

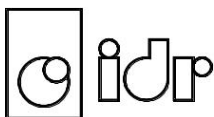
---

# Ingeniería de Sistemas del satélite UNIÓN UPMSat-2

---

Autor: Pablo Arriazu Ruiz  
Tutor: Gustavo Alonso Rodrigo

**Resumen Ejecutivo**  
Poyecto Fin de Carrera, 2012



Instituto Universitario  
de Microgravedad  
Ignacio Da Riva

ETSI Aeronáuticos  
Universidad Politécnica  
de Madrid



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Alcance de este documento . . . . .	3
1.2. Presentación . . . . .	3
1.3. Antecedentes . . . . .	3
1.3.1. Satélites de pequeño tamaño . . . . .	3
1.3.2. UPMSat-1 . . . . .	4
1.4. Descripción general del proyecto UNIÓN UPMSat-2 . . . . .	4
<b>2. Ingeniería de Sistemas y visión sistémica</b>	<b>6</b>
2.1. La normativa ECSS . . . . .	7
2.2. Ingeniería de requerimientos . . . . .	8
2.3. Análisis funcional . . . . .	8
2.4. Arquitectura del satélite UNIÓN UPMSat-2 . . . . .	9
2.5. Filosofía de verificación . . . . .	9
2.6. Planificación . . . . .	10
2.7. Revisiones . . . . .	11
<b>3. Gestión de la Ingeniería de Sistemas</b>	<b>12</b>
3.1. El Plan de Ingeniería de Sistemas (SEP) . . . . .	12
<b>4. Conclusiones</b>	<b>14</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>16</b>

# 1 Introducción

## 1.1. Alcance de este documento

El presente informe recoge una breve síntesis de la filosofía y resultados del Proyecto Fin de Carrera “Ingeniería de Sistemas del Satélite UNIÓN UPMSat-2”, desarrollado durante el curso 2011/2012 en el Instituto Universitario de Microgravedad Ignacio da Riva como requisito para la obtención del título “Ingeniero Aeronáutico” en la Universidad Politécnica de Madrid.

Este fue presentado el pasado 12 de Julio de 2012 ante un tribunal compuesto por el director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Dr. Miguel Ángel Gomez Tierno, el catedrático del Departamento de Vehículos Espaciales Dr. Ángel Sanz Andrés y el propio tutor del proyecto, Dr. Gustavo Alonso Rodrigo, obteniendo la máxima calificación (Matrícula de Honor).

## 1.2. Presentación

La ingeniería de sistemas pretende, a partir de una visión global e interdisciplinar del problema de ingeniería, establecer una metodología estructurada para el desarrollo y operación concurrente de un sistema complejo, reconociendo las interrelaciones existentes entre los sistemas y procesos que interactúan a lo largo de la vida completa del proyecto, desde el desarrollo a la operación y retirada.

La ingeniería de sistemas espaciales tendrá como objetivo la conversión de una serie de especificaciones y requerimientos en el diseño, fabricación y operación de un sistema que satisfaga de forma eficiente en costes, plazos y en nivel de aceptación de riesgo en una misión relacionada con el entorno espacial.

De esta forma el Proyecto Fin de Carrera “Ingeniería de Sistemas del Satélite UPMSat-2” ha pretendido establecer una metodología de desarrollo, organización y gestión de proyectos acorde con los principios de la disciplina, de extendido uso en el sector empresarial y en los grandes proyectos de las grandes agencias espaciales, pero lejana al ámbito universitario, pretendiéndose demostrar la posibilidad de aplicar toda la complejidad, seguridad y viabilidad de la industria a un proyecto de menor escala e integrado por docentes y alumnos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Consecuentemente con lo anterior, el presente proyecto supone la aplicación de la normativa ECSS a un proyecto que, pese a ser de menor escala que los habituales, ha demostrado la posibilidad y utilidad de las mismas para la estructuración y estandarización, la reproductibilidad y el afianzamiento del proyecto como sistema completo y unificado.

## 1.3. Antecedentes

### 1.3.1. Satélites de pequeño tamaño

En los últimos años se han puesto en marcha gran cantidad de microsátélites y picosátélites, entre ellos algunos de carácter totalmente universitario. Estos satélites, generalmente llamados picosátélites, nanosatélites, microsátélites o minisatélites, en función de su tamaño, nunca exceden de los 200kg y se pueden llegar a encontrar modelos en torno a los 5kg.

Los satélites tradicionales, como pueden ser los satélites geoestacionarios de telecomunicaciones se encuentran generalmente en rangos de masa comprendidos entre los 500 y los 7000kg. Estos grandes proyectos tienen grandes requerimientos de financiación para poder ser llevados a cabo y un periodo de tiempo extenso para su desarrollo y construcción, de entre cinco y diez años. Debido a los enormes costes y el sus necesidades de diseño prolongadas en el tiempo, estos proyectos se encuentran sometidos a unos riesgos muy bajos y habrán de emplear tecnologías altamente probadas y que oferten una gran tolerancia al fallo. Por ello, estos grandes satélites no pueden suponer un referente a la hora de

promover productos innovadores en el campo aeroespacial. De esta forma los grandes proyectos espaciales quedan limitados a instituciones promovidas por los estados con un alto nivel de desarrollo y a grandes empresas multinacionales, muchas veces con apoyo institucional.

