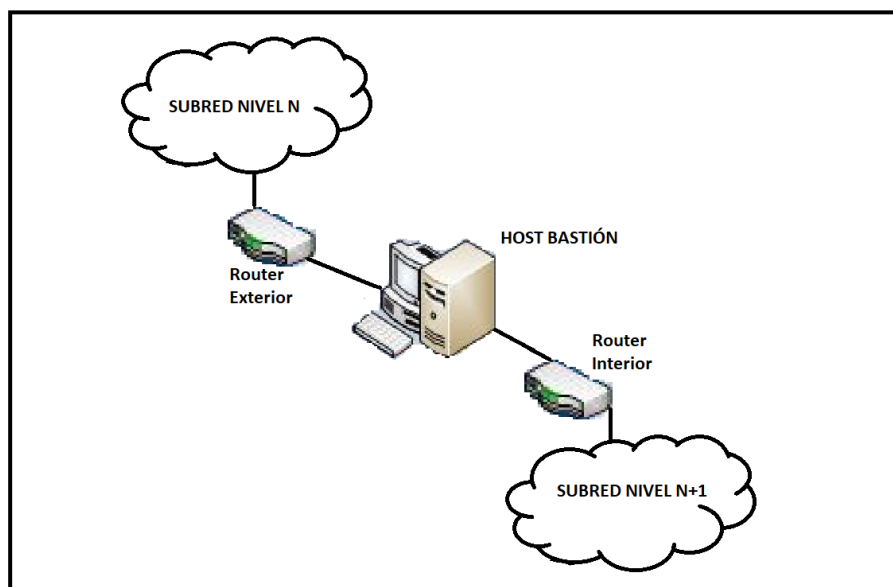
- Aislamiento físico de los equipos: el centro estará aislado físicamente del exterior por tres barreras o niveles de seguridad, permitiendo la entrada al mismo solo al personal autorizado.
 - Nivel 1: es el nivel que da acceso a las instalaciones donde se encuentra el segmento terreno. A este primer nivel puede acceder todo el personal que trabaje en el segmento terreno, independientemente de su puesto de trabajo.
 - Nivel 2: es el nivel de acceso a las distintas secciones del segmento terreno, diferenciándose la estación terrestre o G/S (Ground Station), el segmento de tierra de operación o FOS (Flight Operation Segment) y el segmento de tierra de carga útil o PDGS (Payload Data Ground Segment). En este segundo nivel los trabajadores solo tendrán acceso a la/s sala/s que contienen los equipos de la sección en la que trabajen.
 - Nivel 3: es el nivel de acceso a los equipos sensibles de las distintas secciones, así como puedan ser las salas de los servidores de los subsistemas de cada sección o la sala donde se encuentra el CS, del cual depende la seguridad de las comunicaciones con el satélite. A

este nivel tendrán acceso únicamente los trabajadores que necesiten tener acceso físico a estos equipos para su mantenimiento y administración.



Esquema de la distribución física del segmento terreno con las distintas salas y sus niveles de seguridad: Nivel 1 (verde), Nivel 2 (amarillo) y Nivel 3 (rojo).

- Aislamiento físico y lógico de las subredes del segmento terreno:
 - Los equipos correspondientes al mismo nivel físico de aislamiento estarán unidos entre si formando una misma subred.
 - Las subredes conectadas a otras subredes a través de un host bastión o pasarela, que actuará como proxy de entrada/salida a la subred, el cual da un mayor control a la entrada y salida de datos de las distintas subredes , pudiendo estar configurado incluso para cortar ese flujo de datos en momentos en los que no es necesario, evitando un uso fraudulento de los subsistemas en momentos en los que no están vigilados (por ejemplo, puede cortar el acceso al CS fuera de los pases, ya que fuera de estos no tendrá que cifrar TCs, por lo que cualquier acceso externo al mismo en este momento no vendrá dado por una actividad nominal).



Host bastión situado entre dos redes de distinto nivel.

- A través de este host bastión se puede configurar el acceso a las subredes solo por usuarios autorizados para ello y solo para ejecutar servicios que estén autorizados a ejecutar, ya sea conectándose desde los clientes ubicados en el centro de control como a través de conexiones remotas desde fuera del centro.
- Este tipo de seguridad para el control de acceso es necesario para implementar la posibilidad de conexiones remotas para realizar ciertas actividades. Esto es especialmente útil para cuando no se tiene acceso físico al centro de control, lo cual ha tomado especial importancia tras situaciones como las cuarentenas a lo largo de los años 2020 y 2021 debido al Covid-19 o el aislamiento provocado por grandes temporales como la nevada ocurrida en enero de 2021 debido a la borrasca Filomena, la cual imposibilitó durante varios días el transporte por carretera en numerosas localidades.

7.5 Redundancia

Debido a la complejidad de los subsistemas que componen el segmento terreno y a su funcionamiento en conjunto, se hace imposible adquirir y configurar los equipos que los componen de forma inmediata o casi inmediata y el fallo de cualquiera de ellos por un tiempo prolongado imposibilitaría el correcto funcionamiento de la operación, llegando en algunos casos a poner en grave peligro la supervivencia de la misión existiendo el riesgo de la pérdida completa de la operatividad del satélite de forma indefinida.

Para asegurar el funcionamiento del segmento terreno y el éxito de la misión los distintos subsistemas, así como sus partes deberán tener redundancia, asegurando que el segmento terreno en conjunto sea tolerante a fallos y, en caso de fallar alguno de los subsistemas que lo componen, tenga la capacidad de ser sustituido en un corto periodo de tiempo, pudiendo continuar su funcionamiento nominal de forma casi inmediata.

El tipo de redundancia de cada elemento del segmento terreno dependerá de las funciones que cumpla este elemento y los tiempos de inoperatividad y pérdidas de datos asumibles de cada subsistema.

7.6 Carga útil

La carga útil del satélite son imágenes tomadas por un radar de apertura sintética (SAR) las cuales se descargan desde el satélite a través de la banda X.

El segmento terreno debe tener capacidad para la recepción, procesado, archivo y difusión de las imágenes que componen la carga útil, así como de la capacidad de analizar las mismas para calibrar correctamente el instrumento que las toma.

8 Subsistemas del segmento terreno

A continuación, se explica detalladamente cada uno de los principales subsistemas del segmento terreno, los cuales están adaptados a los requisitos de la operación del satélite.

8.1 Antena:

La antena es el subsistema del segmento terreno más cercano al segmento espacio. Es el subsistema que permite la comunicación física entre el segmento terreno y el satélite a través de enlaces de radiocomunicaciones en distintas frecuencias.

Para permitir la comunicación con el satélite, la antena principal del segmento terreno debe permitir dos tipos de enlace según su dirección:

- Enlace de subida (uplink):
 - Este enlace es el que se crea desde el segmento terreno hacia el satélite.
 - Se utiliza para mandar TCs al satélite desde tierra.
- Enlace de bajada (downlink):
 - Este enlace es el que se crea desde el satélite hacia el segmento terreno.
 - Se utiliza para descargar datos de telemetría del satélite. Estos datos incluyen la RTTM (telemetría que contiene información del satélite en tiempo real), la HKTM (telemetría que contiene toda la información sobre el estado del satélite almacenada tanto durante los pases, la cual es idéntica a la RTTM, como en el tiempo fuera de visibilidades) y todos los datos que componen la carga útil, por tanto, la antena deberá ser capaz de recibir toda esta información al mismo tiempo por distintos canales de downlink solapados entre sí, en este caso banda S para RTTM y HKTM y banda X para la carga útil.

Las características de la órbita del satélite al que se presta servicio y de su subsistema TTC determinan las características que debe tener la antena.

A lo largo de la misión hay que monitorizar el funcionamiento de la antena y la calidad de la señal transmitida y recibida por la misma, para hacer los ajustes necesarios y predecir en la medida de lo posible fallos por degradación de sus componentes, entre otras causas. La calidad de la antena se mide principalmente por dos factores:

- La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (**PIRE**), que es la figura de mérito que dice como de buena es la antena al transmitir (uplink).
- La ganancia de la antena sobre temperatura de ruido del sistema (**G/T**), es la figura de mérito que nos dice como de buena es la antena al recibir (downlink).

Para que la antena pueda realizar su función, esta tiene que estar apuntando con una precisión suficiente al satélite, esto se consigue mediante dos pasos:

- El apuntamiento principal de la antena se basará en un archivo denominado EPHEMERIS o TLE, el cual se genera en el FDS y se recibe a través del FMC, que contiene la posición y vector de velocidad del satélite en un momento determinado, gracias a esta información la antena puede predecir la posición

del satélite durante los pases. Esta posición tiene una precisión limitada, ya que cuanto más a futuro se propague la órbita a partir del TLE, mayor error se acumulará en la posición propagada, por tanto, cuanto más alejado esté el pase en el tiempo del momento de generación del EPHEMERIS, menos preciso será el apuntamiento durante el pase.

- Una vez la antena detecta la señal del satélite, utilizará la misma para realizar una corrección del apuntamiento, de tal manera que apuntará al punto en el que mejor calidad de la señal reciba. Este tracking por calidad de señal lo realizará tanto con la señal de banda X como con la señal de banda S (en caso de no recibir en ese momento banda X), dado que, por las características de frecuencia de la señal, el apuntamiento con banda X es más preciso que el de banda S (cuanta más frecuencia tenga la señal, mayor debe ser la precisión del apuntamiento para tener una buena calidad de esta).

La antena no presenta redundancia en este diseño de segmento terreno. Uno de los motivos principales de fallo en antenas es la degradación de sus componentes debido a factores ambientales (humedad, congelación...), a lo que se suma la posibilidad de un mal funcionamiento de la misma por factores del entorno (interferencias por obstáculos, interferencias destructivas en la señal emitida y/o en la señal recibida debidas a fuentes de señales cercanas como otras antenas, interferencias solares en la señal recibida debido a un eclipse satelital...), ninguna de estas causas de fallo se solventan con una antena redundante sobre el mismo terreno. Debido a los requisitos de seguridad de la misión y al diseño del segmento terreno, la antena actúa solo como intermediario entre el segmento espacio y segmento terreno, siendo imposible adquirir información relevante a través de la señal que recibe ni de la que emite, debido al cifrado de la TM de banda X y el TC cuyos extremos se encuentran en el segmento espacio (subsistema de cifrado del satélite) y en el segmento terreno (subsistema de cifrado del segmento terreno) respectivamente, de esta manera se permite basar la redundancia de la antena en la contratación de servicio de antenas externas al segmento terreno. Otra ventaja de este tipo de redundancia es que las antenas externas no solo se pueden utilizar para tener redundancia en caso de fallo, sino también para ampliar la cantidad de visibilidades con el satélite por ciclo y el momento y duración de estas, utilizando antenas situadas en distintos puntos del planeta, ampliando la capacidad de servicio que puede dar el satélite, así como sus tiempos de respuesta en caso de ser necesario.

8.2 Cortex y HDR:

Estos dos subsistemas los agrupamos en uno solo, dado que su función principal es la misma, grabar la TM descargada por el satélite.

Ambos subsistemas se encuentran situados entre la antena y el resto de los subsistemas del FOS.

Aunque su función principal es la misma, ambos presentan diferencias en su empleo dentro del segmento terreno y en las capacidades que pueden cubrir.

En el caso del Cortex, además de la grabación de HKTM para su posterior envío y procesado por parte del MCS, tiene otra función que consiste en hacer de intermediario

entre la antena y el MCS para la banda S posibilitando en enlace de RTTM y TC en tiempo real.

Para banda S, entre el MCS y el satélite se establecen dos enlaces, los cuales pasan a través del Cortex y la antena, para permitir la comunicación entre el segmento terreno y el segmento espacio, el enlace downlink (sentido Satélite → Antena → Cortex → MCS) y el enlace uplink (sentido MCS → Cortex → Antena → Satélite).

Los pasos que se llevan a cabo en los enlaces de comunicación de uplink y downlink para banda S con el satélite desde su establecimiento hasta su finalización son:

- Antes del AOS@0° (momento en el que el satélite comienza a rebasar el horizonte visible por la antena), desde el MCS el operador envía el comando de apertura de puertos de TM, el cual establece la conexión de envío continuo de RTTM entre el Cortex y el MCS, quedando así establecido el enlace de downlink de banda S. Además, el Cortex comienza la grabación de HKTm de banda S, estando el Cortex preparado para grabar toda la TM de banda S que identifique como tal al demodular la señal recibida desde ese momento por la antena.
- El Cortex contiene la configuración de la señal de banda S esperada del satélite, así como las características de modulación de la señal y la estructura de la trama que espera recibir el MCS, por lo que podrá interpretar la señal analógica recibida desde la antena, pasarla de analógico a digital y transmitírsela con una estructura adecuada en real time al MCS una vez comience a recibir la señal esperada en caso de corresponderse a RTTM o grabarla en caso de tratarse de HKTm. Antes de transmitir la señal recibida al MCS, el Cortex realiza un análisis de la estructura de la señal recibida en tres pasos. Primero identifica si la señal que recibe tiene unas características como las esperadas de la señal recibida por parte del satélite, aún sin demodular, una vez identifica y aísla la señal se dice que la señal esta enganchada en portadora. Tras engancharse en portadora, comienza a demodularla hasta conseguir la señal modulada esperada para poder transformarla a digital, es lo que se conoce como estar enganchado a nivel de bit. Por último, analiza la secuencia de bits contenidas en la señal digital hasta encontrar en ella la estructura esperada que el MCS espera recibir, en ese momento se dice que esta enganchada a nivel de trama.
- Es una vez está enganchado a nivel de trama cuando el Cortex es capaz de identificar la RTTM y qué telemetría corresponde a la HKTm. Esta diferenciación la realiza gracias a un flag contenido en la trama de la telemetría que descarga. El Cortex envía las tramas de RTTM directamente al MCS y, al mismo tiempo, graba las tramas correspondientes a la HKTm para enviarlas al MCS tras el pase.
- Al llegar el satélite al AOS@5°, momento en el que el ángulo de elevación de la antena al apuntar al satélite es igual a 5° sobre el horizonte, el MCS envía al Cortex los comandos de apertura de puertos de TC. Esto tiene como consecuencia que el Cortex permita el paso de información desde el MCS hacia la antena, estableciendo el canal de uplink entre el MCS y el satélite.

Esto ocurre en el AOS@5° ya que es un momento en el que la antena debería tener visibilidad completa con el satélite y, además, es la elevación a partir de la cual la ley permite radiar desde las antenas de tierra al considerar que no supone peligro para el entorno. En ocasiones no se empieza a radiar hasta alcanzar una elevación algo más elevada debido a características del entorno en el que está instalada la antena.

- Al llegar el satélite al LOS@5°, momento en el que el ángulo de elevación de la antena al apuntar al satélite vuelve a ser igual a 5° sobre el horizonte, pero esta vez en sentido descendente, el MCS envía al Cortex los comandos de cierre de puertos de TC, terminando así la conexión uplink e impidiendo que se pueda seguir comandando al satélite desde el segmento terreno. Sin embargo, la antena seguirá recibiendo TM del satélite mientras tenga visibilidad directa con el mismo. Al igual que en la apertura de puertos de TC y por los mismos motivos, en ocasiones el cierre de comandado se lleva a cabo antes de alcanzar los 5°, es decir, por encima de estos.
- Tras el LOS@0° (momento en el que el satélite vuelve a rebasar el horizonte visible por la antena y se pierde totalmente la visibilidad entre la antena y el mismo, imposibilitándose la capacidad de recibir ningún tipo de señal por su parte), desde el MCS el operador envía el comando de cierre de puertos de TM, finalizando así con la conexión downlink de TM de banda S entre el Cortex y el MCS y, por tanto, marcando el final del pase. Además, el Cortex finaliza la grabación de TM de banda S, quedando preparado el archivo con toda la HKTm del pase grabada para ser enviado al MCS.

En el caso del HDR, su función es únicamente la de recibir y grabar la TM en banda X durante el pase, pasándola posteriormente al IRS para ser procesada y así obtener los productos de la carga útil del satélite, en este caso, las imágenes.

Para banda X, entre el segmento terreno y el satélite se establece un solo enlace, el enlace de descarga o downlink (sentido Satélite → Antena → HDR → IRS). Esto simplifica mucho su uso siguiendo los siguientes pasos durante las visibilidades con el satélite:

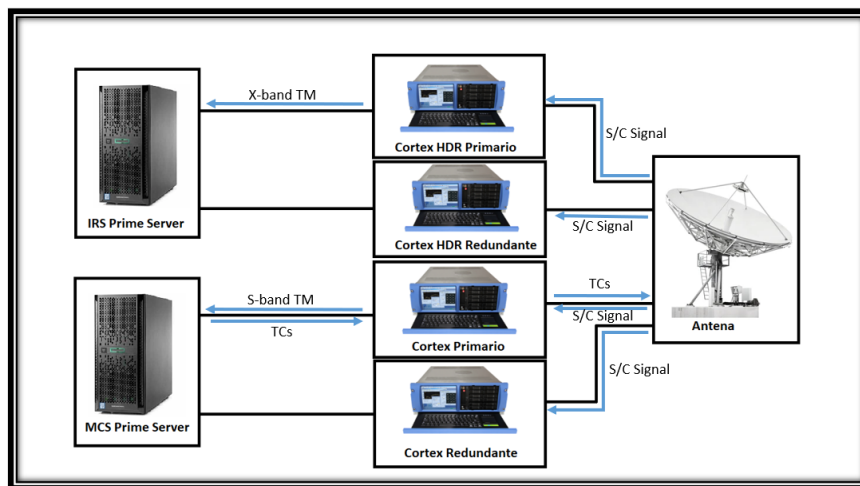
- Al igual que en el caso del Cortex para la banda S, en el AOS@0° el HDR comienza la grabación de TM de banda X, estando preparado para grabar toda la TM de banda X que identifique como tal al demodular la señal recibida desde ese momento por la antena. El HDR contiene la configuración de la señal esperada del satélite en banda X, así como las características de modulación de la señal y la estructura de la trama que espera.
- El HDR recibirá la señal directamente desde la antena, demodulándola continuamente y analizando su estructura hasta engancharse a nivel de trama, momento en el que comienza a grabar la información recibida.
- Aunque el HDR siga preparado para grabar, en el momento en el que el satélite deje de descargar TM de banda X, la señal que le pase la antena al HDR no se corresponderá con la estructura que espera para la banda X, por lo tanto, dejará de grabar información, descartando las tramas que no reconozca.

- Tras el LOS@0° el HDR finaliza la grabación de TM de banda X, quedando preparado el archivo con toda la información que compone las imágenes descargadas durante el pase grabada para ser enviado al IRS.

Tanto el Cortex de banda S como el HDR deben tener redundancia, ya que sin el Cortex sería imposible realizar los contactos y se pondría en peligro la operación, pudiendo llegar a perder completamente el satélite en caso de alargarse demasiado su falta y en caso de fallo del HDR se perdería la carga útil, por tanto, aunque el satélite se podría seguir operando, no podría cumplir el objetivo de la operación durante el tiempo que el HDR esté inoperativo.

