



# Manual para la generación de documentación para una Misión Espacial

---

## Proyecto PE108120

### *Estudiantes:*

José Alfredo Hernández Duarte

María del Carmen Zarazúa Hernández

### *Colaboradores:*

Dr. Carlos Romo Fuentes

Dr. Rafael Guadalupe Chávez Moreno

Dr. José Alberto Ramírez Aguilar

Dr. Jorge Alfredo Ferrer Pérez

2021

## Control de cambios

<b>Versión</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Aprobado por:</b>
Primera Versión 29/12/2021	N/A	Dr. JAFP

## Contenido

1. Introducción .....	4
2. Estrategias de Ingeniería de sistemas usada por NASA .....	4
2.1. NPR 7123.1 vs. NPR 7120.8 para proyectos pequeños .....	7
2.2. Generación de documentación. ....	8
3. Descripción de las fases del ciclo de vida de un proyecto de vuelo espacial de NASA. ....	9
3.1. Evolución de la madurez de los productos para NPR 7123.1 .....	10
3.2. Pre-Fase A: Estudios de conceptos.....	12
3.3. Fase A: Concepto y desarrollo tecnológico .....	13
3.4. Fase B: Diseño preliminar y finalización de la tecnología .....	15
3.5. Fase C: Diseño final y fabricación .....	18
3.6. Fase D: Montaje, integración y prueba del sistema, lanzamiento .....	20
3.7. Fase E: Operaciones y sostenimiento.....	21
3.8. Fase F: Cierre .....	23
4. Criterios de entrada y éxito para MCR, SRR, PDR, CDR, PPR, FRR .....	24
4.1. Revisión Conceptual de la Misión (MCR) .....	24
4.2. Revisión de los Requerimientos del Sistema (SRR) .....	27
4.3. Revisión del Diseño Preliminar (PDR).....	30
4.4. Revisión del Diseño Critico (CDR).....	35
5. Comentarios de cierre .....	35
Referencias.....	36

## 1. Introducción

El planteamiento inicial de una misión espacial es un punto clave en el desarrollo de la tecnología espacial. Una necesidad específica es lo que crea la misión [1]. Sea una misión satelital, una misión interplanetaria o un experimento científico, el tener de acuerdo con usuarios, ingenieros y actores involucrados es muy importante.

Una misión espacial conlleva un grado de complejidad elevado por lo que se suele emplear un enfoque de ingeniería de sistemas, contemplado varias fases de desarrollo. La ingeniería de sistemas puede ser entendida desde diferentes puntos de vista como sigue (meter cita):

- El Manual de Ingeniería de Sistemas de INCOSE<sup>1</sup> menciona que: “La ingeniería de sistemas” es un enfoque interdisciplinario y un medio para permitir la realización de sistemas exitosos. Los sistemas exitosos deben satisfacer las necesidades de sus clientes, usuarios y otras partes interesadas”).
- El Manual de Ingeniería de Sistemas de la NASA menciona que “ingeniería de sistemas” se define como un enfoque metódico y multidisciplinario para el diseño, realización, gestión técnica, operaciones y retiro de un sistema. Un "sistema" es la combinación de elementos que funcionan juntos para producir la capacidad requerida para satisfacer una necesidad. Los elementos incluyen todo el hardware, software, equipo, instalaciones, personal, procesos y procedimientos necesarios para este propósito."
- ESA ECSS E-10 Parte 1B: “La ingeniería de sistemas es el enfoque interdisciplinario que gobierna el esfuerzo técnico total para transformar un requerimiento en una solución de sistema".

Este manual tiene por objetivo profundizar en la metodología de ingeniería de sistemas utilizada por NASA para el desarrollo de proyectos espaciales para que alumnos y personas interesadas desarrollar un proyecto espacial, puedan tener una referencia de partida. Si bien existen otras metodologías, la de NASA es la que tiene un mayor acercamiento.

## 2. Estrategias de Ingeniería de sistemas usada por NASA

NASA ha puesto a disposición su “Manual de Ingeniería de Sistemas” [2], el cual describe mejores prácticas que deben ser incorporadas para desarrollar e implementar programas y proyectos. Este manual debe utilizarse como complemento para implementar NPR<sup>2</sup> 7123.1: Procesos y requisitos de ingeniería de sistemas [3], así como los manuales y directivas específicos del Centro desarrollados para implementar la ingeniería de sistemas en la NASA.

---

<sup>1</sup> INCOSE son las sigla del International Council on Systems Engineering (<https://www.incose.org/>).

<sup>2</sup> NASA Procedural Requirements

Es importante mencionar, que el “Manual de Ingeniería de Sistemas” presenta de una manera más amigable como usar NPR 7123.1.

De acuerdo con este manual, uno de los conceptos fundamentales utilizados dentro de la NASA para la gestión de los principales sistemas es el ciclo de vida del programa / proyecto, que categoriza todo lo que se debe hacer para lograr un programa o proyecto en distintas fases que están separadas por puntos clave de decisión (KDP). *Los KDP son los eventos en los que una autoridad de decisión<sup>3</sup> determina la preparación de un programa / proyecto para avanzar a la siguiente fase del ciclo de vida (o al siguiente KDP).* Los límites de fase se definen de modo que proporcionen puntos naturales para las decisiones de "seguir" o "no pasar". Las decisiones de proceder pueden estar condicionadas por elementos no cumplidos que deben eliminarse dentro de un período de tiempo acordado. Se puede permitir que un programa o proyecto que no apruebe un KDP vuelva a intentarlo más tarde después de abordar las deficiencias que impidieron aprobar el KDP, o se puede cancelar.

Todos los sistemas comienzan con el reconocimiento de una necesidad o el descubrimiento de una oportunidad y continúan varias etapas de desarrollo hasta el final del proyecto. Si bien los impactos más dramáticos de las actividades de análisis y optimización asociadas con la ingeniería de sistemas se obtienen en las primeras etapas, las decisiones que afectan el costo continúan siendo susceptibles al enfoque de sistemas incluso cuando se acerca el final de la vida útil del sistema.

El ciclo de vida del proyecto en fases organiza todo el proceso en piezas más manejables. El ciclo de vida del programa / proyecto debe proporcionar a los gerentes/miembros del grupo de trabajo, una visibilidad del progreso que se realiza en momentos que se ajustan a los entornos de gestión y presupuestarios.

De acuerdo con la Fig.1, para que el NPR 7123.1 pueda funcionar, es necesario seleccionar un ciclo de vida para un tipo de proyecto en particular. Por ejemplo:

- Para proyectos de vuelos espaciales se selecciona NPR 7120.5, Requisitos de gestión de proyectos y programas de vuelo espacial de la NASA,
- Para tecnología de la información se selecciona NPR 7120.7, Requisitos de gestión de proyectos y programas de infraestructura institucional y tecnología de la información de la NASA,
- Para investigación y tecnología se selecciona NPR 7120.8, Requisitos de gestión de proyectos y programas de investigación y tecnología de la NASA,
- Para software se selecciona NPR 7150.2 Requisitos de ingeniería de software de la NASA.

---

<sup>3</sup> Usualmente esta autoridad de decisión es un conjunto de personas que forman un comité de evaluación.

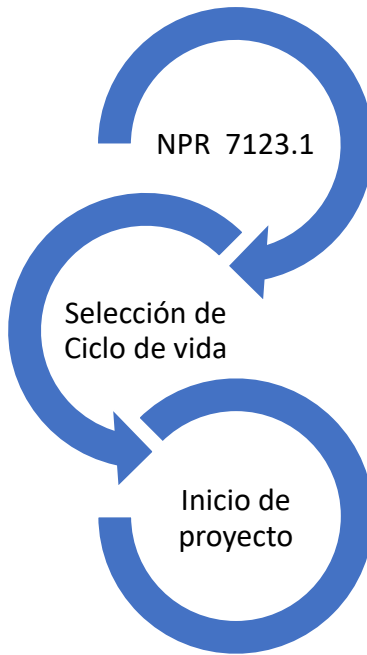


Figura 1.-Acoplamiento de diferentes NPR para iniciar un proyecto espacial.

HASA Life-Cycle Phases	Approval for Formulation			Approval for Implementation			
Project Life-Cycle Phases	Pre-Phase A: Concept Studies	Phase A: Concept & Technology Development	Phase B: Preliminary Design & Technology Completion	Phase C: Final Design & Fabrication	Phase D: System Assembly, Integration & Test, Launch & Checkout	Phase E: Operations & Sustainment	Phase F: Closeout
Project Life-Cycle Gates, Documents, and Major Events	KDP A FAD Preliminary Project Requirements	KDP B Preliminary Project Plan	KDP C Baseline Project Plan	KDP D	KDP E Launch	KDP F End of Mission	Final Archival of Data
Agency Reviews		ASM <sup>7</sup>					
Human Space Flight Project Life-Cycle Reviews <sup>1,2</sup>	MCR	SRR SDR	PDR	CDR / PRR <sup>3</sup>	SIR	ORR FRR PLAR	CERR <sup>4</sup> DR DRR
Re-flights			Re-enters appropriate life-cycle phase if modifications are needed between flights		Inspections and Refurbishment		PFAR
Robotic Mission Project Life-Cycle Reviews <sup>1,2</sup>	MCR	SRR MDR <sup>5</sup>	PDR	CDR / PRR <sup>3</sup>	SIR	ORR MRR PLAR	CERR <sup>4</sup> DR DRR
Other Reviews				SAR <sup>6</sup>		SMSR LRR (LV), FRR (LV)	
Supporting Reviews	Peer Reviews, Subsystem PDRs, Subsystem CDRs, and System Reviews						
<b>FOOTNOTES</b>				<b>ACRONYMS</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>Flexibility is allowed as to the timing, number, and content of reviews as long as the equivalent information is provided at each KDP and the approach is fully documented in the Project Plan.</li> <li>Life-cycle review objectives and expected maturity states for these reviews and the attendant KDPs are contained in Table 2-5.</li> <li>PRR is needed only when there are multiple copies of systems. It does not require an SRB. Timing is notional.</li> <li>CERRs are established at the discretion of program.</li> <li>For robotic missions, the SRR and the MDR may be combined.</li> <li>SAR generally applies to human space flight.</li> <li>Timing of the ASM is determined by the MDAA. It may take place at any time during Phase A.</li> </ol>				MDR - Mission Definition Review MRR - Mission Readiness Review CDR - Critical Design Review ORR - Operational Readiness Review CERR - Critical Events Readiness Review PDR - Preliminary Design Review DR - Decommissioning Review PFR - Post-Flight Assessment Review PLAR - Post-Launch Assessment Review PRR - Production Readiness Review SAR - System Acceptance Review SDR - System Definition Review SIR - System Integration Review LRR - Launch Readiness Review SMSR - Safety and Mission Success Review SRB - Standing Review Board SRR - System Requirements Review MCR - Mission Concept Review			
<p>▲ Red triangles represent life-cycle reviews that require SRBs. The Decision Authority, Administrator, MDAA, or Center Director may request the SRB to conduct other reviews.</p>							

Figura 2 Ciclo del Proyecto de vida de NASA de acuerdo con NPR 7120.5E [4]

El NPR 7120.5 define las principales fases del ciclo de vida de la NASA como: Formulación e Implementación. Para proyectos de sistemas de vuelo espacial, las fases del ciclo de vida “NASA Space Flight Program and Project Management Requirements”, se dividen en las siguientes fases que corresponden al ciclo de vida del proyecto [4] :

- Formulación previa del programa:
  1. Prefase A: Estudios de conceptos
- Formulación del programa
  2. Fase A: Desarrollo de concepto y tecnología
  3. Fase B: Diseño preliminar y finalización de la tecnología
- Implementación del programa:
  4. Fase C: Diseño final y fabricación
  5. Fase D: Montaje, integración y prueba del sistema, lanzamiento
  6. Fase E: Operaciones y mantenimiento
  7. Fase F: Cierre

En la Fig. 2, se muestra el ciclo de vida de los proyectos de vuelos espaciales de la NASA e identifica los KDP y las revisiones de las diferentes fases.

