# Ingeniería de Sistemas Espaciales

# Aplicado a una misión CanSat

Introducción a la Ingeniería de Sistemas Espaciales.





#### **Objetivos:**

- Describir las actividades principales que comprenden el marco de la ingeniería de sistemas espaciales: diseño, gestión,
   realización.
- Aplicar los procesos de la ingeniería de sistemas espaciales a los desafíos del desarrollo de sistemas espaciales.
- Presentar los aspectos importantes de la administración de una misión para llevarla al éxito.

- Describir algunos principios básicos de la administración de un equipo así como algunas herramientas y técnicas de control.
- Describir las tareas principales de las operaciones satelitales.
- Explicar y proporcionar ejemplos de la operación de sistemas espaciales usados en la actualidad.
- Describir el documento del concepto de operaciones y caracterizar las operaciones de la misión claves que contiene.

#### Ingeniería de Sistemas

- Diseño del Sistema

   Definición de requisitos
   Definición de la Solución
- Implementación del producto

   Implementación del Diseño
   Evaluación
  - -Transición de Producto
- Administración Técnica
  - -Planeación Técnica
  - -Control Técnico
  - -Valoración Técnica
  - -Análisis de Decisiones Técnicas

- Planeación
- Administración de Riesgos
- Administración de la Configuración
- Administracion de Datos
- Valoración
- Análisis de Decisión

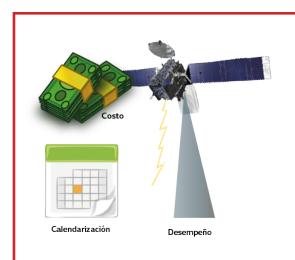
#### **Control de Proyectos**

- Administración de la Planeación
- Valoración de la integración
- Administración de la Calendarización
- Administración de Recursos
- Administración de Documentación e Información
- Administración de las Adquisiciones.





Tareas principales de la misión.



#### Ingeniería de sistemas.

Representa el proceso de balance entre costo, tiempo, desempeño en conjunto con el riesgo involucrado, para entregar las capacidades que los usuarios requieren. La Ingeniería de sistemas consiste en diseñar, construir y gestionar los esfuerzos técnicos para la realización de un proyecto. Esto es:

**Administración de la misión:** liderar y gestionar los esfuerzos totales de principio a fin.

*Operaciones espaciales*: planear y conducir la misión para entregar servicios a los usuarios.



Administración de la misión. Dirige al equipo para entregar en tiempo y bajo el presupuesto establecido.



### Operaciones espaciales.

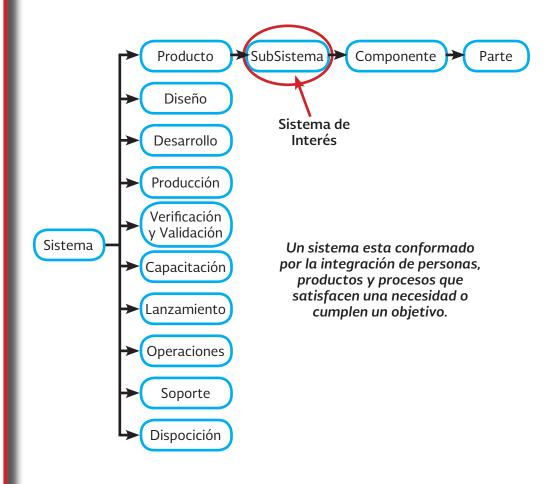
La operación de sistemas satelitales, la resolución de anomalías y mantenimiento en funciones de todo el sistema se realiza 24 horas al día, los 365 días del año.



#### ¿Qué es un sistema?

El termino sistema puede referirse a todo lo necesario para entregar una capacidad a un usuario:

- Se puede definir a un sistema como un objeto complejo que interactúa y/o se relaciona con componentes, entornos u otros sistemas. Conjuga un conjunto de elementos que siguen reglas y procedimientos con un fin en particular.
- Un subsistema consiste de un sistema embebido dentro de un sistema mayor, es decir, nos permite dividir a un sistema de determinada complejidad en partes más manejables, las cuales se caracterizan por tener un propósito, límites bien definidos, interfaces de interacción con otros subsistemas, componentes que lo conforman y recursos (para el caso de sistemas CanSat y de sistemas espaciales en general, se habla de recursos energéticos, de información, dimensiones y masa principalmente).







### Estructura de la Ingeniería de Sistemas.

La ingeniería de sistemas constituye un marco de actividades interrelacionadas que comprende el diseño, la administración y la realización de sistemas.

Durante las actividades de diseño capturamos las expectativas de alto nivel de los interesados, después las descomponemos en una definición detallada del sistema listo para construirse.

Durante la fase de realización trasformamos ese sistema en hardware y software real mediante:

- Comprando, construyendo y reutilizando componentes.
- Ensamblando, integrando y probando sistemas.
- Entregando capacidades a los usuarios.

Realizando un balance de lo anterior, un ingeniero en sistemas debe administrar las entradas y salidas como:

- Requisitos y riesgos.
- Interfaces, configuraciones y datos técnicos.



#### Diseño Detallado

La ingeniería de sistemas consiste de un marco de actividades altamente relacionadas, dirigidas a convertir las necesidades del cliente en capacidades reales.

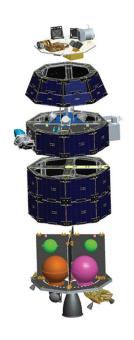


### Estructura de la Ingeniería de Sistemas.

El proceso de ingeniería de sistemas consiste de un balance constante entre el costo, tiempo y desempeño de una misión y el programa de riesgos.







# El arte de la ingeniería de sistemas.

Consiste en entender como todas las piezas individuales se ensamblan para formar una imagen mayor, es decir, el sistema completo.

### El arte de la ingeniería de sistemas.

Una ingeniería de sistemas efectiva depende de:

### Liderazgo técnico:

Es el arte de la ingeniería de sistemas. Se centra en el diseño técnico del sistema y en la integridad técnica durante todo el ciclo de vida del mismo.

#### Gestión de sistemas:

Es la ciencia de la ingeniería de sistemas. Se concentra en administrar la complejidad asociada con tener múltiples disciplinas técnicas, múltiples organizaciones y cientos o miles de personas dedicadas a una actividad altamente técnica.



# La ciencia de ingeniería de sistemas.

Consiste en gestionar todos los detalles para que cada pieza del sistema se mantenga en sincronía.



#### Diseño de sistemas espaciales.

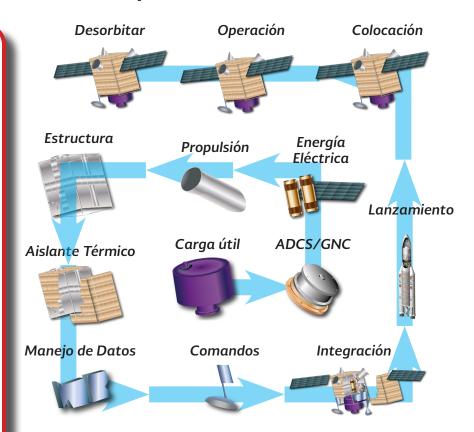
Primeramente se deben definir las expectativas de los interesados y de aquí el alcance de la misión:

- Necesidades.
- Metas y objetivos.
- · Conceptos de operación.

Para diseñar el sistema se debe:

- Revisar las limitantes en la arquitectura de la misión (vehículo de lanzamiento, orbita, operaciones, etc.).
- Identificar y caracterizar el tema de la misión. Con qué interactúa la carga útil.
- Derivar los requerimientos de la carga útil.
- Derivar los requerimientos orbitales.
- Determinar la masa de la nave espacial, la potencia y otros detalles de los requisitos de diseño.
- Identificar vehículos de lanzamiento potenciales.
- Derivar los requisitos operacionales del sistema.

Al final se debe iterar todo el proceso tantas veces como sea necesario.



#### Diseño de una nave espacial.

El proceso de diseño de una misión espacial comienza al entender los requerimientos de la carga útil para cumplir con la misión. Posteriormente cada subsistema de la nave debe ser diseñado con criterios que afectan a los demás subsistemas. Se requiere de varias iteraciones para convergir en un buen diseño.



#### Proceso del Ciclo de Vida del Sistema.

El Ciclo de Vida del Desarrollo de Sistemas (SLCP ó System Life Cycle Process por sus siglas en inglés) es una metodología de sistemas usada para facilitar el desarrollo de los sistemas de información. Además, el SLCP ayuda a los gestores de proyecto con la planificación del desarrollo y la puesta en marcha de un sistema que reúna los requisitos del usuario, y que sea completado a tiempo y dentro de los límites del presupuesto.

Con el SLCP, un administrador de proyecto y el ingeniero de sistemas gestionan de forma efectiva las tareas y detalles de un proyecto, y comunican las fechas objetivo importantes a las personas involucradas en el proyecto. Las fases del SLCP son la planificación conceptual, la definición de requisitos, el

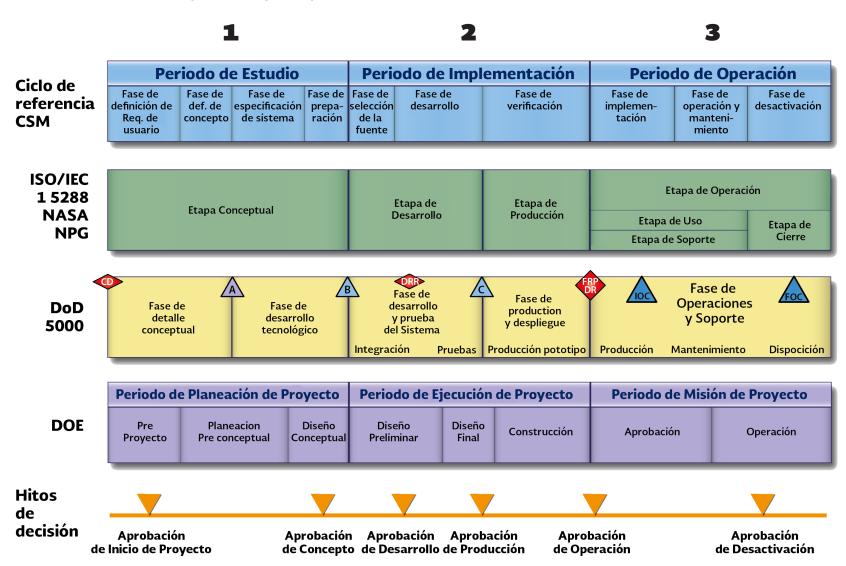
diseño, el desarrollo y las pruebas, la puesta en marcha, las operaciones y mantenimiento, así como la disposición al final de la vida útil.

"Con el concepto de ciclo de vida es posible mirar los procesos, en el contexto de sus inicios, maduración y etapas finales de evolución y crecimiento. La comprensión y el análisis de los procesos ayudan a entender cómo encajan en un "sistema" los mismos, así como la forma en que cambian mientras un proceso madura dentro de una organización".

La siguiente figura muestra el proceso de ciclo de vida de un sistema conforme a las especificaciones de diferentes instancias y agencias espaciales del mundo como la ESA, NASA y el Departamento de Defensa (DoD) de los Estados Unidos.



Se contemplan tres fases fundamentales:





#### Proceso del Ciclo de Vida del Sistema.

Ciclo de vida de un proyecto espacial conforme al estándar de la NASA. Se divide al proyecto en dos grandes fases:

La fase de formulación, que contempla tres fases a su vez: la pre-fase A o estudios conceptuales de la misión, la fase A o desarrollo del concepto y de la tecnología y la fase B que contempla el diseño preliminar y la culminación de la tecnología requerida.

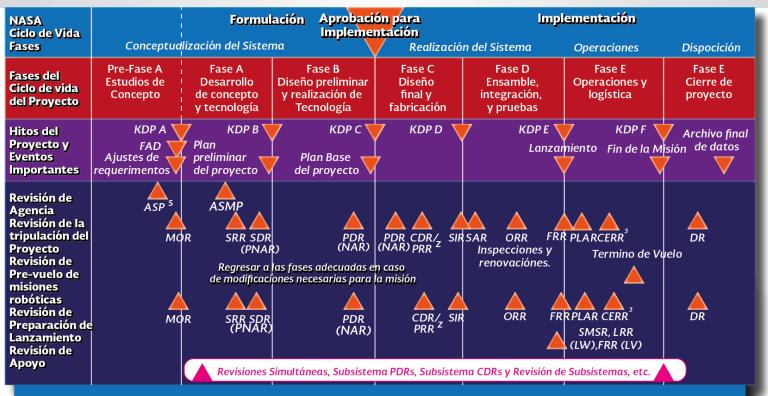
La fase de implementación, que contempla 4 fases: la fase C o de diseño final e inicio de la fabricación, la fase D o ensamblado del sistema, integración, pruebas y lanzamiento, la fase E o mantenimiento e inicio de operaciones, y la fase F o cierres y disposición de la misión.

NASA Ciclo de Vida	Formulación Aprobaci Impleme			ión para Implementación ntación			
Fases	Conceptud	ización del Sisten			n del Sistema	Operaciones	Dispocición
Fases del Ciclo de vida del Proyecto	Pre-Fase A Estudios de Concepto	Fase A Desarrollo de concepto y tecnología	Fase B Diseño preliminar y realización de Tecnología	Fase C Diseño final y fabricación	Fase D Ensamble, integración, y pruebas	Fase E Operaciones y logística	Fase E Cierre de proyecto
Hitos del Proyecto y Eventos Importantes	KDP A FAD Ajustes de requerimentos	KDP B Plan preliminar del proyecto	KDP C Plan Base del proyecto	KDP D	KDP E Lanzar	KDP F niento Fin de la M	Archivo final isión de datos
Revisión de Agencia Revisión de la tripulación del Proyecto Revisión de Pre-vuelo de misiones robóticas Revisión de Preparación de Lanzamiento Revisión de Apoyo	ASP S MO	ASMP  SRR SDR (PNAF  Regresar a de modificaci  SRR SDR (PNAR)	PDR.	la misión CDR/ SIR PRR <sup>Z</sup>	renovaciónes.  ORR FR	PLARCERR <sup>3</sup> Termino de Vo	DR Jelo DR









Reuniones de planeación estrategica para las adquisiciones ASP-(Acquisition strategy planning meeting) Reuniones para la estrategia de adquisiciones ASM-Acquisition strategy meeting Revisión crítica del diseño CDR-Critical design review Revisión critica de la preparación de eventos CERR-Critical events readiness review Revisión de dispocición DR-Decommisioning review Elaboración de formato de autorización **FAD-Formulation authorization document** Revisión de preparación de vuelo FRR-Flight readiness review KDP-Key decision point Punto clave de decisión Revisión de preparación de lanzamiento LRR-Launch readiness review Revisión del concepto de la misión MCR-Mission concept review Revisión de la definición de la misión MDR-Mission definition review Revisión de personal externo al proyecto NAR-Non-advocate review Revisión de la preparación operacional **ORR-Operational readines review** Revisión preliminar del diseño PDR-Preliminary design review Revisión de la evaluación post-vuelo PFAR-Post-flight assessment review Revisión de la evaluación post-lanzamiento PLAR-Post-launch assessment review Revisión preliminar de personal externo al proyecto PNAR-Preliminary non-advocate review Revisión de la preparación para la realización PRR-Production readiness review Revisión de aceptación del sistema SAR-System acceptance review Revisión de la definición del sistema SDR- System definition review Revisión de Integración del sistema SIR-System integration review Revisión crítica de la seguridad y éxito de la misión SMSR-Safety and mission success review Revisión de los requisitos del sistema SRR-System requirements review

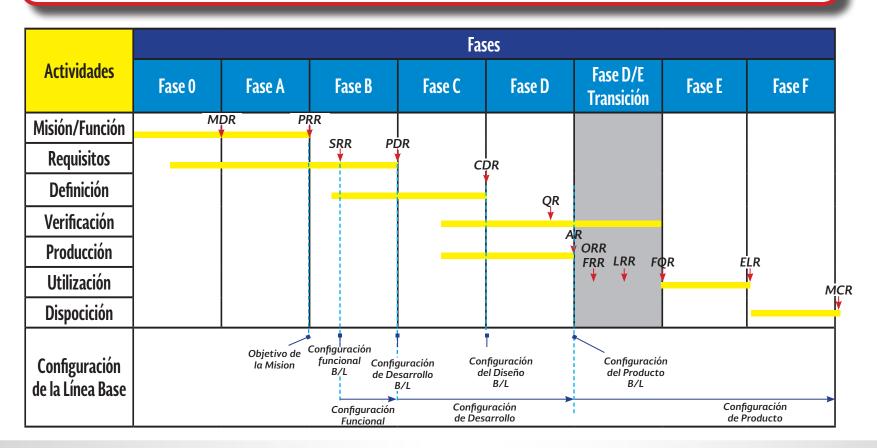






#### Proceso del Ciclo de Vida del Sistema.

Ciclo de vida de un proyecto espacial conforme al estándar de la ESA (Agencia Espacial Europea). Es un ciclo de vida semejante el implementado por la NASA, con 7 fases y actividades muy bien establecidas. En la figura se marcan las revisiones que determinan la culminación de una fase para entrar a la siguiente.









#### Proceso del Ciclo de Vida del Sistema.

En general una misión de corte espacial pasa por las siguientes fases y/o etapas:

### Planificación conceptual

La planificación conceptual es la primera fase del ciclo de vida del desarrollo de cualquier sistema. En esta fase, las personas importantes que participan en el proyecto o interesados definen el sistema propuesto y determinan el alcance del proyecto. Además, se determinan las limitaciones de factores como los recursos, presupuesto y tiempo.

#### Definición de requisitos

La siguiente fase es la de la definición de requisitos. Después de que los interesados establezcan el alcance del proyecto, los especialistas del proyecto trabajan con los usuarios finales para definir los requisitos del sistema (aplicaciones, de negocio, servicios, etc.). Cuando los especialistas del proyecto recogen todos los requisitos, se reúnen de nuevo con los usuarios finales para verificar los requisitos y conseguir la validación por parte de los usuarios.

#### Diseño

En la fase del diseño, los especialistas del proyecto transforman los requerimientos en requisitos técnicos. Inicialmente, los desarrolladores crean un diseño técnico preliminar para tratar todos los requisitos de negocio, de aplicación, de servicios, etc. del sistema, establecidos en la fase de definición de requisitos.

Cuando el diseño preliminar ha terminado, los desarrolladores hacen un diseño técnico detallado, que define todas las funciones técnicas necesarias para implementar el sistema.

#### Desarrollo y pruebas

En la fase de desarrollo y pruebas, los desarrolladores comienzan a desarrollar el proyecto actual. Esto incluye creación de software, hardware y toda la arquitectura adecuada que requiera el sistema.

Las pruebas empiezan después de terminar la construcción de todos los componentes. Además, los analistas que aseguran la calidad verifican que el sistema reúna los requisitos de negocio usando un plan de pruebas detallado.



#### Puesta en marcha

Durante la puesta en marcha, se arranca y distribuye el nuevo sistema a todos los usuarios finales, para que puedan empezar a utilizarlo. Además, los especialistas proporcionan la documentación del sistema a los usuarios finales, donde se detalla cómo usar el sistema. La capacitación también es una parte importante de la fase de puesta en marcha. Las sesiones de capacitación deberían ser planteadas para cada grupo de usuarios, de tal manera que se puedan beneficiar del sistema más adelante.

#### Operaciones y mantenimiento

En la fase de operaciones y mantenimiento, el nuevo sistema pasa a modo de operación total. Los diseñadores y desarrolladores controlan el sistema para asegurar que el éste reúna los requisitos de negocio pedidos. Además, el personal de operación realiza mantenimiento periódico en el sistema para asegurar que el sistema sigue funcionando como se espera. El equipo de soporte también proporciona asistencia para el sistema y resuelve los problemas que pueden presentarse.

### Disposición

La fase de disposición ocurre al final del ciclo de vida del sistema. Cuando un sistema ha completado su tiempo de vida y se retira, esta fase proporciona una serie de pasos sistemáticos para finalizar el sistema. Realizar esta fase asegura que la información vital se mantenga para los proyectos futuros o las necesidades tanto del sistema como de los usuarios. Además, la correcta disposición del sistema es necesaria par asegurar que los componentes, datos, software y hardware se disponen de forma adecuada y según las normas de la compañía.





# Realización del sistema: adquirir e integrar.

Las principales etapas para la realización del sistema espacial son:

- Adquirir.
- Comprar, construir, reutilizar.
- Ensamblar, integrar: unir todas las piezas.
- · Verificación y validación.
  - 1. Verificación: responde a la pregunta, ¿se construyó el sistema correctamente?
  - 2. Validación: ¿se construyó el sistema correcto?

Un principio para las pruebas de sistemas espaciales dice: "pruébalo como si fueras a volar en él y vuélalo tan bien como lo probaste".



Integración final y pruebas ambientales. En el video se muestra el proceso de integración y pruebas ambientales para un satélite de comunicaciones fabricado por la compañía Air Bus Defense and Space.





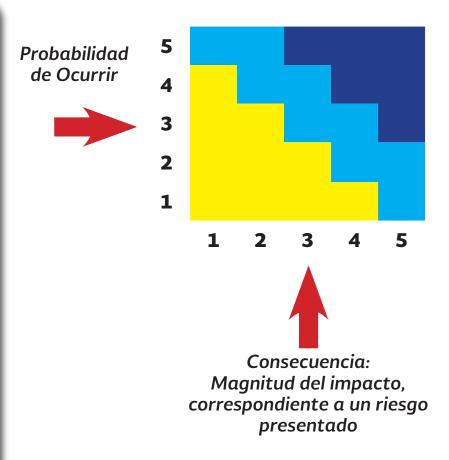
#### Administración del sistema: riesgos.

Los riesgos se definen en dos dimensiones, probabilidad de ocurrencia y consecuencia. El manejo de los riesgos técnicos nos ayuda a:

- Identificar riesgos mientras aún hay tiempo de reaccionar (antes de que sucedan).
- Establecer una estrategia de mitigación para minimizarlos o eliminarlos.

Las fuentes de riesgos en el proyecto incluyen:

- Tareas técnicas o costos estimados pobremente planeados.
- Requerimientos e interfaces pobremente definidos.
- Tecnología no lo suficientemente madura (por ejemplo TRL –technology readiness levelbajo).
- Planeación de proyecto no realista o recursos inadecuados.
- Nivel de habilidades de la fuerza de trabajo inadecuado.



#### Tabla de riesgos.

La tabla de riesgos nos ayuda a categorizar los riesgos del proyecto.

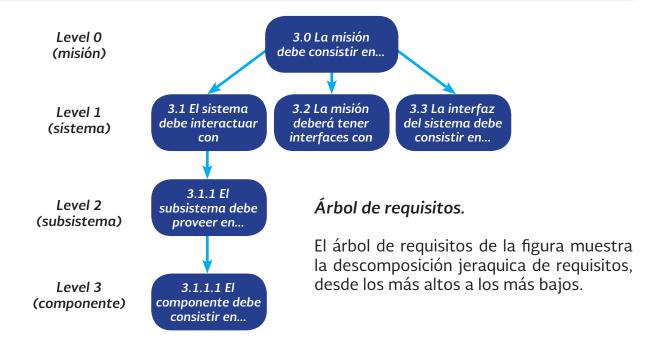


### Gestión de requisitos.

Una gestión de requisitos consiste de lo siguiente:

- Un requisitos es una "declaración que deber ser verificable".
- Los requisitos abordan dos aspectos, las características (lo que debe ser el sistema) así como sus capacidades (lo que el sistema debe hacer).
- Implica el cómo manejar la jerarquía de los requisitos, su rastreabilidad y sus cambios.

Los requisitos dictan la forma, ajuste y función que el diseño del sistema debe satisfacer.









Administración del sistema: interfaces.

La administración de interfaces consiste de:

Una gran cantidad de interfaces en un sistema:

- mecánicas
- eléctricas
- térmicas
- de fluidos
- etc.

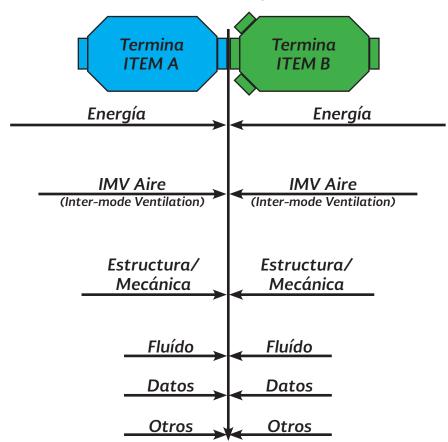
Es importante determinar como las piezas de una sección/etapa se conectan con la otra.

Muchos sistemas tienden a fallar en alguna de sus interfaces, por la tanto la administración de interfaces es un enfoque clave dentro de la ingeniería de sistemas.

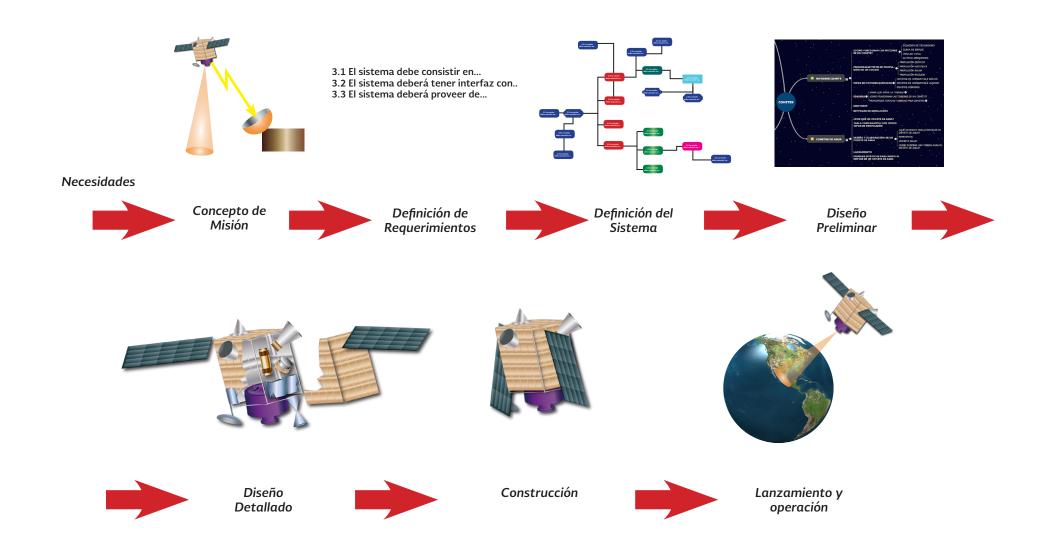
#### Plano de interfaces.

Los sistemas pueden tener interfaces de maneras muy variadas.

#### Plano de interfaces.









#### Pensando en todo el sistema.

Cualquier misión espacial se debe conceptualizar como un todo, pues ocurre que los diseñadores que se centran más en un subsistema pierden la vista de todo el sistema en su conjunto.

La ingeniería de sistemas es una de tres tareas principales necesarias para desarrollar y sostener misiones espaciales:

 Un sistema es un conjunto compuesto de personas, productos, y procesos que proveen la capacidad de satisfacer una necesidad establecida u objetivo.

Por otra parte, la ingeniería de sistemas es una estructura de actividades interrelacionadas que se extienden sobre el diseño, administración y realización de sistemas:

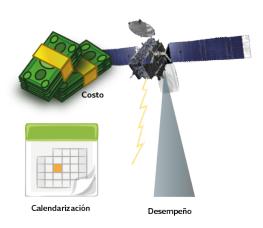
- La ingeniería de sistemas depende tanto de liderazgo técnico (el arte) y de la administración de sistemas (la ciencia). El universo de la ingeniería de sistemas tiene 4 dimensiones: costo, calendarización, rendimiento y riesgos.
- El diseño comienza con el alcance de la misión e itera hasta converger en una definición detallada del sistema que es posible construir.

- La realización incluye comprar, construir o reutilizar las piezas que conforman el sistema, después ensamblarlas e integrarlas. Incluye tanto las etapas de verificación y validación.
- La administración de riesgos, requisitos e interfaces.
- Durante el ciclo de vida de la misión, un proyecto pasa a través de un número de líneas de base técnicas conforme madura.





Tareas principales de la misión.



### Ingeniería de sistemas.

Representa el proceso de balance entre costo, tiempo, desempeño en conjunto con el riesgo involucrado, para entregar las capacidades que los usuarios requieren. Sabemos ya que la ingeniería de sistemas consiste en: diseñar construir y gestionar los esfuerzos técnicos.

En el caso de la administración de la misión, esta consiste en liderar y gestionar los esfuerzos totales de principio a fin. Por otra parte, las operaciones espaciales consisten en planear y conducir la misión para entregar servicios a los usuarios.



Administración de la misión. Dirige al equipo para entregar en tiempo y bajo el presupuesto establecido.



### Operaciones espaciales.

La operación de sistemas satelitales, la resolución de anomalías y mantenimiento en funciones de todo el sistema se realiza 24 horas al día, los 365 días del año.



### Tareas principales de la misión.



La administración de la misión trata con equipos de trabajo y el control de proyectos, a fin de que todas las piezas encajen perfectamente. Las tareas de administración de la misión se concentran en:

Gestión de equipos de trabajo.

Establecer una comunicación de equipo efectiva junto con procesos de toma de decisión.

#### Control de proyecto:

Consiste en las herramientas necesarias para comenzar la misión y continuar avanzando conforme al calendario y dentro del presupuesto.

El principal trabajo del administrador de la misión es entregar las capacidades necesarias a tiempo dentro del presupuesto y con un riesgo aceptable.



Control del proyecto: WBS.

Una herramienta útil para definir y controlar el trabajo del proyecto es una estructura de descomposición del trabajo (WBS).

Un WBS divide el proyecto en partes más manejables:

En un WBS las partes pueden ser utilizadas para determinar los recursos requeridos (personal y capital) así como el tiempo necesario para completar cada actividad.



Ejemplo de WBS para un proyecto espacial. Un WBS nos permite, de una manera sistemática, dividir un proyecto completo en una serie de tareas principales., subtareas, etc., hasta que se ha definido el alcance del proyecto a detalle. Dependiendo de la organización, se trabaja con un formato de WBS determinado.

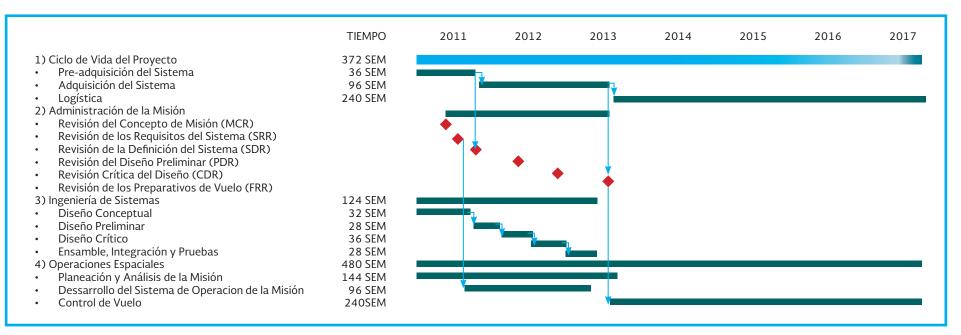


#### Calendarización.

El calendario maestro integrado (CMI) sirve de plan principal sobre como las tareas del proyecto deben ser organizadas y ejecutadas.

Los calendarios típicos utilizan un modelo de red como un diagrama de Gantt para capturar las relaciones entre los elementos de la WBS.

El calendario también es utilizado para determinar los recursos requeridos (personas y capital) así como el tiempo necesario para cada tarea.



Calendario ejemplo del desarrollo de una misión espacial



Documentos clave.

#### Ingeniería de sistemas:

- Requisitos de la misión.
- Documento de requisitos del sistema (SRD System Requirements Document-).
- Plan de verificación maestro (también llamado plan de pruebas y evaluación maestro).
- Plan de administración de ingeniería de sistemas (SEMP –Systems Engineering Management Plan-) o Plan de Ingeniería de Sistemas (SEP –Systems Engineering Plan-).
- Plan de análisis de sistemas.
- Plan de seguridad y garantía de la misión.
- Documento de Control de Interfaces Externas (ICD –Interface Control Document-).

#### Administración de la misión:

- Documento del alcance de la misión.
- Plan de administración y adquisición de la misión.
- · Calendario maestro integrado.
- Plan de administración de software.
- Operaciones espaciales:
- · Conceptos operacionales.
- Requisitos del sistema en tierra.
- Requisitos operacionales de la misión.
- Plan de soporte.



### Revisiones y métricas.

La métrica del proyecto nos dice "como va" el proyecto. La administración del valor ganado (AVG) es una métrica altamente utilizada en proyectos.

Las revisiones técnicas preceden a puntos de decisiones claves del proyecto (hitos). Se busca responder a las siguientes preguntas:

¿Han sido bien ejecutadas estas acciones en el proyecto precedente?

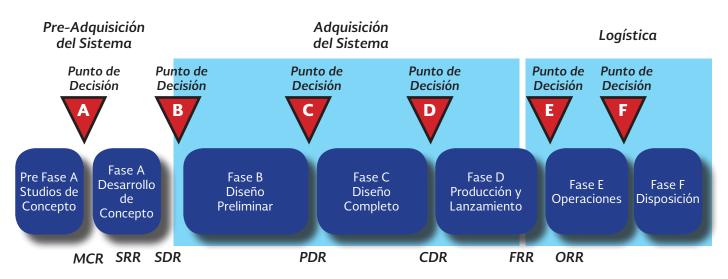
¿Se deber continuar con el proyecto?

¿Son las acciones propuestas, los recursos y el financiamiento, suficientes para ejecutar el siguiente paso de manera satisfactoria?

El propósito de cada revisión formal es el mismo:

Un entendimiento compartido del estado del proyecto con todo el equipo del proyecto.

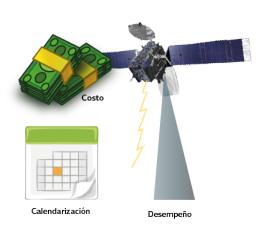
Una decisión clara (continuar o no) sobre cómo proceder a la siguiente etapa del proyecto.



Las métricas ayudan a garantizar que el trabajo permanece en tiempo y bajo presupuesto.



#### Tareas principales de la misión.



La Ingeniería de sistemas consiste en diseñar, construir y gestionar los esfuerzos técnicos para la realización de un proyecto. Esto es:

Administración de la misión: liderar y gestionar los esfuerzos totales de principio a fin.

Operaciones espaciales: planear y conducir la misión para entregar servicios a los usuarios.



Administración de la misión. Dirige al equipo para entregar en tiempo y bajo el presupuesto establecido.



### Operaciones espaciales.

La operación de sistemas satelitales, la resolución de anomalías y mantenimiento en funciones de todo el sistema se realiza 24 horas al día, los 365 días del año.

### Ingeniería de sistemas.

Representa el proceso de balance entre costo, tiempo, desempeño en conjunto con el riesgo involucrado, para entregar las capacidades que los usuarios requieren.

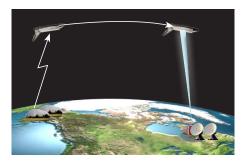


Actividades de operaciones espaciales.

Las operaciones espaciales consisten en todas las actividades que permiten mantener funcional y operando una misión espacial, una vez se ha lanzado al espacio la nave que llevará a cabo los objetivos de la misión.

Dentro de las actividades que se realizan en la operación de sistemas espaciales se encuentran:

- · Análisis y planificación de la misión.
- Simulaciones y entrenamiento.
- Control de vuelo (mantenimiento del segmento espacial funcionando correctamente).
- Mantenimiento y soporte del sistema (segmento terrestre).
- Procesamiento y manipulación de datos (información que viene del segmento espacial).



Planeación de la Misión



Control de Vuelo



**Entrenamiento** 



Mantenimiento



Procesamiento de Datos



Planeación y análisis de la misión.

Durante la planeación y análisis de la misión se realizan las actividades siguientes:

- Planificación de los tiempos de la misión y secuencia de eventos: qué se va a realizar y cuando, por ejemplo el cálculo de maniobras (ΔV).
- Analizar ventajas y desventajas entre diferentes opciones técnicas (hardware y software).
- Definir las reglas de vuelo del sistema espacial para manejar las acciones de la misión durante condiciones de vuelo nominales y no nominales (contingencia).



Muestra de línea de tiempo de una misión espacial. La imagen muestra un escenario donde comienza un incendio forestal, crece, es detectado por el satélite FireSAT, el cual alerta al NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos de América) y a los bomberos para actuar.

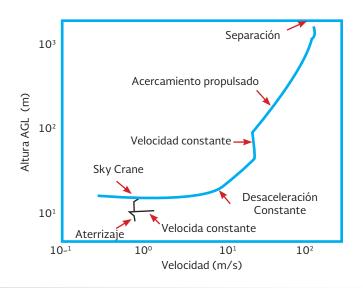


Simulaciones y entrenamiento.

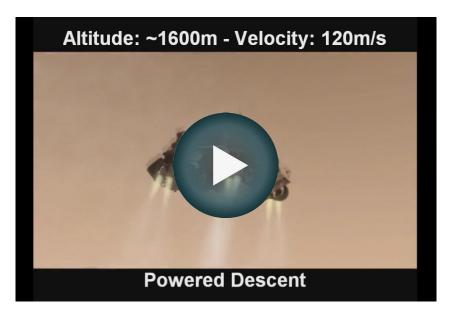
Las actividades de simulación y entrenamiento tienen el objetivo de preparar al personal de operaciones para manejar situaciones, tanto planificadas nominalmente como ante situaciones de contingencia. Se busca:

El desarrollo de software para simular los eventos principales de la misión.

Practicar procedimientos operacionales utilizando simulaciones de la nave espacial ante esenarios diversos.



### **VER VIDEO 16**



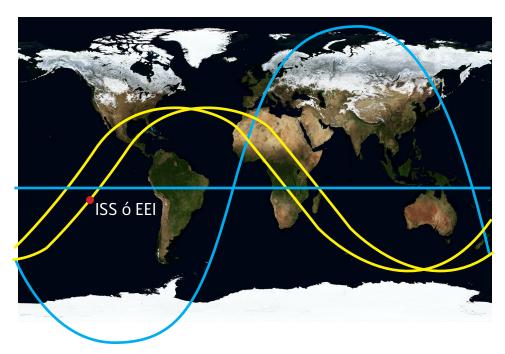
Animación y datos de simulación de la misión MSL (Mars Science Laboratory) mejor conocido como el Curiosity.



Actividades de control de vuelo.

Dentro de las actividades que realiza un controlador de vuelo se encuentran:

- Rastrear una nave espacial o la posición y velocidad de un vehículo de lanzamiento.
- A esto se le denomina encontrar el rango de una nave espacial y sirve para predecir la órbita de la misma.
- Monitorizar e interpretar la telemetría para conocer la condición y el estado de la nave espacial.
- Enviar comandos a la nave espacial para cambiar las condiciones de operación o resolver problemas.
- Realizar maniobras de posición y velocidad en la nave espacial (ΔV).



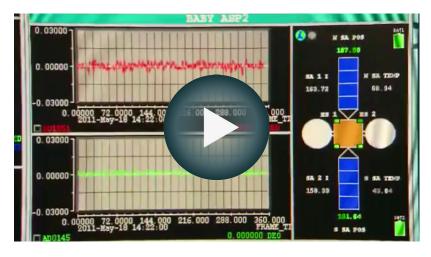
**Predicción de órbita**. Consiste en determinar, mediante métodos de predicción y medición del rango (posición y velocidad) de una nave espacial en órbita, la ubicación de la misma para saber, por ejemplo cuándo ésta pasará por algún sitio de interés en tierra. En la imagen se muestra la estación espacial internacional (ISS).



Actividades de control de vuelo.

### **VER VIDEO 17**

### **VER VIDEO 18**





### Centro de operaciones satelitales.

El video muestra las operaciones de un centro de control de satélites del proveedor de servicios SES.

#### Red de operaciones del poveedor SES.

Se muestra el seguimiento de todos los canales de TV que ofrece el proveedor con su red de satélites geoestacionarios. La carga útil consiste de antenas y sistemas de comunicación vía satélite.



Mantenimiento del sistema y soporte.

Todos los sistemas operacionales de la misión deben ser desarrollados y mantenidos:

- El desarrollo del sistema puede ser un proyecto principal por sí mismo, por ejemplo construir un nuevo complejo de lanzamiento.
- El mantenimiento y soporte de sistemas complejos de hardware y software usados por los operadores es una tarea enorme, más si se considera que se actúa sobre la marcha, es decir, cuando todos los sistemas se encuentran operando.



Mantenimiento del sistema. La imagen muestra trabajo de mantenimiento en una antena de la red de comunicación para espacio profundo de la NASA.



**Soporte al sistema**. El mantenimiento y soporte a sistemas de redes complejos que enlazan sistemas espaciales representa un trabajo que nunca termina.



### Procesamiento y tratamiento de datos.

Dentro de las actividades que conciernen al manejo de datos de la misión se encuentran:

Distribuir los datos de la misión a los usuarios. Analizar y archivar datos de ingeniería de la nave espacial (telemetría).



Datos de la misión. El clima y otros datos de misiones críticas requieren de ser distribuidos a los usuarios de una manera eficiente en tiempo.



Información de ingeniería. El análisis de información de ingeniería proporciona una visión de la salud y estado de la nave espacial.



Sistemas de operaciones de la misión.

Los sistemas operacionales de la misión incluyen cualquier instalación o infraestructura necesaria para diseñar, ensamblar, integrar, lanzar, probar u operar una misión espacial.

Algunos sistemas de operaciones críticos funcionan durante las tres fases básicas de una nave espacial que son la construcción, el lanzamiento y la operación:

Manufactura de una nave espacial: los sistemas que soportan el diseño, ensamblaje, integración y pruebas de la nave espacial.

Lanzamiento: los sistemas que llevan a la nave espacial y al vehículo de lanzamiento juntos y consiguen sacarlos con seguridad de la plataforma de lanzamiento.

*Operaciones:* principalmente los sistemas de comunicaciones como la red de enlaces de radio que rastrean y retransmiten datos desde y hacia la nave espacial.



Manufactura de una nave espacial. Se requiere de equipo e instalaciones especializadas para ensamblar y probar una nave espacial.



Complejo de lanzamiento. Vehículos de lanzamiento requieren de plataformas y equipo de preparación para su operación. En la imagen el vehículo Atlas V.



Control de misión. Los operadores controlan todos los aspectos de la misión desde el centro de control y operaciones. En la imagen centro de control de la NASA para la estación espacial internacional.





Arquitectura de comunicaciones.

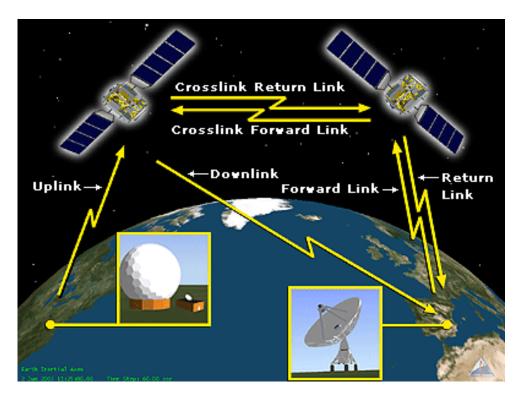
La arquitectura de comunicación representa la configuración de los satélites y las estaciones terrestres en un sistema espacial y la red que los conecta. Consiste de lo siguiente.

Nave espacial: el elemento en el espacio.

**Estaciones terrestres:** antenas en Tierra, transmisores y receptores.

**Centro de control:** controla la nave espacial y todos los otros elementos en la red.

Satélites de retransmisión: nave espacial adicional que enlaza la nave espacial primaria con las estaciones terrenas.



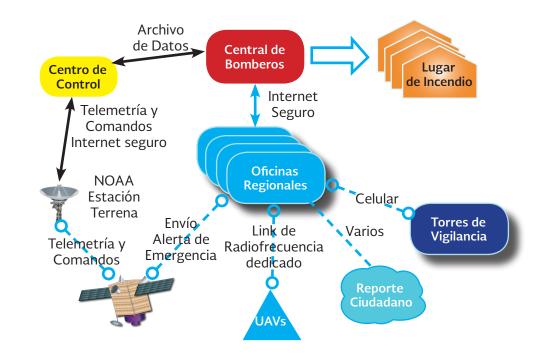
**Arquitectura de comunicación**. Una arquitectura de comunicación para misiones espaciales consiste de elementos en tierra y en el espacio, enlazados a través de diferentes enlaces de comunicación.



Concepto de operaciones.

El concepto de operaciones de la misión consiste en lo siguiente:

- Define las necesidades operacionales.
- Describe las secuencias operacionales v los entornos.
- Incluye condiciones o eventos a los cuales un sistema debe responder.
- Establece las limitaciones operacionales sobre el sistema.
- Describe los requerimientos de desempeño de la misión.
- Especifica los roles del usuario mantenedor, así como la estructura de las organizaciones que operaran, soportaran y mantendrán el sistema.
- Define las interfaces operacionales con otros sistemas.



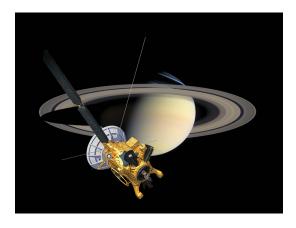
Concepto de operaciones. En la imagen se muestra el concepto de operaciones del sistema FireSAT, donde se aprecia todo el concepto, los límites físicos e interfaces en un contexto global. FireSAT es un sistema satelital de detección de incendios en la Tierra desde el espacio.



Puntos clave en las operaciones espaciales.

El diseño de las operaciones de un sistema espacial debe considerar especial interés en lo siguiente:

- Autonomía de la nave espacial. Dependiendo de las distancias algunas misiones no pueden operar con un control desde la Tierra en "tiempo real".
- Automatización de las estaciones terrestres.
   Dada la gran cantidad de información y parámetros a vigilar/revisar, se opta por tener un alto grado de automatización.
- Plantilla de trabajadores en la estación terrena suficiente para cubrir las operaciones continuas durante 24 horas los 365 días del año.
- Respuesta a anomalías (procedimientos ante contingencias).
- Monitorización de las condiciones de salud de la nave espacial de manera continua. Elementos nuevos y/o existentes de hardware y software (avance en la tecnología).



Autonomía de la nave espacial. Debido a la gran distancia de algunas misiones, se vuelve imposible el constante envío de comandos y de telemetría entre la nave espacial y la estación terrena, por lo que se requiere de un alto grado de automatización por parte de la nave.



Personal de operaciones. El contar con un alto número de personas en operaciones resulta costoso, especialmente pensando en las carácterísticas 24/7/365. Mientras menos operadores se tenga, menos cara se vuelve la misión.



### Referencias.

NASA Systems Engineering Handbook, December 2007.

Wiley J. Larson, Doug Kirkpatrick, Jerry Jon Sellers, L. Dale Thomas, Dinesh Verma, Applied Space Systems Engineering, Space Technology Series, McGraw-Hill, 2009.

Ali K. Kamrani, Maryam Azimi, Systems Engineering Tools and Methods, CRC Press, 2011.

Wiley J. Larson, James R. Wertz, Space Mission Analysis and Design, third edition, Space Technology Library, Microcosm Press 1999.







SCT

AGENCIA ESPACIAL MEXICANA

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