En el caso del Cortex de banda S la redundancia se basará en un Cortex idéntico conectado de igual manera a la antena, que recibirá y grabará de igual manera que el Cortex principal la TM de banda S descargada del satélite. La diferencia será que el primario estará configurado para enviar la grabación de la HKTm tras el pase al MCS y, en caso de querer enviar la grabada por el redundante habrá que hacerlo manualmente. En cuanto a la telemetría en tiempo real (RTTM) y al comando (TC) no habrá ninguna diferencia entre ambos Cortex, si no que será el SPACON el que elegirá a cuál de los dos Cortex conectarse abriendo los puertos con el mismo desde el MCS.

En el caso del HDR la redundancia se basará de igual manera en un HDR idéntico y, de igual manera también, el primario estará configurado para enviar la grabación de la telemetría de banda X tras el pase al IRS para su análisis y generación de los productos de la carga útil (las imágenes) y en caso de querer enviar la grabada por el redundante habrá que hacerlo manualmente.



Esquema de redundancia Cortex y Cortex HDR

8.3 FMC (FOS Monitor and Control):

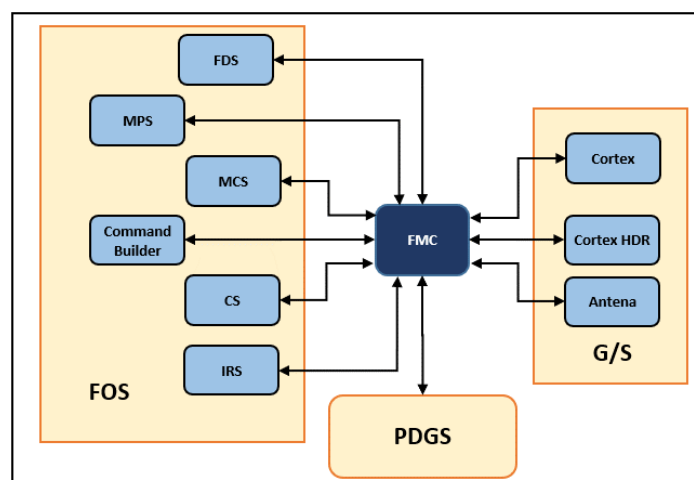
El FMC tiene una estructura cliente-servidor. A través de la aplicación cliente del FMC permite conectarse al servidor e interactuar con el mismo a través de su interfaz de usuario, permitiendo llevar a cabo las distintas funcionalidades interactivas que ofrece este subsistema.

El FMC tiene dos funciones principales dentro del segmento terreno, monitoriza y controla los recursos HW y SW del FOS y actúa como proxy entre varios subsistemas.

En el caso de los subsistemas con estructura cliente-servidor, la parte conectada al FMC es exclusivamente la del servidor, ya que es donde se llevan a cabo las tareas de computación, los clientes solo sirven como interfaz de usuario con estos servidores y su monitorización se lleva a cabo por los operadores que los utilizan y, periódicamente, por el administrador de sistemas.

8.3.1 Monitorización y control:

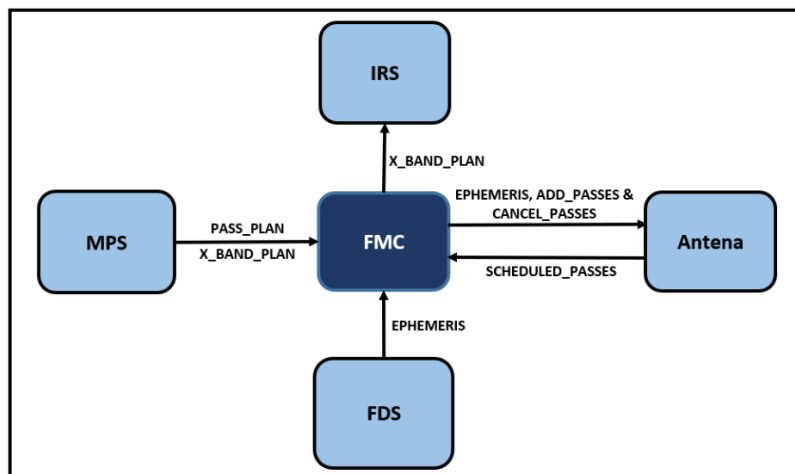
- El FMC está conectado a todos los servidores de los subsistemas, recibiendo información del estado de todos ellos a través de mensajes de estado que le envían periódicamente, los cuales contienen información tanto sobre el hardware (encendido correcto de los componentes necesarios para el funcionamiento, estado de las temperaturas de los componentes, nivel de ocupación de discos duros y CPUs ...) como del software (existencia de los procesos necesarios en el sistema para su correcto funcionamiento...).
- La monitorización de la información de cada subsistema se muestra al usuario a través de la interfaz de la aplicación, ofreciendo un esquema de los distintos subsistemas con el que se puede interactuar para consultar información detallada sobre cada uno de ellos.
- El control de los subsistemas desde el FMC se lleva a cabo desde la misma interfaz de usuario de la aplicación cliente. El control de los subsistemas se limita a tomar medidas de contingencia frente a fallos detectados por la monitorización lanzando de forma remota procesos en el subsistema objetivo. Un ejemplo de medida de contingencia sería el relanzamiento de la ingestión de datos de carga útil desde el IRS con el objetivo de almacenar estos datos tras una primera ingestión fallida.
- Además, en el FMC se pueden programar tareas de control de algunos subsistemas en segundo plano, como el inicio y fin de grabación de los pases en los CORTEX y HDRs, los cuales puede iniciar y parar automáticamente mediante conexiones remotas, tomando como referencia los tiempos de los pases registrados en su base de datos, la cual poblará con los pases programados en la antena al recibir la información de esta.



Esquema de conexión de todos los subsistemas con el FMC para la monitorización y control

8.3.2 Proxy entre subsistemas:

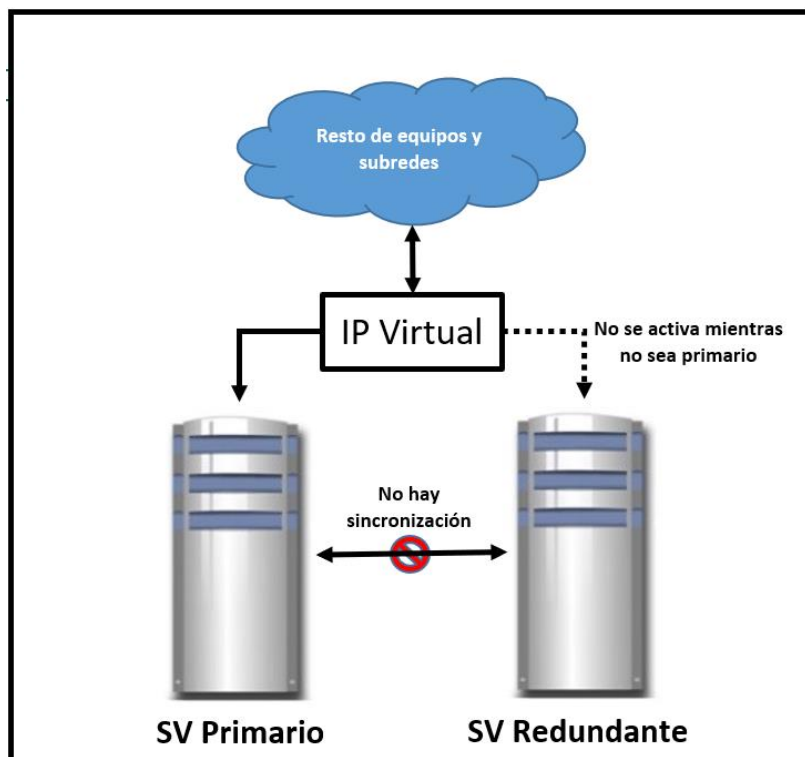
- Entre MPS-Antena: el FMC recibe por parte del MPS el PASS_PLAN, un archivo con la planificación de los siguientes pases del satélite, tras esto el FMC compara los pases contenidos en el PASS_PLAN con el estado actual de reserva de pases contenido en la Antena, la cual se lo habrá enviado al FMC con anterioridad en un archivo llamado SCHEDULED_PASSES. Una vez comparados los pases, creará a partir de esta comparación dos archivos, el CANCEL_PASSES, en el que solicitará la cancelación de los pases que se quieran eliminar, siendo estos los pases que se encuentran reservados en la Antena en el intervalo de tiempo cubierto por el PASS_PLAN y que se habían reservado con el envío de un PASS_PLAN anterior, es decir, los pases contenidos en el solape entre el nuevo PASS_PLAN y el correspondiente a una planificación anterior (esto conviene hacerlo ya que estos pases pueden tener ciertas diferencias en la nueva solicitud de reserva y, en caso de volver a solicitar su reserva sin haberlos eliminado anteriormente del esquema de la Antena, esta rechazaría la reserva de pases por conflictos de solapes), y por otro lado creará un archivo con las peticiones de reserva de todos los pases solicitados en el PASS_PLAN, el ADD_PASSES. Enviará estos dos archivos a la Antena, la cual enviará de vuelta el archivo SCHEDULED_PASSES con el estado del esquema de pases que contiene la Antena tras aceptar las solicitudes de cancelación y adición de pases solicitada por el FMC, el cual usará para poblar su base de datos con los pases programados en la Antena y sus datos, pudiendo así iniciar tareas de control como el inicio y fin de la grabación de los subsistemas CORTEX y HDRs.
- Entre FDS y Antena: el FMC recibe el EPHEMERIS desde el FDS, un archivo el cual contiene la posición y el vector velocidad del satélite en un momento determinado. El FMC reenvía este archivo a la Antena, la cual lo utilizará para propagar la órbita del satélite y predecir la ubicación de este durante los pases, pudiendo así realizar el apuntamiento correctamente.
- MPS e IRS: el FMC encamina al IRS el X_BAND_PLAN, el cual se genera en el MPS y contiene la planificación de las descargas de productos sobre la estación, permitiendo que se programen correctamente las ingestiones de productos en el IRS.



Esquema de interfaces del FMC como Proxy entre subsistemas

El equipo cliente del FMC sirve exclusivamente para alojar la aplicación que sirve como interfaz para interactuar con el servidor, por ello, en caso de fallo, bastaría con instalar la aplicación cliente en uno de los equipos redundantes de alguno de los otros subsistemas (que sea compatible con la aplicación cliente) y configurarlo para conectarse al servidor, usándolo así como cliente FMC de manera temporal, hasta reparar el equipo original o adquirir uno nuevo para alojar la aplicación cliente, por tanto no necesita redundancia.

El servidor del FMC tiene redundancia, habiendo un servidor operacional y un servidor redundante o de back up. A pesar de tener que haber redundancia en el servidor en caso de que uno falle, estos servidores no contienen la misma información en su totalidad, es decir, no son servidores espejo, ya que su función de monitorización y control se lleva a cabo en real time, recibiendo el estado de todos los subsistemas de forma periódica, por tanto, en caso de un cambio de servidor solo habría que esperar a recibir el archivo de estado de todos los subsistemas para poder realizar correctamente esta función. En cuanto a la función que realiza de proxy consiste en el enrutamiento de archivos (modificándolos o no) tras recibirlos, por lo que una vez completa su enrutamiento, no es necesario que contenga los archivos de origen o generados para nada, sin embargo, en caso de que el cambio de servidor se haya producido tras la recepción de un archivo y antes de su reenvío al subsistema destino, al no contener ninguna información sobre esto el servidor de back up (ahora operacional), habría que volver a enviarle los archivos a enrutar desde el subsistema de origen. Esta independencia total entre los servidores evita que, en caso de fallo debido a causas como el llenado de discos o su degradación por demasiados ciclos de lectura/escritura, estos fallos tengan altas probabilidades de darse en ambos servidores al mismo tiempo (o en un momento cercano), haciendo la redundancia más robusta.



Esquema de redundancia sin sincronización

8.4 IRS (Ingestion and Routing System):

El IRS es una aplicación Servidor sin cliente, sin embargo, para algunas funcionalidades el cliente del FMC hace la función de cliente del IRS también, ya que permite interactuar directamente con este y realizar ciertas acciones en el mismo a través de su interfaz de usuario.

La principal función del IRS es ingestar la telemetría de banda X junto con los ficheros que intervienen en la planificación de las descargas de esta banda en las visibilidades, permitiendo poblar con la información de estas visibilidades la base de datos, que servirá para realizar las actividades de ingestión y análisis de TM de banda X, a partir de las cuales se generan los productos de la carga útil, aún cifrados.

Para llevar a cabo su función el IRS realiza las siguientes tareas:

- Análisis y almacenamiento de archivos procedentes del FMC:
 - Recibe del FMC el archivo X_BAND_PLAN, del cual obtendrá la información de las imágenes esperadas para cada visibilidad, pudiendo así analizar la TM y generar correctamente las imágenes a partir de ella.
- Ingestión de la TM de banda X:
 - Tras acabar el contacto con el satélite, momento en el que la grabación de TM de banda X debería haber finalizado en el HDR, se inicia el proceso de automático de ingestión y análisis de esta TM en el IRS, el cual consiste en enviar el archivo que contiene la TM en bruto del HDR al IRS, llamado X_BAND_RECORDED_TM.
 - Es importante aclarar que la ingestión de la TM de banda X se lleva a cabo desde el IRS, el cual lanza automáticamente tras el contacto un proceso que realiza una conexión FTP al HDR y copia el archivo con la TM de banda X en el almacenamiento del IRS. Esto implica que, en caso de fallo en la ingestión nominal (la que se realiza de forma automática), habrá que realizar una ingestión redundante, lanzando de nuevo el proceso de ingestión, esta vez de forma manual, desde el IRS.
 - El archivo X_BAND_RECORDED_TM, además de contener la TM de banda X grabada por el HDR, contiene información sobre el propio archivo, como la cantidad de datos grabados que contiene, lo cual es útil para realizar un análisis de la correcta transferencia de datos desde el HDR al IRS.
- Análisis de la TM de banda X y generación de productos:
 - Una vez el archivo X_BAND_RECORDED_TM está en el IRS comienza su análisis de manera automática. Este análisis automático comenzará siempre y cuando las diferencias entre los datos recibidos por el HDR y los datos recibidos por el IRS no superen un umbral marcado por el administrador del sistema (para marcar este umbral será necesaria la colaboración tanto del equipo de operaciones, como de PDGS, ya que debe ser un umbral que se corresponda con un

comportamiento nominal del sistema y que las consecuencias de pérdida de calidad de los productos finales sean asumibles), lo cual se conoce gracias a la información sobre cuantos datos ha grabado el HDR contenida en el archivo X_BAND_RECORDER_TM. En caso de superarse este umbral de diferencia admisible, el procesado no se realizaría de forma automática y habría que lanzarlo de forma manual tras analizar las causas y aplicar las medidas correctivas adecuadas.

- Al procesar el archivo con la TM en bruto, agrupa los paquetes correspondientes a cada imagen en distintos archivos, ayudándose de las cabeceras de los paquetes para identificar con qué imagen se corresponde cada uno y de la información obtenida del X_BAND_PLAN para nombrar de forma correcta a cada uno de estos archivos.
- El naming convention de los archivos que contienen cada imagen marca el nombre por el que se identificará cada imagen, el cual debe ser distinto para cada una de ellas y deberá contener los siguientes datos:
 - El identificador de la imagen, el cual consiste en un contador de 16 bits que se va incrementando con cada petición de imagen y que se le asigna a cada imagen completa. Con 16 bits este contador tiene la capacidad de nombrar 65536 imágenes distintas **solicitadas**, una vez el contador llega al final, vuelve a empezar de cero. El objetivo de este contador es distinguir las distintas imágenes que se toman y almacenan en el satélite en el mismo periodo de tiempo, por lo que no importa que este contador sea circular y se repitan sus valores periódicamente, ya que su tamaño y el hecho de que al descargarse la imagen del satélite se elimine de la memoria del mismo para hacer hueco a las siguientes imágenes, hace imposible que una imagen se tome y almacene con el mismo identificador que una ya existente en ese momento en la memoria del satélite.
 - El identificador de la IK (Image Key) con la que se ha cifrado la imagen en su descarga, permitiendo así al descifrador de PDGS (o del cliente) descifrar los datos contenidos en el archivo para poder obtener los datos de la imagen en claro.
 - La estampa de tiempo de su procesado. Esta estampa de tiempo se corresponde con momento de inicio del análisis de la imagen y tiene una precisión de segundos. Este campo tiene como objetivo que no se generen dos productos con el mismo nombre, aunque coincida tanto su identificador como el identificador de la IK con la que se ha cifrado, permitiendo que todo producto generado tenga un nombre único (incluso si el mismo producto se ha tenido que generar dos veces en dos ingestiones diferentes).
- Enrutado de los productos y generación de información:

- Tras la generación de los archivos se utiliza la información contenida en el X_BAND_PLAN para compararla con los archivos obtenidos del procesado. En caso de coincidir el contenido de la imagen obtenida con lo esperado (marcando unos márgenes de error admisible fijados por el administrador del sistema, al igual que se hace tras la ingestión), las imágenes se enrutan al subsistema de destino, el descifrador de imágenes de PDGS (o al cliente directamente). En caso de que alguna imagen rebase el límite de error marcado o que no coincida con una imagen esperada para ser descargada en esa visibilidad, su archivo correspondiente se almacena en el IRS pero no se enruta automáticamente, quedando a la espera de su análisis y enrutamiento manual en caso de ser necesario.
- Una vez se termina de procesar toda la TM de banda X en bruto y las imágenes están agrupadas, contienen el name convention esperado y han sido enrutadas (o no) al subsistema destino, se genera el IRS_REPORT. Este report se genera a partir de la información contenida en el X_BAND_RECORDERD_TM y en el X_BAND_PLAN. Contiene la información de la ingestión, indicando la cantidad de datos grabada por el HDR y la cantidad de datos recibida en el IRS y, además, contiene información sobre el análisis de la TM de banda X, comparando el tamaño de cada una de las imágenes generadas con el que se esperaba, junto con información sobre si se han enrutado de forma exitosa o no tras su análisis. Este Report sirve tanto para confirmar que todo el proceso de ingestión y generación de productos ha ido bien como para ayudar a detectar el punto de fallo en caso de haber resultado con algún error.

El IRS tiene redundancia, consistiendo está en dos servidores independientes con la misma configuración y las herramientas necesarias para realizar de forma correcta todas sus funciones de ingestión, procesado de TM y generación de productos. La redundancia de este subsistema no aplica a los inputs (X_BAND_PLAN, TM de banda X) ni outputs (Productos), ya que la función del subsistema no es actuar como almacén de datos, aunque debido a su funcionalidad y de cara a ofrecer una mayor rapidez en la generación de productos en caso de contingencia, almacene todos estos archivos de manera temporal, eliminando los más antiguos mediante tareas de limpieza gestionadas por el administrador del sistema.

Al igual que lo que ocurre con el SV del FMC, en caso de fallo del IRS operacional, habría que configurar el redundante como operacional e introducir manualmente los inputs que afecten a las siguientes visibilidades en el IRS redundante, quedando así correctamente poblada su base de datos con los datos necesarios para realizar su función.