Es importante mencionar que para cada fase se elaboran una serie de documentos, los cuales deben ser evaluados en cada KDP para determinar el avance a la siguiente fase o no. Los criterios de éxitos para pasar de una fase a otra se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1. Adicionalmente, es posible utilizar otro tipo de NPR para desarrollar proyectos más pequeños como lo son los CubeSats [5]. Para estos casos, se recomienda el NPR 7120.8 [6]. Para estos casos, el acoplamiento de NPR quedaría así:



Figura 3. Uso de diferentes NPR para proyectos tipo CubeSats.

### 2.1. NPR 7123.1 vs. NPR 7120.8 para proyectos pequeños

El NPR 7123.1 describe el ciclo de vida para proyectos de vuelos espaciales grandes y sumamente complejos. A menudo esta clase de proyectos se desarrolla a lo largo de varios años. Para el caso de proyectos de menor duración y complejidad como los CubeSats, se recomienda utilizar el NPR 7120.8 que es mucho más flexible y menos complicado de

implementar. Si se compara las Figs. 2 y 4 se podrá ver las diferencias en cuanto a las fases que considera cada NPR. En la práctica, lo que se suele hacer es utilizar el NPR 7123.1 como base para después, dependiendo del proyecto, adaptar la metodología. Sin embargo, si desde el inicio se utiliza el 7120.8, se puede ahorrar tiempo y recursos.

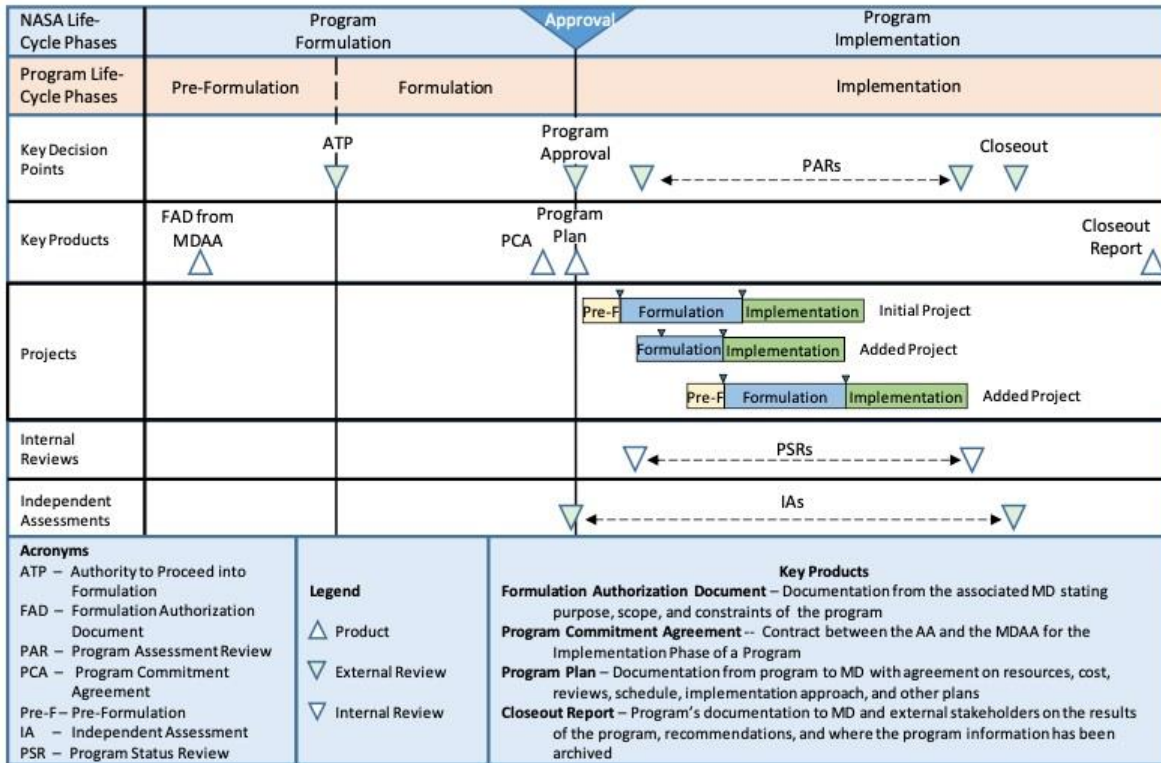


Figura 4.- Ciclo del Proyecto de vida de NASA de acuerdo con NPR 7120.8A [4]

## 2.2. Generación de documentación.

Como se mencionó anteriormente, un proyecto espacial considera distintas fases que están separadas por puntos clave de decisión (KDP). Para cada una de estas fases se genera diferentes documentos y para pasar de una fase a otra se reúne un comité que evalúa el avance del proyecto a través de estos documentos. El comité evaluador se suele proponer que este formado por especialistas externos al proyecto que puedan analizar los avances de manera imparcial sin ningún tipo de sesgo.

Los documentos generados a través de todo el proyecto espacial se les llama revisiones. Una revisión es un conjunto de rutas de retroalimentación dentro del desarrollo del sistema. El acto de revisión tiene dos objetivos principales: (i) confirmar el diseño y desarrollo correctos y (ii) exponer e Identificar problemas de diseño, desarrollo o procesos [7].

El Manual de Ingeniería de Sistemas de la NASA describe los mecanismos de las revisiones técnicas: “Las actividades típicas que se realizan para las revisiones técnicas incluyen (1) identificar, planificar y realizar revisiones técnicas de fase a fase; (2) establecer



el propósito de cada revisión, objetivo y criterios de ingreso y éxito; (3) establecer la composición del equipo de revisión; e (4) identificar y resolver los elementos de acción que resulten de la revisión "[4].

La suma total de revisiones es un esfuerzo de varios niveles dentro de cada proyecto. Algunas reseñas son pequeñas grupos que se reúnen por una corta duración; los ejemplos incluyen recorridos de código y módulos revisiones. Algunas revisiones son reuniones de grupo para evaluar el progreso o el diseño del proyecto. Algunos las revisiones son revisiones formales de diseño y aprobaciones. Cada uno tiene su estructura; cada uno tiene su propósito.

El Plan del Proyecto o SEMP debe establecer un cronograma regular para las revisiones o al menos definir cuándo las revisiones seguirán eventos específicos. En algunos casos, como con el código inspección, un cronograma no es posible, pero las inspecciones de código deben ocurrir después de la finalización de cada módulo. Independientemente, el Plan del Proyecto o el SEMP deben indicar el momento oportuno o los criterios para realizar una revisión.

Una duda recurrente en el momento de comenzar a escribir cada documento es sobre el contenido que cada reporte debe de contener. Para clarificar esto, es importante conocer las diferentes fases y la filosofía de cada revisión.

### 3. Descripción de las fases del ciclo de vida de un proyecto de vuelo espacial de NASA.

Como se observa de las Figuras 2 y 4, se muestran las diferentes fases de un proyecto espacial para diferentes ciclos de vidas. Para cada Fase se muestran las revisiones consideradas, donde las abreviaciones al español se traducen como:

- **CDR:** Critical Design Review (Revisión Crítica del Diseño)
- **CERR:** Critical Events Readiness Review (Revisión de los Eventos Críticos de la Preparación)
- **DR:** Decommissioning Review (Revisión del Desmantelamiento/Descomposición)
- **FRR:** Flight Readiness Review: (Revisión de la Preparación de Vuelo)
- **PLAR:** Post-Launch Assessment Review (Revisión de la Evaluación Post-Lanzamiento)
- **PRR:** Production Readiness Review (Revisión de la Preparación de Producción)
- **P/SDR:** Program/System Definition Review (Revisión de la Definición del Programa/Sistema)

- **KDP:** Key Decision Point (Punto Clave de Decisión)
- **MCR:** Mission Concept Review (Revisión del Concepto de la Misión)
- **MDR:** Mission Definition Review (Revisión de la Definición de la Misión)
- **ORR:** Operational Readiness Review (Revisión de la Preparación Operacional)
- **PDR:** Preliminary Design Review (Revisión del Diseño Preliminar)
- **PFAR:** Post-Flight Assessment Review (Revisión de la Evaluación Post-Vuelo)
- **PIR:** Program Implementation Review (Revisión de la Implementación del Programa)
- **P/SRR:** Program/System Requirements Review (Revisión de los Requisitos del Programa/Sistema)
- **PSR:** Program Status Review (Revisión del Status del Programa)
- **SAR:** System Acceptance Review (Revisión del Sistema de Aceptación)
- **SDR:** System Definition Review (Revisión de la Definición del Sistema)
- **SIR:** System Integration Review (Revisión del Sistema de Integración)
- **SRR:** System Requirements Review (Revisión de los Requisitos del Sistema)
- **TRR:** Test Readiness Review (Revisión de la Preparación de la Evaluación)

A continuación, se expondrá cómo evolucionan las revisiones y su contenido a través de las fases el proyecto.

### 3.1. Evolución de la madurez de los productos para NPR 7123.1

En la Fig. 5 se muestran todas las revisiones consideradas para cada Fase donde la FORMULACIÓN de un proyecto espacial tiene por objetivo establecer un programa rentable que sea demostrablemente capaz de cumplir con las metas y objetivos. Por otro lado, IMPLEMENTACIÓN tiene por objetivo ejecutar el programa y los proyectos constituyentes y asegurar que el programa continúe contribuyendo a las metas y objetivos dentro de las limitaciones de financiamiento [2]. También se muestran los KDP para pasar de una fase a la siguiente.