Los satélites de pequeño tamaño ofrecen una alternativa a los grandes satélites tradicionales. Estos proyectos permiten crear un satélite de dimensiones reducidas con unos costes y tiempos de desarrollo muy inferiores a los anteriores. Como resultado de su naturaleza, estos satélites se convierten en plataformas capaces de aceptar una mayor propensión al riesgo y tecnologías punta y sirven como plataforma de ensayos para gran cantidad de componentes y como soporte para posibles estudios universitarios.

La bajada de los costes requeridos para la construcción de pequeños estos satélites repercute enormemente en los costes de entrada en el espacio, así se vuelve mucho más accesible para investigadores universitarios, pequeños centros de investigación, países con menores recursos e incluso pequeños emprendedores.

### 1.3.2. UPMSat-1

El referente más claro para el presente caso de estudio es su predecesor el UPMSat-1 (Sanz-Andrés et al, 2003), primero de los satélites lanzados por la UPM y anterior a otros satélites de pequeño tamaño de origen español, como el MiniSat 01, lanzado por el INTA en 1997.

En 1990 dió comienzo dentro del Laboratorio de Aerodinámica de la ETSI Aeronáuticos (actual IDR/UPM) un proyecto que llevaría al lanzamiento del primer satélite universitario español en julio de 1995, el UPMSat-1, que sería puesto en órbita como carga secundaria del vuelo 75 del lanzador Ariane IV-40, junto con el satélite Helios y el, también de pequeño tamaño, Cerise.

Desde aquel momento queda en una órbita polar heliosíncrona a 670 km de altitud, pasando por encima de Madrid dos veces al día, a las 2 de la tarde y a las 2 de la madrugada (UTC), con una vida operativa de 213 días. Está inscrito en el Registro de Objetos Lanzados al Espacio Ultraterrestre Español y en el registro de las Naciones Unidas con el nombre de UPM-Sat 1/ROLEU 4, y consta con el designador internacional COSPAR 1995-033C.

El proyecto pretendía demostrar la capacidad de la UPM para diseñar, construir y operar un sistema espacial completo. El proyecto tenía una validez, por tanto, netamente educativa y formativa para la Universidad, queriéndose buscar el perfeccionamiento en las particularidades de las ciencias y tecnologías espaciales, para ello, participaron en el proyecto aproximadamente unas 75 personas entre profesores, investigadores, estudiantes y personal de la UPM.

## 1.4. Descripción general del proyecto UNIÓN UPMSat-2

UNIÓN UPMSat-2 es un proyecto del Instituto Universitario de Microgravedad Ignacio da Riva (IDR/UPM) para el diseño, fabricación y operación de un microsatélite universitario que sirva como plataforma para ensayos e investigaciones, como vehículo de demostración tecnológica y, en resumen, para aplicaciones científicas y educativas.

El proyecto nace como continuación lógica del anterior satélite UPMSat-1 y de la posibilidad para emplear un sistema basado en el mismo como plataforma de investigación astrofísica, partiendo de la base de un modelo ya certificado para vuelo en el Ariane-IV, que será necesariamente adaptado a las nuevas tecnologías y lanzadores, así como depurando y sistematizado su desarrollo.

Basándose en la anterior configuración, UPMSat-2 tendrá una masa aproximada de 50kg y una envolvente geométrica de aproximadamente 0.5m de lado, con capacidad para una o varias cargas de pago por un valor aproximado de 15kg y 20W, en un volumen de 0.4x0.4x0.25m en una órbita de alrededor de 600km de altura y una vida útil de 1 año.

Este vuelo permitirá la cualificación de la plataforma para poder ser empleada en ocasiones posteriores de forma comercial o académica.

Los objetivos de la misión son los siguientes:



### **Desarrollar un satélite utilizable como plataforma de demostración tecnológica en órbita.**

El objetivo básico para el sistema es el de disponer de una plataforma multiusos y multilanzador de bajo coste, que debe ser desarrollada de acuerdo a limitaciones de envolvente geométricas y de masa, y cumpliendo con los requerimientos impuestos por la organización de lanzamiento seleccionada (Arianespace, ...).

Se trata de una plataforma calificada para uso espacial, segura, y que pueda ser utilizada como plataforma de propósito general, tanto para la misión UPMSat-2 como para misiones futuras.

### **Implementar un proyecto formativo del que se vean beneficiados los profesores, alumnos y personal auxiliar de la UPM participantes en el proyecto.**

El objetivo del proyecto es llevar a cabo todos los pasos en el proceso de desarrollo, lanzamiento y operación de un micro-satélite, incluyendo la fabricación, y los ensayos de calificación y aceptación, realizando todas estas tareas en la medida de lo posible en un entorno universitario. Cierta soporte externo por parte de la industria aeroespacial será necesario, como sucedió en el proyecto UPMSat-1.

### **Demostrar la capacidad de la UPM en el ámbito de la tecnología espacial.**

El objetivo es conseguir que se reconozca a la UPM como un desarrollador calificado de sistemas espaciales de acuerdo a los estándares espaciales europeos.

Para alcanzar este objetivo el proyecto se mantendrá dentro de límites muy controlados, minimizando los riesgos tecnológicos, para demostrar que la institución es capaz de desarrollar, construir, validar y operar un satélite de características modestas, pero con toda la complejidad de un sistema espacial completo.