8.5 MCS (Mission Control System):

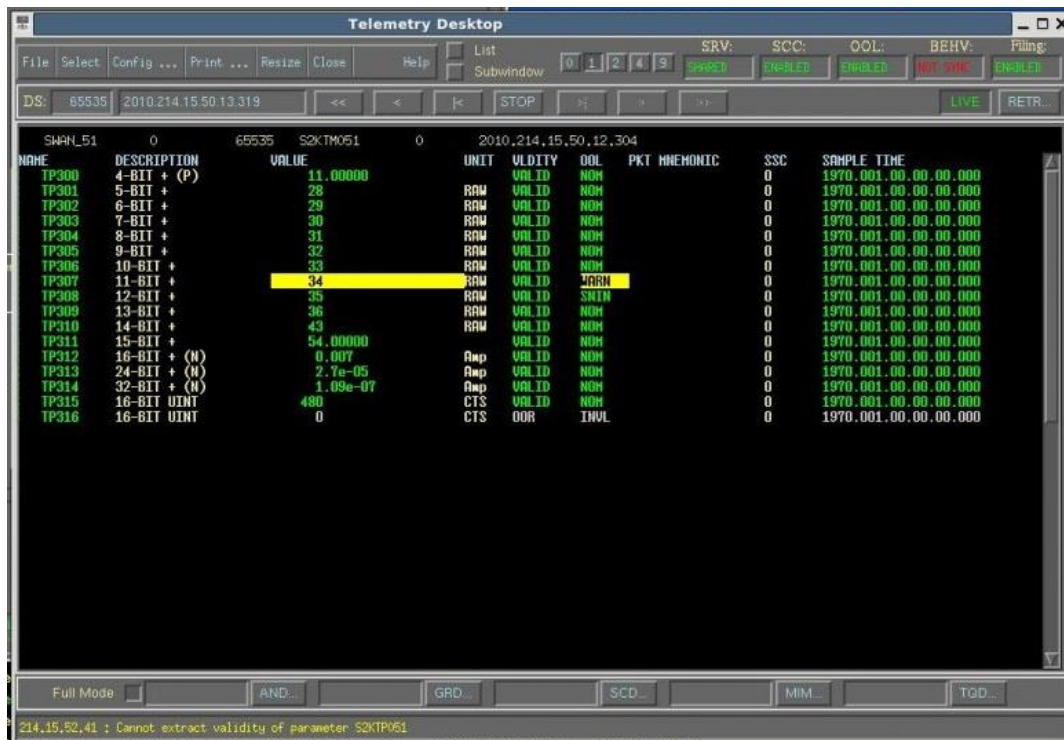
El MCS está basado en SCOS 2000, un software open source de la ESA (European Space Agency) que proporciona de forma genérica la infraestructura necesaria para

llevar a cabo la parte de control del satélite. Este software se adapta según los requisitos de la misión gracias a la capacidad de modificar o incluir distintos módulos que desempeñen las funciones necesarias y de una base de datos que contiene la información necesaria para llevar a cabo la misión.

Tiene una arquitectura cliente-servidor, repartiendo las tareas de tal manera que la parte cliente contiene las interfaces gráficas y modelos de la aplicación (SCOS 2000) mientras que en el servidor se realizan las tareas de computación y se almacena toda la información recibida del satélite y los distintos subsistemas del segmento terreno.

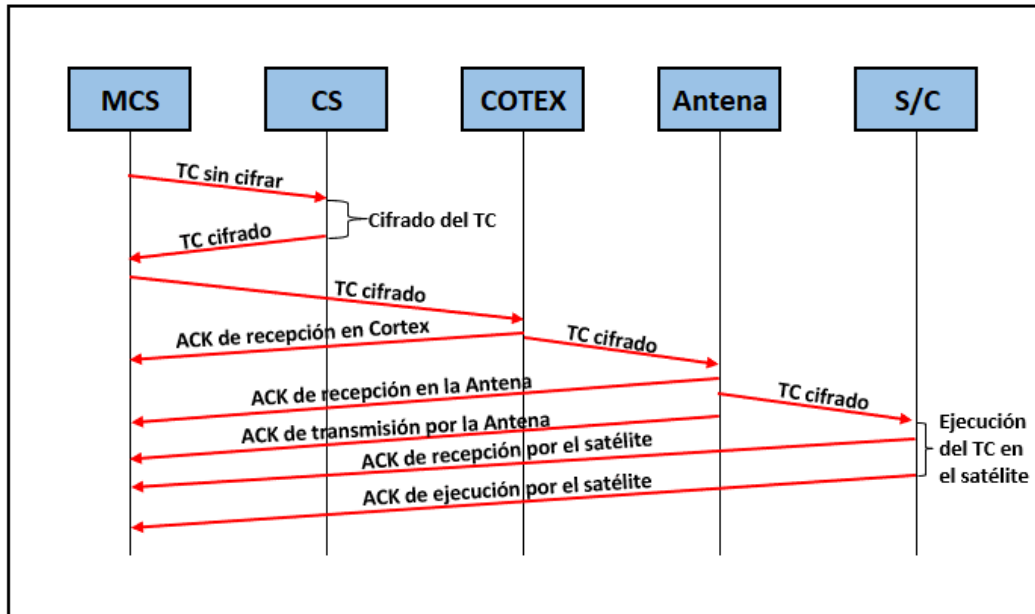
Las funciones principales del MCS son las siguientes:

- Grabado y monitorización de TM:
 - La TM enviada por el satélite al segmento terreno contiene datos de todos los parámetros que dan información sobre todos los componentes tanto del satélite como del instrumento que se encarga de generar la carga útil.
 - El MCS estructura la información para que el operador pueda consultar el valor de cada parámetro en cualquier momento en el que el parámetro sea muestreado.
 - El software de SCOS 2000 incluye un chequeo de límites para cada parámetro, permitiendo que se puedan fijar unos límites en la base de datos para cada uno de ellos y que nos muestre alarmas en caso de rebasarse estos límites. Los valores máximos y mínimos de los límites para cada parámetro deben venir dados por el fabricante del satélite.



Interfaz del TM Desktop de SCOS 2000, desde el cual se pueden monitorizar valores de los distintos parámetros y saber si alguno de ellos se sale de límites (sombreado en Amarillo o rojo, según cuanto ha pasado el límite)

- Capacidad de envío y registro de TCs a los distintos subsistemas del satélite y al instrumento:
 - SCOS 2000 dispone de interfaces que permiten generar stacks de TCs (conjuntos de TCs listos para ser enviados al satélite) o cargar stacks ya creados en el propio MCS o recibidos desde el Command Builder, así como consultar y modificar sus parámetros antes de enviarlos. Estos mismos interfaces permiten enviar los comandos al satélite.
 - Las interfaces de SCOS orientadas al comandado también disponen de mecanismos de chequeo de los valores de los parámetros contenidos en los TCs a enviar, pudiendo avisar en caso de que alguno no contenga los valores admitidos registrados en la base de datos y dados por el fabricante. Así mismo puede medir distintos parámetros de estado externos a los TCs que son necesarios para asegurar el envío de ciertos TCs, como que haya recepción de flujo de TM o que los últimos comandos enviados se hayan recibido correctamente, dando así la posibilidad de la creación de distintos protocolos de envío de TCs para asegurar la recepción de los mismos en el satélite en el orden correcto e impedir que se envíen secuencias de TCs incompletas o que se envíen TCs por duplicado.
 - El envío de comandos al satélite se puede llevar a cabo de forma manual o se puede programar para que se haga de forma automática en un momento determinado.
 - Los TCs pueden ser de dos tipos según su tiempo de ejecución, RTTC (Real Time Telecommand), que son comandos que se ejecutan en tiempo real al ser recibidos por el satélite o TTTC (Time Tagged Telecommand), que son comandos que contienen una etiqueta de tiempo en el que se deben ejecutar, se insertarán en un buffer en el ordenador de a bordo y se ejecutarán en el instante de tiempo que marque su etiqueta.
 - El MCS también debe tener capacidad de llevar un registro de todos los TCs enviados al satélite, así como un registro de su estado en el mismo (si está a la espera de ser ejecutado, si se ha ejecutado correctamente, si su ejecución ha fallado...). Todo esto se consigue saber a través de una serie de ACKs que se envían en cada etapa que hay entre el envío del satélite desde SCOS y su ejecución en el satélite (ACK por parte del CS al cifrar el TC, ACK por parte de la Antena al enviarlo, ACK por parte el satélite al recibirlo y ACK por parte del satélite al ejecutarlo, ya sea con o sin éxito). Estos ACKs son paquetes que contienen la información del estado del TC al pasar por su etapa correspondiente, la cual ayuda a determinar cuál ha sido la causa en caso de error en el envío y ejecución de alguno de estos TCs.



Proceso de envío de un TC cifrado con ejecución en tiempo real en el satélite y recepción de sus ACKs en distintas etapas.

- Generación de Reports para otros subsistemas:
 - El MCS contiene una serie de herramientas de procesado de la TM mediante los cuales genera distintos archivos o reports que contienen la información necesaria para realizar distintas tareas por parte de otros subsistemas.

Durante los pases el MCS es la interfaz directa con el satélite, este subsistema permite comandar en forma de TC las acciones a realizar sobre el satélite y, al mismo tiempo, consultar la RTTM, pudiendo comprobar a través de distintos parámetros que acciones son necesarias comandar para asegurar la salud del satélite y el estado nominal de la operación.

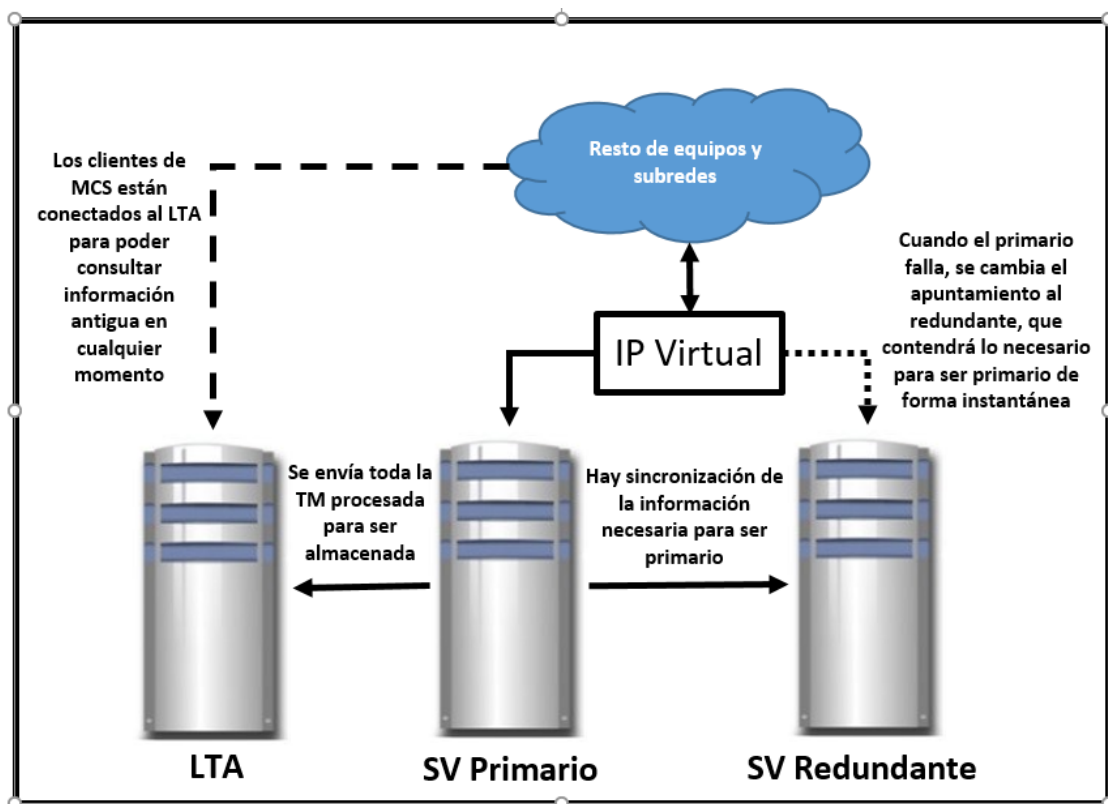
Fuera de los pases el MCS procesa la HKTM. A partir del procesado de la HKTM añadirá la información de todos los parámetros contenida en esa telemetría al almacenamiento y estará disponible para consulta a través de las interfaces de SCOS en cualquier momento, además generará los reports que enviará a distintos subsistemas, los cuales utilizan la información contenida en estos reports como input para realizar distintas tareas.

En el caso de los servidores la redundancia consiste en dos servidores idénticos en funcionalidad y herramientas, de los cuales uno se configura como primario y otro como secundario. El servidor primario recibiría directamente todos los inputs necesarios para llevar a cabo sus labores, mientras que el secundario tendría desactivados los procesos de automatización de tareas y su información se mantendría sincronizada con el primario a través de unos archivos de sincronización que le mandaría este cada cierto tiempo, conteniendo todos los inputs que ha recibido y los outputs que ha generado desde la última sincronización. En caso de fallo o mantenimiento del servidor primario, solo habría que configurar el secundario como primario (activando los procesos de automatización) y enviando los inputs y outputs del otro servidor desde la última

sincronización. Por tanto, estos servidores tienen lo que se denomina redundancia en caliente.

Además de estos dos servidores, hay un tercer servidor del MCS, el cual se denomina LTA (Long Term Archive). Este servidor tiene las mismas herramientas de análisis, visualización de TM y generación de reports que los otros dos servidores, sin embargo, contiene toda la telemetría de la misión, desde el lanzamiento del satélite, mientras que los otros dos servidores, contienen solo la TM correspondiente a las últimas semanas. Esto tiene como objetivo evitar que los servidores encargados de las tareas diarias pierdan rendimiento debido a una ocupación demasiado alta de su almacenamiento. El LTA no tiene redundancia, ya que su uso es de consulta de TM antigua, por lo que no se necesita una disponibilidad instantánea en caso de fallo, sin embargo, la TM es almacenada en una matriz redundante de discos independientes (RAID), lo cual asegura redundancia en el almacenamiento de la TM y disminuye la posibilidad de pérdida de esta TM en caso de fallo de los discos duros debido al paso del tiempo.

En el caso de los clientes del MCS, habrá al menos dos puestos fijos en el centro de control con el cliente correctamente actualizados y sincronizados, para que, en caso de fallo de uno de ellos, se asegure que hay otro disponible o que, incluso, se puedan utilizar los dos en paralelo cuando hay que realizar distintas tareas por distintos usuarios al mismo tiempo, como por ejemplo comandar un procedimiento al satélite en el que haya que observar la evolución de distintos parámetros de TM mientras se lleva a cabo el procedimiento.



Esquema de redundancia del MCS y almacenamiento en el LTA

8.6 CS (Cryptographic System)

Durante la misión el sistema deberá garantizar al operador tanto la exclusividad de acceso al control del satélite como la seguridad de que sus productos solo podrán ser accesibles para los clientes que los hayan adquirido. Esto se cumplirá gracias al uso de distintos algoritmos de seguridad y cifrado de datos. El CS es el subsistema encargado de generar, gestionar y utilizar las claves que servirán para realizar el cifrado de datos.

El CS contiene una parte en el segmento terreno y otra en el propio satélite. En el segmento terreno el CS se encarga de la generación de las distintas claves de cifrado, así como de su gestión y uso en la parte de tierra. En el satélite el módulo encargado del cifrado de datos, llamado igualmente Cryptographic System, solo almacena y usa las llaves, sin embargo, no tiene capacidad de generar nuevas llaves, dejando esta tarea al segmento terreno.

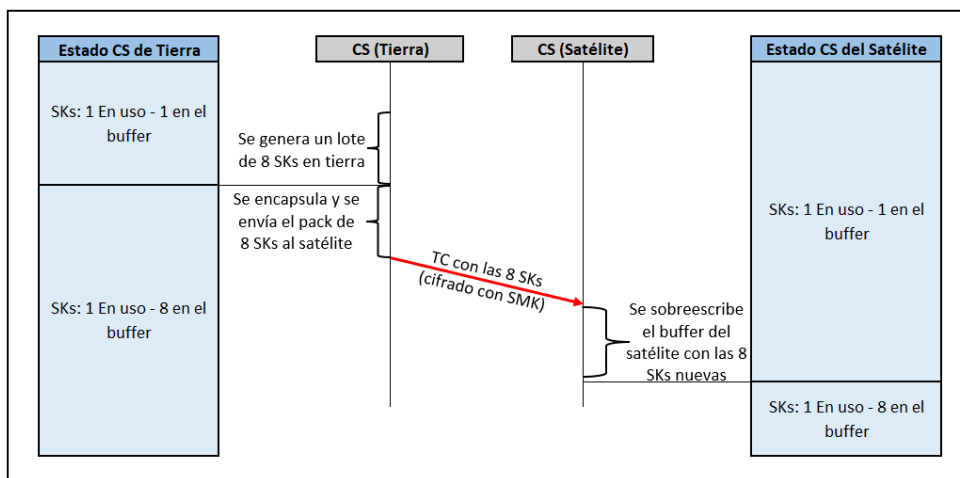
En la comunicación entre el segmento terreno y el segmento espacio se distinguen entre dos flujos distintos de información, el de banda S y el de banda X. Cada uno de estos flujos deberá cumplir distintos requisitos. A continuación, se describen los requisitos que se debe cumplir para cada uno y qué método se utiliza para cumplirlos.

8.6.1 Flujo de banda S

El flujo de banda S cuenta a su vez con dos canales distintos, el de uplink (la información que se envía del segmento terreno al satélite) y el de downlink (la información que se envía del satélite al segmento terreno).

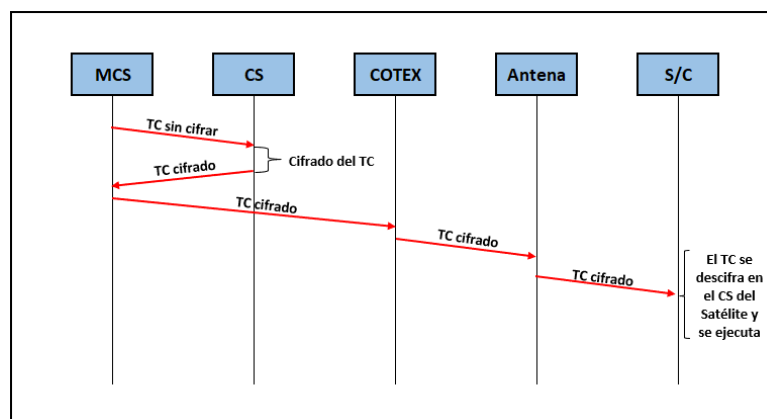
- Canal de uplink de banda S:
 - Este canal es por el cual se envían los TCs desde el segmento terreno al satélite, por tanto, permite tomar el control del satélite. Debe cumplir los requisitos de confidencialidad (ya que la información contenida en los TCs es sensible y podría ser utilizada para extraer información sobre el funcionamiento y control del satélite por parte individuos ajenos al operador) y de autenticación (permitiendo solo al operador o las personas autorizadas por el mismo tener capacidad exclusiva de comandado sobre el satélite).
 - El cumplimiento de estos requisitos se consigue mediante el cifrado de la información del satélite por medio de un algoritmo de clave simétrica. El CS genera dos tipos de clave distintas para este fin, las SKs (S-band Key) y las SMKs (S-band Master Key).
 - Las SKs se utilizan para cifrar los TCs antes de enviarlos al satélite. Estas claves se generan periódicamente en tierra, en el propio CS y se suben a bordo, quedando almacenadas en el CS de tierra y en el de a bordo. Tanto el CS de tierra como el del satélite contienen un buffer para almacenar 8 SKs además de la que ya está en uso. Además, contienen un contador de 24 horas, cada vez que este contador llega a 0 la SK que está en uso se elimina y se pasa a usar la siguiente que esté almacenada en el buffer, haciendo que la tarea de generación y subida de SKs a bordo se realice como mínimo, de forma nominal, una vez a la semana.