En esta misma figura, se muestra el contenido que cada revisión debe de considerar y su evolución. Por ejemplo, el MCR considera los siguientes apartados:

- Identificación de las partes interesadas ([Línea de Referencia](#))
- Definición de concepto ([Línea de Referencia](#))
- Definición de medida de eficacia ([Aproximado](#))
- Costo y cronograma de técnicos ([Inicial](#))
- SEMP ([Preliminar](#))
- Requisitos ([Preliminar](#))
- Planes de verificación y validación ([Aproximado](#))

en otras palabras, el documento MCR contiene la formulación inicial del proyecto, donde la Línea de Referencia es la base de un concepto que con la evolución del proyecto se irá actualizando (A). En otras palabras, la Fig. 5 muestra la evolución del contenido de cada una de las revisiones a lo largo del proyecto.

Productos	Formulación			Implementación						
	Pre Fase A	Fase A		Fase B	Fase C		Fase D		Fase E	Fase F
	KDP A	KDP B		KDP C	KDP D		KDP E		KDP F	
	MCR	SRR	MDR/SDR	PDR	CDR	SIR	ORR	FRR	DR	DRR
Identificación de las partes interesadas	**L de R	A	A	A						
Definición de concepto	**L de R	A	A	A	A					
Definición de medida de eficacia	**Aprox.									
Costo y cronograma de técnicos	Ini	A	A		A	A	A	A	A	A
SEMP	Pre	**L de R	**L de R	A	A	A				
Requisitos	Pre	**L de R	A	A	A					
Definición de medidas de desempeño técnico			**Apro							
Definición de arquitectura			**L de R							
Asignación de requisitos a siguiente nivel más bajo			**L de R							
Tendencias requeridas de los indicadores principales			**Ini	A	A	A				
Definición de solución de diseño			Pre.	**Pre	**L de R	A	A			
Definición(es) de interfaces			Pre.	L de R	A	A				
Planes de implementación (Hacer / codificar, comprar, reutilizar)			Pre.	L de R	A					
Planes de integración			Pre.	L de R	A	**A				
Planes de verificación y validación	Aprox		Pre.	L de R	A	A				
Resultados de verificación y validación						**Ini	**Pre	**Ini		
Criterios de transporte y instrucciones					Ini	F	A			
Planes de operación				L de R	A	A	**A			
Procedimientos operacionales					Pre	L de R	**A	A		
Certificación (vuelo / uso)							Pre	**F		
Planes de clausura				Pre	Pre	Pre	**L de R	A	**A	
Planes de eliminación				Pre	Pre	Pre	**L de R	A	A	**A

\*\*El artículo es un producto obligatorio para esa revisión.

L de R: Línea de Referencia

Aprox.: Aproximación

A: Actualización

Ini: Inicial

Pre: Preliminar

F: Final

Figura 5 Evolución de la madurez de los productos para NPR 7123.1 [2].

Es importante mencionar que los documentos correspondientes cada revisión pueden varias de misión en misión. A continuación, se presenta el propósito de cada fase para NPR 7120.5, las actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas. Para proyectos pequeños, se recomienda utilizar NPR 7120.8.

### 3.2. Pre-Fase A: Estudios de conceptos

El propósito de la Pre-Fase A es producir un amplio espectro de ideas y alternativas para misiones entre los que se pueden seleccionar nuevos programas / proyectos. Durante la Pre-Fase A, un equipo de estudio o propuesta analiza una amplia gama de conceptos de misión que pueden caer dentro de las limitaciones técnicas, de costos y de programación y que contribuyen al programa y a la Dirección de Misión metas y objetivos. El esfuerzo previo a la Fase A podría incluir exámenes enfocados en alto riesgo o alta tecnología Áreas de desarrollo. Estos estudios avanzados, junto con las interacciones con los clientes y otros interesados potenciales, ayudar al equipo a identificar concepto (s) de misión prometedora. Las partes interesadas clave (incluido el cliente) y de ellos se recopilan las expectativas para el proyecto. Si se pueden encontrar conceptos factibles, uno o más pueden ser seleccionado para pasar a la Fase A para un mayor desarrollo. Normalmente, los ingenieros de sistemas están muy involucrados en el desarrollo y evaluación del concepto opciones.

A continuación, para la Pre-Fase A se presenta un resumen de su propósito, actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas.

PRE-FASE A: ESTUDIOS DE CONCEPTOS	
Propósito	Producir un amplio espectro de ideas y alternativas para misiones a partir de las cuales se puedan desarrollar nuevos programas y proyectos. ser seleccionado. Determinar la viabilidad del sistema deseado; desarrollar conceptos de misión; borrador de requisitos a nivel de sistema; evaluar el rendimiento, el costo y la viabilidad del cronograma; identificar las necesidades y el alcance de la tecnología potencial.
Actividades típicas y sus productos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar / identificar los requisitos iniciales del cliente o el alcance del trabajo, que puede incluir: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Misión</li> <li>✓ Ciencia</li> <li>✓ Sistema de nivel superior.</li> </ul> </li> <li>• Identificar e involucrar a los usuarios y otras partes interesadas <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identificar las partes interesadas clave para cada fase del ciclo de vida</li> <li>✓ Capturar e identificar las expectativas de referencia como necesidades, metas objetivos (ONG)</li> <li>✓ Definir medidas de efectividad</li> </ul> </li> <li>• Desarrollar y establecer una línea base del concepto de operaciones <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identificar y realizar compensaciones y análisis de alternativas (AoA)</li> <li>✓ Realizar evaluaciones preliminares de posibles misiones</li> </ul> </li> <li>• Identificar la clasificación de riesgo</li> <li>• Identificar los riesgos técnicos iniciales</li> </ul>

- Identificar los roles y responsabilidades en el desempeño de los objetivos de la misión (es decir, equipo técnico, vuelo y personal de tierra) incluida la formación
- Desarrollar planes
  - ✓ Desarrollar SEMP preliminar
  - ✓ Desarrollar un plan de desarrollo tecnológico de referencia
  - ✓ Definir el enfoque preliminar de verificación y validación
- Preparar propuestas de programas / proyectos, que pueden incluir:
  - ✓ Justificación y objetivos de la misión;
  - ✓ Un ConOps que muestra una comprensión clara de cómo los resultados del programa serán rentables satisfacer los objetivos de la misión;
  - ✓ Estructuras de desglose del trabajo de alto nivel (WBS);
  - ✓ Ciclo de vida estimado de costo, cronograma y riesgo aproximado de magnitud (ROM);
  - ✓ Estrategias de evaluación y maduración de tecnologías.
- Satisfacer los criterios de ingreso / éxito de MCR de NPR 7123.1

#### Revisiones

- MCR
- Revisión informal de propuestas

Los criterios de éxitos de las revisiones consideradas se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1

### 3.3. Fase A: Concepto y desarrollo tecnológico

El propósito de la Pre-Fase A es producir un amplio espectro de ideas y alternativas para misiones de las cuales se pueden seleccionar nuevos programas / proyectos. Durante la Pre-Fase A, un equipo de estudio o propuesta analiza una amplia gama de conceptos de misión que pueden caer dentro de limitaciones técnicas, de costos y de cronograma y que contribuyen al programa y las metas y objetivos de la Dirección de Misión. El esfuerzo previo a la Fase A podría incluir exámenes enfocados en áreas de alto riesgo o desarrollo de alta tecnología. Estos estudios avanzados, junto con las interacciones con los clientes y otras partes interesadas potenciales, ayudan al equipo a identificar conceptos de misión prometedores. Se determinan las partes interesadas clave (incluido el cliente) y de ellos se recogen las expectativas para el proyecto. Si se pueden encontrar conceptos factibles, se pueden seleccionar uno o más para pasar a la Fase A para un mayor desarrollo. Por lo general, los ingenieros de sistemas están muy involucrados en el desarrollo y la evaluación de las opciones del concepto. En proyectos regidos por NPR 7120.5, las opciones de descope definen lo que el sistema puede lograr si los recursos no están disponibles para cumplir con la misión completa. Esto podría ser en forma de menos instrumentos, un perfil de misión menos ambicioso, logrando solo unos pocos objetivos o utilizando tecnología más barata y menos capaz. Las opciones de alcance también pueden reflejar lo que la misión puede lograr en caso de que una falla del hardware resulte en la pérdida de una parte de la arquitectura de la nave espacial; por ejemplo, lo que puede lograr un orbitador después de la pérdida de

un módulo de aterrizaje. Los criterios de éxito se reducen para corresponder con una misión descrita.

Las opciones de alcance se desarrollan cuando se desarrolla la documentación de las expectativas de las ONG u otras partes interesadas. El equipo del proyecto desarrolla un conjunto preliminar de opciones de diseño de misión como un producto de puerta para el MCR, pero estas opciones de diseño preliminar no son de base ni se mantienen. Se guardan en el archivo de documentación en caso de que se necesiten más adelante en el ciclo de vida.

Es importante en la fase previa A definir un grupo preciso de partes interesadas y usuarios para ayudar a garantizar que los objetivos de la misión y los conceptos de operaciones satisfagan las necesidades y expectativas de los usuarios finales. Además, es importante estimar la composición del equipo técnico e identificar cualquier instalación o requisitos de personal únicos.

Los estudios avanzados pueden extenderse por varios años y generalmente se enfocan en establecer objetivos de misión y formular requisitos de sistema de alto nivel y ConOps. Se pueden desarrollar diseños conceptuales para demostrar la viabilidad y respaldar las estimaciones programáticas. El énfasis está en establecer la viabilidad y deseabilidad en lugar de optimalidad. En consecuencia, los análisis y diseños están limitados tanto en profundidad como en número de opciones, pero cada opción debe evaluarse por sus implicaciones a lo largo del ciclo de vida completo, es decir, a través de Operaciones y Eliminación. Es importante en la fase previa A desarrollar y madurar una visión clara de los problemas que abordará el programa propuesto, cómo los abordará y cómo la solución será factible y rentable.

A continuación, para la Fase A se presenta un resumen de su propósito, actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas.