## 2 Ingeniería de Sistemas y visión sistémica

La idea de sistema conlleva una visión global del proyecto como un agregado de medios entre los que se cuentan los medios materiales, equipos, software, personas, instalaciones, etc. integrados de tal forma que formen un conjunto capaz de desarrollar una respuesta a un problema concreto. De la correcta integración entre los distintos elementos que componen un sistema completo depende el correcto desempeño de sus funciones.

El proceso de ingeniería es un proceso evolutivo que parte de la identificación de un problema que ha de resolverse hasta la ejecución y finalización de la vida del producto generado, aportando una visión desde arriba (proyecto completo y problema) hacia abajo (cada uno de los elementos que componen el sistema solución) que pasa por una conversión del mismo en unos requisitos, un análisis funcional, una síntesis, optimización, diseño, fabricación y prueba y validación de los productos.

Se suele emplear el concepto de visión sistémica cuando se desea hacer hincapié en la necesidad de comprender el problema y desglosarlo en partes más pequeñas, pero sin perder en todo momento la amplitud completa del proyecto, en toda su extensión y a lo largo de todo su proceso de vida. En todo momento hay que recordar que se busca el óptimo de cada uno de los elementos del sistema dentro del conjunto y no el óptimo para cada uno de ellos, que puede no tener porqué ser el mismo.

Buscando en la bibliografía Blanchard (1995), citando la norma MIL-STD-499A, establece que la ingeniería de sistemas es "la aplicación de técnicas científicas y de ingeniería para (1) transformar una necesidad operativa en la descripción de los parámetros de prestaciones de un sistema y su configuración mediante la utilización de un proceso iterativo de definición, síntesis, análisis, diseño, prueba y evaluación; (2) integrar los parámetros técnicos relacionados y asegurar la compatibilidad de todas las interrelaciones físicas, funcionales y del programa de forma que se consiga la mejor definición y diseño del sistema completo; [e] (3) integrar los aspectos de fiabilidad, mantenibilidad, seguridad, supervivencia, de personal y otros similares en el proceso global de ingeniería para conseguir los objetivos técnicos, de coste y calendario fijados" (Blanchard, 1995, p.19)

El INCOSE (International Council on Systems Engineering) define el proceso de Ingeniería de Sistemas como la realización de las siguientes tareas (INCOSE, 2004):

1. Definición de los objetivos del sistema (necesidades del usuario)
2. Establecimiento del desglose funcional y de las funciones necesarias (análisis funcional)
3. Establecimiento de los requerimientos de funcionamiento y actuaciones (análisis de requerimientos)
4. Evolución del diseño (síntesis de la arquitectura del sistema)
5. Selección de un diseño preliminar (análisis coste-beneficio)
6. Verificación de los diseños preliminares y su cumplimiento de los requerimientos (necesidades del usuario)
7. Validación de que el concepto preliminar satisface al usuario (necesidades del usuario)
8. Proceso iterativo hacia un análisis de los niveles inferiores y aplicación de los preceptos anteriores a los niveles sucesivos (descomposición)

Se observa la recurrencia en la terminología aplicada con respecto a la sistematización del desarrollo de un proyecto complejo como puede ser cualquiera del ámbito aeroespacial y la necesidad de sistematización del mismo de cara a la obtención de un rendimiento óptimo de las posibilidades técnicas..

Mediante este proceso se ha ido perfilando la misión y el diseño, optimizándose los resultados del proyecto, comenzando a muy alto nivel para llegar a concluir un desglose sistemático hacia los niveles

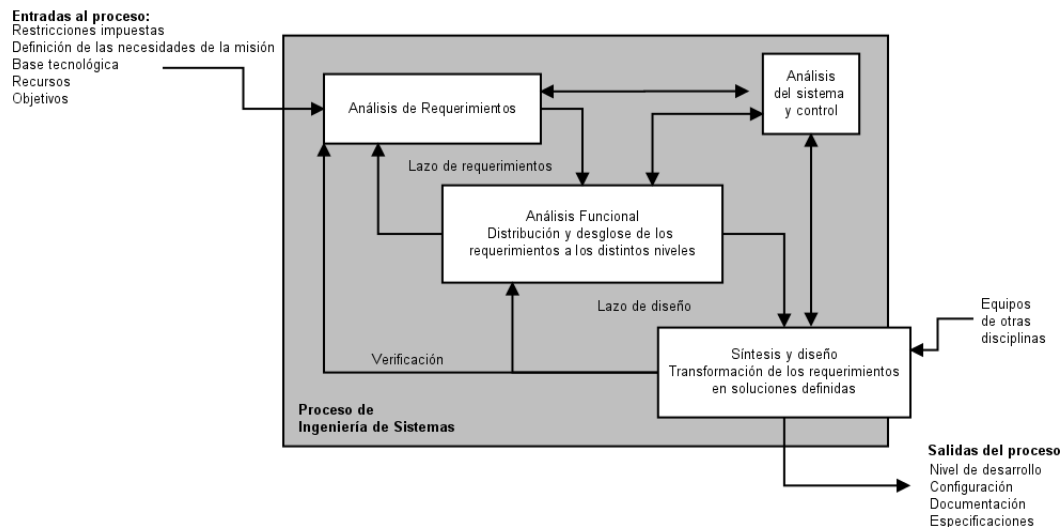


Figura 2.1: Proceso de Ingeniería de Sistemas

inferiores. En este proceso el equipo de ingeniería de sistemas no solo tiene que realizar un acercamiento multidisciplinar a las soluciones aportadas al problema, sino que tiene en cuenta su aplicabilidad temporal, la disposición de los productos necesarios, la necesidad de verificación, los riesgos del programa y el nivel de desarrollo de las tecnologías adquiridas.