- Por otro lado, las SMKs se utilizan solamente para cifrar TCs dirigidos al CS de a bordo, como los que suben las SKs al satélite para insertarlas en él. Estas claves, al contrario de las SKs, no se actualizan periódicamente, sino que se insertan tanto en el CS de tierra como en el de a bordo al inicio de la misión. Se insertan un total de 15 SMKs al inicio de la misión, teniendo cada una de ellas un índice asignado del 1 al 15, siendo el mismo índice asignado en tierra que a bordo. Cuando se cifra un TC con una SMK se indica el índice de esta en una de las cabeceras del paquete donde va encapsulado, teniendo esta cabecera 4 bits (el índice 0 está reservado para todos los comandos que no van cifrados con SMKs). El CS de a bordo utilizaría la SMK correspondiente al índice indicado en la cabecera del paquete para descifrar el contenido del TC.



Proceso de subida de SMKs al satélite

- Todo el proceso de cifrado de TCs se lleva a cabo en el CS de tierra, de tal forma que el MCS (SCOS) envía el TC sin cifrar al CS y este se lo devuelve cifrado a SCOS, para que pueda encapsularlo y enviarlo al s/c a través de la antena. Una vez el TC llega al ordenador de a bordo, este lo envía al CS de a bordo para que sea descifrado con la llave correspondiente. Tras ser descifrado el TC vuelve al ordenador de a bordo para ejecutar su función en el subsistema objetivo.



Recorrido de un TC cifrado desde que es enviado en claro por el operador hasta que se ejecuta

- Canal de downlink de banda S:
 - El canal de downlink de banda S no tiene ningún tipo de cifrado, sino que se transmite a tierra completamente en claro, esto es así dado que solo nos da información sobre el estado del satélite, lo cual no es necesario ocultar, ya que ni permite tomar el control del satélite ni da información relevante sobre los productos que se venderán a los clientes. Sin embargo, para leer los paquetes de información transmitidos en banda S si es necesario conocer tanto las características de modulación de la señal enviada a tierra como la estructura de los paquetes.

8.6.2 Flujo de banda X

El flujo de banda X cuenta con un solo canal de transmisión, el de downlink, ya que es por el que se descargan los datos de la carga útil (imágenes) del satélite a tierra. Al contrario de lo que pasaba con la banda S, el enlace de downlink de banda X sí requiere de un método de cifrado, ya que es necesaria una forma de asegurar que solamente el operador pueda entregar los productos al cliente.

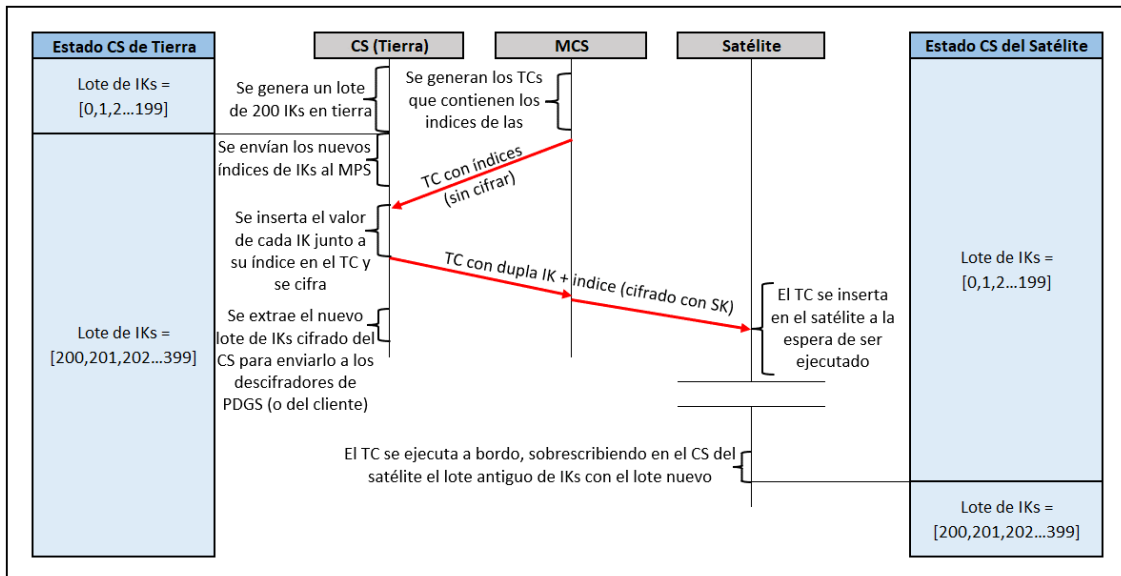
En el caso del canal de downlink de banda X se utiliza de igual manera que en el de uplink de banda S un algoritmo de cifrado de clave simétrica. En este caso las imágenes se cifran en su descarga con unas claves llamadas IKs (Image Key), sin embargo, se descifran en el descifrador de PDGS (o del cliente), no en el CS. El funcionamiento de la gestión de las IKs es un híbrido del de la gestión de las SKs y las SMKs. En el caso del cifrado de imágenes, su cifrado tiene que permitir el cumplimiento de unas funcionalidades de cara al cliente. Por un lado, se debe tener la capacidad de cifrar las imágenes con distintas IKs, ya que el descifrado y procesado de estas imágenes es un requisito opcional para el cliente, este puede preferir utilizar su propio descifrador y procesador, haciendo que sea el propietario exclusivo del producto y que, ni siquiera el operador, tenga acceso a la imagen que se ha pedido, esto se conseguiría con la compra de las IKs con las que se cifrarán sus imágenes, las cuales se enviarían al cliente de forma segura y no se contendrían en los descifradores del operador. Por otro lado, se debe tener la capacidad de renovar las IKs a bordo, ya que su almacenamiento es limitado y, en caso de ir vendiendo IKs a clientes, esas claves se irían agotando y no serían reutilizables para el cifrado de otras imágenes, además, al tener que enviar estas claves fuera del CS, estas son más susceptibles a su filtrado a terceros, por lo que conviene renovarlas periódicamente para asegurar que no son utilizadas por terceros no autorizados.

Para cumplir estos requisitos las IKs se generan y gestionan de la siguiente manera:

- Se genera un lote de 200 IKs, a las que se les asigna un índice, el cual, como ocurría con las SMKs, será igual en tierra y a bordo. Estos índices son crecientes y continúan el del índice de la última IK subida a bordo la vez anterior, así pues, en la primera subida los índices irían del 0 al 199, en la segunda del 200 al 399 y así sucesivamente. En este caso el índice de las IK se guarda en una variable de 24 bits, lo cual asegura un total de 16.777.276 índices distintos, lo que bastaría de sobra para toda la duración de la misión

en el peor de los casos (son suficientes para casi 230 años de operación, renovando todas las IKs diariamente).

- Tras ser generadas se envía un fichero con los índices de IKs al MPS (Mission Planing System), ya que este subsistema será el encargado de asignar la IK que cifrará cada imagen, sin embargo, no será necesario que conozca el contenido de la propia IK, ya que no intervendrá en el cifrado ni en el descifrado de las imágenes. El MPS utilizará estos índices para cifrar las descargas de X-band TM de la siguiente planificación que realice, por ello los TCs que insertan las IKs en el satélite se enviarán con un tiempo de ejecución que cumpla la condición de ser posterior a la última descarga de banda X que se vaya a ejecutar planificada en la planificación anterior y antes de ejecutarse la primera descarga de banda X de la nueva planificación.
- El SPACON generará los TCs en los que se enviarán las IKs y sus índices correspondientes al satélite. Al generarse, estos TCs contienen solo los índices correspondientes a las IKs del nuevo lote, el valor de cada IK se insertará en los TCs en el proceso de cifrado del TC durante su envío, haciendo así que las IKs no salgan en claro en ningún momento fuera del CS.
- Por último, el operador encargado del CS extraerá una copia cifrada del lote de IKs (valor de cada IK y su índice correspondiente) y la insertará en los descifradores de PDGS (o las enviará de forma segura a los clientes que hayan comprado alguna de las IKs).



Generación y envío de un nuevo lote de IKs al satélite

En el caso de la banda X, el proceso de cifrado se lleva a cabo de la siguiente manera:

- El satélite toma las imágenes y las almacena en su memoria en claro, es decir, sin cifrar.
- En el momento de la descarga la imagen se cifra con él la IK correspondiente, de la cual viene indicado el índice en el comando de descarga.

- Una vez recibida la imagen en tierra se envía al descifrador objetivo, ya sea en PDGS o en el de un cliente, en el cual se descifrará la imagen, obteniéndose sus datos en claro listos para ser procesados.

La redundancia del CS se basa en una redundancia en caliente de dos servidores, actuando uno como primario y otro como secundario, el cual se sincroniza con el primario cada vez que este tiene una actualización (generación de IKs, caducidad de alguna SK, generación de un nuevo lote de SKs...). En el caso del CS, todas las acciones se realizan directamente desde el propio servidor, el cual no permite ningún tipo de conexión remota (más allá del envío y recepción de sus inputs y outputs) por motivos de seguridad, ya que en él reside toda la información sobre el cifrado de TCs y de los productos de la misión.

8.7 FDS (Flight Dynamic System)

Antes del lanzamiento del satélite se definen los requisitos de la misión, entre estos requisitos se define la órbita que el satélite deberá seguir para poder llevar a cabo el objetivo de la operación. El FDS es el subsistema encargado de llevar a cabo todas las acciones en relación con la órbita y la actitud del satélite.

Las funciones que desempeña el FDS son las siguientes:

8.7.1 Determinación y propagación de órbita

Aunque el satélite se posiciona desde las primeras fases de la misión tras el lanzamiento para seguir su órbita operacional, también llamada órbita de referencia, el satélite no es capaz de seguir esta órbita indefinidamente por sí solo, ya que se ve influenciado por distintas perturbaciones que hacen que se desvíe poco a poco de esta órbita. Para poder calcular la desviación que sufre el satélite de su órbita operacional y poder conocer su posición en el futuro con precisión se realiza la determinación y propagación de la órbita.

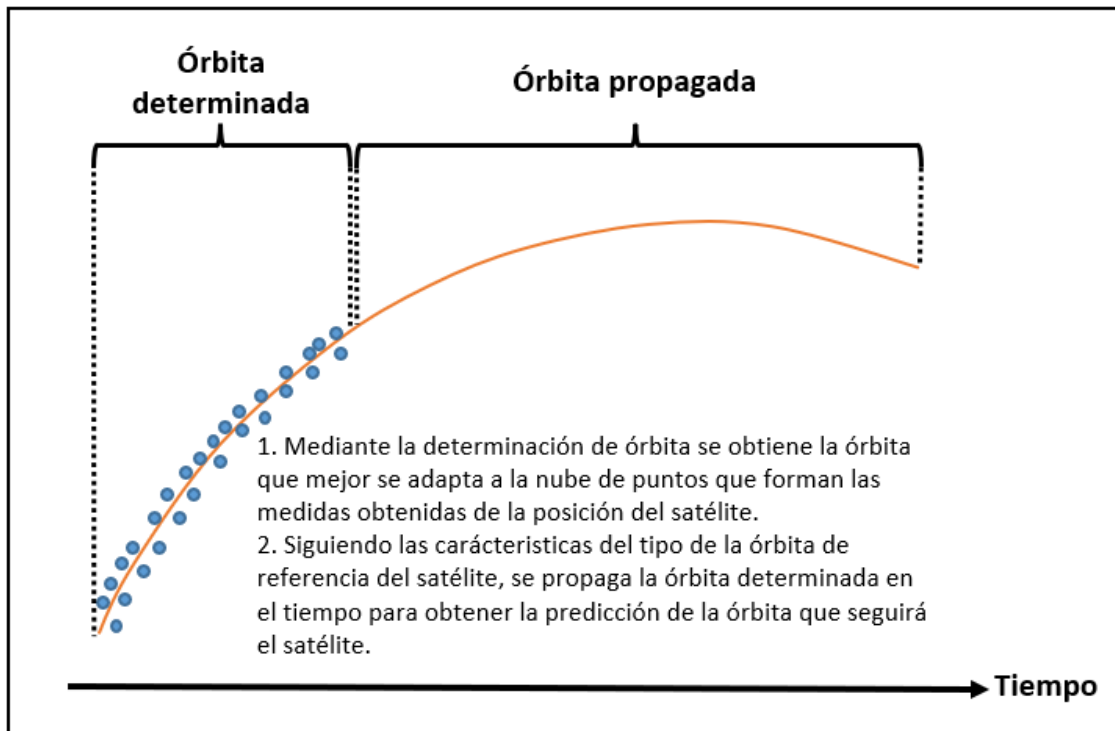
Al FDS le llegan datos con información sobre la posición que ha tenido el satélite desde distintas fuentes (datos del GPS, datos de sistemas terrestres de tracking de satélites...). Estos datos se utilizan en conjunto para determinar la órbita que ha seguido el satélite de la manera más precisa posible, minimizando el error de las observaciones mediante métodos como el método de mínimos cuadrados, el cual aproximará la órbita de manera más precisa cuantas más muestras de distintas fuentes de observación se dispongan.

Una vez determinada la órbita que ha seguido el satélite, el FDS calcula la desviación que esta órbita determinada tiene en cuanto a la órbita de referencia (la que debía seguir según los últimos cálculos realizados).

Con estos datos, junto con los datos de las características teóricas de la órbita operacional, el FDS es capaz de propagar la órbita teniendo en cuenta los desvíos que sufre el satélite para tener una estimación de la órbita futura que seguirá el satélite, lo cual es necesario para realizar cualquier acción en la que sea necesario conocer la posición del satélite con respecto a la tierra (como el apuntamiento de la antena al satélite para los contactos o la toma de imágenes sobre la superficie terrestre). Esta

propagación de la órbita será menos precisa cuanto más alejada en el tiempo esté de los últimos datos de la determinación, ya que cuanto más se propaga la órbita más error se acumula y más precisión se pierde.

La órbita obtenida mediante la determinación y propagación de órbita es lo que se denomina la órbita predicha, ya que predice la posición que tendrá el satélite en la parte propagada de la órbita, es decir, en el futuro a los datos conocidos.



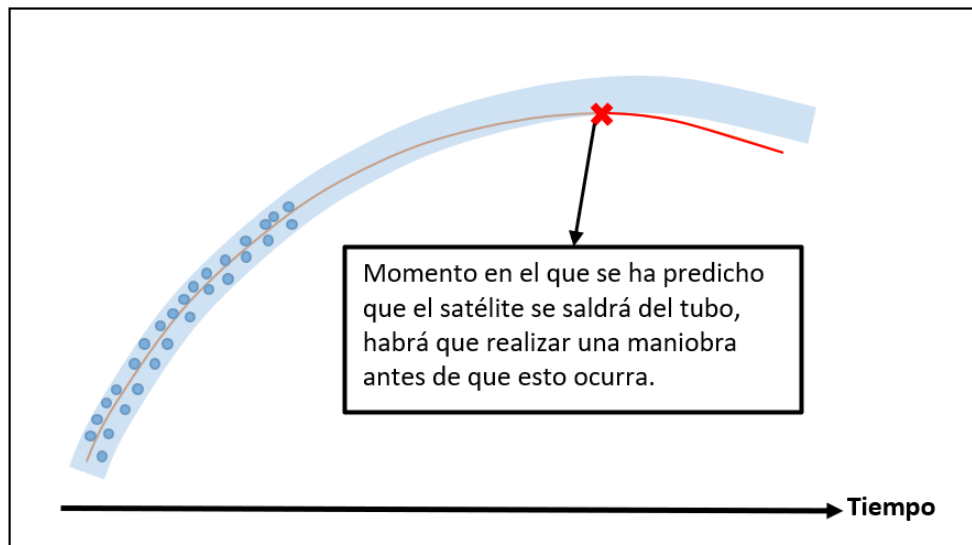
Esquema de la obtención de la obtención de la órbita predicha (naranja) mediante la determinación y propagación de la órbita a partir de las medidas de la posición que ha tenido el satélite (nube de puntos azules)

8.7.2 Control de la órbita

Aunque el satélite no tiene que seguir exactamente la órbita operacional, sí que debe seguir una órbita que sea lo más aproximada a esta posible, por lo que hay que calcular cuando se desviará más de lo aceptable y es necesario realizar alguna actuación sobre el mismo para que vuelva a una órbita más parecida a la operacional.

Para conocer cuando el satélite se está desviando demasiado de la órbita operacional, se calculan unos límites de desviación de la órbita trazando un tubo que envuelve a la órbita operacional y que tiene a esta como eje central.

Cuando se propaga la órbita, esta es analizada por el FDS y comparada con el tubo que actúa como límite, de esta manera se podrá determinar cuando el satélite rebasará estos límites y, por tanto, cuando será necesaria una maniobra para corregir su posición dentro del tubo.



Detección de la necesidad de maniobra de mantenimiento

8.7.3 Determinación y control de actitud

La actitud de un satélite es la orientación de este con respecto a un sistema de referencia inercial, es decir, un sistema de referencia en el que las leyes de movimiento cumplen las leyes de Newton y, por tanto, los movimientos de un objeto pueden describirse empleando solo fuerzas reales, sin necesidad de emplear fuerzas ficticias.

Dadas las características del satélite, este solo tiene un modo de actitud en el que tiene que mantenerse, el cual deberá entrar en unos límites que permitan tener su panel solar orientado al sol y el radar de apertura sintética orientado a la tierra.

La determinación y predicción de actitud comienza después de la secuencia de determinación de órbita.

La determinación de actitud se realiza a partir de los datos recopilados por varios sistemas de medición de ángulos y posición, como los star trackers del satélite, que son dispositivos ópticos que rastrean la posición de las estrellas. Una vez determinada la posición de las estrellas observadas, estas se pueden identificar comparando su patrón con el patrón de estrellas conocidas observadas desde la tierra. Conociendo la posición en la órbita del satélite (esto gracias a la determinación orbital) y su posición respecto a las estrellas observadas, se puede determinar su orientación en un momento determinado.

Tras la determinación de actitud se lleva a cabo la propagación de esta. Para ello se utiliza la órbita predicha y se predice la posición relativa que deberían tener las estrellas observadas con los star trackers durante la órbita propagada.

El control de actitud se realiza tanto de forma continua en el propio satélite como desde tierra.

- En el satélite el control de actitud consiste en mantener el satélite con la orientación deseada, midiendo la posición de las estrellas observadas por los star trackers del satélite y corrigiendo su orientación en caso de salirse de los límites marcados con respecto a la actitud calculada en ese momento.

- Desde tierra se pueden planificar cambios en la actitud del satélite para distintos objetivos, como la realización de una maniobra o la reorientación del radar de apertura sintética en caso de ser necesario.