<b>FASE A: CONCEPTO Y DESARROLLO TECNOLÓGICO</b>	
<b>Propósito</b>	Determinar la viabilidad y conveniencia de un nuevo sistema sugerido y establecer una compatibilidad de referencia inicial. Desarrollar el concepto final de la misión, los requisitos a nivel del sistema, desarrollos tecnológicos de sistemas necesarios y planes de gestión técnica de programas / proyectos.
<b>Actividades típicas y sus productos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y actualizar los documentos de referencia en la pre-fase A si es necesario</li> <li>• Monitorear el progreso con respecto a los planes.</li> </ul>

- Desarrollar y establecer una línea base de requisitos y restricciones de alto nivel, incluidas las interfaces internas y externas, soporte integrado de logística y mantenimiento, y funcionalidad de software del sistema
- Asignar los requisitos del sistema a las funciones y al siguiente nivel inferior
- Validar requisitos
- Planes de referencia
  - ✓ Plan de Gestión de Ingeniería de Sistemas
  - ✓ Plan de Integración de Sistemas Humanos
  - ✓ Planes de control como el plan de gestión de riesgos, el plan de gestión de la configuración, el plan de gestión de datos, el plan de garantía de seguridad y misión y el plan de desarrollo o gestión de software (ver NPR 7150.2)
  - ✓ Otros planes transversales y especializados como documentación de cumplimiento ambiental, plan de vigilancia de adquisiciones, plan de control de contaminación, plan de control de interferencia electromagnética / compatibilidad electromagnética, plan de confiabilidad, plan de control de calidad, plan de gestión de piezas, plan logístico
- Desarrollar un plan preliminar de verificación y validación
- Establecer un plan de calificación humana y realizar evaluaciones iniciales
- Desarrollar una arquitectura de misión
  - ✓ Desarrollar protoboards, unidades de ingeniería o modelos para identificar y reducir conceptos de alto riesgo
  - ✓ Demostrar que existen diseños factibles y creíbles
  - ✓ Realizar y archivar estudios comerciales
  - ✓ Iniciar estudios sobre las interacciones de los sistemas humanos
- Iniciar el proceso de evaluación ambiental / Ley de Política Ambiental Nacional
- Desarrollar una evaluación inicial de desechos orbitales (NASA-STD-8719.14)
- Realizar gestión técnica
  - ✓ Proporcionar una estimación y rango de costos técnicos y desarrollar un modelo de rentabilidad a nivel del sistema
  - ✓ Definir la WBS
  - ✓ Desarrollar SOW
  - ✓ Adquirir herramientas y modelos de ingeniería de sistemas
  - ✓ Establecer estimaciones de recursos técnicos
- Identificar, analizar y actualizar riesgos
- Realizar las actividades técnicas de la Fase A requeridas de NPR 7120.5 según corresponda
- Satisfacer los criterios de entrada / éxito de las revisiones de la Fase A de NPR 7123.1

#### Revisiones

- SRR
- MDR/SDR

Los criterios de éxitos de las revisiones consideradas se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1

### 3.4. Fase B: Diseño preliminar y finalización de la tecnología

El propósito de la Fase B es que el equipo del proyecto complete el desarrollo de tecnología, ingeniería como prototipos, evaluaciones de hardware y software heredados, y otras actividades de mitigación de riesgos identificadas en el acuerdo de formulación del

proyecto (FA) y el diseño preliminar. El proyecto tiene que demostrar que sus líneas de base de planificación, técnicas, costos y cronograma desarrollados durante la formulación son completos y consistentes; que el diseño preliminar cumpla con sus requisitos; que el proyecto está suficientemente maduro para comenzar la Fase C; y que el costo y el cronograma son adecuado para permitir el éxito de la misión con un riesgo aceptable.

Durante la Fase B, se realizan actividades para establecer una línea de base inicial del proyecto, que (de acuerdo con NPR 7120.5 y NPR 7123.1) incluye “un flujo formal hacia abajo de los requisitos de desempeño a nivel de proyecto a un conjunto completo de diseño de sistemas y subsistemas especificaciones para elementos de vuelo y de tierra” y los “diseños preliminares correspondientes”. Los requisitos técnicos deben ser lo suficientemente detallados para establecer un cronograma firme y estimaciones de costos para el proyecto. También debe tenerse en cuenta, especialmente para los proyectos impulsados por AO, que la Fase B es donde los requisitos de nivel superior y los requisitos que fluyeron hacia el siguiente nivel se finalizan y se colocan bajo el control de configuración. Si bien los requisitos deben basarse en la base de la Fase A, los cambios que resulten de los estudios y análisis comerciales de la última fase A y la primera fase B pueden dar lugar a cambios o refinamiento de los requisitos del sistema.

Es importante en la Fase B validar las decisiones de diseño contra las metas y objetivos originales y ConOps. Deben tenerse en cuenta todos los aspectos del ciclo de vida, incluidas las decisiones de diseño que afectan a la formación, la gestión de los recursos de las operaciones, los factores humanos, la seguridad, la habitabilidad y el medio ambiente, y la capacidad de mantenimiento y la compatibilidad.

La línea de base de la Fase B consiste en una colección de líneas de base en evolución que cubren los aspectos técnicos y comerciales del proyecto: requisitos y especificaciones del sistema (y subsistema), diseños, planes de verificación y operaciones, y así sucesivamente en la parte técnica de la línea de base. y cronogramas, proyecciones de costos y planes de gestión en la parte comercial. El establecimiento de líneas de base implica la implementación de procedimientos de gestión de la configuración.

La fase B culmina en una serie de PDR, que contienen los PDR y PDR a nivel del sistema para los artículos finales de nivel inferior, según corresponda. Los PDR reflejan el refinamiento sucesivo de requisitos en diseños. Los problemas de diseño descubiertos en los PDR deben resolverse para que el diseño final pueda comenzar con especificaciones inequívocas de diseño. A partir de este momento, se espera que casi todos los cambios en la línea de base



representen refinamientos sucesivos, no cambios fundamentales. Los cambios de diseño significativos en la Fase B y más allá de ella se vuelven cada vez más costosos.

A continuación, para la Fase B se presenta un resumen de su propósito, actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas.

FASE B: FINALIZACIÓN PRELIMINAR DE DISEÑO Y TECNOLOGÍA	
Propósito	Definir el proyecto con suficiente detalle para establecer una línea de referencia inicial capaz de satisfacer las necesidades de la misión. Desarrollar los requisitos del producto final de la estructura del sistema (y del producto habilitante) y generar un diseño preliminar para cada producto final de la estructura del sistema.
Actividades típicas y sus productos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y actualizar documentos de referencia en fases anteriores.</li> <li>• Monitorear el progreso con respecto a los planes.</li> <li>• Desarrollar el diseño preliminar               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identificar uno o más diseños preliminares factibles, incluidas las interfaces internas y externas.</li> <li>✓ Realizar análisis de diseños candidatos e informar resultados</li> <li>✓ Realizar pruebas de desarrollo de ingeniería según sea necesario e informar los resultados</li> <li>✓ Realizar evaluaciones de integración de sistemas humanos</li> <li>✓ Seleccione una solución de diseño preliminar</li> </ul> </li> <li>• Desarrollar planes de operaciones basados en ConOps maduros               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Definir las operaciones del sistema, así como el investigador principal (PI) / gestión de propuestas de contratos, revisión, acceso y planificación de contingencias</li> </ul> </li> <li>• Informar los resultados del desarrollo tecnológico</li> <li>• Actualizar la estimación del rango de costos y los datos del cronograma (tenga en cuenta que después de incorporar y calcular el costo de los cambios de PDR, en el KDP C esto se convertirá en el compromiso de referencia de la agencia)</li> <li>• Mejorar la fidelidad de los modelos y prototipos utilizados en las evaluaciones.</li> <li>• Identificar y actualizar riesgos</li> <li>• Desarrollar un plan de seguridad y un paquete de datos de seguridad de nivel apropiado</li> <li>• Desarrollar planes preliminares               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Evaluación de desechos orbitales</li> <li>✓ Plan de clausura</li> <li>✓ Plan de eliminación</li> </ul> </li> <li>• Realizar las actividades técnicas de la Fase B requeridas de NPR 7120.5 según corresponda</li> <li>• Satisfacer los criterios de entrada / éxito de las revisiones de la Fase B de NPR 7123.1</li> </ul>
Revisiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PDR</li> <li>• Revisión de seguridad</li> </ul>

Los criterios de éxitos de las revisiones consideradas se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1.

### 3.5. Fase C: Diseño final y fabricación

El propósito de la Fase C es completar y documentar el diseño detallado del sistema que cumple con los requisitos detallados y fabricar, codificar o realizar los productos. Durante la Fase C, se realizan actividades para establecer un diseño completo (línea de base del producto), fabricar o producir hardware y codificar software en preparación para la integración. Los estudios comerciales continúan y los resultados se utilizan para validar el diseño frente a las metas, objetivos y ConOps del proyecto. Se construyen y prueban unidades de prueba de ingeniería que se asemejan más al hardware real para establecer la confianza de que el diseño funcionará en los entornos esperados. Los sujetos humanos que representan la población de usuarios participan en las evaluaciones de operaciones del diseño, uso, mantenimiento, procedimientos de capacitación e interfaces. La especialidad de ingeniería y los resultados del análisis transversal se integran en el diseño, y el proceso de fabricación y los controles están definidos y son válidos. Los ingenieros de sistemas participan en esta fase para garantizar que los diseños finales detallados de los diversos sistemas funcionen juntos, sean compatibles y probablemente cumplan con las expectativas del cliente y los requisitos aplicables. Durante la fabricación, el ingeniero de sistemas está disponible para responder preguntas y resolver cualquier problema de interfaz que pueda surgir.

Se implementa toda la planificación iniciada en la Fase A para los equipos operativos y de prueba, los procesos y el análisis, la integración del análisis de especialidad transversal y de ingeniería, y los procesos y controles de fabricación. La gestión de la configuración continúa rastreando y controlando los cambios de diseño a medida que se definen las interfaces detalladas. En cada paso del refinamiento sucesivo del diseño final, se planifican con mayor detalle las actividades de integración y verificación correspondientes. Durante esta fase, se siguen de cerca los parámetros técnicos, los cronogramas y los presupuestos para garantizar que las tendencias indeseables (como un crecimiento inesperado en la masa de naves espaciales o un aumento en su costo) se reconozcan lo suficientemente temprano como para tomar medidas correctivas. Estas actividades se centran en la preparación para el CDR, la Revisión de preparación para la producción (PRR) (si es necesario) y el SIR.

La Fase C contiene una serie de CDR que contienen las CDR a nivel de sistema y las CDR correspondientes a los diferentes niveles de la jerarquía del sistema. Se debe guardar un CDR para cada artículo final antes del inicio de la fabricación / producción de hardware y antes del inicio de la codificación de los productos de software entregables. Normalmente, la secuencia de CDR refleja el proceso de integración que ocurrirá en la siguiente fase; es decir, desde CDR de nivel inferior hasta CDR de nivel de sistema. Los proyectos, sin embargo, deben adaptar la secuencia de las revisiones para satisfacer las necesidades del proyecto. Si hay un ciclo de producción de productos, se realizará un PRR para asegurar que los planes de producción, las instalaciones y el personal estén listos para comenzar la producción. La fase C culmina con un SIR. Se crean y fundamentan los requisitos de

formación y los procedimientos de operaciones preliminares de la misión. El producto final de esta fase es un producto listo para la integración.

A continuación, para la Fase C se presenta un resumen de su propósito, actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas.