Como se observa en la figura 2.1 el trabajo Ingeniería de Sistemas para cualquier proyecto comienza con un análisis de las necesidades del IDR con respecto al proyecto, este iniciador del proyecto puede variar en cada caso y es generalmente denominado "Cliente" en la bibliografía. En estos primeros pasos se toman las restricciones establecidas al proyecto, que incluyen los objetivos a cumplir, las restricciones básicas, ya sean técnicas o económicas y la descripción del proyecto y sus necesidades. Se ha de reconvertir la descripción del problema en una serie de requerimientos técnicos que compondrán el problema de ingeniería a resolver.

Tras el análisis de requerimientos se ha de proceder a un análisis funcional de las necesidades del sistema y una descomposición de las asignaciones de requerimientos a diferentes equipos y subsistemas en relación a su funcionalidad agrupada. Este proceso puede suscitar nuevas necesidades o alteraciones en los requerimientos iniciales, como bien se muestra en la figura 2.1, anteriormente citada. De esta forma aparece denominado como lazo de requerimientos el proceso iterativo que conforma la modificación de los requerimientos en paralelo con el desglose funcional.

A partir de los requerimientos y su reparto se comenzará la transformación de los mismos en una arquitectura compuesta por distintos subsistemas desarrollados de forma que cumplan con las especificaciones. De esta forma los distintos equipos de trabajo desarrollarán los diseños asignados a su subsistema. Como se observa en la figura este no es un proceso lineal, sino que puede necesitar revertir parte de los requerimientos y preceptos funcionales en función de los resultados obtenidos. El proceso de verificación cierra un lazo que puede hacer necesario el cambio de las bases del proyecto o incluso los desarrollos que estén llevándose a cabo por otros subsistemas, convirtiéndose el desarrollo del proyecto en un proceso iterativo que tiende a la solución adoptada definitivamente.

## 2.1. La normativa ECSS

El diseño del proyecto UNIÓN UPMSat-2 se realizará de acuerdo a las normativas del European Cooperation for Space Standardization (ECSS). Estas normas suponen la voluntad de establecer una serie de estándares coherentes y de uso sencillo para las actividades espaciales dentro del marco espacial europeo y están desarrolladas principalmente por la Agencia Espacial Europea (ESA) en cooperación con los principales actores de la industria espacial de la región.

Pese a que se encuentran todavía en desarrollo actualmente cubren todos los campos de la ingeniería espacial y en el futuro se pretende que cubran de forma detallada todos los posibles desarrollos en torno

a proyectos del entorno espacial de una forma coherente, unificando todas las normativas aplicables al sector y se ampliarán con el desarrollo de manuales de aplicación de las mismas con el objetivo de mejorar la efectividad y el coste de los programas espaciales, mejorar la competitividad del sector espacial europeo, aumentar la seguridad y fiabilidad de los proyectos y facilitar la comunicación clara entre las partes implicadas en los programas espaciales.

Un concepto empleado habitualmente dentro de la Ingeniería de Sistemas es la adaptación (“taylor-ing”) de la metodología, y en este caso también de las normas para las particularidades y amplitud del proyecto en estudio, siendo determinante en el presente el tamaño del mismo y siendo parte importante del mismo buscar los límites prácticos de aplicación, evitando que un sobredimensionamiento del método entorpezca el funcionamiento del programa y que, por tanto, esto se vea reflejado en tiempo y costes.

## 2.2. Ingeniería de requerimientos

Un proyecto comienza al observar una necesidad. Este problema observado ha de reconvertirse en una serie de requerimientos técnicos que transmitan la voluntad inicial del proyecto y guíen el desarrollo tecnológico necesario. A la hora de definir los requerimientos iniciales es necesario observar los requisitos operativos, el tipo de misión que se desea realizar y el presupuesto estimado de que se dispone sin perder la referencia de cuales son los objetivos iniciales a cubrir.

En un proyecto correctamente estructurado es imprescindible convertir las necesidades del usuario o del iniciador del proyecto en requerimientos para evitar que los desarrollos produzcan derivas indeseadas hacia objetivos no necesarios, sobredimensionamiento, incumplimiento de necesidades, etc. Este hecho al parecer evidente es incumplido muchas veces cuando se realizan algunos desarrollos sin ningún destino claro u orientación.

De esta forma los requerimientos se convierten en los fundamentos sobre los que se construye el proyecto, siendo base del diseño, fabricación, ensayos y operaciones. Todos los requerimientos conllevan un coste y restricciones al sistema definitivo y la necesidad de variar algunos de ellos en fases avanzadas del proyecto pueden conllevar grandes costes y modificaciones.

La definición de los requerimientos es un proceso complejo que ha evolucionado a lo largo de las primeras etapas y esta relacionado con un correcto análisis funcional y de operaciones; el impacto de su imposición debe ser analizado en todo momento. “El proceso de Ingeniería de Sistemas es, en sí, un proceso de aprendizaje y nos encontramos con que ciertos requisitos han de ser modificados conforme aumenta nuestra propia comprensión del sistema” (Eisner, 2000)

El establecimiento de los requerimientos en mayor profundidad en este proyecto será de mayor facilidad que en otros con una herencia menor, pues como punto de partida se posee toda la información relacionada con el proyecto predecesor UPMSat-1, del cual éste es una evolución.

La figura ?? pretende mostrar, sin ahondar en el proceso de definición de los requerimientos el proceso que supone la traducción del concepto de la misión y de las necesidades del cliente, o en este caso el IDR, iniciador del proyecto, que es el mismo que el desarrollador y la necesidad de su traducción a una serie de requerimientos trazables a lo largo de todo el proceso y que permitir realizar un seguimiento y verificación del cumplimiento de las mismas necesidades

## 2.3. Análisis funcional

Durante el proceso de ingeniería es necesario generar un desglose de los requerimientos de tal forma que estos sean asumidos por distintos equipos de trabajo que llevarán al desarrollo de los distintos subsistemas que se encargarán de realizar cada bloque conceptual. Este es un proceso áltamente ligado al establecimiento de los generación requerimientos, como ya se podía observar en la figura 2.1.

El proceso supone descomponer las diferentes funcionalidades necesarias en niveles inferiores que puedan expresar las necesidades de operación en cada momento. De esta forma no solo se han establecido los opertivos nominales, sino que es necesario el establecimiento de los diversos modos de operación del satélite, ya que este debe plantearse como un todo que debe lanzarse y operar, pero también debe estar preparado para su funcionamiento en contingencia o en otras situaciones críticas.



## 2.4. Arquitectura del satélite UNIÓN UPMSat-2

El proceso de diseño debe llevar a la selección de soluciones técnicas para el problema de ingeniería propuesto durante las primeras fases del proyecto. Estas soluciones deben estar en concordancia con los requerimientos seleccionados. Durante la fase B del proyecto se ha elaborado un diseño conceptual del sistema, seleccionando las soluciones independientes para cada subsistema de forma que se cumplen los requisitos de la misión para, posteriormente, durante la fase C desarrollar en profundidad cada una de estas soluciones y llegar al diseño definitivo y detallado. La aceptación de este prediseño es condición para la finalización de la fase de diseño preliminar, actualmente concluida.

Las decisiones tomadas por cada uno de los subsistemas afectaran al conjunto del sistema. De esta forma van cambiando sus diseños en función de nuevas determinaciones tomadas y validadas. Es en este proceso dónde es importante un control de la configuración y un sistema de versionado concurrente que ha permitido a todo el equipo de desarrollo de la misión realizar su trabajo de forma coordinada y conociendo el estado y necesidades de cada uno de los subsistemas que interactúan o afectan al propio.

En un proceso habitualmente denominado ingeniería concurrente el desarrollo tiende a estabilizarse a partir de las estimaciones iniciales de cada uno de los subsistemas, cuyas características varían en función de las decisiones adoptadas por los equipos supervisores hasta converger los resultados independientes de cada uno de ellos hacia la solución global que pretende ser la óptima para todo el sistema.

El diseño del satélite UPMSat-2 contó como punto de partida la herencia de su antecesor, el UPMSat-1, ha sido condición inicial en el desarrollo de las nuevas alternativas y cuya configuración se ha adaptado en función de las actuales consideraciones, de las decisiones adoptadas en función de los resultados obtenidos en la misión anterior y de las nuevas tecnologías existentes. Este hecho ha acelerado el proceso al no tenerse de partir de una configuración totalmente abierta, sino que simplemente supone una evolución del producto anteriormente desarrollado.

## 2.5. Filosofía de verificación

El proceso de verificación tiene como finalidad comprobar que el sistema cumple con los requerimientos establecidos. Se deberá verificar que el diseño elaborado cumple con los requerimientos, así como validar que los productos fabricados carecen de errores que los hagan diferir del diseño.

Existen gran cantidad de referencias en la bibliografía al concepto de las V's en Ingeniería de Sistemas. Este concepto explica gráficamente el recorrido que supone el desarrollo del proyecto, pues se parte de una visión global y del establecimiento de requerimientos de diseño generales, durante el proyecto se va descendiendo de nivel de desarrollo, adentrándose en los requerimientos a nivel de elemento. Con el proceso de verificación el diseño está completo hasta su nivel inferior y comienza la rama ascendente de la V, por la cual se verificará la misión de forma ascendente, en conjuntos cada vez más integrados y de mayor semejanza con la solución final.

El proceso de verificación implica el desarrollo de distintas etapas, de forma que se cumplan los siguientes objetivos:

- Demostrar la cualificación del diseño y de las operaciones diseñadas tal y como se enumeran en los acuerdos de requerimientos para todos los niveles
- Asegurar que los productos definitivos, en este caso el satélite que se va a poner en órbita y la estación de tierra, están en concordancia con el diseño cualificado, es decir, que el sistema final este libre de errores humanos y no existan diferencias con los modelos ensayados.
- Confirmar la integridad del producto y las operaciones en las diferentes etapas del proceso (lanzamiento, puesta en funcionamiento...)
- Confirmar que todo el sistema, incluyendo las herramientas, útiles, procedimientos y recursos permiten el correcto desarrollo de la misión.

La verificación es un proceso progresivo que debe realizarse sobre elementos con un nivel cada vez mayor de integración, como ya se observaba en el concepto de la verificación como proceso en "V"

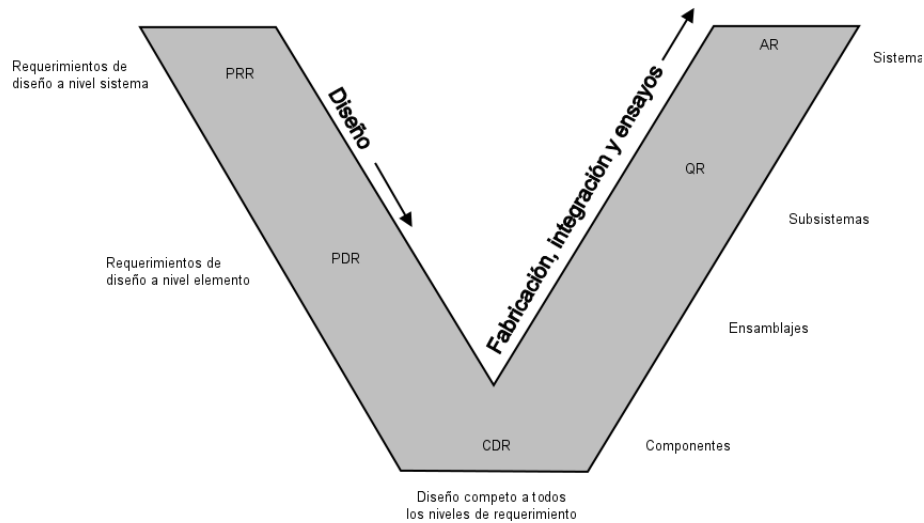


Figura 2.2: Visión en “V” de la Ingeniería de Sistemas (NASA Systems Engineering Fundamentals, modificada)

(figura 2.2). Se comenzará la verificación de equipos y elementos independientes hasta verificar el funcionamiento del sistema completamente integrado.

## 2.6. Planificación

Para el correcto desarrollo del proyecto es necesario un trabajo de planificación encargado de prever las necesidades que se tendrán en cada momento y cuándo se realizarán cada una de las tareas necesarias.

La correcta planificación implica la identificación de distintas fases en que se divide un proyecto de ingeniería, de forma que el trabajo se convierte en una serie de procesos secuenciales.

El proyecto UPMSat-2 en su edición actual comenzó a finales del año 2010, aunque hubo una tentativa anterior, y su lanzamiento estaba previsto para el próximo 2014. Actualmente existe la posibilidad de que este proceso se adelante un año y el lanzamiento se produzca durante la primera mitad del año 2013, lo cual implicará un aceleramiento en el proceso previamente planificado. Estos cambios conllevan la necesidad de una planificación profunda que permita estimar el tiempo necesario para cada tarea, pudiéndose prever los cambios necesarios para acelerar el proceso sin riesgo a que no se terminen los plazos a tiempo.

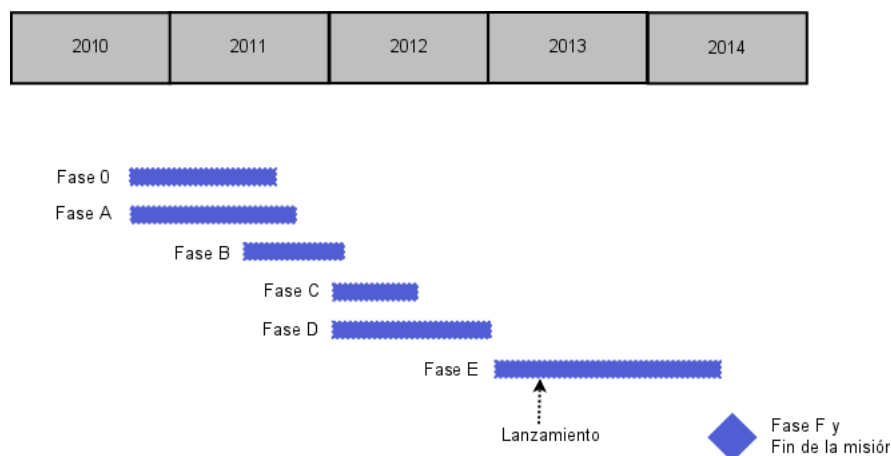


Figura 2.3: Diagrama de Gantt de las fases del proyecto

En la figura 2.3 se observa un diagrama de gantt donde se aprecia la estimación temporal de las fases de la misión. Se observan varias particularidades, sobretodo en el hecho de que tanto la fase 0 y A, así como la C y D, comienzan simultáneamente. Esto es debido principalmente a la herencia del proyecto UPMSat-1 que reduce la necesidad y el impacto de la fase 0 y que por la mera extrapolación de los datos estructurales del mismo permitirán el comienzo de fabricación de la estructura (fase D) de forma simultánea con el comienzo de la fase de diseño detallado, al ir a emplearse un diseño apenas variado de ésta misma con respecto al satélite antecesor.

## 2.7. Revisiones

Las revisiones de proyecto son exámenes del estado de un proyecto en un momento concreto, generalmente suponiendo el fin de un proceso concreto. Su propósito principal es evaluar el cumplimiento de requerimientos y necesidades iniciales de forma coordinada por parte de los diversos actores del proyecto. De esta forma se se realiza una gestión responsable y segura de los logros conseguidos y de la evolución del proyecto, cerrándose grandes fases tras comprobar el total cumplimiento de los objetivos previstos, permitiendo la documentación de las lecciones aprendidas y la subsanación de posibles fallos encontrados.

La Ingeniería de Sistemas como tecnología de gestión deberá supervisar y organizar las revisiones de diseño junto con el equipo de Dirección, ha coordinado y planificado las revisiones pertinentes

## 3 Gestión de la Ingeniería de Sistemas

La Ingeniería de Sistemas se ha mostrado hasta el momento como una metodología sistemática a la hora de abordar proyectos de una forma estructurada con el interés de generar productos óptimos que satisfagan las necesidades originales y de forma que su planificación se cumpla con precisión, evitando problemas técnicos e incrementos de coste debido a una mala gestión.

La Ingeniería de Sistemas supone partir de una visión global e ir desglosando actividades, *divide y vencerás* reza el Systems Engineering Handbook de NASA como mejor estrategia, sin perder en ningún momento la visión de lo parcial como una parte del total, como parte de su responsabilidad como equipo de gestión técnica.

Es por ello, entendiéndolo esta disciplina como una visión de gestión planificada que la mayor parte de su influencia apunta a las fases iniciales del proyecto, allí donde los pequeños cambios en la definición supondrán una gran influencia en los desarrollos posteriores, disminuyendo su esfuerzo una vez el proceso está planificado y segmentado, como se puede observar en la figura 3.1. La influencia es mucho mayor en la fase de diseño preliminar, donde se identifican los requerimientos técnicos que marcarán la fisonomía del sistema, siéndolo ésta y la fase de diseño preliminar las más marcadas por la necesidad de creatividad e innovación.

Pero para que el trabajo de la Ingeniería de Sistemas surta efecto deberá hacerse el adecuado énfasis “arriba-abajo” y una estructura totalmente comunicativa que permita a los distintos equipos trabajar de forma concurrente. Todo este trabajo necesitará de una labor de gestión y preparación previa donde se estructure el trabajo, se describan los procedimientos clave necesarios y se identifiquen los sucesos críticos.

### 3.1. El Plan de Ingeniería de Sistemas (SEP)

El Plan de Ingeniería de Sistemas (SEP) o Plan de Gestión de la Ingeniería de Sistemas (SEMP, de sus siglas en inglés) es el documento donde se ha de recoger la particularización y estructuración del proceso de Ingeniería de Sistemas aplicado a un proyecto completo con el objetivo de que se cumpla correctamente la función técnica que asegure la correcta aplicación y coordinación de la disciplina con las otras disciplinas involucradas.

Esto supone que el documento será un documento vivo que se irá actualizando conforme se desarrolle la misión y se concreten algunos aspectos o se produzcan variaciones. Para que realice una función adecuada desde una perspectiva técnica debe permitir realizar un seguimiento de los requerimientos, las agendas, los procedimientos de verificación y revisión, dar una visión de la descomposición en tareas del trabajo y de la gestión de la configuración y la documentación.

Básicamente sus contenidos se pueden resumir dentro de tres ejes básicos:

- Planificación técnica y control. Se deberán identificar las organizaciones involucradas y los distintos actores, hecho clave en procesos cada vez más globalizados (Sage, 2000) donde los actores no siempre trabajan dentro de las mismas instalaciones, sino que dependen de distintas agencias, empresas y se ubican en distintos países. Así mismo se deben identificar quienes serán los equipos encargados de la gestión y la supervisión del proyecto y los métodos de control usados para el control de la configuración y la verificación de los requerimientos, los interfaces entre equipos y las interfaces externas, la política de contratación de ingeniería, los planes y las agendas, las normativas a seguir, así como las revisiones previstas y el control de la documentación.
- Proceso de Ingeniería de Sistemas. Descripción de cómo será el proceso propio de la disciplina adaptado al proyecto, los procedimientos y herramientas.
- Integración de las disciplinas de ingeniería. Se debe dar una visión de cómo será la coordinación entre los equipos durante las iteraciones del proceso y las responsabilidades de cada equipo.

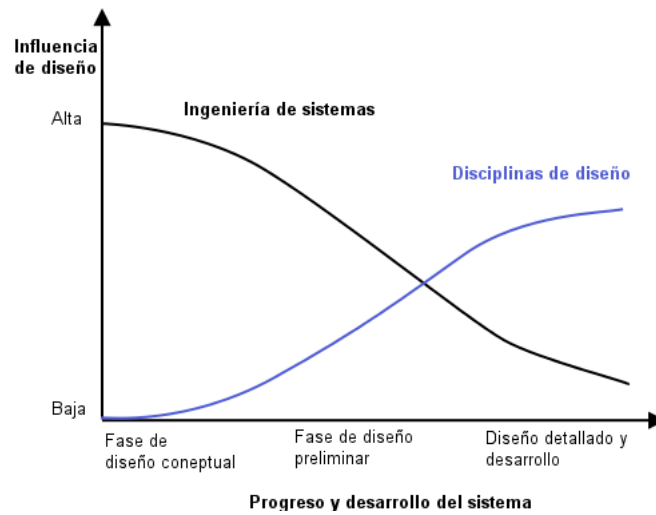


Figura 3.1: Influencia de la Ingeniería de Sistemas en el diseño (Blanchard, 1995, p.78)

## 4 Conclusiones

A lo largo del presente informe se ha pretendido transmitir la necesidad de un pensamiento sistémico que aporte una visión global en todo momento a un proyecto de ingeniería. Este apercebimiento no es nuevo, pero su aplicabilidad durante el s. XX generó la denominación “Ingeniería de Sistemas” para la aplicación de una sistematización del enfoque “arriba-abajo” y del desglose del trabajo en sucesivos escalones jerarquizados que permite el trabajo detallado sin perder la visión del conjunto heterogéneo. Se podría resumir el trabajo de esta disciplina bajo cuatro ejes fundamentales:

- **Necesidades.** Un proyecto surge cuando se desea resolver un problema percibido. En ese momento se analizará la situación y el entorno que la rodea, las herramientas de que se dispone para afrontar el problema y el tiempo necesario. Toda solución de ingeniería nace como un conjunto de necesidades a cubrir que posteriormente habrá de transformarse en requerimientos, que son simplemente la interpretación de qué es lo que se desea. Dentro de la Ingeniería de Sistemas no sólo se realizará la traducción de las necesidades a requerimientos, sino que estas se convertirán en el esqueleto que vertebrará el problema: establecimiento de las necesidades, síntesis y diseño en torno a esas necesidades, verificación de que el diseño cumple las necesidades y satisfacción de las mismas durante la operación.
- **Comunicación.** Un equipo de desarrollo está compuesto por un grupo heterogéneo de personas que desarrollan componentes también heterogéneos de forma prácticamente independiente. Para que el proyecto no pierda su visión original y cumpla con los objetivos iniciales deberán existir patrones adecuados de comunicación entre los involucrados y un correcto conocimiento de cuáles son los parámetros bajo los que se mueve el trabajo del resto de equipos.
- **Visión sistémica.** Un derivado directo de la comunicación anterior es la necesidad de aportar una visión de conjunto. El mundo actual está creado por sistemas, componentes que se unen para realizar tareas conjuntas. Un adecuado funcionamiento necesitará que en ningún momento se pierda la necesidad de integración e interacción entre los componentes, de ahí el pensamiento sistémico como rumbo y como generador y analizador de las interfaces de unión y las interacciones, punto clave y débil de todo sistema, pero imprescindible, ya que de la correcta compenetración depende un correcto desempeño de las funciones. El pensamiento sistémico implica automáticamente la necesidad de una visión pluridisciplinar, capaz de comprender las necesidades de cada una de las disciplinas singulares con intención de conseguir su compenetración.
- **Planificación.** Los recursos, el capital humano y el tiempo son recursos limitados y ligados entre ellos. Una correcta planificación previa permite que el trabajo se desarrolle adecuadamente compenetrando esos tres elementos, evitando problemas en su gestión y pudiendo cuantificar cuáles serán las necesidades a lo largo de todo proyecto y, así mismo, su viabilidad.

Esta visión de la Ingeniería de Sistemas no pretende colocarla en ninguna posición de superioridad o inferioridad frente a las otras disciplinas, sino que simplemente la reconoce como un elemento útil dentro del desarrollo de un problema complejo, que necesitará de amplios esfuerzos para concluir de forma satisfactoria. Es así que esta metodología simplemente pretende, mediante la correcta combinación de los recursos disponibles, conseguir que un problema se convierta en una solución de forma aceptable y dentro de los límites de recursos y seguridad deseados, estando estas tres variables intrínsecamente ligadas, no pudiéndose obtener un máximo de las tres al mismo tiempo. Resta mencionar que, obviamente, no todos los proyectos serán viables y la Ingeniería de Sistemas es necesaria para no desaprovechar esfuerzos en callejones sin salida.

Se puede considerar fructífera esta entrada de la Ingeniería de Sistemas en el mundo académico español, disciplina que deberá adquirir, con el tiempo, cierto peso, debido a la necesidad de países como este de entrar en el sector industrial mediante el suministro de productos integrados, debida a la imposible competencia en la fabricación de componentes.



Con respecto a su implantación dentro del proyecto UPMSat-2 se ha observado una sistematización del proceso de desarrollo en el cual, y aunque no es fácilmente observable el avance y las mejoras obtenidas con respecto a costes y tiempo con respecto a su predecesor, debido a que este heredaba gran parte de su concepto y desarrollo, si que ha servido para afianzar un modelo de desarrollo sencillo y de bajo coste y su futura verificación como plataforma de ensayos comercial y académica, uno de los principales objetivos.

## Referencias citadas

- Blanchard, B.S. (1995). *Ingeniería de Sistemas*. España: ISDEFE.
- ECSS-E-ST-10C. *Systems Engineering General Requirements*. Secretariado ECSS, Países Bajos, 2009.
- ECSS-E-ST-10-06C. *Technical Requirements Specification*. Secretariado ECSS, Países Bajos, 2009.
- Eisner, H. (2000) . *Ingeniería de Sistemas y gestión de proyectos*. España: AENOR.
- INCOSE-TP-2003-016-02. *Systems Engineering Handbook*, INCOSE, 2004.
- NASA SP-610S, *Systems Engineering Handbook*, NASA, EEUU, 1995.
- Sanz-Andrés, A., Meseguer, J., Perales, J.M. y Santiago-Prowald, J. (2003). A small platform for astrophysical research based on the UPM-Sat 1 satellite of the Universidad Politécnica de Madrid. *Advances in Space Research*, Vol. 31, Issue 2, pp. 375–380.