Para llevar a cabo el control de la actitud del satélite, este lleva a bordo varios sistemas que le permiten girar en el sentido deseado, como las ruedas de inercia, las cuales funcionan acelerando o frenándose para girar el satélite gracias a la necesidad de conservación del momento angular, o los magnetorquers, los cuales sirven para orientar el satélite según el campo magnético de la tierra, pudiendo utilizarse para desaturar las ruedas de inercia, acelerándolas o frenándolas sin que se modifique la actitud del satélite.

8.7.4 Cálculo de maniobras

Las maniobras se calculan y calibran desde el FDS.

El motivo principal para realizar una maniobra es el mantenimiento de la órbita. Este tipo de maniobra se realizará de forma periódica, con el objetivo de corregir la posición del satélite y mantenerlo dentro de su órbita nominal.

La fecha de una maniobra de mantenimiento vendrá dada por el momento en el que el satélite se vaya a salir del tubo que marca los límites de su órbita nominal. Esto se calcula al realizar la propagación de su órbita, momento en el que el FDS da información sobre el momento en el que esto sucederá, lo cual hará con más precisión cuando más próxima en el tiempo esté la necesidad de maniobra. Una vez se conoce la fecha en la que el satélite se saldrá de los límites del tubo, el operador encargado del subsistema FDS podrá valorar el momento en el que es necesario realizar el cálculo de la maniobra. Se deberán tener en cuenta varios parámetros para elegir en qué momento se realizará el cálculo de la maniobra y en qué momento se realizará la propia maniobra, teniendo en cuenta que este cálculo se realizará de forma más precisa cuando el momento de su ejecución sea lo más cercano posible al momento en el que la maniobra se calcule.

Para la realización de la maniobra de mantenimiento habrá que tener en cuenta otros factores operacionales, ya que, por un lado, el satélite tendrá un periodo alrededor del momento de ejecución de la maniobra en el que no podrá prestar servicio, pero por otro lado, en este tipo de maniobra, habrá que tener en cuenta el momento en el que la realización de la misma consuma la mínima cantidad de combustible posible y permita alejar todo lo posible en el tiempo la siguiente maniobra de mantenimiento necesaria.

Otro motivo para realizar una maniobra es evitar una colisión con un objeto que se cruce en la órbita del satélite.

Distintas agencias se encargan de rastrear todos los objetos que se encuentran orbitando alrededor de la tierra a partir de datos proporcionados tanto por los propios operadores de estos objetos como de datos proporcionados por distintos puntos de observación terrestres, ya que algunos de estos objetos no tienen control orbital (basura espacial). Estas agencias cruzan los datos de los distintos objetos para encontrar coincidencias en las que dos o más de estos objetos pasen lo suficientemente cerca con una probabilidad lo suficientemente alta como para que se considere que hay un riesgo de colisión entre ellos. Si se detecta un riesgo de colisión se envía un aviso a los

operadores de los objetos implicados para coordinarlos en la realización de una maniobra que permita minimizar el riesgo de colisión entre ellos.

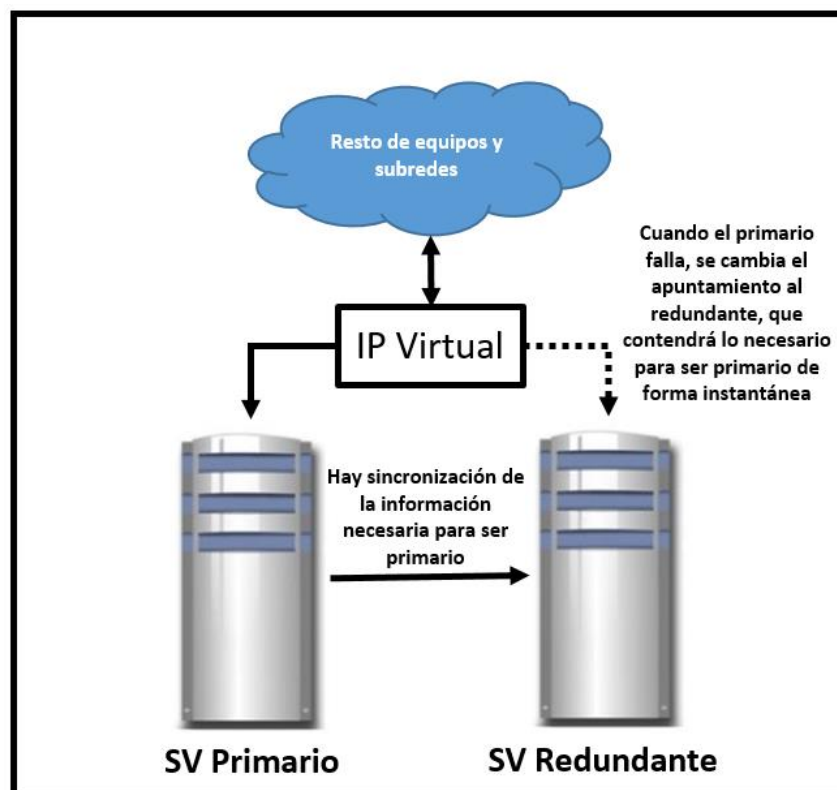
Las maniobras por aviso de colisión se calculan desde el momento en el que se recibe el aviso, pudiendo llevarse a cabo varios cálculos de la maniobra, ya que se necesita llevar un seguimiento de la órbita de estos objetos y conocer cómo se propagará su órbita tras las maniobras para poder coordinarse de tal forma que se reduzca la probabilidad de colisión al mínimo.

En ocasiones las maniobras por aviso de colisión son compatibles con las maniobras de mantenimiento de la órbita, permitiendo que el cálculo de la maniobra se realice de tal forma que el satélite vuelva a una posición lo más adecuada posible para retrasar la próxima salida de límites del tubo, retrasando lo máximo posible la próxima maniobra de mantenimiento.

El FDS tiene una arquitectura cliente-servidor. El cliente contiene la aplicación con las interfaces gráficas mientras que en el servidor se realizan las tareas de computación.

En el caso de los servidores la redundancia consiste en dos servidores idénticos en funcionalidad y herramientas, de los cuales uno se configura como primario y otro como secundario. Estos servidores se sincronizan de manera automática y periódica.

En el caso del cliente, no es necesario tener redundancia, ya que se puede instalar la aplicación en un cliente en cualquier momento, sin embargo, debido a la importancia de sus tareas, conviene tener al menos dos clientes disponibles en el centro de control con el cliente instalado y configurado para evitar retrasar las tareas en caso de fallo.



Esquema de redundancia con sincronización

8.8 MPS (Mission Planning System)

El satélite tiene programadas acciones desde el inicio de la misión que es capaz de ejecutar de forma automática como respuesta a situaciones de contingencia, lo que le da cierto automatismo para mantenerse seguro durante un periodo de tiempo aunque se pierda el contacto con él, estas acciones se limitan a respuestas a incidencias a bordo, por ejemplo es capaz de realizar reinicios o apagado de subsistemas en caso de detectar una situación que ponga en peligro la integridad del satélite (como rebasar límites de temperatura), también es capaz de activar mecanismos de reorientación del satélite en caso de no estar bien orientado (por ejemplo por un fallo en las ruedas de inercia principales o en los thrusters o la ejecución de una maniobra mal planificada), permitiendo asegurar que siempre tendrá visibles los receptores de señal, impidiendo que se pierda la posibilidad de contactar con él por estar mal orientado.

A pesar de tener esta serie de acciones programadas de serie, no dejan de ser respuestas a ciertas situaciones fuera de lo nominal que actúan como estímulos para ejecutar estas acciones. Sin embargo, las acciones nominales que llevará a cabo el satélite a lo largo de su vida operativa no pueden estar programadas desde antes del lanzamiento, principalmente porque eso requeriría conocer todas las acciones que va a tener que realizar el satélite a lo largo de toda la operación, además del momento exacto en el que tendrá que ejecutar cada acción, lo cual no es posible predecir con tanta antelación ni para las acciones principales de la operación que permiten la supervivencia del satélite (preparar al satélite para los contactos, maniobras para mantenerse en la órbita correcta, maniobras para evitar posibles colisiones...) lo cual se suele predecir con una precisión adecuada con no más de una semana de antelación, y mucho menos las peticiones de productos de la carga útil, lo cual no se puede predecir, si no que depende directamente de las peticiones de los clientes. Esto hace necesario un sistema que permita planificar periódicamente las acciones que tendrá que realizar el satélite en un futuro inmediato y enviárselas al satélite para que este las inserte en una memoria y las vaya ejecutando de forma secuencial.

El MPS es el subsistema encargado de preparar, organizar y generar la planificación de las tareas que deberá realizar el satélite, ordenándolas de forma secuencial, a partir de unos inputs que le llegarán de distintas fuentes indicándole las acciones requeridas al satélite en un intervalo de tiempo determinado. El objetivo del MPS es generar esta planificación de tal forma que:

- No haya conflictos entre sus tareas:
 - En ocasiones algunas de las tareas que puede llevar a cabo el satélite es incompatible con otras tareas, por ejemplo, no será posible realizar una maniobra al mismo tiempo que se realiza la toma de una imagen, ni se pueden tomar dos imágenes con distintas características al mismo tiempo, ya que solo hay un instrumento para tomarlas y tiene que hacerlo de una en una.
 - Para gestionar que tareas planifica y cuales descarta, el MPS tiene un sistema de niveles de prioridad, teniendo en su base de datos todas las tareas que puede planificar y, ligada a cada tarea, un nivel de prioridad u otro, pudiendo anteponer tareas que aseguran la

operabilidad del satélite (como una maniobra para evitar una colisión) frente a otras con menor importancia (como la toma de imágenes). Este nivel de prioridades también se puede configurar para tareas del mismo tipo, por ejemplo, asignando prioridades distintas a las imágenes según el tipo de imagen, el consumo de recursos ligados a ella, el cliente que las solicite o la urgencia con la que se necesita la imagen.

- A pesar de los niveles de prioridad asignados a cada tarea, las planificaciones siempre estarán supervisadas y serán verificadas por el operador del MPS, el cual tiene la capacidad de insertar y eliminar manualmente tareas, pudiendo salvar tareas que por prioridad son descartadas o descartar tareas prioritarias para planificar otras que usualmente son de menor prioridad.
- La ejecución de las tareas se lleve a cabo en el orden correcto:
 - Algunas de las tareas que se planifican tienen dependencia de otras tareas y no se pueden llevar a cabo si estas últimas no se han ejecutado con anterioridad. Un ejemplo de esto es la descarga de una imagen, la cual no se puede llevar a cabo si la imagen no se ha tomado y se ha almacenado en memoria previamente. El MPS se encarga de verificar que todas las tareas de las que dependen las tareas con dependencia que se van a planificar estén planificadas con anterioridad o, en caso de que ya se tenga información de su ejecución, que se hayan ejecutado correctamente.
- Las tareas se ejecuten de la forma más eficiente posible:
 - Otro de los objetivos del MPS es realizar las planificaciones de tal forma que el satélite utilice sus recursos de la forma más eficiente posible, comprobando escenarios y modificando las tareas de tal forma que se gaste el mínimo número de recursos posible que permita cumplir el objetivo. Un ejemplo de esto es el encendido y apagado de los transmisores para los contactos. En caso de que haya dos contactos lo suficientemente cerca, o incluso se solapen, el MPS puede eliminar el apagado de los transmisores al final del primer contacto y el encendido de estos al inicio del segundo contacto, evitando que se gasten ciclos de encendido y apagado de forma innecesaria, la vida útil del satélite ya que desgasta los transmisores y aumenta la probabilidad de que estos se estropeen.

Además de generar las planificaciones, el MPS se tiene la capacidad de monitorizar si las tareas se han ejecutado correctamente. Esta monitorización la hace a partir de un report que recibe del MCS con el estado de ejecución de todos los TCs, a partir de los cuales el MPS identifica a qué tareas corresponde cada TC y, según si se han ejecutado de forma exitosa o no, determina si la ejecución de la tarea ha sido exitosa o no. En caso de haber algún TC que no se ha ejecutado correctamente, puede identificar que repercusión tiene en la tarea programada y cómo puede afectar a otras tareas. Por ejemplo, en caso de haber tomado bien una imagen, pero haber fallado su escritura en memoria, esta imagen no se podrá descargar ni borrar de la memoria, por lo que en

caso de realizar una planificación nueva en la que se incluyan estas tareas, no las planificará ya que, en caso de hacerlo, su ejecución fallará al no encontrarse la imagen en memoria.

El MPS tiene una arquitectura cliente-servidor, repartiendo las tareas de tal manera que la parte cliente contiene las interfaces gráficas de la aplicación mientras que en el servidor se realizan las tareas de computación y se almacena toda la información de las distintas planificaciones y aloja la base de datos que contiene toda la información acerca de las tareas que se pueden planificar, así como sus niveles de prioridad y sus condiciones y restricciones respecto a otras tareas.

En el caso del MPS su redundancia es idéntica a la del FDS, tanto para los servidores como para los clientes.

8.9 Command Builder

Es el subsistema encargado de convertir las actividades que conforman la planificación en secuencias de TCs.

El Command Builder recibe por parte del MPS el archivo `PLANNED_ACTIVITIES`, que contiene la planificación que se subirá a bordo, sin embargo, esta planificación está formada por actividades con una serie de parámetros cuyos valores han sido calculados por el MPS en la generación de la planificación, pero aún no contiene los TCs que se tienen que ejecutar a bordo para que se lleven a cabo estas actividades. El Command Builder, tras realizar una serie de validaciones de los valores de los parámetros de cada actividad comparándolos con los valores admitidos que contiene en la base de datos, convierte cada una de esas actividades en la secuencia de TCs correspondiente que se debe ejecutar en el satélite para que la actividad se lleve a cabo cumpliendo las características que marcan los valores de sus parámetros. Esta conversión la lleva a cabo gracias a la información contenida en su base de datos, en la cual contiene la definición de cada una de las actividades, así como los comandos que corresponden a cada una de las actividades y los valores que debe contener cada comando de acuerdo con los valores de los parámetros de la actividad.

Este es el funcionamiento del Command Builder para todas las actividades de la planificación a excepción de las maniobras. Las maniobras se calculan en el FDS, el cual envía el archivo `MANEUVRE_PARAMETERS` con los valores de todos los parámetros necesarios para realizar la maniobra correctamente al Command Builder, el cual comprueba que el valor de los parámetros sea adecuado acorde a unos límites de valores que vienen establecidos en su base de datos. Cuando el Command Builder recibe la planificación desde el MPS, esta contendrá la actividad de la maniobra, la cual ha introducido el operador durante la generación de la planificación y que contiene el intervalo de tiempo de indisponibilidad del satélite para realizar otras actividades operacionales que son incompatibles con la maniobra (como la toma de imágenes). El Command Builder utilizará la información contenida en el archivo `MANEUVRE_PARAMETERS` para generar los comandos de la actividad de la maniobra contenida en el archivo `PLANNED_ACTIVITIES` recibido desde el MPS. En el caso de las maniobras se sigue este proceso para poder realizar en paralelo el cálculo de los parámetros de la maniobra y la generación de la planificación, dado que ambos son

procesos complejos que pueden sufrir modificaciones y, en caso de realizarse en serie, podrían hacer aumentar demasiado el tiempo que cuesta finalizarlos y tenerlos listos para ser comandados.

La redundancia del Command Builder consiste un servidor de backup que contiene la misma base de datos que el servidor primario. Su sincronización consiste en mantener actualizada la base de datos en paralelo con la del servidor primario. En caso de caída del servidor primario solo habría que mandar el archivo de maniobra desde el FDS en caso de ser necesario y estaría listo para procesar la siguiente planificación que se reciba desde el MPS.

8.10 PDGS

El PDGS (Payload Data Ground Segment) es un conjunto de subsistemas que actúan como un solo sistema, el cual se encarga de la explotación de la carga útil del satélite. La cantidad de subsistemas que conformen este segmento depende de las funciones que tenga que cumplir el mismo y es posible que se añadan o supriman subsistemas según los servicios que se requieran por parte de los clientes. En el caso particular de esta misión el PDGS debe cumplir desde el inicio las siguientes funciones:

8.10.1 Servicio de Usuario

El PDGS debe ser capaz de actuar como interfaz con los usuarios, ofreciendo a estos los siguientes servicios:

- Mostrar la oferta de productos y servicios, permitiendo a los clientes solicitar distintos productos personalizados a sus necesidades, ofreciendo opciones como la solicitud de productos nuevos que serán enviados al satélite para tomarse (ofreciendo además la personalización de las características que puede tener este producto, como la resolución de la imagen o la exclusividad sobre la misma) o la solicitud de productos ya descargados y procesados con anterioridad que se han almacenado en un catálogo.
- Capacidad de recibir y gestionar todas las peticiones de productos por parte de los clientes, así como de informar a los clientes de la indisponibilidad de productos debido a las limitaciones operacionales del satélite (solape con otros productos con mayor prioridad, maniobras...).
- Registrar todas las nuevas peticiones en un archivo que se enviará al MPS para que se planifiquen las tomas de productos.
- Permitir la distribución de productos directamente al cliente de tal forma que se asegure la entrega del producto solamente al cliente que lo ha solicitado, esto se puede realizar a través de un sistema de usuarios que permita el envío de peticiones y productos a través de un canal de comunicación seguro mediante cifrado que conecte el PDGS con el sistema del propio cliente.

8.10.2 Descifrador

Las imágenes se descargan cifradas mediante las IKs del satélite, será necesario descifrarlas para obtener los datos que las componen en claro. Este subsistema se

encargará de descifrar las imágenes usando las IKs recibidas desde el CS en el momento de su generación.

8.10.3 Procesador

Las imágenes son tomadas por un radar SAR, por lo que los datos descargados del satélite no son directamente las imágenes en claro, sino que son un conjunto de datos que tras ser procesados de forma adecuada se podrán obtener las imágenes en claro a partir de ellos.

8.10.4 Archivo

Este subsistema se encarga de almacenar las imágenes que se toman en el satélite para dos fines distintos.

El primer motivo es para ofrecer una copia de seguridad de los productos adquiridos por los clientes, ya que en caso de perderse el producto en el proceso de entrega al cliente por algún motivo podría ser imposible replicarlo de nuevo. Esta copia de seguridad podría ser de los datos en bruto (sin procesar o descifrar) en caso de que el cliente se reserve el derecho a realizar el descifrado de los datos. Los clientes con exclusividad sobre los productos podrían solicitar el borrado de sus productos del archivo tras haberlo recibido.

Por otro lado, para todos los productos sobre los cuales los clientes no tengan exclusividad, el archivo sirve como almacén para tener la posibilidad de ofrecer un catálogo de productos que podrían adquirir clientes en el futuro, evitando que todas las ventas de productos generen peticiones de tomas al satélite. Este catálogo lo puede ampliar el operador con la generación de tomas de productos propias, que encajen en la disponibilidad del instrumento en cada planificación aprovechando al máximo la capacidad del satélite.

8.10.5 Calibración y validación (CALVAL)

Por último, este subsistema se encarga de analizar las imágenes para calibrar el instrumento. Tras analizar las imágenes se determinaría si es necesario modificar la configuración del instrumento y con qué valores habrá que configurarlo para que se asegure que se pueden obtener las imágenes con la calidad ofertada a los clientes.