FASE C: DISEÑO FINAL Y FABRICACIÓN	
Propósito	Para completar el diseño detallado del sistema (y sus subsistemas asociados, incluidos sus sistemas de operaciones), fabricar hardware y codificar software. Generar diseños finales para cada producto final de la estructura del sistema
Actividades típicas y sus productos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar y actualizar documentos de referencia en fases anteriores.</li> <li>• Monitorear el progreso con respecto a los planes.</li> <li>• Desarrollar y documentar diseños detallados de hardware y software.               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Madure completamente y defina diseños preliminares seleccionados</li> <li>✓ Agregue las especificaciones de diseño de nivel inferior restantes a la arquitectura del sistema</li> <li>✓ Realizar y archivar estudios comerciales</li> <li>✓ Realizar pruebas de desarrollo a nivel de componente o subsistema</li> <li>✓ Documentar completamente el diseño final y desarrollar el paquete de datos</li> </ul> </li> <li>• Desarrollar / perfeccionar planes de referencia               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Definiciones de interfaz</li> <li>✓ Planes de implementación</li> <li>✓ Planes de integración</li> <li>✓ Planes de verificación y validación</li> <li>✓ Planes de operaciones</li> </ul> </li> <li>• Desarrollar / perfeccionar planes preliminares               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Planes de desmantelamiento y disposición, incluida la transición del capital humano</li> <li>✓ Repuestos</li> <li>✓ Comunicaciones (incluidas listas de mando y telemetría)</li> </ul> </li> <li>• Desarrollar / perfeccionar procedimientos para               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Refinar la integración</li> <li>✓ Fabricación y montaje</li> <li>✓ Verificación y validación</li> </ul> </li> <li>• Fabricar (o codificar) el producto</li> <li>• Identificar y actualizar riesgos</li> <li>• Monitorear el progreso del proyecto en comparación con los planes del proyecto.</li> <li>• Preparar el pago del sitio de lanzamiento y la activación y el pago posteriores al lanzamiento.</li> <li>• Finalizar el paquete de datos de seguridad de nivel apropiado y el plan de seguridad actualizado</li> <li>• Identificar oportunidades para la mejora de productos planificada previamente</li> <li>• Perfeccionar la evaluación de desechos orbitales</li> <li>• Realizar las actividades técnicas de la Fase C requeridas de NPR 7120.5 según corresponda</li> <li>• Satisfacer los criterios de ingreso / éxito de la revisión de la Fase C de NPR 7123.1</li> </ul>
Revisiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CDR</li> <li>• PRR</li> <li>• SIR</li> <li>• Revisión de seguridad</li> </ul>

Los criterios de éxitos de las revisiones consideradas se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1

### 3.6. Fase D: Montaje, integración y prueba del sistema, lanzamiento

El propósito de la Fase D es ensamblar, integrar, verificar, validar y lanzar el sistema. Estas actividades se centran en la preparación para la Revisión de preparación de vuelo (FRR) / Revisión de preparación de misión (MRR). Las actividades incluyen el ensamblaje, la integración, la verificación y la validación del sistema, incluida la prueba del sistema de vuelo en los entornos esperados dentro del margen. Otras actividades incluyen la actualización de procedimientos operativos, ensayos y capacitación del personal operativo y miembros de la tripulación, y la implementación de la logística y planificación de repuestos. Para los proyectos de vuelo, el enfoque de las actividades cambia a la integración y el lanzamiento previos al lanzamiento. La ingeniería del sistema está involucrada en todos los aspectos de esta fase, incluyendo responder preguntas, brindar asesoramiento, resolver problemas, evaluar los resultados de las pruebas de verificación y validación, garantizar que los resultados de V&V cumplan con las expectativas del cliente y los requisitos aplicables, y proporcionar información a los tomadores de decisiones para continuar/no continuar.

La planificación de las actividades de la Fase D se inició en la Fase A. Para proyectos de TI, consulte el Manual de ingeniería de sistemas de TI. La planificación de las actividades debe realizarse lo antes posible, ya que los cambios en este punto pueden resultar costosos. La fase D concluye con un sistema que ha demostrado ser capaz de lograr el propósito para el que fue creado.

A continuación, para la Fase D se presenta un resumen de su propósito, actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas

FASE D: MONTAJE, INTEGRACIÓN Y PRUEBA DEL SISTEMA, LANZAMIENTO	
Propósito	Ensamblar e integrar el sistema (hardware, software y humanos), mientras tanto, desarrollar la confianza de que podrá cumplir con los requisitos del sistema. Lance y prepárese para las operaciones. Realice la implementación, el ensamblaje, la integración y la prueba del producto final del sistema, y la transición al uso.
Actividades típicas y sus productos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualizar los documentos desarrollados y con base en las fases anteriores</li> <li>• Monitorear el progreso del proyecto en comparación con los planes.</li> <li>• Identificar y actualizar riesgos</li> <li>• Integrar / ensamblar componentes según los planes de integración</li> <li>• Realizar verificación y validación en ensamblajes de acuerdo con el Plan V&amp;V y los procedimientos               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realizar verificaciones de calificación del sistema, incluidas las verificaciones ambientales</li> </ul> </li> </ul>

- ✓ Realizar verificaciones y validaciones de aceptación del sistema (p. Ej., Pruebas de extremo a extremo que abarquen todos los elementos; es decir, elemento espacial, sistema terrestre, sistema de procesamiento de datos)
- ✓ Evaluar y aprobar los resultados de verificación y validación
- ✓ Resolver discrepancias de verificación y validación
- ✓ Archivar documentación para verificaciones y validaciones realizadas
- ✓ Informe de verificación y validación de la línea de base
- Preparar y basar
  - ✓ Manuales del operador
  - ✓ Manuales de mantenimiento
  - ✓ Manual de operaciones
- Preparar los sitios de lanzamiento, operaciones y soporte en tierra, incluida la capacitación según sea necesario.
  - ✓ Capacitar a los operadores y mantenedores del sistema inicial
  - ✓ Capacitación en planificación de contingencias
  - ✓ Confirmar la validación de telemetría y el procesamiento de datos terrestres
  - ✓ Confirme que el sistema y los elementos de apoyo estén listos para el vuelo
  - ✓ Brindar soporte al lanzamiento y verificación del sistema
  - ✓ Realizar verificaciones y validaciones operativas en órbita planificadas
- Documentar las lecciones aprendidas. Realice las actividades técnicas requeridas de la Fase D de NPR 7120.5
- Satisfacer los criterios de entrada / éxito de las revisiones de la Fase D de NPR 7123.1

#### Revisiones

- Revisiones de preparación de pruebas (TRR)
- Revisión de aceptación del sistema (SAR) o revisión previa al envío
- ORR
- FRR
- Auditorías de configuración física y funcional del sistema
- Revisión de seguridad

Los criterios de éxitos de las revisiones consideradas se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1

### 3.7. Fase E: Operaciones y sostenimiento

El propósito de la Fase E es llevar a cabo la misión principal para satisfacer la necesidad inicialmente identificada y mantener el apoyo para esa necesidad. Los productos de la fase son el resultado de la misión y el rendimiento del sistema.

El personal de ingeniería de sistemas continúa desempeñando un papel durante esta fase, ya que la integración a menudo se superpone con las operaciones de sistemas complejos. Algunos programas tienen operaciones / vuelos repetidos que requieren cambios de configuración y nuevos objetivos de misión con cada ocurrencia. Y los sistemas con necesidades complejas de sostenimiento o participación humana probablemente requerirán evaluación y ajustes que pueden estar fuera del alcance de los operadores. Las

disciplinas de ingeniería especializadas, como la mantenibilidad y el servicio logístico, también realizarán tareas durante esta fase. Tales tareas pueden requerir la reiteración y / o la repetición de los procesos de ingeniería de sistemas comunes.

El personal de ingeniería de sistemas también puede participar en la resolución de anomalías en vuelo. Además, el desarrollo de software puede continuar hasta bien entrada la Fase E. Por ejemplo, el software para una sonda planetaria se puede desarrollar y vincular durante el vuelo. Otro ejemplo sería el nuevo hardware desarrollado para incrementos de estaciones espaciales.

Esta fase abarca la evolución del sistema solo en la medida en que esa evolución no implique cambios importantes en la arquitectura del sistema. Los cambios de ese alcance constituyen nuevas "necesidades" y el ciclo de vida del proyecto comienza de nuevo. Para proyectos de vuelo grandes, puede haber un período prolongado de crucero, inserción en órbita, ensamblaje en órbita y operaciones iniciales de remoción. Cerca del final de la misión principal, el proyecto puede solicitar una extensión de la misión para continuar las actividades de la misión o intentar realizar objetivos adicionales de la misión.

A continuación, para la Fase E se presenta un resumen de su propósito, actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas

<b>FASE E: OPERACIONES Y SOSTENIMIENTO</b>	
<b>Propósito</b>	Llevar a cabo la misión y satisfacer la necesidad inicialmente identificada y mantener el apoyo para esa necesidad. Implementar el plan de operaciones de la misión.
<b>Actividades típicas y sus productos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevar a cabo una evaluación del desempeño de los vehículos de lanzamiento. Encargar y activar instrumentos científicos</li> <li>• Llevar a cabo las misiones principales previstas</li> <li>• Brindar apoyo sostenido según lo planeado             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implementar plan de repuestos</li> <li>✓ Recopile datos científicos y de ingeniería</li> <li>✓ Capacitar a operadores de reemplazo y mantenedores</li> <li>✓ Entrene al equipo de vuelo para las fases futuras de la misión (por ejemplo, operaciones de aterrizaje planetario)</li> <li>✓ Mantener y aprobar registros de operaciones y mantenimiento</li> <li>✓ Mantener y actualizar el sistema</li> <li>✓ Identificar y actualizar riesgos</li> <li>✓ Abordar informes de problemas / fallas</li> <li>✓ Procesar y analizar los datos de la misión</li> <li>✓ Solicite extensiones de misión, si se justifica</li> </ul> </li> <li>• Prepararse para la desactivación, el desmontaje y el desmantelamiento según lo planeado (sujeto a la extensión de la misión)</li> <li>• Capturar lecciones aprendidas</li> <li>• Informes completos de evaluación posterior al vuelo</li> </ul>

- Desarrollar el informe final de la misión
- Realizar las actividades técnicas requeridas de la Fase E de NPR 7120.5
- Satisfacer los criterios de entrada / éxito de las revisiones de la Fase E de NPR 7123.1

**Revisiones**

- Revisión de evaluación posterior al lanzamiento (PLAR)
- Revisión de preparación para eventos críticos (CERR)
- Revisión de evaluación posterior al vuelo (PFAR) (solo vuelos espaciales tripulados)
- DR
- Revisión de actualización del sistema
- Revisión de seguridad

Los criterios de éxitos de las revisiones consideradas se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1.

### 3.8. Fase F: Cierre

El propósito de la Fase F es implementar la planificación de eliminación y desmantelamiento de sistemas y analizar los datos y muestras devueltos. Los productos de la fase son los resultados de la misión. El ingeniero de sistemas participa en esta fase para garantizar que toda la información técnica esté correctamente identificada y archivada, para responder preguntas y resolver problemas a medida que surjan.

La Fase F se ocupa del cierre final del sistema cuando ha completado su misión; el tiempo en que esto ocurra depende de muchos factores. Para un sistema de vuelo que regresa a la Tierra después de una misión breve, el cierre puede requerir poco más que desintegrar el hardware y devolverlo a su propietario.

A continuación, para la Fase F se presenta un resumen de su propósito, actividades típicas y sus productos, así como las revisiones consideradas.

<b>FASE F: CIERRE</b>	
<b>Propósito</b>	Implementar el plan de desmantelamiento / disposición de sistemas desarrollado en la Fase E y realizar análisis de los datos devueltos y las muestras devueltas.
<b>Actividades típicas y sus productos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar el sistema y los procesos de apoyo.</li> <li>• Documentar las lecciones aprendidas</li> <li>• Informe final de la misión de referencia</li> <li>• Archivar datos</li> <li>• Capturar lecciones aprendidas</li> <li>• Realizar las actividades técnicas requeridas de la Fase F de NPR 7120.5</li> <li>• Satisfacer los criterios de entrada / éxito de las revisiones de la Fase F de NPR 7123.1</li> </ul>
<b>Revisiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DRR</li> </ul>

Los criterios de éxitos de las revisiones consideradas se encuentran en el apéndice G del NPR 7123.1

#### 4. Criterios de entrada y éxito para MCR, SRR, PDR, CDR, PPR, FRR

Como se presentó anteriormente, para cada Fase del proyecto espacial, se tiene que generar la documentación para las diferentes revisiones, donde a menudo, uno de los problemas es saber cuál es el contenido de estos documentos. Para esto se cuentan con los criterios de entrada y éxito que muestra el contenido de estas revisiones donde no existe un formato específico, es más que nada un formato libre. Adicionalmente, es importante mencionar que para un proyecto espacial existe una revisión global y revisiones para cada subsistema. Por ejemplo, para el caso de un CubeSat, el primer documento que se debe de elaborar es un MCR para la Pre-Fase A, para después generar un documento SRR para la Fase A. Adicionalmente, se deben de generar un SRR para cada subsistema considerado. Por otro lado, es importante mencionar que las revisiones dependerán del proyecto que se desea desarrollar. A continuación, se presentan las entradas y salidas de las revisiones usualmente realizadas para satélites pequeños. Los criterios de éxitos de todas las revisiones para el caso de NPR 7123.1 se encuentran en el apéndice G de este mismo documento.

##### 4.1. Revisión Conceptual de la Misión (MCR)

El MCR afirmará la necesidad de la misión y evaluará los objetivos propuestos y el concepto para alcanzar esos objetivos. El MCR debe completarse antes de entrar en la fase de desarrollo del concepto (Fase A). Un MCR exitoso respalda la determinación de que la misión propuesta satisface las necesidades del cliente y tiene la calidad y el mérito suficientes para respaldar una decisión de la administración del Centro de campo para proponer un estudio adicional al Administrador Asociado del programa de la NASA como candidato de la Fase A.

##### MCR Criterios de Entrada y Éxito [7]

Revisión Conceptual de la Misión (Mission Concept Review-MCR)	
Criterios de entrada	Criterios de éxito
1. El equipo técnico, el director del proyecto y el presidente de la revisión han acordado una agenda para el MCR, los criterios de	1. Los objetivos de la misión están claramente definidos y establecidos



<p>éxito y las instrucciones para la junta de revisión antes de la revisión.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Todos los MCR de nivel superior planificados y las revisiones de pares se han realizado con éxito y los RID<sup>4</sup> / RFA<sup>5</sup> / Elementos de acción se han abordado y resuelto con el originador o el TA<sup>6</sup> designado, o existe un plan de cierre oportuno para los que permanecen abiertos.</li> <li>3. Los siguientes productos primarios están listos para su revisión: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. ** Se han identificado las partes interesadas y se han definido las expectativas de las partes interesadas y están listas para ser referenciadas después de que se incorporen los comentarios de la revisión.</li> <li>b. ** El concepto se ha desarrollado con un nivel de detalle suficiente para demostrar una solución técnicamente factible para las necesidades de la misión / proyecto y está listo para basarse después de incorporar los comentarios de la revisión.</li> <li>c. ** Los MOE<sup>7</sup> y cualquier otro criterio de éxito de la misión se han definido y están listos para ser aprobados.</li> </ol> </li> <li>4. Los productos programáticos están listos para su revisión en los niveles de madurez establecidos en el NPR de gestión de programas / proyectos que rige.</li> <li>5. Otros productos técnicos (según corresponda) para hardware, software y elementos del sistema humano se han puesto a disposición de los participantes conoedores antes de la revisión:</li> </ol>	<p>y son inequívocos e internamente coherentes.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. El (los) concepto (s) seleccionado (s) satisfacen satisfactoriamente las expectativas de las partes interesadas.</li> <li>3. La misión es factible. Se ha identificado un concepto que es técnica y logísticamente factible. Una estimación aproximada de los costos se encuentra dentro de un rango de costos aceptable.</li> <li>4. Se han identificado y priorizado los criterios de evaluación de conceptos que se utilizarán en la evaluación de los sistemas candidatos.</li> <li>5. Se ha identificado claramente la necesidad de la misión.</li> <li>6. Las estimaciones de costos y cronogramas son creíbles y se dispone de recursos suficientes para la formulación del proyecto.</li> <li>7. El programa / proyecto ha demostrado cumplimiento con los requisitos, estándares, procesos y procedimientos aplicables de la NASA y del Centro de implementación.</li> <li>8. Los artículos TBD<sup>9</sup> y TBR<sup>10</sup> están claramente identificados con planes y horarios aceptables para su disposición.</li> <li>9. Los conceptos alternativos han considerado adecuadamente el uso de activos o productos existentes que podrían satisfacer la misión o partes de la misión.</li> </ol>
--	---

<sup>4</sup> Review Item Discrepancies

<sup>5</sup> Requests for Action

<sup>6</sup> Technical Authority

<sup>7</sup> Measures of Effectiveness

<sup>9</sup> To Be Determined

<sup>10</sup> To Be Resolved

<ul style="list-style-type: none"> <li>a. * Metas y objetivos de la misión / proyecto que están listos para ser referenciados después de que se incorporen los comentarios de revisión.</li> <li>b. Conceptos alternativos que han sido analizados y están listos para ser revisados.</li> <li>c. * Costos iniciales informados por riesgo y estimaciones del cronograma para la implementación.</li> <li>d. * Opciones de descripción preliminar de la misión.</li> <li>e. * Una evaluación preliminar realizada por el equipo de los principales riesgos técnicos, de costos, programados y de seguridad con estrategias y opciones de mitigación y gestión de riesgos asociadas desarrolladas.</li> <li>f. * Enfoque preliminar para la verificación y validación de los conceptos seleccionados.</li> <li>g. * Un SEMP<sup>8</sup> preliminar (o documentación del proyecto equivalente), incluidos los planes técnicos.</li> <li>h. * Plan de desarrollo de tecnología que está listo para ser incluido en la línea de base después de incorporar los comentarios de revisión</li> <li>i. * Disponibilidad tecnológica inicial que ha sido evaluada y documentada con activos tecnológicos, productos patrimoniales y brechas identificadas.</li> <li>j. Filosofía de tolerancia a fallas/errores de un solo punto.</li> <li>k. Evaluación preliminar del desarrollo de ingeniería y planes técnicos para lograr lo que se necesita lograr en la siguiente fase.</li> <li>l. Estrategias de soporte del ciclo de vida conceptual (logística, gestión de la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10. La planificación técnica es suficiente para pasar a la siguiente fase e incluye la planificación de hardware, software, sistemas humanos y entregables de datos.</li> <li>11. Se han identificado estrategias de riesgo y mitigación y son aceptables en base a evaluaciones técnicas de riesgo.</li> <li>12. Los componentes de software cumplen con los criterios de éxito definidos en NASA-HDBK-2203.</li> <li>13. Concordancia por parte del administrador responsable del espectro del Centro de que las necesidades de RF<sup>11</sup> se han identificado y abordado adecuadamente.</li> </ul>
--	---

<sup>8</sup> Systems Engineering Management Plan

<sup>11</sup> Radio Frequency

<p>cadena de suministro, fabricación y operación).</p> <p><b>m.</b> Criterios y productos de software, según NASA-HDBK-2203.</p> <p><b>n.</b> *** Evaluación preliminar de las necesidades de espectro de RF.</p>	
---	--

#### 4.2. Revisión de los Requerimientos del Sistema (SRR)

La Revisión de los Requerimientos del Sistema (SRR), evalúa si los requisitos funcionales y de rendimiento, definidos para el sistema de interés, responden a los requisitos del programa y garantiza que el plan de proyecto preliminar y los requisitos satisfacen la misión. [1]

En caso de tratarse de una misión con características más complejas, como un vehículo espacial, es probable que se realice una evaluación de diseño, denominada como Revisión de los Requisitos del Sistema (SRR). Aquí se abordan los objetivos y restricciones de la misión. Esta revisión se lleva a cabo de manera previa a la fase de diseño preliminar, y cerca del término de la fase conceptual.

Entre los elementos que puede contener están un calendario y presupuesto del proyecto, las políticas de la empresa o cliente, una estructura organizativa del proyecto e interfaces, los objetivos del proyecto, proceso y gestión de los requisitos, investigación o literatura referente a la búsqueda de patentes, impulsores de desarrollo, estudios de mercado enfocados en identificar las limitaciones y la viabilidad del diseño, la arquitectura del sistema, planes de integración y prueba, así como la evaluación de riesgos.

A su vez, en los requisitos se contemplan la misión, donde se toma en consideración el entorno, recursos disponibles y la interacción con otros sistemas; el rendimiento, que involucra la características y limitaciones técnicas; principales funciones e interfaces del sistema; fabricación y logística; mantenimiento y apoyo; seguridad.

Dentro de la arquitectura del sistema se incluye el concepto, los componentes de hardware y software, los conceptos de operación (ConOps) y el sistema de apoyo y logística.

SRR Criterios de Entrada y Éxito [7]

Revisión de Requisitos del Sistema para Proyectos y Programas de un mismo proyecto	
Criterios de Entrada	Criterios de Éxito
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El Proyecto ha culminado exitosamente las revisiones del ciclo de vida planificadas previamente y se han presentado respuestas para todo RFAs y RIDs, o existe un plan puntual de cierre para aquellos temas por resolver.</li> <li>2. Una agenda preliminar de SRR, criterio de éxito, e instrucciones para el comité de evaluación que se han acordado por el equipo técnico, director del proyecto, y revisión previa al SRR.</li> <li>3. Todas las revisiones previstas de SRR y de igual o mayor nivel se han llevado a cabo satisfactoriamente y RID/RFA/Elementos de acción, se han abordado y solucionado con el autor o determinado TA, o existe un plan de cierre oportuno para aquellos pendientes.</li> <li>4. Los productos programáticos están listos para revisión con el nivel de desarrollo establecido en la gestión general del programa/proyecto NPR.</li> <li>5. Los siguientes Productos técnicos primarios para hardware, software y recursos humanos del equipo son accesibles oportunamente para los participantes previo a la revisión: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. **Los requerimientos para el sistema examinado listos para partir de la revisión y la atribución preliminar de la etapa anterior realizada.</li> <li>b. **Para los proyectos, programas AO<sup>12</sup> de una primera fase y para programas de un mismo proyecto, el SEMP (o documentación equivalente del programa/proyecto) está listo para partir de las observaciones incorporadas en la revisión.</li> </ol> </li> <li>6. Otros productos de SRR (según sea pertinente) para hardware, software, y recursos humanos del equipo que se dan a conocer a los involucrados. <ol style="list-style-type: none"> <li>a. *Definición de concepto actualizada.</li> <li>b. *Concepto de operaciones actualizado.</li> <li>c. Requisitos del responsable actualizados.</li> </ol> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los requisitos funcionales y el rendimiento definido para el Sistema atiende a las necesidades de los interesados y los requisitos del responsable, plasmar el uso operacional previsto de los sistemas, y describir las capacidades que se pueden lograr dentro del alcance del proyecto.</li> <li>2. El Desarrollo de la definición de necesidades y programas vinculados es suficiente para comenzar la Fase B.</li> <li>3. El Proyecto utiliza un proceso prudente para la distribución y control de las necesidades a lo largo de todas las etapas, y un plan se ha definido para completar los requerimientos definidos en etapas anteriores dentro de un tiempo determinado.</li> <li>4. Se identificaron interfaces de sistema con entidades externas y entre los elementos internos esenciales.</li> <li>5. Se han establecido diversos enfoques determinados sobre cómo se validarán y verificarán los requerimientos.</li> <li>6. Se han identificado los principales riesgos y evaluado técnicamente, y se definieron estrategias viables para la su mitigación.</li> <li>7. El programa/Proyecto demuestra cumplimiento pertinente con NASA y los requerimientos del Centro de desarrollo, estándares, procesos, y procedimientos.</li> <li>8. Los elementos de TBD y TBR están identificados claramente con planes y agenda aceptables para su disposición.</li> <li>9. Los componentes de software satisfacen de manera adecuada los criterios definidos en NASA-HDBK-2203.</li> <li>10. Conformidad por parte del responsable del Centro de control de espectro que el programa/proyecto ha provisto la información del sistema RF necesarios.</li> </ol>

<sup>12</sup> Announcement of Opportunity

Revisión de Requisitos del Sistema para Proyectos y Programas de un mismo proyecto	
Criterios de Entrada	Criterios de Éxito
<p>d. *Plan de control de riesgos preparado tomando en cuenta la incorporación de las observaciones.</p> <p>e. *Evaluación y mitigación de riesgos actualizada.</p> <p>f. *Plan de gestión de configuración preparado partiendo de la incorporación de las observaciones.</p> <p>g. Árbol de documentos inicial o estructura modelo.</p> <p>h. Método de verificación y validación preliminar definido por requerimiento.</p> <p>i. Análisis preliminar de confiabilidad del sistema.</p> <p>j. Certificación del producto o aceptación de datos requeridos del producto.</p> <p>k. Interfaces con sistemas externos se identifican y tomando como punto de partida las definiciones preliminares (e.g., Documentos de la Interfaz de Control).</p> <p>l. MOPs<sup>13</sup> preliminares y TPM<sup>14</sup> u otros requerimientos de manejo importantes.</p> <p>m. Otras especialidades, disciplinas o estudios, según se requiera.</p> <p>n. *Actualización de costos y planificación (tiempos) estimada para la implementación del proyecto.</p> <p>o. *Actualización de documentación de Base de Presupuesto (Costo y planificación).</p> <p>p. *Actualización de Plan de Desarrollo de Tecnología</p> <p>q. *Actualización de la disponibilidad de la evaluación de la tecnología que se ha revisado y documentado que incluye recursos tecnológicos, productos patrimoniales, y brechas de capacidades identificadas.</p> <p>r. Documentación logística (e.g., Plan preliminar de mantenimiento).</p> <p>s. *Paquete Inicial de Certificación de Calificación del Personal.</p> <p>t. *Sistema de fiabilidad y plan de confianza de la misión, tomando como punto de</p>	<p>11. El diseño propuesto es apropiado y consistente con la supervisión vigente de la Agencia y el Centro.</p> <p>12. Experiencias obtenidas de otros proyectos y programas que se han definido y abordado.</p> <p>13. Filosofía de Tolerancia de Fallas/Error es reflejada en los requerimientos.</p>

<sup>13</sup> Measure of Performance

<sup>14</sup> Technical Performance Measure

Revisión de Requisitos del Sistema para Proyectos y Programas de un mismo proyecto	
Criterios de Entrada	Criterios de Éxito
partida las observaciones de la revisión implementadas. u. *Concepto Preliminar de Operaciones. v. Valoración preliminar de desarrollo ingenieril y planes técnicos para alcanzar lo establecido a cumplir en la siguiente fase. w. Requisitos de Software y productos, por el NASA-HDBK-2203. x. ***RF Espectro requeridos planteados incluyendo la preparación de información requerida para el responsable del Centro de Control Espectro para la eventual Acreditación de la Fase 1. y. *Plan Preliminar IT <sup>15</sup> . z. Acreditación de producto o información sobre requerimientos de aceptación del producto.	

\*Este producto es requisito para programas/proyectos cubiertos por el NPR 7120.5. Si hay un desacuerdo entre esta tabla y el NPR 7120.5, NPR 7120.5 toma la precedencia.

\*\*Este producto es requerido por el NPR 7123.1.

\*\*\*Requerido por NPD 2570.5.

#### 4.3. Revisión del Diseño Preliminar (PDR).

El PDR demuestra que el diseño preliminar cumple todos los requisitos del sistema de interés con un riesgo aceptable y dentro de las limitaciones de coste y calendario, y establece la base para proceder al diseño detallado. [1]

En la Revisión de Diseño Preliminar (PDR) se abordan cuestiones referentes a software, mecánica, distribución de la energía, gestión térmica y diseño eléctrico, donde se evalúa factores como las cargas, estrés, márgenes, fiabilidad, requerimientos de software y estructura básica, carga computacional, lenguaje de diseño, así como herramientas de desarrollo que se emplearan en el desarrollo. Además, el PDR debe incluir estimaciones preliminares del peso, consumo de energía y volumen. [2]

El PDR parte de la determinación de los requisitos del subsistema, así como del diseño preliminar del mismo, y a su vez, es el punto de partida para proceder al diseño detallado y a los procedimientos de prueba.

<sup>15</sup> Information Technology

Un PDR presenta el diseño y las interfaces mediante diagramas de bloques, diagramas de flujo de señales y esquemas. Dentro de estos temas, un PDR debe presentar los primeros conceptos para los diagramas lógicos, circuitos de interfaz, planes de embalaje, diseños de configuración, análisis preliminares, modelado, simulación y resultados de las primeras pruebas. [2]

Los temas que pueden ser abordados en el PDR son los objetivos técnicos; cierre de elementos de acción, anomalías, desviaciones, excepciones y su resolución con respecto a la fase anterior; investigación completa, compensaciones y viabilidad; requisitos funcionales, de rendimiento, conexiones e interfaces, de seguridad, de fabricación y logística, así como de mantenimiento y asistencia técnica; análisis de diseño mecánico o estructural, pruebas de vida útil, peso, potencia, velocidad de datos, comandos, EMI/EMC, de diseño y análisis eléctrico, térmico, mecánico y de radiación.

Además, los requisitos y diseños de software; verificación del diseño, flujo y planes de pruebas, en donde intervienen el diseño y soporte de equipos de prueba, las interfaces y controladores de host; análisis de peligros y riesgos; plan de gestión de riesgos; requisitos y plan de control de contaminación; selección de cualificación de piezas, materiales y procesos.

PDR Criterios de Entrada y Éxito [7]

Revisión de Diseño Preliminar	
Criterios de Entrada	Criterio de Éxito
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El Proyecto ha completado con éxito las anteriores revisiones del ciclo de vida planificadas, y se han abordado y resuelto todos los RFAs y RIDs, o existe un plan de cierre oportuno para los pendientes.</li> <li>2. El equipo técnico, el director del proyecto y el presidente de la revisión han acordado una agenda preliminar de la PDR, los criterios de éxito y las instrucciones para la junta de revisión antes de la PDR.</li> <li>3. Todas las revisiones previstas de PDRs de igual o mayor grado se han llevado a cabo satisfactoriamente y RID/RFA/Acciones Propuesta se han abordado con el autor o determinado TA.</li> <li>4. Los productos programáticos están listos para revisión con el nivel de desarrollo establecido en la gestión general del programa/proyecto NPR.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los requisitos de alto nivel -incluidos los criterios de éxito de la misión, los TPM y cualquier restricción impuesta por el patrocinador- se acuerdan, se finalizan, se exponen claramente y son coherentes con el diseño preliminar.</li> <li>2. El flujo de requisitos verificables es completo y correcto o, en caso de no ser así, existe un plan adecuado para la resolución oportuna de los elementos pendientes. Los requisitos son trazables a los requisitos técnicos principales y a las metas y objetivos de la misión.</li> <li>3. El coste del programa/proyecto, el cronograma y el análisis JCL<sup>17</sup> (cuando sea necesario) son fiables y están dentro de las limitaciones del programa/proyecto; están listos para el compromiso de la</li> </ol>