9 Segmento terreno en conjunto

Para llevar a cabo sus funciones, la mayoría de los subsistemas del segmento terreno requieren de información generada por otros subsistemas y, a su vez, la información que generan será requerida por otros subsistemas para poder realizar sus funciones. Este traspaso de información de unos subsistemas a otros que permite que estos cumplan todas sus funciones y actúen como un solo sistema en conjunto se realiza a través del envío de archivos de unos subsistemas a otros. En este apartado se detallan los archivos que debe recibir cada subsistema de otros subsistemas para cumplir sus funciones (inputs) y los archivos que genera para enviárselos a otros subsistemas (outputs).

9.1 Antena

9.1.1 Inputs

- Archivo de apuntamiento EPHEMERIS desde el FMC, el cual contiene la posición del satélite durante los pases y permite que la antena se prepare para apuntar correctamente en cada pase al satélite.
- Archivos de reserva y cancelación de pases (ADD_PASSES y CANCEL_PASSES) desde el FMC, los cuales sirven para programar los contactos en la antena.

9.1.2 Outputs

- Cada vez que se realiza la reserva o cancelación de algún pase en la antena, esta le envía al FMC un archivo llamado SCHEDULED_PASSES que contiene el listado de todos los pases que tiene programados a futuro.
- La señal recibida del satélite a los Cortex y Cortex HDR.
- Archivo STATUS periódicamente al FMC.

9.2 CORTEX/HDR

9.2.1 Inputs

- Tanto los CORTEX como HDRs reciben la señal recibida por la antena, la cual demodularán, para obtener la información descargada del satélite, en banda S y X.

9.2.2 Outputs

- Tras los pases, los CORTEX guardan la TM de banda S que han grabado en un archivo llamado S_BAND_RECORDED_TM, el cual se envía al MCS.
- Tras los pases, los HDR guardan la TM de banda X que han grabado en un archivo llamado X_BAND_RECORDED_TM, el cual se envía al IRS.
- Archivo STATUS periódicamente al FMC.

9.3 FMC

9.3.1 Inputs

- Archivos "STATUS" desde todos los subsistemas de forma periódica (el periodo depende de las necesidades de monitorización del subsistema), los cuales contienen la información necesaria del estado de cada subsistema para poder monitorizarlos correctamente.
- Archivo PASS_PLAN desde el MPS, el cual contiene la información de los pases que hay que programar en la estación.
- Archivo SCHEDULED_PASSES desde la antena, que contiene el listado de todos los pases que tiene la antena programados a futuro.
- Archivo X_BAND_PLAN desde el MPS, el cual contiene la información sobre todas las descargas de carga útil en banda X planificadas en el satélite, así como detalles de estas (duración de cada descarga, imágenes que se descargan, tamaño de cada imagen...).
- Archivo EPHEMERIS desde el FDS, el cual contiene la posición exacta calculada que tendrá el satélite en momentos específicos en el tiempo.

9.3.2 Outputs

- Los archivos de reserva y cancelación de pases (ADD_PASSES y CANCEL_PASSES) generados a partir del PASS_PLAN, los cuales se envían a la antena.
- Archivo X_BAND_PLAN al IRS.
- Archivo EPHEMERIS a la antena.

9.4 MCS

9.4.1 Inputs

- Archivo S_BAND_RECORDED_TM desde el CORTEX tras cada pase, el cual contiene la HKTM de banda S descargada durante el pase.
- Archivo SCHEDULE_STACK, desde el Command Builder, el cual contiene los TCs que habrá que comandar al satélite para que este lleve a cabo todas las actividades planificadas en el MPS. Este archivo a su vez se envía del servidor al cliente, ya que es desde el cliente desde el que se envían los TCs al satélite.

9.4.2 Outputs

- Archivo STATUS periódicamente al FMC.
- Archivo TM_REPORT_FOR_FDS, que se envía al FDS y contiene la información adquirida por los subsistemas del satélite sobre su órbita y actitud, necesaria para realizar las tareas de determinación y propagación de las mismas.
- Archivo TC_STATUS, el cual se envía al MPS y contiene información sobre el estado de los comandos subidos a bordo, haciendo posible observar el estado de las actividades planificadas en el MPS.

9.5 FDS

9.5.1 Inputs

- Los archivos TM_REPORT_FOR_FDS, desde el MCS con información sobre la órbita y actitud del satélite medido por los propios subsistemas integrados en el mismo.
- Distintos archivos con información sobre el posicionamiento del satélite desde organismos externos encargados de hacer un seguimiento de los satélites en órbita alrededor de la tierra mediante el uso de observatorios localizados a lo largo de toda la superficie terrestre.

9.5.2 Outputs

- Archivo STATUS periódicamente al FMC.
- Archivo EPHEMERIS al FMC, el cual contiene un TLE con la posición y vector velocidad del satélite en un momento determinado, a partir del cual se puede propagar la órbita que seguirá.
- Archivo ORBIT_DIFFERENCE, el cual contiene el error entre la órbita real (la determinada por el FDS) y la órbita de referencia, que es la órbita teórica que debería seguir el satélite y que se usa como referencia para las peticiones de productos y cálculo de tiempos de ejecución las actividades. Este archivo se envía a PDGS, que lo utilizará para aumentar la calidad del procesado de productos y al MPS, que lo utilizará para estimar el margen de error entre la órbita de referencia y la real.
- En caso de haber realizado el cálculo de una maniobra, el archivo MANEUVRE_PARAMETERS al Command Builder, que contiene el valor de los parámetros necesarios para realizar la maniobra calculada.

9.6 MPS

9.6.1 Inputs

- Archivo TC_STATUS, el cual se envía desde el MCS.
- Archivo REQUESTED_PRODUCTS desde PDGS, con las solicitudes de productos a planificar.
- Archivo ORBIT_DIFFERENCE desde el FDS.

9.6.2 Outputs

- Archivo STATUS periódicamente al FMC.
- Archivo PLANNED_ACTIVITIES al Command Builder, con todo el listado de actividades planificadas para subir al satélite.
- Archivo PASS_PLAN y el archivo X_BAND_PLAN al FMC.

9.7 Command Builder

9.7.1 Inputs

- Archivo PLANNED_ACTIVITIES desde el MPS.
- En caso de haber realizado el cálculo de una maniobra, el archivo MANEUVRE_PARAMETERS desde el FDS.

9.7.2 Outputs

- Archivo STATUS periódicamente al FMC.
- Archivo SCHEDULE_STACK al MCS, el cual es una conversión a TCs de las actividades contenidas en el archivo PLANNED_ACTIVITIES, usando para generar los TCs y ajustar sus parámetros la base de datos del propio Command Builder y, en caso de haber maniobra, el archivo MANEUVRE_PARAMETERS.

9.8 IRS

9.8.1 Inputs

- Archivo X_BAND_RECORDED_TM desde el HDR tras cada pase, el cual contiene la TM de banda X descargada durante el pase en la que van contenidos los productos tomados por el satélite.
- Archivo X_BAND_PLAN desde el FMC, el cual utilizará para poblar su base de datos con la información de las descargas de banda X esperadas, haciendo posible el correcto funcionamiento de las ingestiones de banda X y la generación de los productos a raíz de estas.

9.8.2 Outputs

- Archivo STATUS periódicamente al FMC.
- Los productos (archivos que contienen las imágenes antes de ser descifradas y procesadas) a PDGS una vez se terminan las ingestiones.

9.9 PDGS

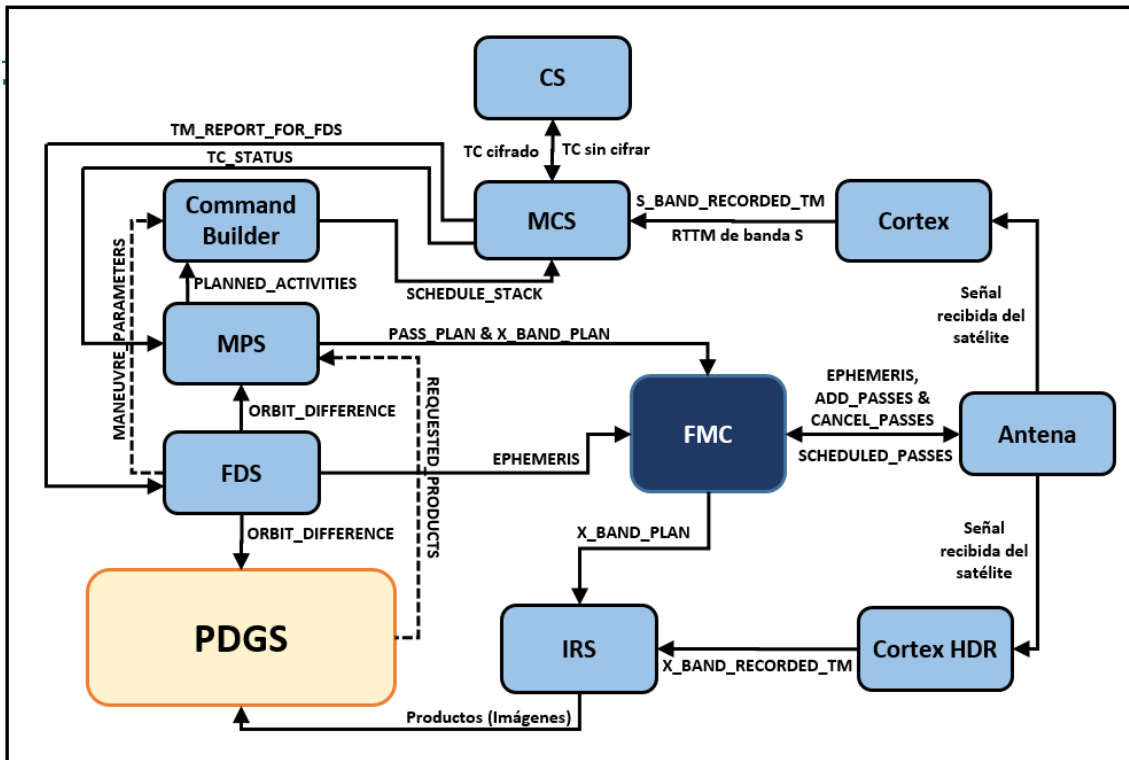
9.9.1 Inputs

- Las peticiones de productos por parte de los clientes.
- Los productos sin descifrar ni procesar desde el IRS.
- Archivo ORBIT_DIFFERENCE desde el FDS.

9.9.2 Outputs

- Archivo REQUESTED_PRODUCTS al MPS, el cual contiene el listado de productos cuyas tomas se solicitan planificar y qué orbita se ha usado de referencia para solicitarlos.

- Los productos (imágenes) a los clientes, ya descifrados y procesados (excepto en el caso de haberse solicitado lo contrario).



Esquema de todos los archivos intercambiados entre los subsistemas

10 Recursos humanos de la misión

Durante la fase operacional se reparte el uso de los distintos subsistemas entre varios equipos de trabajo, cada uno de los cuales tendrá unas tareas determinadas. En una misión espacial hay tareas complejas que requieren de conocimientos técnicos y que, por tanto, solo pueden llevar a cabo un determinado perfil de trabajador especializado que se corresponderá con uno de estos equipos en concreto, sin embargo, hay otras tareas que se pueden repartir entre los equipos de forma indistinta, según consideraciones basadas en las características del segmento terreno, como la carga de trabajo por equipo en cada momento del día de trabajo.

En este apartado se definirán una serie de equipos de trabajo que trabajarán dentro del segmento terreno, enfocados a la operación del satélite y sus instrumentos, los cuales conformarán a su vez el equipo de operación de la misión. Se ha definido cada uno de los equipos con las tareas que le corresponden diferenciadas del resto de equipos, sin embargo, algunos de los trabajadores pueden pertenecer a más de un equipo de trabajo al mismo tiempo, ya que tanto las tareas que llevan a cabo como los conocimientos necesarios para hacerlo son compatibles, siempre y cuando las tareas de estos equipos distintos no se solapen.

10.1.1 Operador de antena

El operador de antena se encarga de los subsistemas intermediarios que conectan el FOS con el satélite, es decir, el Cortex, el HDR y la antena.

Antes de los pases el operador de antena deberá asegurar que tanto la antena como el Cortex y el HDR están bien configurados y preparados para cumplir su función durante los pases.

Durante los pases el operador de antena se encargará de vigilar que todos los pasos en el establecimiento, mantenimiento y cierre de conexión con el satélite, así como el inicio y fin de la grabación de TM se llevan a cabo correctamente y, en caso de detectar algún problema (baja calidad de la señal recibida, fallo en la apertura de puertos, anomalías en la señal transmitida...), determinar de dónde viene el problema y solucionarlo lo antes posible.

Al finalizar el pase el operador de antena observa que la información grabada por el Cortex y el HDR se transmite correctamente a los subsistemas destino, MCS y IRS respectivamente.

El operador de antena también se encarga de la gestión de la reserva de pases en la antena, es decir, de que la antena se programe correctamente al recibir el esquema de futuros pases durante el envío de los archivos correspondientes a la planificación.

10.1.2 SPACON (Spacecraft Controller)

El SPACON tiene como tarea principal encargarse del envío de comandos al satélite, sin embargo, también realiza otras tareas tanto con el MCS como con el IRS y el FMC.

Antes de los pases el SPACON debe preparar el MCS para el contacto con el satélite. Por un lado, debe revisar que el estado del subsistema sea el adecuado, no haya

procesos caídos o que no estén funcionando correctamente en el servidor o en el cliente. Tras esto debe abrir SCOS, aplicación que sirve de interfaz con el satélite, y comprobar que todo está bien configurado para el contacto. Por último, debe preparar los displays que le servirán para consultar la TM de tiempo real durante el contacto y realizar los distintos chequeos del estado del satélite, así como preparar los comandos que se vayan a enviar al satélite durante el contacto.

Durante el pase el SPACON se centrará en las siguientes tareas principalmente, revisar que se establece correctamente el contacto con el satélite, una vez que recibe TM en tiempo real comprueba si el estado del satélite es el esperado y una vez se ha comprobado el estado, comanda los comandos programados para el pase.

Tras los pases el SPACON se encargará de asegurar que se ingeste y procese tanto la TM de banda X, grabada por el HDR, en el IRS, como la TM de banda S, grabada por el CORTEX, en el MCS, comprobando que se generan los productos y reports de TM correspondientes y se envían a los subsistemas de destino.

10.1.3 Operador MPS

El trabajo del operador de MPS se concentra en las horas anteriores a los pases, que es cuando se realiza la planificación que se subirá al satélite durante los pases.

El número de horas de margen con respecto a los pases con los que se hace la planificación dependerá de los servicios ofertados a los clientes, ya que la planificación se tendrá que realizar en un momento que permita tener preparados los comandos a subir antes del contacto con el satélite, pero además, debe permitir que los clientes puedan enviar peticiones de productos de forma cercana a los contactos, permitiendo así mejorar el servicio disminuyendo lo máximo posible los tiempos de entrega de productos.

El número de planificaciones diarias dependerá varios factores, ya que puede requerirse realizar una planificación antes de cada sesión de contactos, en caso de haber nuevas peticiones de productos que se tengan que tomar antes de la siguiente sesión de contactos o en caso de tener que realizar actuaciones sobre el satélite tras la actual sesión de contactos pero antes de la siguiente (por ejemplo realizar una maniobra para minimizar el riesgo tras un aviso de colisión), pero también puede que no sea necesario realizar una planificación en varios días, en caso de que ya se haya subido con anterioridad una planificación que cubra este intervalo de tiempo y no haya que subir nuevas acciones al satélite que interfieran con esta última planificación subida (nuevas tomas de productos, maniobras...).

El operador del MPS, tras recibir los inputs con la información de las acciones que debe realizar el satélite en el intervalo de tiempo que va a planificar (toma de productos, número de contactos del satélite con la estación terrestre, descargas de productos, descarga de TM de banda S, maniobras...), utilizará el MPS para realizar la planificación, asegurando que todas estas acciones están bien programadas y descartando las que no se puedan llevar a cabo debido al solape con otras acciones incompatibles de mayor prioridad. Una vez termina la planificación, la envía a los subsistemas de destino, siendo estos el Command Builder (para convertir la planificación en la secuencia de TCs que se enviarán al satélite) y el FMC, el cual

necesita la información de los contactos y las descargas que se van a llevar a cabo en cada uno.

10.1.4 Operador FDS

En el caso del operador del FDS su trabajo se concentra principalmente tras los segundos pases de la sesión, momento en el que se terminan de enviar reports de la TM de banda S del satélite desde el MCS al FDS. Estos reports contienen información sobre la órbita y actitud del satélite (valores medidos por los star trackers, información del GPS...) durante el tiempo anterior al contacto. Gracias a estos datos y combinándolos con datos obtenidos a través de mediciones terrestres realizadas por distintas agencias se puede determinar con una precisión casi exacta la órbita que ha seguido el satélite y la actitud que ha tenido durante todo el tiempo que no hemos tenido contacto con él.

Una vez conocida la órbita que ha seguido el satélite, el operador realizará la propagación de la órbita que seguirá el satélite y su actitud los próximos días. Esta información es necesaria para calcular los momentos en los que realizará las actividades que se planifiquen en el MPS (cuando serán los próximos contactos con el segmento terreno, en qué momento se tomarán las imágenes SAR para que cumplan las características que se han solicitado...), además de conocer si es necesario realizar algún tipo de acción sobre el satélite (maniobra para mantenerlo en su órbita operacional, reorientación para que tenga la actitud optima operacional...).

Por último, tras la propagación de la órbita y su análisis, el operador envía los ficheros necesarios a los subsistemas que necesiten información del FDS, como el EPHEMERIS a la antena (a través del FMC) para poder orientarse durante los contactos y, en caso de ser necesaria alguna maniobra también el archivo MANEUVRE_PARAMETERS con los valores que deben contener los TCs que ejecutan la maniobra (al Command Builder).

10.1.5 SOE (Spacecraft Operation Engineer)

El SOE es encargado de comprobar el estado y correcto funcionamiento de los subsistemas del satélite a través del análisis de los parámetros contenidos en la TM de banda S, pudiendo detectar o anticipar gracias a este análisis fallos en los subsistemas y permitiendo actuar sobre los mismos corrigiendo estos problemas o impidiendo que lleguen a ocurrir.

Un mismo SOE no se encarga del análisis de todos los subsistemas, sino que los subsistemas se reparten entre el equipo de SOEs, haciendo así que cada SOE se especialice en uno (o varios) subsistemas. Sin embargo, conviene que, a medida que transcurre la misión, los SOEs vayan formándose y rotando en los subsistemas que se encargan de analizar, obteniendo así una visión más global del funcionamiento del satélite y componiendo un equipo más flexible.

Durante los pases, será necesaria la presencia del SOE, ya que es el encargado de analizar los valores de los parámetros recibidos en la RTTM y tomar decisiones en caso de tener que actuar ante una contingencia en el satélite que se pueda resolver en tiempo real, además, será necesaria la asistencia del SOE encargado de un subsistema concreto cuando se requiera el análisis en tiempo real de dicho subsistema, ya sea

porque se ha detectado algún problema en el mismo o porque se quiera actuar sobre él.

El resto de trabajo de análisis de subsistemas del SOE se lleva a cabo fuera de los pases, a través de herramientas que permiten el análisis exhaustivo de los parámetros de cada uno de los subsistemas del satélite.

10.1.6 Analista de misión

A lo largo de una misión satelital surgen distintas situaciones que dan como resultado la necesidad de realizar actuaciones sobre el satélite (caducidad de claves de cifrado, pérdida de contactos, fallos en los subsistemas de a bordo...), el analista de misión es el encargado de analizar la situación en cada momento y decidir qué actividades tienen prioridad sobre otras analizando los riesgos que conlleva el no poder llevarlas a cabo. Para llevar a cabo su trabajo, el analista de misión, además de necesitar la capacidad de tener conocimientos globales tanto del segmento terreno como del segmento espacio, debe coordinarse con el resto de los miembros del equipo de operación para conocer las capacidades del segmento terreno en cada momento y poder analizar correctamente el riesgo de priorizar cada una de las actividades, así como de poder formar un plan de actuación en caso de contingencia.

10.1.7 Administrador de sistemas y seguridad

Es el encargado de la administración de todos los subsistemas del segmento terreno, manteniéndolos actualizados y comprobando su correcto funcionamiento. En caso de ocurrir un fallo en algún subsistema que se haya podido reparar o no, es el encargado de analizar el fallo y, en caso de no poder repararse, reportarlo al fabricante del subsistema para que pueda dar soporte técnico.

Además, es el encargado de la seguridad, tanto en el segmento terreno como en las comunicaciones con el satélite. En el segmento terreno se encarga de la gestión de permisos para los usuarios de los subsistemas, la gestión de permisos de entradas a las distintas salas del segmento terreno y de la configuración de las subredes del segmento terreno, así como del mantenimiento, configuración y análisis de datos de los host bastión que actúan como pasarela entre las distintas subredes. En la comunicación con el satélite es el encargado del subsistema CS, supervisando su correcto funcionamiento durante los pases y encargándose de la gestión de las claves de cifrado del satélite.

10.1.8 Operador PDGS

El operador de PDGS es el encargado de toda la cadena de la carga útil del satélite. Se encarga de la gestión de las peticiones de productos por parte de los clientes, la petición de productos propios con distintos fines (calibración del instrumento, ampliación del catálogo disponible en el archivo...), la supervisión del descifrado, procesado y almacenamiento de los productos, de la calibración del instrumento a través del análisis de los productos y de la distribución de los productos a los clientes.

11 Operando el satélite

Las actividades diarias que se llevan a cabo en el segmento terreno y permiten la operación del satélite, así como el orden y momento en el que se llevan a cabo depende de las características de la misión, siendo un factor clave la cantidad y duración de los contactos que se tiene con el satélite a lo largo del día.

En este caso hay un total de cuatro contactos diarios con el satélite, agrupados en dos sesiones de dos contactos cada una, una nocturna y otra por diurna.

Sesión nocturna	
AOS@5 más temprano del primer pase de la sesión	LOS@5 más temprano del segundo pase de la sesión
01:06:13 UTC (DoC 11)	02:46:03 UTC (DoC 11)
AOS@5 más tardío del primer pase de la sesión	LOS@5 más tardío del segundo pase de la sesión
02:27:18 UTC (DoC 6)	04:07:53 UTC (DoC 6)
Inicio aproximado de la sesión nocturna (1h antes del primer pase): 00:00 - 01:20 UTC	
Fin aproximado de la sesión nocturna (después del segundo pase): 03:00 - 04:20 UTC	
Duración aproximada de la sesión: 3 horas	
Sesión diurna	
AOS@5 más temprano del primer pase de la sesión	LOS@5 más temprano del segundo pase de la sesión
14:00:17 UTC (DoC 6)	15:41:01 UTC (DoC 6)
AOS@5 más tardío del primer pase de la sesión	LOS@5 más tardío del segundo pase de la sesión
15:23:59 UTC (DoC 1)	17:03:25 UTC (DoC 1)
Inicio aproximado de la sesión diurna (1h antes del primer pase): 13:00 UTC - 14:20 UTC	
Fin aproximado de la sesión diurna (después del segundo pase): 16:00 UTC - 17:20 UTC	
Duración aproximada de la sesión: 3 horas	

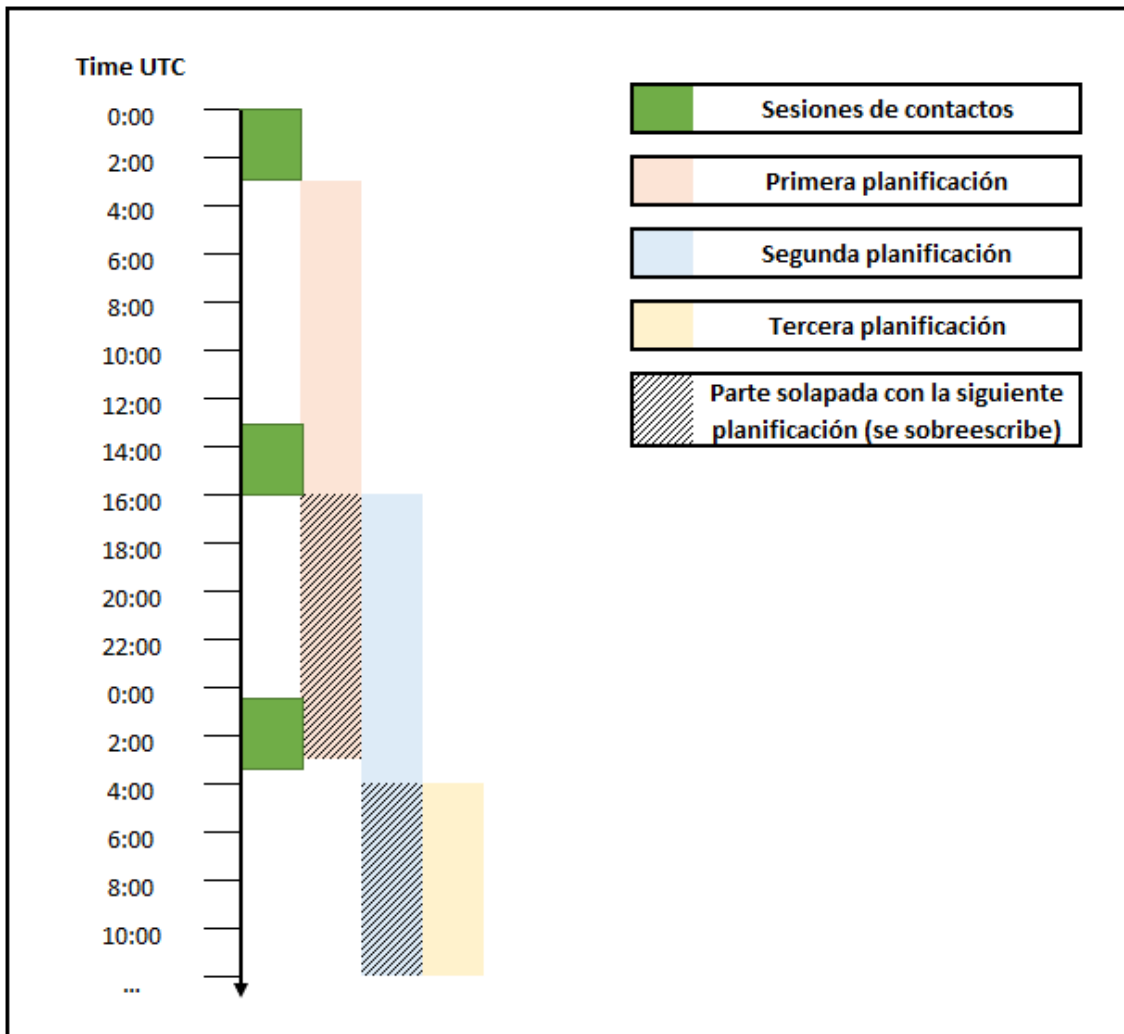
Datos de inicio, fin y duración de las sesiones según la hora de sus contactos

Teniendo en cuenta que la sesión debe comenzar aproximadamente 1 hora antes del primer contacto de la misma, momento en el que se dejan de aceptar peticiones de clientes para la siguiente planificación y se comienza a planificar, y finaliza al terminar el segundo contacto, momento en el cual comienzan las actividades de posteriores al segundo contacto de la sesión, y teniendo en cuenta la variabilidad de las horas de los contactos, ambas sesiones tendrán una duración aproximada de 3 horas, las cuales tendrán hora de inicio y fin, dependiendo del día del ciclo, en un rango de aproximadamente 4 horas y 20 minutos, llevándose a cabo la sesión nocturna entre las 00:00 UTC y las 04:20 UTC y la sesión diurna entre la 13:00 UTC y las 17:20 UTC.

11.1 Actividades dependientes de las sesiones de contactos

La sesión de contactos engloba el momento de los dos contactos que contiene la sesión, así como una serie de actividades que vienen dadas antes y después de los contactos y que dependen completamente de estos contactos.

La separación entre sesiones y cuáles de ellas se utilicen para planificar, enviar y programar actividades en el satélite marca la duración de las planificaciones. En esta misión se enviarán planificaciones al satélite en todas las sesiones, las cuales comenzarán tras el último contacto de la sesión en la que se envíen al satélite y tendrán una duración de 24 horas, teniendo así un solape de unas 12 horas con la planificación anterior, dependiendo de la distancia en tiempo entre sesiones, lo cual asegura que en caso de fallar alguna sesión por anomalía del sistema no se pierde por completo la capacidad de operatividad del satélite.



Esquema de subida de 3 planificaciones al satélite en 3 sesiones consecutivas de contactos

Se pueden agrupar estas actividades según el momento de la sesión en el que se llevan a cabo, clasificándose en las que se llevan a cabo antes, durante y después de los contactos.

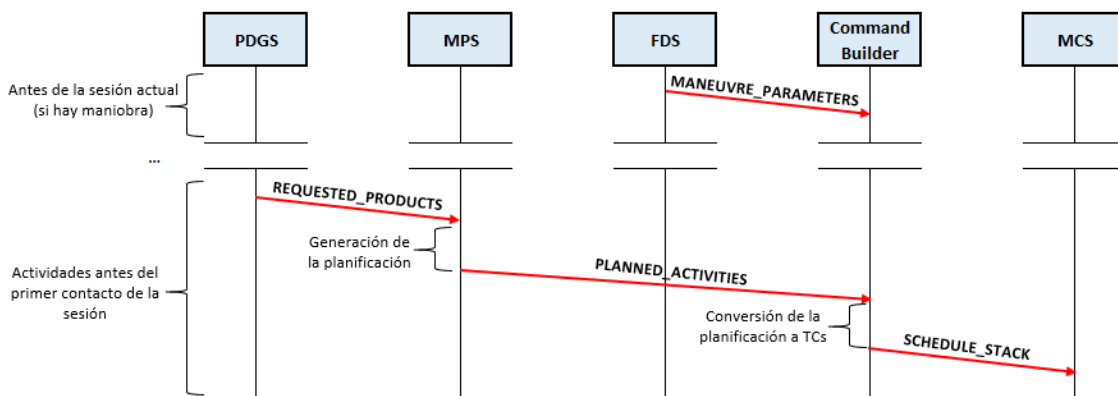
11.1.1 Actividades antes de los contactos.

Las actividades previas a los contactos van enfocadas a preparar los mismos y son las siguientes:

- Recopilación de las peticiones de productos: se genera el fichero REQUESTED_PRODUCTS en PDGS a partir de las peticiones de los clientes

y se envía al MPS. Esto se lleva a cabo aproximadamente dos horas antes de la hora del primer contacto, una vez pasado este tiempo solo se registrarán peticiones de productos cuya toma y descarga se puedan programar en el satélite las siguientes sesiones, es decir, que se lleven a cabo como mínimo 12 horas después de la finalización de la sesión actual.

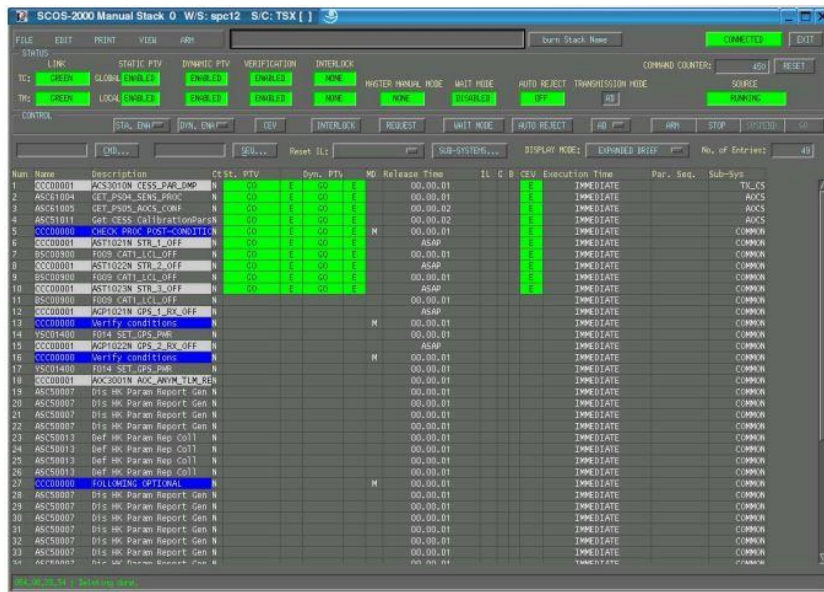
- Generación de la planificación: se genera el archivo `PLANNED_ACTIVITIES` en el MPS, el cual contiene la planificación con las actividades correspondientes. Este archivo se generará tras la recepción del archivo `REQUESTED_PRODUCTS`, el cual generará las actividades correspondientes a la toma y descarga de productos, las cuales tendrá que combinar el operador de MPS con el resto de las actividades que se quieran planificar para las próximas 24 horas en el satélite. Tras su generación, este archivo se enviará al Command Builder.
- Conversión de la planificación a TCs: se genera el archivo `SCHEDULE_STACK` en el Command Builder a partir del archivo `PLANNED_ACTIVITIES`, recibido desde el MPS y, en caso de haber maniobra, el archivo `MANEUVRE_PARAMETERS`, el cual se habrá generado en un cálculo de maniobra realizado con anterioridad a la sesión, nominalmente durante la determinación y propagación de órbita correspondiente a la sesión anterior. El archivo `SCHEDULE_STACK` contendrá todos los comandos que se deben enviar al satélite para poder llevar a cabo todas las actividades planificadas para las próximas 24 horas tras el final de la sesión, estos comandos serán revisados por el SPACON en el MCS, comprobando que la conversión se ha realizado de manera exitosa y no ha saltado ningún error.



Generación y envío de la Planificación al MCS

- Preparación de los subsistemas para el contacto con el satélite: consiste en configurar y comprobar el funcionamiento correcto de todos los subsistemas necesarios para llevar a cabo el contacto (Antena, Cortex/HDR, MCS...) por parte del operador de cada subsistema, así como de preparar las actividades a realizar durante el mismo, las cuales irán variando a lo largo del transcurso de la misión (comandado de la planificación, actualización de claves de

cifrado, resolución de anomalías a bordo...) y cuyo orden de comandado al satélite dependerá de las prioridades indicadas por el analista de misión.



Ejemplo de comandos cargados en un Manual Stack de SCOS 2000 listos para su comandado

11.1.2 Actividades durante el primer contacto de la sesión

Durante el primer contacto se realizan las actividades de mayor prioridad de la sesión de acuerdo con la evaluación realizada por el analista de misión. Aunque la prioridad de las actividades puede variar dependiendo tanto de la cantidad de actividades que haya que realizar, su margen de contactos para ser realizadas, si existe alguna contingencia conocida que resolver y la duración del contacto, la cual es variable, de forma nominal las actividades que se llevarán a cabo de forma nominal en el primer contacto según su prioridad son las siguientes:

- Confirmación del correcto funcionamiento del segmento terreno: debido a la duración de los contactos y la limitación de cobertura con el satélite, es vital asegurar que se llevan a cabo correctamente el mayor número de contactos posibles, por lo que hay que asegurar que toda la cadena de subsistemas que interviene en la realización del contacto funciona correctamente. Para ello, cada uno de los operadores encargados de los distintos subsistemas realizan una serie de comprobaciones a lo largo del contacto y, en caso de detectarse alguna anomalía en el funcionamiento automático de alguno de los subsistemas, deben analizar el problema y resolverlo lo más rápido posible, minimizando las consecuencias que esta anomalía pueda provocar durante el contacto.
- Análisis de salud del satélite: lo primero que se realizará al comenzar a recibir RTTM será analizar una serie de parámetros del satélite que indican su estado de salud, es decir, si el satélite llega al contacto con algún tipo de anomalía o fallo en el sistema. Algunos de estos parámetros se pueden comprobar directamente desde los displays de TM del MCS, sin embargo para realizar un análisis más eficiente de todos los parámetros importantes se recurrirá al uso de scripts en los que se comparará la información contenida

en la RTTM con unas plantillas que indican los valores que debe contener cada parámetro y que, en caso de no contener el valor esperado, puede dar información para analizar el problema y saber si es bloqueante (hay que resolverlo de forma prioritaria durante el pase) o si puede resolverse en otro contacto.

- Prueba de comandado al satélite: tras superar la antena la inclinación adecuada (generalmente 5° debido a no estar permitido radiar a menos inclinación, pero puede ser mayor dependiendo de las condiciones del entorno en el que esté instalada la antena) se abren los puertos de comandado desde el MCS, lo cual hace que el Cortex envíe una señal a la antena la cual empieza a transmitirla al satélite, que indicará a través de unos parámetros de TM cuando y con qué calidad recibe la señal. Una vez esto ocurre lo primero que se hace es probar el comandado, para lo cual se comandan pings a los distintos subsistemas del satélite a los cuales vayan dirigidos los comandos que se enviarán en las actividades planificadas para enviar durante el contacto. Estos pings son TCs que la única acción que originan en el subsistema objetivo es la generación y devolución de un ACK, es decir, un paquete de TM que indica que ha recibido y ejecutado el comando correctamente.
- Comandado de la planificación: de forma nominal, lo primero que habrá que comandar al satélite y, más prioritario, serán los comandos correspondientes a la planificación generada previamente a la sesión, los cuales van contenidos en el archivo SCHEDULE_STACK. Debido a que la nueva planificación nominalmente tiene un solape de 12 horas con la última planificación enviada al satélite, primero se enviará un comando al satélite que borre de su memoria todos los TCs programados durante el intervalo de tiempo de ese solape, esto se hace porque en caso de no realizar este paso, en el satélite quedarían programadas para su ejecución en este intervalo de tiempo las actividades de la planificación anterior y las actividades de la planificación que se enviarán en la sesión actual, las cuales en muchos casos pueden ser incompatibles, provocando el fallo en cadena de su ejecución y poniendo en peligro la integridad del satélite. Tras esto se comandarán al satélite todos los TCs correspondientes a la planificación actual, los cuales contienen todas las actividades que llevará a cabo el satélite en las siguientes 24 horas tras finalizar la sesión actual. El comandado de la planificación es prioritario debido a que, si por falta de tiempo no se consigue comandar en la sesión actual la nueva planificación hasta cubrir la siguiente sesión de contactos, el satélite no tendrá programado ningún contacto futuro, lo que provocará que se pierda la automatización de esos pases al no estar programado el encendido de los transmisores, teniendo que contactar con el satélite a ciegas. Otros problemas derivados de esto es que no estarán programadas las descargas de TM tanto de banda X como de banda S durante el contacto, lo cual puede provocar pérdidas de TM que derivarán en una pérdida de servicio y una menor precisión en la determinación y propagación de órbita, así como la imposibilidad de realizar correctamente de forma completa el análisis de subsistemas del satélite. También, dependiendo de que comandos se hayan

llegado a enviar al satélite y que comandos no, puede provocar inconsistencias en las actividades ejecutadas en el satélite que, en caso de no solucionar a tiempo, pueden poner en peligro su integridad.