<sup>17</sup> Joint (cost and schedule) Confidence Level

Revisión de Diseño Preliminar	
Criterios de Entrada	Criterio de Éxito
<p>5. Los siguientes productos primarios están listos para revisión:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. **Un diseño preliminar que demostró la satisfacción de todos los requerimientos técnicos e indicadores de rendimiento o que tiene exenciones.</li> </ol> <p>6. Otros productos de trabajo técnico de PDR (según aplique) para los elementos de hardware, software, y sistemas humanos se han puesto a disposición a los participantes conocedores, previo a la revisión:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Diseño de especificaciones de subsistema (hardware y software), con análisis de compensación y datos de apoyo, según se requiera, que estén listos para ser basificados después de que se incorporen los comentarios de la revisión.</li> <li>b. Estado del rendimiento técnico en relación con los márgenes, los TPM, y la resolución de las discrepancias de la revisión anterior que abordan la eficacia de los logros técnicos y la comunicación del riesgo general para el proyecto.</li> <li>c. *Evaluación actualizada de la disponibilidad tecnológica.</li> <li>d. *Plan de desarrollo de tecnología actualizado.</li> <li>e. *Evaluación de riesgos y mitigación actualizada.</li> <li>f. *El costo de ciclo de vida y el Programa de Integración Maestro están listos para ser referenciados una vez incorporados los comentarios de la revisión. Cuando sea necesario, el análisis del Nivel de Confianza Conjunto (JCL).</li> </ol>	<p>NASA; y para el Acuerdo de Gestión (para los proyectos regidos por la NPR 7120.5).</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. El diseño preliminar se espera que cumpla los requisitos con un riesgo aceptable.</li> <li>5. La definición de las interfases de Sistema (tanto las entidades externas como los elementos internos) son consistentes con la maduración técnica general, además se han identificado los riesgos asociados y representa un nivel de riesgo aceptable.</li> <li>6. Cualquier tecnología nueva requerida debe ser desarrollada hasta un estado adecuado de preparación, o existen opciones de respaldo y son apoyadas para hacerlas alternativas viables.</li> <li>7. Los riesgos del Proyecto se comprenden y se han evaluado de forma creíble, existen planes, un proceso y recursos para gestionarlos eficazmente.</li> <li>8. La seguridad y la garantía de la misión (por ejemplo, la seguridad, la fiabilidad, la capacidad de mantenimiento, los controles de calidad, las verificaciones de calidad, la gestión de los riesgos de los proveedores y las piezas eléctricas, electrónicas y electromecánicas (EEE) se han abordado adecuadamente en los diseños preliminares y todos los productos de S&amp;MA<sup>18</sup> aplicables (por ejemplo, el PRA<sup>19</sup>, el análisis de seguridad del sistema y el análisis de los modos de fallo y sus efectos) satisfacen los requerimientos, están en el nivel de madurez adecuado para esta fase del ciclo de vida del programa/proyecto e indican que los riesgos residuales de seguridad/fiabilidad del programa/proyecto están en un nivel aceptable.</li> <li>9. Existen márgenes técnicos y programáticos adecuados (por ejemplo, masa, potencia, memoria) y recursos para completar el desarrollo dentro del presupuesto, tiempo y riesgos conocidos.</li> </ol>

<sup>18</sup> Safety and Mission Assurance

<sup>19</sup> Probabilistic Risk Assessment



Revisión de Diseño Preliminar	
Criterios de Entrada	Criterio de Éxito
<p>g. *Partir del Plan de Apoyo Logístico Integrado (ILSP, Integrated Logistics Support Plan).</p> <p>h. *Tomar como punto de partida el Plan de Protección del Proyecto.</p> <p>i. Los planes de aplicación técnica listos para partir de la incorporación de los comentarios de la revisión previa (por ejemplo, el plan de medición del rendimiento técnico, el plan de control de la contaminación, el plan de gestión de las piezas, el plan de control de los entornos, Plan de control de Interferencias Electromagnéticas /Compatibilidad Electromagnética) (EMI/EMC), plan de integración de la carga útil en el portador, plan del programa de producibilidad/fabricabilidad, plan del programa de fiabilidad, plan de garantía de calidad).</p> <p>j. Los estándares de diseño aplicables que se han identificado e incorporado.</p> <p>k. *Actualización de análisis y planes de seguridad.</p> <p>l. Árbol de esquemas preliminares de ingeniería.</p> <p>m. Documentación del control de interfaces lista para la línea de base, posterior a la incorporación de los comentarios de la revisión.</p> <p>n. *Plan de verificación/validación el cual está listo para la línea de base, después de incorporar de los comentarios de la revisión.</p> <p>o. Planes de respuesta a los requerimientos regulatorios (por ejemplo, la Declaración de Impacto Ambiental), según sea necesario, listo para la línea de base, después de incorporar de los comentarios de la revisión.</p> <p>p. Plan Preliminar de Eliminación.</p> <p>q. Estimaciones y Márgenes actualizados del uso de recursos técnicos.</p>	<p><b>10.</b> El concepto operativo es técnicamente sólido, incluye (donde sea necesario) sistemas humanos, e incluye el flujo de requisitos para su ejecución.</p> <p><b>11.</b> Los estudios comerciales técnicos se han completado en su mayor parte con suficiente detalle y se han identificado los estudios comerciales restantes, existen planes para su cierre y se comprenden los impactos potenciales.</p> <p><b>12.</b> El programa/proyecto ha demostrado el cumplimiento de los requisitos, normas, procesos y procedimientos aplicables de la NASA y del Centro de Ejecución.</p> <p><b>13.</b> Los elementos TBD y TBR están claramente identificados con planes y calendarios aceptables para su disposición.</p> <p><b>14.</b> Se ha completado y resumido el análisis preliminar de los subsistemas primarios, destacando los problemas de rendimiento y margen de diseño.</p> <p><b>15.</b> Se dispone de resultados analíticos y de modelización adecuados y se han tenido en cuenta en el diseño.</p> <p><b>16.</b> La herencia de diseño ha sido evaluada convenientemente en cuanto a su aplicabilidad y adecuación.</p> <p><b>17.</b> La fabricabilidad se ha incluido adecuadamente en el diseño.</p> <p><b>18.</b> Los componentes de Software satisfacen los criterios de éxito definidos en NASA-HDBK-2203.</p> <p><b>19.</b> Confirmación, por parte del gestor del Centro de control de espectro, de que el programa/proyecto ha proporcionado los datos necesarios del sistema de RF.</p> <p><b>20.</b> La ejecución de la gestión de riesgos de la cadena de suministro y de las adquisiciones se complementa con el cronograma de desarrollo técnico.</p>

Revisión de Diseño Preliminar	
Criterios de Entrada	Criterio de Éxito
<ul style="list-style-type: none"> <li>r. *Línea base de conceptos de operación.</li> <li>s. Plan de Integración de Sistemas Humanos (HSIP, Human Systems Integration Plan) actualizado.</li> <li>t. *Paquete de Certificación de Evaluaciones humanas actualizado.</li> <li>u. Criterios y productos de Software, de acuerdo a NASA-HDBK-2203.</li> <li>v. ***El diseño y los datos necesarios son enviados al Centro/Instalaciones de control de espectro para la preparación de la solicitud de certificación de confirmación de espectro de la Fase 2, al menos 60 días antes del PDR.</li> <li>w. *Plan IT actualizado.</li> <li>x. *Plan de seguridad del Sistema IT de referencia.</li> <li>y. Estado de las adquisiciones, incluidas las actividades de gestión de riesgos en la cadena de suministro (SCRM, Supply Chain Risk Management) (por ejemplo, auditorías y evaluaciones, GIDEP<sup>16</sup>, prevención de falsificaciones).</li> <li>z. Lista de puntos potenciales puntos de falla.</li> </ul>	

\*Este producto es requisito para programas/proyectos cubiertos por el NPR 7120.5. Si hay un desacuerdo entre esta tabla y el NPR 7120.5, NPR 7120.5 toma la precedencia.

\*\*Este producto es requerido por el NPR 7123.1.

\*\*\*Requerido por NPD 2570.5.

<sup>16</sup> Government-Industry Data Exchange Program

#### 4.4. Revisión del Diseño Critico (CDR)

El CDR demuestra que la madurez del diseño es adecuada para proceder a la fabricación, el montaje, la integración y las pruebas a escala real. El CDR determina que el esfuerzo técnico está bien encaminado para completar el desarrollo del sistema, cumpliendo los requisitos

#### 5. Comentarios de cierre

Este manual tiene por objetivo mostrar de manera general aspectos cruciales para elaborar la documentación de un proyecto espacial. Para esto se recomienda utilizar una metodología de ingeniería de sistemas para realizar la gestión del proyecto. Con esto, se podrán desarrollar proyectos espaciales nacionales y generar así la experiencia en este sector que el país tanto necesita. Para generación de los documentos se pueden hacer de manera manual, o utilizando alguna herramienta de gestión. En particular, se puede utilizar el software de Valispace el cual es gratuito para proyectos universitarios.

# Referencias

- [1] C. Gutiérrez-Martínez, Introducción al Diseño de Satélites Pequeños, Puebla: SOMECyTA, 2014.
- [2] NASA, «NASA Systems Engineering Handbook,» [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/connect/ebooks/nasa-systems-engineering-handbook>.
- [3] NASA, «NPR 7123.1C: NASA Systems Engineering Processes and Requirements (w/Change 1),» [En línea]. Available: <https://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?t=NPR&c=7123&s=1C>.
- [4] NASA, «NPR 7120.5E: NASA Space Flight Program and Project Management Requirements,» [En línea]. Available: <https://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?t=NPR&c=7120&s=5E>.
- [5] C. Cappelletti, S. Battistini y B. Malphrus, Cubesat Handbook: From Mission Design to Operations, Academic Press, 2020.
- [6] NASA, «NPR 7120.8A: NASA Research and Technology Program and Project Management Requirements,» [En línea]. Available: <https://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?t=NPR&c=7120&s=8A>.
- [7] NASA, «NASA Systems Engineering Processes and Requirements (w/Change 1),» [En línea]. Available: <https://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?t=NPR&c=7123&s=1B>. [Último acceso: 4 marzo 2021].
- [8] K. R. Fowler, Developing and Managing Embedded Systems and Products, Oxford: ELSEVIER, 2015.
- [9] CubeSat, «Developer Resources,» [En línea]. Available: <https://www.cubesat.org/cubesatinfo>.
- [10] D. F. E. J. P. J.R. Wertz, Space Mission Engineering: The New SMAD, Hawthorne, CA: Microcosm, 2011.
- [11] T. L. Bergman , A. S. Lavine , F. P. Incropera y D. P. DeWitt , Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, 2017.
- [12] NASA, «NASA Technical Standards System (NTSS),» [En línea]. Available: <https://standards.nasa.gov/>.
- [13] E. C. f. S. S. (ECSS), «European Cooperation for Space Standardization (ECSS),» [En línea]. Available: <https://ecss.nl/>.

- [14] I. O. f. S. (ISO), «Internation Organization for Standardization (ISO),» [En línea]. Available: <https://www.iso.org/home.html>.
- [15] S. d. Gobernación, «Diario Oficial de la Federación (DOF),» [En línea]. Available: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5535554&fecha=22/08/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5535554&fecha=22/08/2018).
- [16] ISO, «ISO 19683:2017 Space systems — Design qualification and acceptance tests of small spacecraft and units,» [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/66008.html>.
- [17] PMI, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), 6ta ed., Newton Square, PA: Project Management Institute, 2017.
- [18] ECSS, «ECSS-E-ST-10C Rev.1 – System engineering general requirements,» [En línea]. Available: <https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-10c-rev-1-system-engineering-general-requirements-15-february-2017/>.
- [19] NASA, NASA Cost Estimating Handbook Version 4.0, 2015.
- [20] E. Azadi, «Thermally induced vibrations of smart solar panel in a low-orbit satellite,» *Advances in Space Research*, vol. 59, pp. 1502-1513, 2017.