- Comandado de actividades menos prioritarias: en caso de haber finalizado correctamente el comandado de la planificación y quedar tiempo de contacto, se podrán comandar otras actividades que tengan menos prioridad, continuando con el orden de prioridad. Algunas de estas actividades que se realizan periódicamente son la subida de claves de cifrado, las cuales suelen tener menor prioridad debido a que se planifica su actualización varias sesiones antes de que caduque la última clave, o el reinicio de algunos parámetros que actúan como contadores de errores o eventos importantes en el satélite, los cuales están limitados y en caso de no reiniciarlos durante demasiado tiempo, alcanzarán su límite y no nos proporcionarán información sobre nuevos errores o eventos.
- Cierre del comandado y finalización del contacto: tras rebasar el LOS@5° (generalmente al alcanzar la antena la inclinación de 5° de manera descendente) se comanda el cierre de puertos de comandado, dando por finalizada la capacidad de enviar TCs al satélite. Tras esto se pueden seguir comprobando distintos parámetros de TM hasta que se pierda por completo la señal generada por el satélite, lo cual ocurre cuando este se oculta por el horizonte, lo cual se conoce como LOS@0°, momento en el que se comanda el cierre de puertos de TM.
- Envío de HKTM para su procesado: tal finalizar el contacto se envía desde el Cortex la HKTM grabada al MCS para ser procesada y, desde el HDR, se envía la TM de banda X grabada durante el pase al IRS, para comenzar su ingestión y la generación de los productos (aún cifrados y sin procesar).

11.1.3 Actividades entre los contactos de la sesión

Entre los contactos de la sesión hay un intervalo de aproximadamente una hora y media. Este tiempo no es suficiente para analizar en profundidad toda la información contenida en la HKTM, por ello las actividades tras el primer contacto están orientadas a realizar un análisis rápido del estado del satélite y preparar la estrategia que se seguirá en el segundo contacto teniendo la información más actualizada del satélite tras el primer contacto. Para realizar este trabajo de forma eficiente y perdiendo el menor tiempo posible, las actividades que se realizan de forma nominal tras el primer contacto son las siguientes:

- Ingestión y procesado de la HKTM de banda S en el MCS: gracias a esto se puede consultar desde el MCS el estado de los parámetros del satélite durante el tiempo que no se ha tenido contacto con el (el tiempo entre sesiones, aproximadamente un intervalo entre 10 y 12 horas), lo que permite realizar un análisis rápido de lo ocurrido en caso de haber algún fallo en el satélite durante el tiempo contenido en la HKTM descargada.
- Ingestión de la TM de banda X en el IRS y generación de productos: tras el contacto se ingesta en el IRS la TM de banda X descargada y grabada en el HDR durante el contacto. Tras ello comienza la generación de productos en

el IRS, los cuales genera a partir de la TM de banda X recibida usando como guía la información de los productos esperados en el contacto, la cual está contenida en el archivo X_BAND_PLAN recibido tras la anterior planificación.

- Envío de HKTM para FDS: en el MCS se genera el archivo TM_REPORT_FOR_FDS, el cual contiene la información de los parámetros referentes a la órbita y actitud del satélite cuya información estaba contenida en la HKTM descargada durante el pase.
- Envío del estado de ejecución de las actividades al MPS: en el MCS se genera el archivo TC_STATUS, el cual contiene información tanto sobre los TCs enviados a bordo en sesiones anteriores como de los comandos que se han planificado para ser enviados en esta sesión. Su estado puede ser no enviado, enviado a la espera de ejecución, ejecutado, ejecución fallida o eliminados de a bordo. Cuando un comando alcanza uno de los estados finales (ejecutado, eliminado o ejecución fallida) se deja de actualizar, por lo que no constará en el próximo TC_STATUS generado.
- Preparación de los subsistemas para el contacto con el satélite: al igual que antes del primer contacto, se vuelven a dejar los subsistemas configurados y preparados para la realización del siguiente contacto.

11.1.4 Actividades durante el segundo contacto de la sesión

Las actividades llevadas a cabo durante el segundo contacto de la sesión son idénticas a las del primer contacto, realizándose nominalmente las que no se hayan podido completar en el primer contacto, por orden de prioridad de acuerdo con la situación tras finalizar el primer contacto (si se ha enviado la planificación hasta cubrir la siguiente sesión, si se han detectado contingencias sobre las que se pueda actuar en este contacto...).

Al finalizar el segundo contacto, de igual manera que al finalizar el primero, se envía la HKTM desde el Cortex al MCS para ser procesada y la TM de banda X desde el HDR hasta el IRS para ser ingestada y generar los productos.

11.1.5 Actividades tras el segundo contacto de la sesión

Tras finalizar el segundo contacto de la sesión, de igual manera que tras finalizar el primero, se generan y envían a PDGS desde el IRS los productos y se generan y envían los archivos TC_STATUS y TM_REPORT_FOR_FDS desde el MCS al MPS y al FDS respectivamente. Además, en el tras el segundo contacto de la sesión se realizan las siguientes tareas:

- Determinación de actitud y órbita: tras recibir los archivos TM_REPORT_FOR_FDS correspondientes a los dos contactos de la sesión, el operador de FDS utiliza la información contenida en estos archivos junto con la información recibida desde fuentes externas (datos de posicionamiento del satélite medidos por observatorios a lo largo de la tierra mediante distintas tecnologías) para realizar las actividades de determinación de actitud y órbita. Tras realizar la determinación de la órbita y actitud que ha tenido el satélite durante las horas transcurridas desde la sesión pasada y la anterior, el operador de FDS analiza las diferencias con la órbita propagada tras la sesión

anterior para analizar la precisión de la propagación. Con ello genera el archivo ORBIT_DIFFERENCE, el cual se envía a PDGS para aumentar la calidad del procesado de productos y al MPS para que calcule el error de la órbita de referencia con la órbita real y lo aplique a la hora de calcular el tiempo de ejecución de cada actividad.

- Propagación de actitud y órbita: una vez se ha determinado la órbita real que ha seguido el satélite y su actitud, se propaga con el objetivo de predecir la actitud y órbita que tendrá en el futuro. Para realizar esta propagación el FDS tiene en cuenta las características de la órbita en la que se encuentra el satélite, aplicando la tasa de error aprendida a partir de las determinaciones orbitales anteriores realizadas durante la misión y las medidas y propagaciones realizadas por agencias externas dedicadas a propagar las órbitas de los satélites con el objetivo de prevenir colisiones entre ellos. La propagación de la actitud y la órbita se hace para los próximos 11 días (ciclo completo), ya que, aunque cuanto más se aleje en el tiempo menos precisa será la propagación debido al error acumulado, es lo suficientemente precisa para dar una aproximación del momento en el que habrá que realizar una maniobra de mantenimiento para evitar que el satélite se salga de su órbita operacional, lo cual permite calcular estas maniobras y ajustarlas con un mayor tiempo de margen.
- Actualización de estado de las actividades: tras recibir el TC_STATUS, el MPS actualiza el estado de todas las actividades planificadas, permitiendo al operador del MPS analizar si se han ejecutado todas de manera exitosa e investigar de manera más profunda los motivos y consecuencias en caso de haber fallado alguna.

11.2 Actividades independientes de las sesiones de contactos

11.2.1 Cálculo de maniobras

Durante la fase operacional se llevan a cabo principalmente dos tipos de maniobras dependiendo de los motivos que provocan la necesidad de la misma: maniobras de mantenimiento de órbita (maintenance manœuvre) y maniobras por aviso de colisión (collision avoidance manœuvre).

Las maniobras de mantenimiento de órbita son maniobras que se llevan a cabo para mantener al satélite en la órbita operacional. Este tipo de maniobras suelen preverse con bastante antelación y suelen calcularse de forma nominal antes de alguna de las determinaciones y propagaciones de actitud y órbita que se realizan al final de las sesiones previas al momento en el que se requiere realizar la maniobra (como tarde en la anterior a la última sesión antes de la maniobra, la cual marca el límite de tiempo en el que hay que subir la maniobra al satélite para que se lleve a cabo) y después de la determinación de actitud y órbita en la que se haya detectado la necesidad de maniobra de mantenimiento. Cuanto más próxima sea la sesión a la maniobra, con más precisión se podrá calcular esta y, por tanto, más tiempo pasará hasta la próxima maniobra de mantenimiento, ahorrando así combustible y alargando la vida del satélite. Sin embargo, cuanto más próximo sea el cálculo de la maniobra al momento en el que hay que

realizarla, menos sesiones habrá de margen para programarla en el satélite y, por tanto, más riesgo habrá de que no se pueda llevar a cabo debido a una contingencia.

Por otro lado, las maniobras debidas a un aviso de colisión dependen por completo del momento en el que se reciba el aviso de colisión y de cuando exista el riesgo de colisión, teniendo que calcularse la maniobra antes de la última sesión anterior al momento de la colisión (sesión límite para programar la maniobra a bordo). Los avisos de colisión de satélites se reciben desde organismos encargados de rastrear todos los objetos en órbita alrededor del planeta, ya sea mediante observaciones desde la tierra como por el caculo de las órbitas recibido de cada uno de los operadores de los satélites. Estos organismos se ponen en contacto con el operador o los operadores de los satélites implicados en la posible colisión cuando la probabilidad de que esta se lleve a cabo supera un límite de riesgo determinado y, a partir de ese momento coordinan a los distintos operadores implicados para que se lleve a cabo la evasión de la colisión de una forma segura. Para poder coordinar correctamente las maniobras, las organizaciones encargadas del colision avoidance necesitan las propagaciones de orbita realizadas por cada operador tras realizar el cálculo de la maniobra y, así, pueden calcular si las maniobras son efectivas para evitar la colisión. Además, ya que la precisión de la futura posición de los satélites es mayor cuanto mas cerca esté el momento en el que se quiere predecir la posición, estas organizaciones continúan rastreando los objetos implicados en el aviso de colisión e informando a los operadores implicados si el riesgo de colisión aumenta o disminuye a medida que se acerca el momento de la posible colisión.

Siempre, sea cual sea el tipo de maniobra, tras su cálculo hay que realizar de nuevo la determinación y propagación de la actitud y órbita, ya que esta afecta a la actitud y órbita del satélite tras llevarse a cabo la maniobra, por lo que los cálculos de determinación y propagación de órbita que incluyan un intervalo tras el momento de ejecución de la maniobra y no la hayan tenido en cuenta para los cálculos, no sirven.

El cálculo de maniobras se lleva a cabo por el operador de FDS.

11.2.2 Ingeniería de subsistemas

Las actividades de ingeniería de subsistemas consisten en el análisis del estado de los distintos subsistemas a través de la interpretación de los datos contenidos en la TM del satélite. Este análisis se realiza a lo largo de toda la vida del satélite, desde el lanzamiento hasta el fin de la operación y se lleva a cabo en paralelo a la propia operación, según se va teniendo disponible la TM.

Las actividades de análisis de los distintos subsistemas pueden darse de forma diaria (normalmente debido a estudio y seguimiento de posibles anomalías detectadas), semanal (lo más habitual), mensual o incluso anual (habitualmente para observar la degradación de los subsistemas por desgaste), según el objetivo que tengan. Algunos ejemplos de estas actividades pueden ser la evolución del gasto de las baterías, observando sus picos más bajos y altos de voltaje y como sus características cambian con el tiempo debido a la degradación, el estudio de las temperaturas alcanzadas por los subsistemas, que puede dar información sobre la degradación del sistema térmico o el estudio del uso del combustible en las maniobras, lo cual sirve para calcular la

esperanza de vida del satélite, ya que es lo que más limita al mismo al ser un recurso finito que (normalmente) no se puede recargar tras el lanzamiento.

Estas actividades, de manera nominal, se pueden llevar a cabo en cualquier momento del día, realizándose habitualmente en horario de oficina, sin tener en cuenta la hora de otras actividades, exceptuando en caso de anomalías del sistema que pueden requerir de un análisis de los subsistemas afectados lo antes posible con el objetivo de solucionarlas o reducir sus consecuencias.

La ingeniería de subsistemas se lleva a cabo por el equipo de SOEs. Normalmente, al principio de la misión, cada SOE se especializa en el estudio de un subsistema (AOCS/GNC, térmico, potencia, instrumento...), sin embargo, a lo largo de la operación puede ir rotando por el resto de los subsistemas, adquiriendo así un conocimiento más amplio del funcionamiento en conjunto y formando un equipo de SOEs más dinámico.

11.2.3 Calibración y validación

Esta actividad consiste en el análisis de los productos obtenidos por el instrumento con el fin de ajustar su configuración para calibrarlo hasta conseguir los resultados esperados con las tomas de datos.

Esta tarea se lleva a cabo por el equipo de PDGS, el cual puede solicitar productos con unas características adecuadas para este fin. La calibración y validación del instrumento se lleva a cabo durante toda la misión, ya que durante la misma se puede habilitar la toma de productos con distintas características y, además, el instrumento puede sufrir cambios por su degradación que requieran un cambio de configuración para lograr realizar correctamente las tomas de datos a partir de los cuales se obtendrán las imágenes.

11.2.4 Administración de equipos

Las tareas de administración de equipos consisten en el mantenimiento y actualización del hardware y software de todos los sistemas que forman parte del segmento terreno, tanto de los subsistemas orientados a la operación (clientes y servidores) como los que permiten la conexión y acceso a estos (redes, subredes, dispositivos de accesos a salas...).

Estas tareas las realiza el administrador de sistemas y se realizan en cualquier momento de su jornada laboral en el que no se esté haciendo uso del sistema o dispositivo que se va a intervenir, por ejemplo, las de MCS se realizan fuera de las sesiones, mientras que las de MPS se pueden realizar durante las sesiones, siempre y cuando ya hayan terminado las tareas de planificación.

11.2.5 Simulación de actividades

A lo largo de la operación se van desarrollando distintos procedimientos y añadiendo nuevas características a los subsistemas debido a la instalación de parches de software (segmento terreno y espacio) o a la actualización de nuevo hardware (segmento terreno).

Todos estos procedimientos en ocasiones se pueden probar en los propios subsistemas operacionales, habitualmente en los redundantes, sin embargo, en

ocasiones probarlos en la plataforma operacional es un riesgo (por ejemplo, un nuevo procedimiento a ejecutar en el satélite), para lo cual se utiliza una plataforma de pruebas, la cual habitualmente consta de un simulador del propio satélite conectado a equipos redundantes del MCS.

Estas simulaciones se llevan a cabo por los operadores de los subsistemas implicados, con el apoyo de los administradores de equipos, que se encargaran de configurar el entorno de simulación y adaptarlo a la realidad. Al igual que en la administración de los equipos, las simulaciones se pueden llevar a cabo en cualquier momento, siempre y cuando los equipos en los que se realizan no se estén utilizando para otras tareas operacionales.

12 Conclusión

El diseño del segmento terreno, el funcionamiento y las características de sus subsistemas y las actividades diarias que se llevan a cabo en él durante la operación de un satélite dependen de las características del propio satélite, el tipo de órbita y los objetivos de la misión. El satélite presentado como ejemplo presentado en este trabajo de fin de grado está orientado a dar servicio a un solo satélite con una única carga útil, la toma de imágenes por radar SAR, siendo, además, el único punto de contacto del satélite con la tierra.

Con el segmento terreno diseñado se han conseguido cubrir las necesidades de la misión, explicando las características del satélite acorde al cumplimiento de sus objetivos y diferenciando en el diseño del segmento terreno las características que tiene que cumplir de forma general como las partes del diseño que se han orientado de esta forma para cubrir necesidades particulares de la operación.

13 Líneas futuras

Como continuación de este trabajo de fin de grado se propone la ampliación del diseño de segmento terreno propuesto para incluir las siguientes características:

- Ampliar el número de satélites al que se puede dar servicio, teniendo que gestionar el reparto de recursos para cada uno de ellos.
- Ampliar la cobertura mediante el uso de estaciones externas, tanto activas (capacidad de recepción de TM y de comandado) como pasivas (capacidad de recepción de TM), describiendo los cambios necesarios en los subsistemas del segmento terreno presentado para hacer esto posible.

14 Acrónimos

A

AOCS Attitude and Orbit Control System

C

CS Cryptographic System

CSA/ASC Canadian Space Agency / Agence Spatiale Canadienne

E

ECC Eccentricity

EPS Electrical Power System

ESA European Space Agency

F

FDS Flight Dynamics System

FMC FOS Monitoring and Control

FOS Flight Operation Segment

G

G/S Ground Station

GEO Geosynchronous Equatorial Orbit

GLONASS Global Navigation Satellite System

GNC Guidance, Navigation and Control

GPS Global Positioning System

H

HDR High Data rate Receiver

HEO High Earth Orbit

HKTM Housekeeping Telemetry

I

IK Image Key

IRS	Ingestion and Routing System
ISS	International Space Station
J	
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
L	
LEO	Low Earth Orbit
LTA	Long Term Archive
M	
MCS	Mission Control System
MEO	Medium Earth Orbit
MPS	Mission Planning System
N	
NASA	National Aeronautics and Space Administration
O	
OBDH	On-board Data Handling
OBSW	On-board Software
P	
PDGS	Payload Data Ground Segment
PS	Propulsion System
R	
RAID	Redundant Array of Independent Disks
RTTC	Real Time Telecommand
RTTM	Real Time Telemetry
S	
SAR	Synthetic Aperture Radar

SK	S-band Key
SMA	Semi-Major Axis
SMK	S-band Master Key
SOE	Spacecraft Operation Engineer
SPACON	Spacecraft Controller

T

TC	Telecommand
TCS	Thermal Control System
TLE	Two-line Element set
TM	Telemetry
TTC	Telemetry, Tracking and Command
TTTC	Time Tagged Telecommand

15 Bibliografía

<https://elib.dlr.de>

<https://www.dlr.de>

<https://www.nasa.gov>

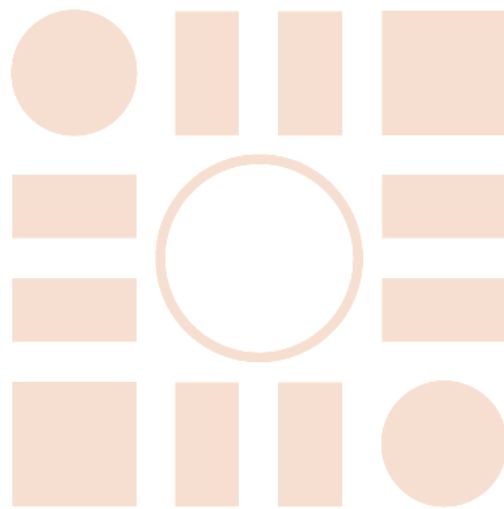
<https://www.esa.int>

<https://www.satellitetoday.com>

<https://es.wikipedia.org>

Spacecraft Operations – Thomas Uhlig (Redactor), Florian Sellmaier (Redactor),
Michael Schmidhuber (Redactor)

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá