

## *Implementación del PMBOK para el desarrollo de Nano-satélites en el IPN*

### *Implementation of the PMBOK for the development of Nano-satellites in the IPN*

Joel Crescencio Esquivel\*,  
Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo Aeroespacial, México  
[joelc.esquivel@gmail.com](mailto:joelc.esquivel@gmail.com)

José Rodrigo Córdova Alarcón,  
Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo Aeroespacial, México  
[jcordovaa@ipn.mx](mailto:jcordovaa@ipn.mx)

Alma Delia López Jarquín,  
Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, México  
[almadelia.ver@gmail.com](mailto:almadelia.ver@gmail.com)

Arturo Solís Santomé,  
Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo Aeroespacial, México  
[sol\\_mecanico@hotmail.com](mailto:sol_mecanico@hotmail.com)

Irán Grageda Arellano,  
Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo Aeroespacial, México  
[igragedaa@gmail.com](mailto:igragedaa@gmail.com)

Recibido 01, noviembre, 2018

Aceptado 02, abril, 2019

#### **Resumen**

La aplicación de métodos, herramientas y técnicas para la gestión de proyectos en el área de la ingeniería aeroespacial permite el cumplimiento de los objetivos del proyecto en términos de planeación, control y tiempo de ejecución. El presente artículo está dirigido a mostrar los resultados de la implementación de la metodología para gestión de proyectos propuesta por el Instituto de Administración de Proyectos (PMI), enfocado al desarrollo de nano-satélites en el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Mediante la implementación de la guía para la gestión de proyectos PMBOK, se considera como objeto de estudio, el diseño, construcción, integración, lanzamiento y operación del nano-satélite CINSat-1, cuyas especificaciones técnicas coinciden con las restricciones de diseño de la norma CubeSat. Con base en la metodología del PMI, se genera una estrategia para el desarrollo de plataformas satelitales. La metodología propuesta en este artículo sirve como antecedente para el desarrollo a futuro de otras plataformas satelitales en el IPN.

Palabras clave: Nano-satélites, PMI, administración de proyectos, CubeSat, análisis y diseño de la misión

**Mathematics Subject Classification (2010):** 76G99

#### **Abstract**

*The implementation of project management methods, tools and techniques in aerospace discipline, allows the accomplishment of project objectives in terms of planning, control and execution time. This paper is aimed to show the obtained results of the implementation of a project management methodology proposed by the Project Management Institute (PMI), into satellite development program in National Polytechnic Institute (IPN). Based on the project management guide PMBOK, the design, development, integration, launch and operation of the nanosatellite CINSat-1 has been considered, which technical specifications are compatible with the design restrictions given by CubeSat norm. Based on PMI methodology, a strategy for the development of satellite platforms is derived. The proposed strategy works as a foregoing for the development of future satellite platforms in IPN.*

*Keywords: Nano-satellites, PMI, Project management, CubeSat, mission analysis and design*

## 1. INTRODUCCIÓN

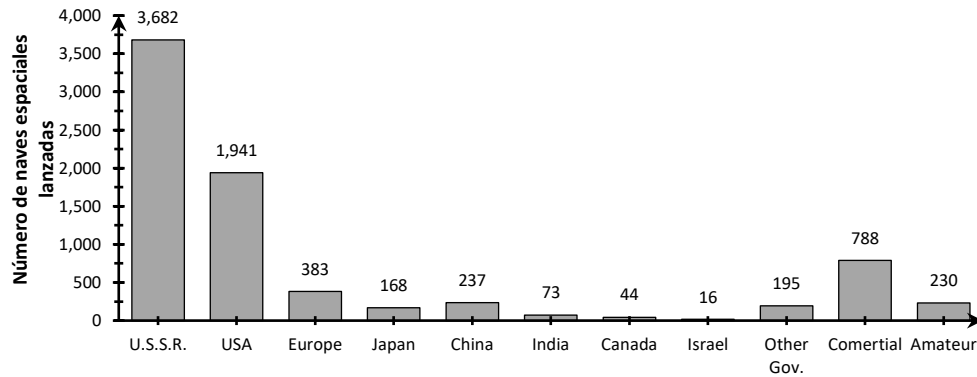
La gestión de proyectos (Project Management) ha sido reconocida durante los pasados 30 años como una eficiente herramienta para manejar actividades novedosas y complejas que inevitablemente han sido llamadas proyectos (A. K. Munss, 1996). A través de varias etapas de evolución la gestión de proyectos ha progresado y se ha establecido como un conocido método de gestión, por el cual es usada en la industria abiertamente, (Marc Lappe, 2013) de acuerdo con el Instituto de Gestión de Proyectos. La gestión de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo (Project Management Institute 2013), debido a esto la gestión de proyectos ha estado presente en casi cualquier actividad humana ya sea edificación de un rascacielos, construcción de un puente, estaciones de energía nuclear o proyectos espaciales.

Particularmente en los proyectos espaciales, hubo un gran interés en la aplicación de los métodos de gestión de proyectos debido a la complejidad de su desarrollo, ya que el desarrollo de plataformas satelitales han tenido que coexistir con el desarrollo de tecnologías y los retos de la innovación e investigación (Marcello Spagnulo, 2013). Philip Scranton, profesor de la universidad de Rugter argumenta que los proyectos espaciales involucran exploración, ingeniería y una innovadora practica científica (Steven j. Dick, 2007), además de la necesidad de la coordinación de todos los esfuerzos de los involucrados en el desarrollo del proyecto espacial para el éxito del mismo. Para garantizar su éxito, los funcionarios de la NASA han utilizado técnicas de gestión de proyectos (Project Management), para llevar a cabo misiones de exploración espacial desde la fundación de esta agencia (Howard E. McCurdy, 2013).

Los primeros programas espaciales comenzaron con el fin de la Segunda Guerra Mundial y principalmente llevados a cabo por la antigua Unión de Repúblicas Socialista Soviética (URRS) y Estados Unidos de América (EUA). Ambas naciones iniciaron su viaje espacial con programas de índole militar. El objetivo del primer proyecto espacial dado a conocer públicamente fue de naturaleza científica y fue anunciado por EUA en 1957, con el proyecto Vanguard. La ex Unión Soviética hizo el mismo anuncio y puso en órbita el primer satélite artificial SPUTNIK el 4 de octubre de 1957, antes que EUA. Con este logro, se dio comienzo del desarrollo de tecnología espacial exclusivamente producido por EUA y la ex Unión Soviética (Marcello Spagnulo, 2013).

Actualmente son pocos los países que participan en actividades de desarrollo tecnológico espacial, el interés de más países en incursionar en el campo de la ingeniería espacial está creciendo y han reconocido la importancia del desarrollo y la aplicación de tecnología espacial, de tal manera que estos países están creando o revigorizados programas espaciales nacionales para el desarrollo de plataformas satélites. Entre los años de 1980 y 1990, varias universidades alrededor del mundo se sumaron a las actividades satelitales (por ejemplo, la Universidad de Surrey en Inglaterra, Universidad de Stanford en EUA, entre otras) incorporándose en comunidades de aficionados para crear otro enfoque a la ingeniería satelital, en la Figura 1 se ejemplifica con un histograma la actividad espacial a nivel mundial de acuerdo a los lanzamientos totales que se han realizado. Estas instituciones académicas iniciaron el desarrollo de lo que hoy se conoce como satélites pequeños, donde el tiempo de desarrollo es corto y el costo es relativamente bajo, participan un número reducido de especialistas y el tiempo correspondiente al ciclo de vida del proyecto, desde su concepción hasta su lanzamiento es corto (Fabio Santoni, 2013).

De acuerdo con la NASA un satélite es una luna, planeta o máquina que orbita un planeta o estrella (NASA/GOV.), la clasificación satelital puede ser acorde al tipo de funcionamiento que tenga, de observación, comunicación o meteorológico. También se clasifican conforme al rango de la masa. La clasificación de los satélites usada por USA y Europa de acuerdo a su rango de masa se muestra en la Tabla I (Alex Ellery 2005).



**Figura 1.** Actividad espacial.

**Tabla I.** Clasificación De Los Satélites.

Satélites	Masa (Kg)
Grandes y medianos	>500
Mini satélites	100-500
Micro satélites	10-100
Nano satélites	1-10
Pico satélites	0.1-1
Femto satélites	<100g

La terminología de pequeños satélites aún no está estandarizada, pero esta clasificación generalmente incluye satélites de menos de 100kg.

Una norma de diseño específica para el desarrollo de nano-satélites es el CubeSat. Un CubeSat es un satélite en forma de cubo de diez centímetros en su arista, cuyas restricciones de diseño son normalizadas y posee una masa no mayor a un kilogramo. El estándar fue desarrollado por un equipo conformado por la Universidad Politécnica del Estado de California (CalPoly) y la Universidad de Stanford en EUA (Danielle Wood, 2013b). El desarrollo de este tipo de plataformas ha abierto nuevas oportunidades para la exploración espacial a instituciones académicas y países en desarrollo, disminuyendo el tiempo promedio de costo y desarrollo (A. Slavinskis, 2013).

El desarrollo de plataformas satelitales en un ambiente universitario está encaminado a la formación de recursos humanos, innovación tecnológica en varias disciplinas de la ingeniería y adquisición de experiencia en el desarrollo de la misión de un satélite, desde el diseño, desarrollo, lanzamiento y operación en órbita (K. Thayagarajan, 2004).

Dentro de esta participación por parte de universidades para el desarrollo y formación del personal capacitado el IPN ha participado en la coordinación de la construcción de sistemas satelitales nacionales Solidaridad, apoyando grupos de trabajo colaborativos en el programa interinstitucional de satélites experimentales SATEX y participado en experimentos de radio propagación del satélite de comunicaciones avanzadas de la NASA (ACTS).

Por lo tanto, con el desarrollo de una plataforma satelital en el Instituto Politécnico Nacional, que es una institución educativa del Estado creada para consolidar la independencia económica, científica, tecnológica, cultural y política para alcanzar el progreso nacional, se contribuirá a la formación de profesionales e investigadores en los diversos campos de la ciencia y la tecnología, de acuerdo con los requerimientos del desarrollo económico, político y social del país.

Actualmente, especialistas del Centro de Desarrollo Aeroespacial (CDA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), con la participación de sus unidades académicas, están desarrollando la plataforma

satelital de percepción remota CINSat-1 (CDA-IPN-NanoSat-1), cuya misión está asociada a la observación terrestre y validación tecnológica para el desarrollo futuro de misiones espaciales.

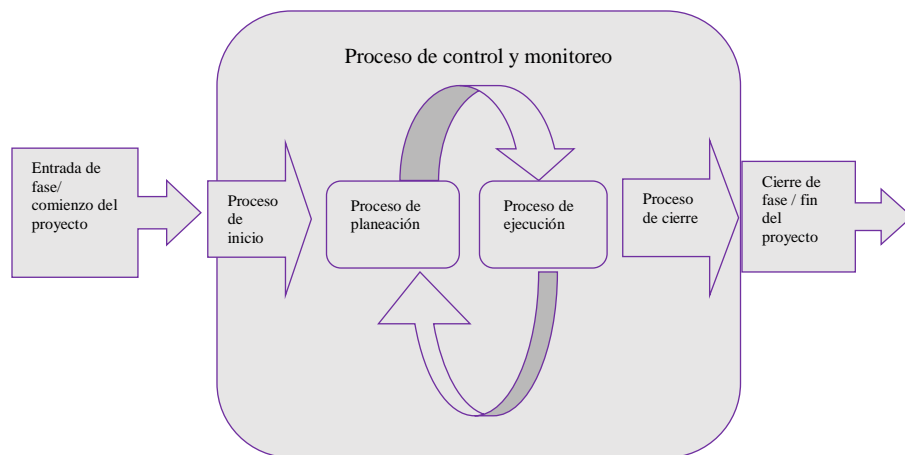
Debido a la alta interrelación entre los subsistemas que componen a un satélite, así como la descentralización de especialidades que posee el IPN por unidades académicas y la necesidad de controlar, dirigir y asignar los recursos con los que cuenta el IPN, se requiere de establecer un esquema de gestión de proyectos, para cumplir con los objetivos del proyecto CINSat-1. Para ello, se propone una metodología de gestión de proyecto, que es el objeto de estudio de este trabajo, basado en la Guía de los Fundamentos de Gestión de Proyectos (PMBOK) propuesta por el Instituto de Administración de Proyectos (PMI).

En dicho trabajo se aborda el panorama general para la gestión de la integración del proyecto y sus fases, abarcando los temas relacionados con los procesos de Iniciación del proyecto que contemplan el desarrollo del acta constitutiva del proyecto y el registro de interesados. También se enfoca en el proceso del desarrollo del plan para la dirección del proyecto, siendo los pasos generales para lograr el diseño desarrollo y operación de la plataforma satelital. En el trabajo se encamina en la necesidad del análisis y diseño de la misión para el desarrollo de la arquitectura que constituirá la plataforma satelital y las implicaciones que tienen esté proceso en el diseño del mismo; el ciclo vida del proyecto, por último, se mencionan las conclusiones derivadas de este trabajo.

## 2. PMBOK FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Kezner indica que un proyecto es cualquier serie de actividades y tareas con un objetivo específico para ser completadas dentro de ciertas especificaciones; tienen un inicio definido y una fecha de término. La gestión de proyectos es la disciplinada aplicación de conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas para las actividades del proyecto satisfaciendo los requerimientos del proyecto (Harold R. Kezner, 2013), por consiguiente, la esencia de la gestión de proyectos recae en la habilidad de planear, controlar e intervenir en el desarrollo del proyecto aplicando los conocimientos y herramientas existentes para la gestión del proyecto.

Un proceso es un conjunto de acciones interrelacionadas y actividades que se realizan para lograr un objetivo determinado. Cada proceso es caracterizado por sus entradas, técnicas y herramientas que pueden ser aplicadas y sus salidas resultantes (Project Management Institute ,2013). Estos cinco grupos de procesos que intervienen en la gestión de proyectos son: Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo y Control, y Cierre. El diagrama general de los grupos de proceso se ejemplifica en la Figura 2.



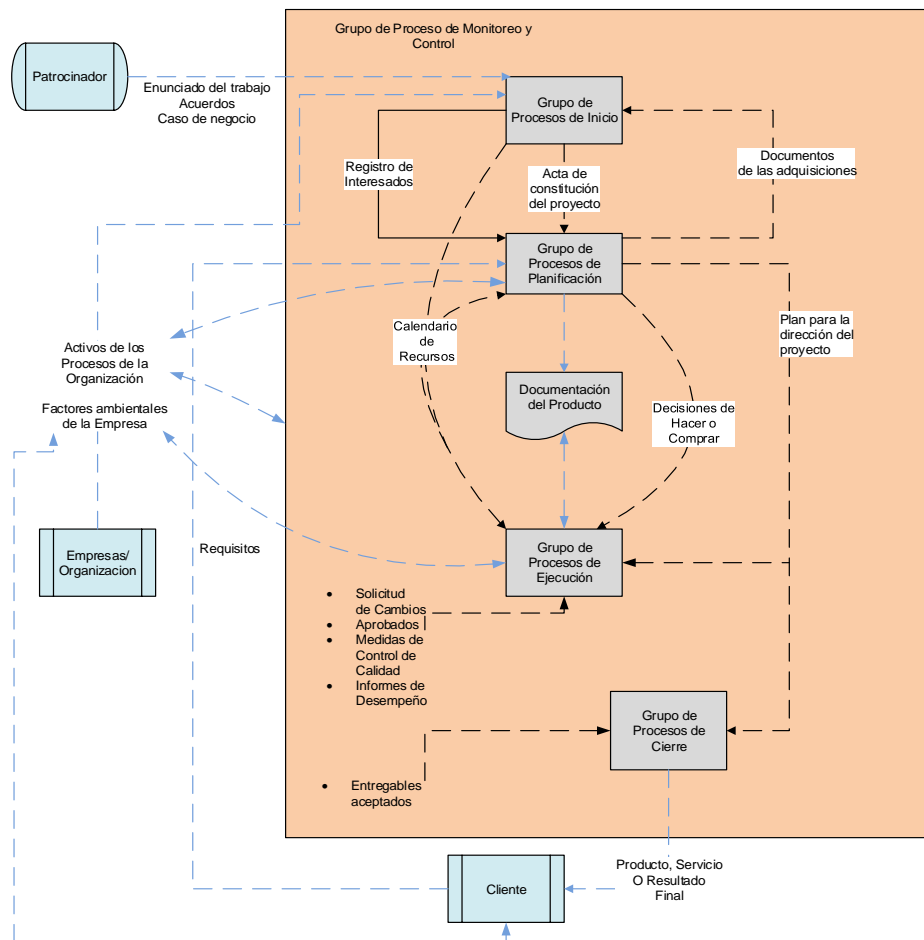
**Figura 2.** Diagrama de flujo de los grupos de proceso.

La función de la gestión del proyecto incluye entre otras actividades definir los requisitos del trabajo, el establecimiento de la medida del trabajo, la asignación de los recursos necesarios, la planificación de la ejecución del proyecto, el seguimiento de la evolución de los trabajos, ajustar las desviaciones del plan (A. K. Munss, 1996), establecer, mantener y realizar comunicaciones activas, eficaces y de naturaleza colaborativa entre los interesados; Gestionar a los interesados para cumplir los requisitos del proyecto y generar los entregables del mismo.

Para poder ejecutar correctamente la metodología del PMI para la gestión de proyectos es necesaria la correcta aplicación de sus áreas de conocimiento, las diez áreas de conocimiento que maneja el PMBOK (Project Management Institute, 2013) son:

- |                               |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 1. Gestión de la integración. | 6. Gestión de los recursos humanos |
| 2. Gestión del alcance.       | 7. Gestión de las comunicaciones.  |
| 3. Gestión del tiempo.        | 8. Gestión de los riesgos.         |
| 4. Gestión de los costos.     | 9. Gestión de las adquisiciones.   |
| 5. Gestión de la calidad.     | 10. Gestión de los interesados     |

La interacción de los cinco grupos de procesos para la dirección de proyectos ejemplificada en la Figura 3 y sus áreas de conocimiento nos proporcionan de manera lógica e iterativa una serie de pasos a seguir para la gestión del proyecto. La visión tradicional de éxito del proyecto está asociada con el cumplimiento de tiempo, costo y objetivos de calidad (Marly Monteiro de Carvalho, 2015).



**Figura 3.** Diagrama de interacción de los grupos de procesos para la dirección de Proyectos.

Estos criterios pueden ser representados gráficamente con el llamado project triangle o iron triangle, ver Figura 4, aunque estos criterios son primordiales a controlar en un proyecto, existen algunas industrias como la aeroespacial y automotriz que le dan el mismo nivel de importancia a la seguridad como a los demás criterios ya que los productos que realizan deben de operar con seguridad bajo cualquier circunstancia (Albert Lester, 2014), estos parámetros son representados por un diamante llamado project diamond mostrado en la Figura 5.



Figura 4. Project Triangle.



Figura 5. Project Diamond.

### 3. PROYECTOS ESPACIALES Y LA IMPORTANCIA DE LA MISIÓN

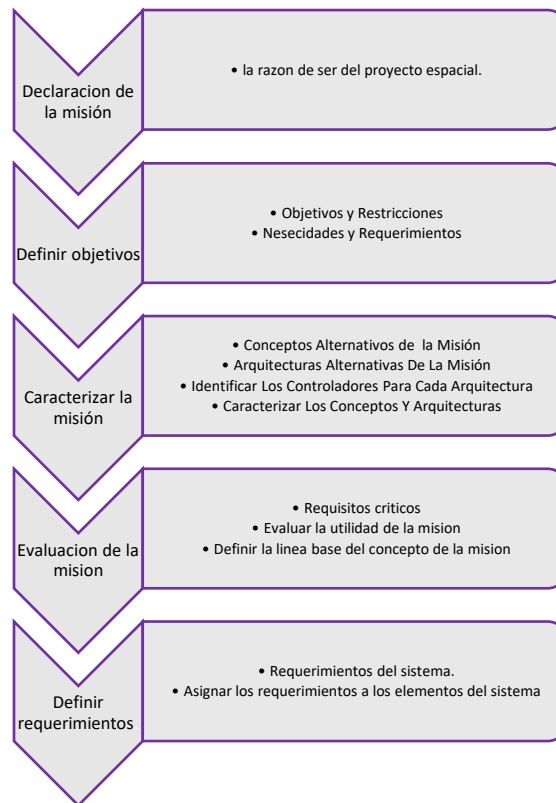
En la metodología PMBOK se enfatiza que un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único, Muller y Turners argumentan que los proyectos difieren en tamaño, unicidad y complejidad, así el criterio para la medición del éxito varía de proyecto a proyecto (Farzana Asad Mir, 2013). En proyectos satelitales, los requerimientos son únicos para cada cliente y misión, estos son puntos importantes a tomar en cuenta durante las primeras etapas del proceso del diseño satelital ya que la misión está ligada estrechamente al diseño de las plataformas satelitales (Danielle Wood, 2011a).

La identificación y concepción de la misión, incluyen el análisis de tecnologías y productos a usarse así como una estimación de costos, tiempo y por lo tanto los requerimientos a ser satisfechos son estructurados. El proceso para el análisis y diseño de la misión es un proceso iterativo para analizar varias alternativas y que gradualmente se van afinando a lo largo de las primeras etapas del proyecto espacial (Maria Antonietta, 2015).

**Diseño y análisis de la misión espacial.** Para el diseño y análisis de misiones espaciales complejas, varias herramientas son usualmente adoptadas, estas herramientas y metodologías son tema de discusión por un considerable número de autores quienes consideran el análisis funcional y los conceptos de operación como actividades fundamentales para captar los requerimientos de cada una de las categorías (misión, funcional, configuración, interface, medioambiente, operacional, diseño) puede ser derivada por medio de un correcto análisis (Maria Antonietta, 2015).

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo para el proceso de análisis y diseño de la misión de la plataforma satelital. En los proyectos espaciales uno de los criterios para alcanzar los objetivos del proyecto recae en la correcta definición de la misión y sus requerimientos, dando como resultado la línea base de la arquitectura, así como de los conceptos de operación del mismo.

El primer paso a seguir es definir la declaración de la misión, esta actividad permitirá obtener una clara y concisa declaración que representa el objetivo de la misión (Wiley J. Larson, 2005). La declaración así como los objetivos de la misión representan la línea base para el desarrollo de la plataforma satelital, derivado de éstas, las necesidades y los requisitos tanto de la misión, como de los interesados del proyecto así como las restricciones que implican el cumplir con el objetivo por el cual ha sido desarrollada la plataforma satelital, este conjunto de requisitos y restricciones nos da la pauta para la caracterización de la misión de donde se obtiene conceptos de operación, posibles arquitecturas y sus respectivos controladores que harán posible a la plataforma satelital alcanzar los objetivos de los patrocinadores o clientes.



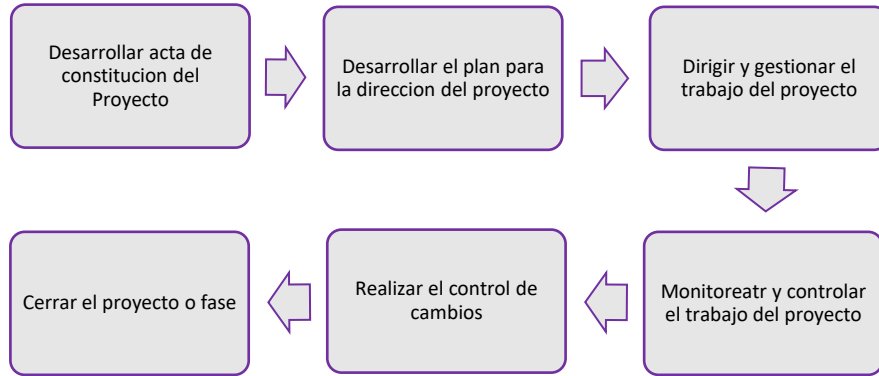
**Figura 6.** Diagrama de flujo del análisis y diseño de la misión

#### 4. IMPLEMENTACIÓN

En esta parte se da a conocer el esquema general para la implementación del proyecto satelital CinSat1 aplicando la metodología del PBOK, se gestionan e integran los cinco grupos de procesos y las diez áreas de conocimiento, para la gestión del proyecto CINSAT1. Enfocándonos a las primeras etapas que comprenden el desarrollo del acta constitutiva del proyecto, el desarrollo de la dirección del proyecto y en el diseño y análisis de la misión.

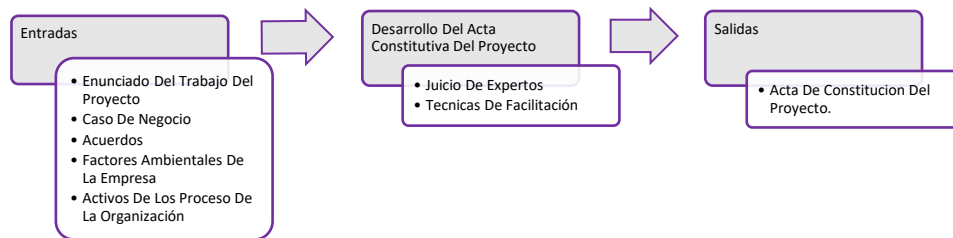
**Gestión de la integración del proyecto.** Para la implementación de la metodología del PMI una de los primeros y más importantes pasos a seguir es la gestión de la integración del proyecto, etapa donde se integran los cinco grupos de procesos, para la gestión del proyecto CINSAT1 descrita en el Figura 7, estos cinco grupos de proceso son:

- *Grupo de proceso de inicio.* Etapa en donde se definen todos los requerimientos para la aprobación e iniciar el proyecto y la identificación de los interesados del proyecto que interactuaran desde el inicio del proyecto hasta su cierre.
- *Grupo de proceso de planificación.* Etapa donde se define la planificación de la dirección del proyecto donde se establece el alcance del proyecto y se define el curso de acción para la realización del proyecto satelital.
- *Grupo de proceso de ejecución.* Se gestiona a los procesos para completar el trabajo del proyecto definido en el plan para la dirección del proyecto.
- *Grupo de proceso de monitoreo y control.* Revisar, rastrear y regular el desempeño del proyecto.
- *Grupo de proceso de cierre.* Procesos realizados para finalizar todas las actividades a través de los grupos de procesos.



**Figura 7.** Descripción general de la gestión de la integración del proyecto.

**Desarrollo del acta constitutiva del proyecto.** Desarrollo del acta constitutiva del proyecto es el primer proceso para el desarrollo del proyecto con base a la metodología del PMBOK, para el desarrollo del acta constitutiva del proyecto CINSat-1 se basa en el proceso descrito en el diagrama de flujo ejemplificado en la Figura 8. El acta constitutiva es un documento que autoriza formalmente la existencia de un proyecto y confiere al director del proyecto la autoridad de asignar los recursos con los que cuenta la organización a las actividades del proyecto, debido a esto el desarrollo del acta constitutiva del proyecto es el primer paso de los procesos descritos en la metodología del PMI.



**Figura 8.** Proceso para el desarrollo del acta constitutiva del proyecto.

El acta constitutiva del proyecto documenta las necesidades y requisitos de alto nivel del cliente o patrocinador y el servicio que el proyecto debe proporcionar. Ejemplificando lo siguiente se implementa la metodología del PMI para la gestión de proyectos al caso particular del diseño, desarrollo y puesta en operación de una plataforma satelital de percepción remota CINSAT1.

En donde las entradas del proceso son:

**Enunciado del trabajo del proyecto (SOW):** Es la descripción del producto y servicio que el proyecto tiene como resultado, para el proyecto espacial CINSaT1 se desarrollará una plataforma satelital de percepción remota para la adquisición de imágenes, como principal objetivo.

**Necesidades de negocio:** haciendo referencia a las necesidades de negocio que se pretende al realizar el proyecto, en el caso particular del CINSaT1 el proyecto se crea con la necesidad de avance tecnológico con el desarrollo de una plataforma satelital construida en el IPN.

**Descripción del alcance del producto:** donde se documentan las características del producto y el servicio que éste dará, en general el CINSaT1 será un nano-satélite del tipo CubeSat de 3 unidades el cual contara con una cámara para la captura de imágenes de la superficie terrestre que serán enviadas a la estación terrestre para su posterior procesamiento por entidades internas o externas al IPN, utilizando un sistema de comunicación de alta velocidad. Este satélite contara con un sistema de navegación y estabilización triaxial, para mantener un apuntamiento óptimo hacia un objetivo en la tierra, así como un sistema de conversión fotovoltaica basada en paneles solares desplegables.



**Plan estratégico:** entrada del proceso para el desarrollo del acta constitutiva del proyecto en el que se documenta la misión, visión, metas y los objetivos estratégicos de la organización y el proyecto se debe alinear con el plan estratégico de la organización.

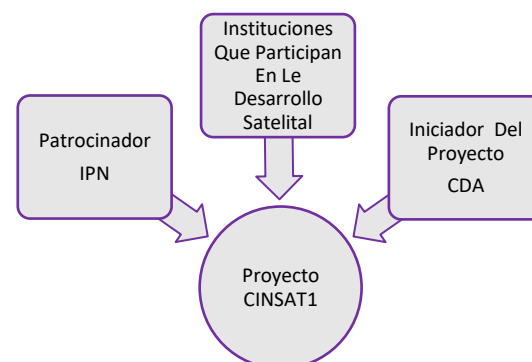
El Instituto Politécnico Nacional, al ser una institución de vanguardia, incluyente, transparente y eficiente que contribuye al desarrollo global, a través de sus funciones sustantivas, con calidad ética y compromiso social, a través del Centro de Desarrollo Aeroespacial desarrollará la plataforma satelital CINSaT1, con la que se aprovechará el potencial técnico existente en la comunidad politécnica para que se implemente una nueva metodología en el desarrollo de proyectos satelitales que coadyuven a la generación de conocimiento en las ciencias del espacio y a la atención de prioridades nacionales. Así mismo, se formará integralmente el capital humano capaz de ejercer el liderazgo en las diversas áreas de especialidad que requiere el desarrollo de satélites y se proporcionará una visión global sobre el uso eficiente y pacífico del espacio interplanetario para contribuir al desarrollo social y económico de México.

En este documento se recopila en general los siguientes elementos:

- El propósito o la justificación del proyecto.
- Los objetivos medibles del proyecto y los criterios de éxito asociados.
- Los requisitos de alto nivel.
- Los supuestos y las restricciones.
- La descripción de alto nivel del proyecto y sus límites.
- Los riesgos de alto nivel.
- El resumen del cronograma de hitos.
- El resumen del presupuesto.
- La lista de interesados.
- Los requisitos de aprobación del proyecto (es decir, en qué consiste el éxito del proyecto, quién decide si el proyecto tiene éxito y quién firma la aprobación del proyecto).
- El director del proyecto asignado, su responsabilidad y su nivel de autoridad.
- El nombre y el nivel de autoridad del patrocinador o de quienes autorizan el acta de constitución del proyecto.

Una vez presentada el acta constitutiva del proyecto y aceptada por los patrocinadores e iniciadores del proyecto, se puede proceder a disponer de los recursos dispuestos para el mismo, y pasar a la siguiente fase del proceso de la gestión de la integración del proyecto.

**Interesados del proyecto.** Uno de los aspectos a tomar en cuenta en la gestión de proyectos y que se refleja en el acta constitutiva del proyecto, es identificar a los interesados del mismo, dependiendo del rol que desempeñen los participantes se puede categorizar como, patrocinador, iniciador, operadores, usuarios finales, clientes y desarrolladores; definiendo la injerencia y participación de cada uno de los interesados a lo largo del ciclo de vida del proyecto, en la Figura 9 se observa a los interesados del proyecto, identificando a cada grupo de interesado del proyecto CINSAT.



**Figura 9.** Interesados del proyecto.

## 5. DESARROLLAR EL PLAN PARA LA DIRECCIÓN DEL PROYECTO

Con la aceptación del acta constitutiva del proyecto y la identificación de los interesados del proyecto se procede a la siguiente fase, es la elaboración del plan para la dirección del proyecto.

**Proceso de planeación.** El plan para la dirección del proyecto define la manera en que el proyecto se ejecuta, se monitorea, se controla y se cierra. En esta etapa se desarrolló la línea de acción para alcanzar los objetivos del proyecto satelital descrito en la Figura 10 y está compuesto por:

- ✂ **Inicio.** el patrocinador o iniciador del proyecto da marcha a la necesidad de la realización de un proyecto satelital.
- ✂ **Acta constitutiva del proyecto.** Autoriza formalmente la existencia del proyecto satelital y confiere la autoridad al director del proyecto de asignar los recursos de la organización a las actividades del proyecto satelital CINSAT1.
- ✂ **Diseño y análisis de la misión.** Se caracteriza y evalúa necesidades y requerimientos de la misión así como los objetivos del proyecto satelital CINSAT1, para la obtención de una o posibles arquitecturas satelitales.
- ✂ **Factibilidad.** Se evalúa la viabilidad del proyecto satelital en tanto en operación como costo.
- ✂ **Diseño.** Diseño de la arquitectura e integración de plataforma Cinsat1.
- ✂ **Desarrollo, verificación e integración.** Se completará la manufactura, ensamble y pruebas del software y hardware.
- ✂ **Operación en órbita.**
- ✂ **Desorbitar.** Cierre del proyecto.

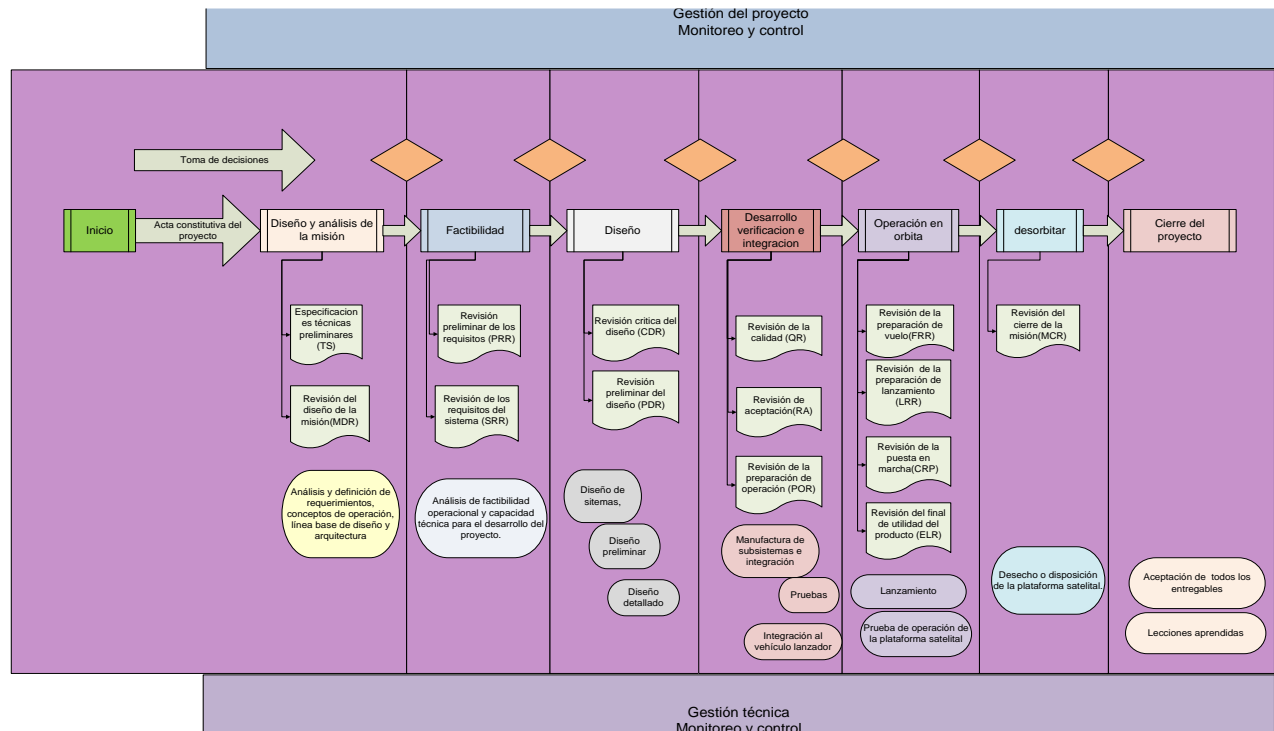
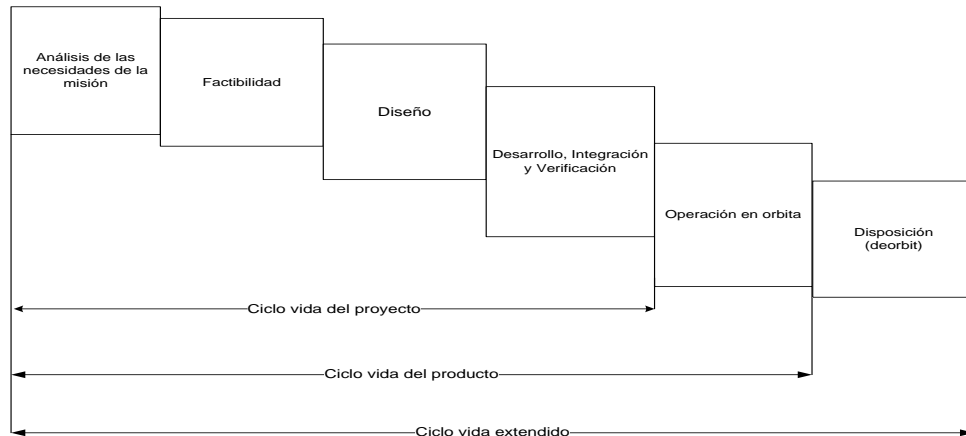


Figura 10 Plan del proyecto CINSAT1.

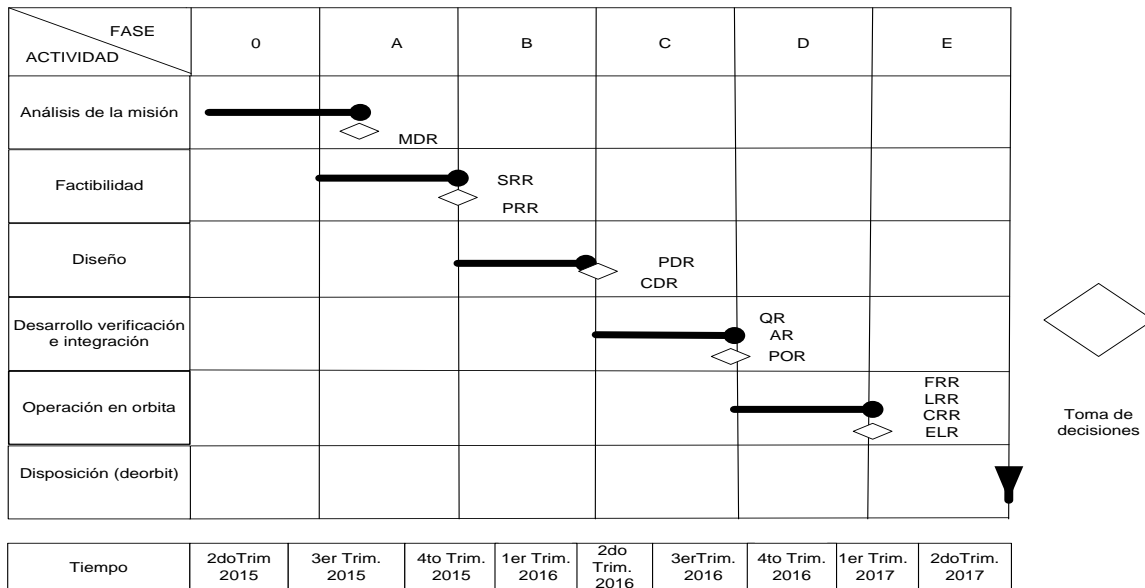
Con la planeación para la dirección del proyecto satelital obtenemos el plan general para el desarrollo de la plataforma satelital, así como establecer las fases del proyecto y el ciclo de vida del mismo.

**Ciclo de vida del proyecto.** La serie de fases por las que atraviesa un proyecto desde su concepción hasta su cierre se denomina ciclo de vida del proyecto. Estas fases suelen ser generalmente secuenciales y sus números se determinan en función de las necesidades de gestión y control de la organización, la Figura 11 presenta el ciclo de vida para el caso del proyecto espacial CINSat-1 donde se delimitan el alcance del ciclo de vida del proyecto y el ciclo de vida del producto a lo largo de las fases del proyecto.



**Figura 11.** Ciclo Vida Del Proyecto.

Todos los proyectos son divididos en fases cruciales, cada fase es marcada por el término de uno o más entregables y revisiones con el fin de determinar si el proyecto continuo a la siguiente fase y para la detección y corrección de errores (Diana Barbosa, 2012). Las fases en las cuales se dividieron el proyecto CINSat-1 son: Fase 0 análisis de la misión, fase A factibilidad, fase B diseño, fase C desarrollo, verificación e integración, fase D Operación en órbita y fase E Disposición, de acuerdo a las necesidades del proyecto y sus respectivos entregables y revisiones presentado en la Figura 12.



**Figura 12.** Fases del proyecto.

## 6. FASE0 DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA MISIÓN DEL CINSAT-1

Como anteriormente ya se ha mencionado la importancia que tiene establecer la misión del proyecto satelital ya que impacta directamente en el diseño de la plataforma y su propósito. En esta parte de la investigación se retoma el tema de manera más profunda de esta fase del proyecto.

Con base en la metodología que se presenta en el SMAD Análisis y desarrollo de la misión espacial, el proceso para definir esta fase está conformado por:

- Declaración de la misión.
- Definir los objetivos.
  - Objetivos y restricciones.
  - Necesidades y requerimientos.
- Caracterizar la misión
  - Conceptos alternativos de la misión.
  - Arquitecturas alternativas de la misión.
  - Identificar los controladores para cada arquitectura.
  - Caracterizar los conceptos y arquitecturas.
- Evaluar la misión
  - Requerimientos críticos.
  - Evaluar la utilidad de la misión.
  - Definir la línea base del concepto de la misión.
- Definir los requerimientos.
  - Requerimientos del sistema.
  - Asignar los requerimientos a los elementos del sistema.

La declaración de la misión es la razón por la cual el proyecto satelital será puesto en marcha, el trabajo que realizará en órbita. En el caso del CINSat-1 se requiere de la percepción remota para el estudio climático, con base a la declaración de la misión se definen los objetivos primarios y secundarios que la plataforma satelital cumplirá a lo largo de su operación en órbita, estos elementos ya definidos proporcionarán una base para establecer las restricciones y requerimientos y las necesidades de la misión, así como las necesidades de los interesados del proyecto clientes o patrocinadores.

***Declaración de la Misión y Objetivos.*** Es el primer paso en el proceso del diseño y análisis de la misión, la declaración de la misión debe de ser definida y se puede expresar de la siguiente forma para el caso del CINSAT1.

“Para el estudio del cambio climático y su impacto en territorio nacional por medio de la captura de imágenes, la validación de tecnología desarrollada en los centros de educación involucrados en el proyecto, para la detección de objetos cercanos a la Tierra.”

Una vez establecida la misión de la plataforma satelital el siguiente paso es definir los objetivos de la misión que serán las metas que la plataforma tendrá que cumplir para satisfacer una necesidad establecida por el cliente o patrocinador. El objetivo primario para el estudio del cambio climático por medio del monitoreo de fenómenos meteorológicos se deriva directamente de la declaración de la misión previamente discutida. Los objetivos son:

- ✂ Para monitorear fenómenos meteorológicos para el estudio del cambio climático.
- ✂ Para validación tecnológica y científica.
- ✂ Para detectar objetos cercanos a la tierra.

**Necesidades de la misión, requerimientos y restricciones.** Teniendo ya establecido los objetivos generales de la misión a cumplir, transformamos estos en un conjunto de requerimientos y restricciones en el desempeño y operación de la misión espacial, ejemplificado en la Tabla 2. Para realizar la transformación de los objetivos de la misión en requerimientos, se deben de tomar tres áreas.

- ✂ *Requerimientos funcionales:* que define como la plataforma satelital se desempeñará para alcanzar los objetivos de la misión.
- ✂ *Requerimientos operacionales:* que determinará como la plataforma satelital opera y como el usuario interactuará con él para alcanzar los objetivos generales.
- ✂ *Restricciones:* que limita costo, cronograma y técnicas de implementación disponibles para el diseño de la plataforma.

**Tabla 2.** Requerimientos y restricciones.

REQUERIMIENTO	FACTOR QUE IMPACTA AL REQUERIMIENTO	TIPO DE FACTOR
Funcional		
<b>Rendimiento</b>	Objetivo primario, carga útil, tamaño, órbita y apuntamiento.	Adquisición de imágenes.
<b>Cobertura</b>	<b>de</b> Órbita, ancho de franja, programación. Comunicaciones, arquitectura procesamiento, operaciones y retrasos	Cobertura del territorio nacional
<b>Responsabilidad operación</b>		Captura de imágenes y envío de datos en un tiempo promedio de 7 min.
<b>Misión secundaria</b>		Detección de objetos cercanos a la tierra.
Operacional		
<b>Duración de la misión</b>	Experimental u operacional	Operación de la misión al menos 1 año.
<b>Disponibilidad</b>	Nivel de redundancia	Medioambiente natural.
<b>Supervivencia</b>	Órbita y componentes electrónicos	Estaciones terrenas nacionales y amateurs a nivel mundial.
<b>Distribución de datos</b>	Arquitectura de las comunicaciones.	
Restricciones		
<b>Costo</b>	Tamaño y complejidad, tipo de órbita	Peso menor a 4Kg.
<b>Programación de calendario</b>	Disposición técnica, tamaño del programa	Capacidad operacional inicial dentro de 2 años, capacidad operacional final dentro de 3 años.
<b>Regulaciones Políticas</b>	Leyes y Regulación internacional	Regulación ITUR, NASA, ESA, Natural
<b>Medio ambiente</b>	Órbita, tiempo de vida	
<b>Interfaces</b>	Nivel de infraestructura del usuario y del operador	Estaciones terrenas disponibles.

Obteniendo el estimado preliminar de los requerimientos de la misión y sus restricciones se procederá a definirlos y caracterizarlos obteniendo así la línea base para el concepto de operaciones.

**Caracterización de la misión.** En esta sección discutimos acerca de la caracterización de la misión, que es proceso donde se seleccionan y define la misión espacial, con los requerimientos y restricciones ya definidos y el concepto de operación seleccionado, se definen el concepto o conceptos de operación.

**Conceptos de misión.** Conceptos de misión es la declaración de como la misión trabajará, se consideran cuatro principales elementos ejemplificados en la Tabla 3.

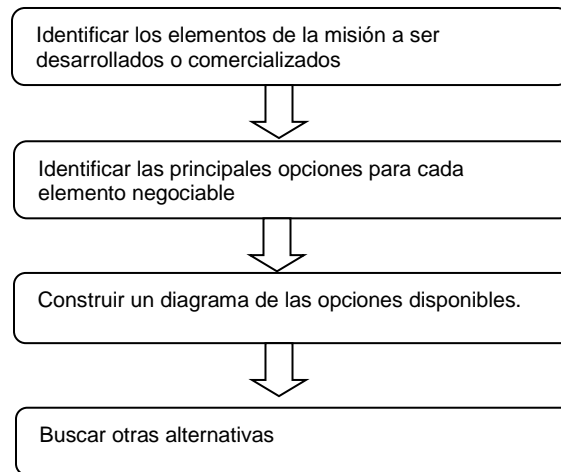
- Proceso de envío de datos para la misión y los datos del housekeeping.
  - Espacio vs procesamiento en la estación terrena
  - Nivel de autonomía
  - Control distribuido vs central
- Tareas, programación y control
  - Nivel de autonomía
  - Tipo de control central o distribuido.
- Definir la arquitectura de las comunicaciones
  - Velocidad del ancho de banda

**Tabla 3.** Elementos básicos de los conceptos de operación.

Elemento	Definición	CINSAT1
Envío de datos	¿Cómo la misión y el housekeeping data son generados o recolectados y usados?	¿Cómo las imágenes serán recopiladas? ¿Cómo serán enviadas?
Arquitectura de comunicación	¿Cómo los componentes del sistema interactúan entre ellos?	¿El tipo de red de comunicación será usada para la transición de datos al usuario final?
Tareas, programación y control	¿Cómo el sistema decide que hacer a largo y corto plazo?	¿Qué sensores están activos y cuando los datos serán transmitidos y procesados?
Línea de tiempo de la misión.	La completa esquematización cronológica de la planeación construcción, operaciones y fin del ciclo vida	¿Cuándo será operacional el CINSAT1?

**Identificar las arquitecturas alternativas de la misión.** En esta etapa se busca un conjunto de opciones para los elementos de la misión previamente definidos algunos de los elementos tienen un papel clave al momento de determinar como la misión espacial alcanzará sus objetivos. La definición de la arquitectura de la misión se define típicamente especificando el concepto de misión más el elemento o sujeto, órbita, arquitectura de comunicaciones y el sistema de la estación terrena. Alternativamente se define la arquitectura especificando la carga útil de los cuales derivarán la definición de los elementos remanentes.

El proceso a seguir esta ejemplificado en la Figura 13.

**Figura 13.** Identificar Arquitecturas Alternativas.

La premisa de esta etapa recae en la identificación de diferentes variables que existen al momento del diseño de la misión. Como ejemplo general de los elementos de la misión que componen estas alternativas se ejemplifican en la Tabla 5.

**Identificar los controladores del sistema.** Uno de los principales parámetros o característica que influencia el rendimiento, costo, riesgo, y programación cronológica, que se pueden controlar se muestran en la Tabla 6 puede observarse una lista de los controladores del sistema para la misión más comunes.

**Tabla 5.** Alternativas comunes para los elementos de la misión.

Elemento de la misión	Opción	
Concepto de la misión	Envío de datos.	Descarga directa para el usuario, procesamiento en tierra automatizado.
	Tarea.	Comandos de la estación terrena, tarea autónoma, operación simple.
Controlable subject	Selección	Estación terrena estándar, transceivers
Passive subject	Que va a ser monitoreado	Medio ambiente térmico, emisión de radiación.
Carga útil comunicaciones	Frecuencia.	Comunicación: uso de radiofrecuencia normal Observación: visible.
	complejidad	Sencillo o múltiples instrumentos. Múltiples bandas de frecuencia o simples.
Carga útil	Tamaño vs sensibilidad	Apertura pequeña con alta potencia o viceversa.
Bus de la plataforma satelital	Control de orbita Navegación ADOCs Potencia	Computadora abordo o estación terrena. Gps Actuadores sensores, 3-ejes. Solar
Sistema de lanzamiento	Vehículo de lanzamiento Sitio de lanzamiento	SSLV, ATLAS, DELTA. Kennedy, Vandernburg
orbita	Orbita espacial. Altitud. Inclinación.	Sun-synchronous Órbita terrestre baja (LEO)
Sistema de la estación terrena.	Existente o dedicado	NASA control center, estación terrena para cube sat(dedicado)
Arquitectura de comunicaciones	Control y desmanación de datos. Relay mechanism.	Sencillo o estaciones terrenas múltiples. Directo al usuario
Operación de la misión	Nivel de automatización.	Estación terrena completamente automatizada, tiempo parcial de operación, operación a tiempo completo.
	Nivel de autonomía	Control y comandos completamente desde la estación terrena, parcial autonomía o completamente autónoma.

**Tabla 6.** Controladores.

Controlador	Que limita el controlador	Lo que el controlador limita
Tamaño	Resistencia aerodinámica, tamaño, peso disponible.	Tamaño de la carga útil. Antena diámetro, apertura.
Peso en orbita	Altitud, inclinación, vehículo de lanzamiento.	Peso de la carga útil, costo de manufactura
Potencia	Tamaño, peso.	Diseño de la carga útil y Bus, sensibilidad del sistema.
Velocidad de datos	Almacenamiento, procesamiento, tamaño de la antena	Información enviada al usuario.
Comunicaciones	Cobertura, disponibilidad de las estaciones terrenas o <i>relay-satellites</i> .	Cobertura, habilidad para mandar.
Apuntamiento	Costo, peso	Resolución, geolocalización, precisión de todo el sistema
Altitud	Vehículo lanzador, rendimiento peso	Comunicaciones, cobertura
Cobertura, geometría y tiempo	Orbita, campo de visión de la carga útil y tiempo de observación.	Frecuencia de datos y comunicación, requisitos de maniobras.
Cronograma de operación	Línea de tiempo y operaciones, comunicaciones toma de decisiones	Respuesta, cobertura
operaciones	Costo, tamaño del equipo, comunicaciones	Costo principal del controlador, demanda de autonomía.

**Caracterizar la arquitectura de la misión.** Una vez establecidos los conceptos alternativos de la misión, arquitectura y controladores del sistema, siendo estos en conjunto la línea base para el desarrollo de la plataforma satelital; representado en la Figura 15 en un EDT (Estructura del Desglose del Trabajo) de la plataforma satelital, obteniendo la definición de los elementos que constituirán a la

plataforma satelital y la documentación derivada del análisis y diseño de la misión para ser evaluada y decidir si se continua a la siguiente fase o se debe realizar otro análisis.

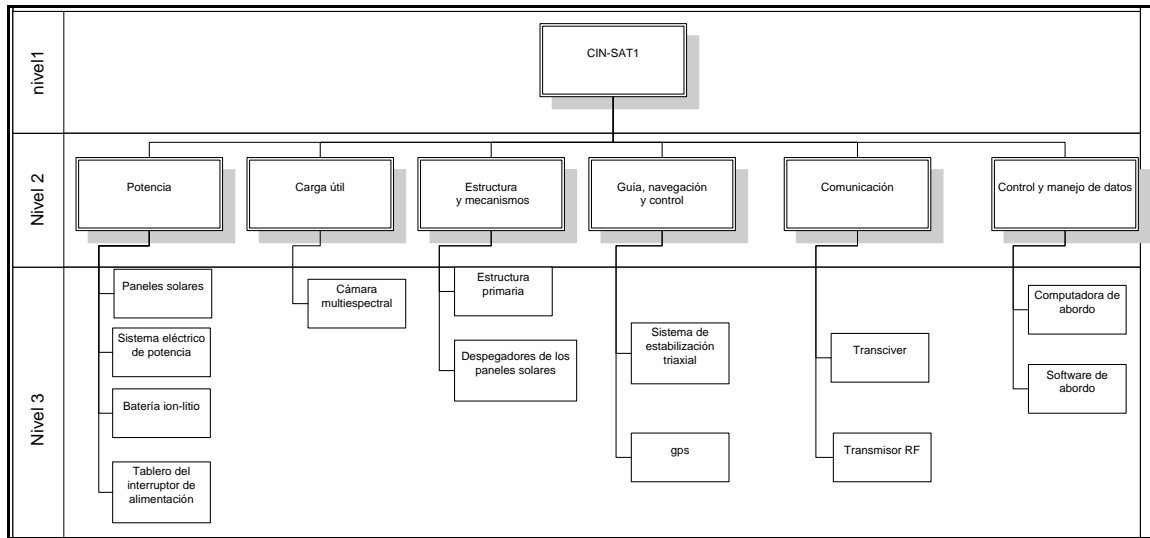


Figura 15. EDT Estructura del desglose del Trabajo del CINSAT1.

## 7. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

Aun no existe en la actualidad una sola teoría que comprensivamente explique cómo mejorar e implementar la gestión de proyectos de hecho, la implementación y mejora depende del contexto organizacional (Gabriela Fernandes, 2015).

Es una realidad que las actividades espaciales en entornos universitarios han incrementado, proporcionando la experiencia para el diseño, desarrollo y operación de una plataforma satelital dentro de las instituciones, incrementando su capacidad técnica e independencia tecnológica.

Para asegurar una exitosa gestión de proyectos en el desarrollo de una plataforma satelital, es necesaria la implementación de un modelo de gestión de proyectos que se ajuste a las necesidades de los proyectos y de la Institución. Ejecutado a través de sus cinco grupos de procesos tal como iniciación, planeación, ejecución, monitoreo y control y cierre que son procesos comunes dentro de todos los proyectos y claramente en los proyectos espaciales no hay excepción.

La implementación de la gestión de proyectos al diseño y desarrollo de una plataforma satelital de percepción remota del presente trabajo servirá como referencia para el desarrollo posterior de plataformas más complejas en donde la coordinación y control de los recursos con los que cuenta el IPN son dirigidos para el éxito del proyecto satelital.

Dentro de las etapas para la gestión de proyectos un área clave es la gestión de la integración del proyecto ya que esta área de conocimiento implica la coordinación de todas las actividades. La gestión de la integración del proyecto incluye la autorización del mismo, el plan para la gestión del proyecto, la ejecución, monitoreo, control, cierre del proyecto y el proceso de control de cambios (Antonio G. Sanjuana, Thomas Froese2013).

Aunque cabe mencionar que la guía para la gestión de proyectos del PMI va enfocada a nivel organizacional y no de producto, para una correcta implementación de la gestión de proyectos se deben aplicar un conjunto de normas y procesos estandarizados, que de manera conjunta logrará la correcta adaptación de los procesos tanto administrativos como técnicos que interactúan para la gestión de proyectos y así alcanzar el éxito deseado, alcanzando las metas y objetivos del proyecto.



## 8. REFERENCIAS

- A. K. Munss, B F Bjerirmi (1996). The Role of Project Management in achieving projects success. *International Journal of Project Management*. 14 (2), 81-85.
- A. Slavinskis, U Kvell, E. Kulu, I. Sünter, H Kuuste, S. Lätt, K. Voormansik, M. Noorma (2013). High Spin Rate magnetic controller. *Acta Astronautica* 95 (2014) 218-226.
- Albert Lester (2014). *Project management, Planning, and Control*. 6ta (Ed.). Butterworth-Heinemann publication. Wyman Street, Waltham.
- Alex Ellery (2005). Technical note Space Applications of Biomimetics. University of Surrey Guildford. 161-166.
- Antonio G. Sanjuana, Thomas Froese (2013). The Application of Project Management Standards and Success Factors to the Development of a Project Management Assessment Tool. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 74 (2013) 91 – 100
- Danielle Wood, Annalisa Weigel (2011). Building Technological Capability within Satellite Programs in Developing Countries. *Acta Astronautica* 69 (2014) 1110-1122.
- Danielle Wood, Annalisa Weigel (2013). Architectures of Small Satellite Programs in Developing Countries. *Acta Astronautica* 92(2014) 109-121
- Diana Barbosa, Américo Azevedo (2012). A Platform Specification of a Space Project Management Handbook. *Procedia Technology* 5 (2012) 589-598.
- Fabio Santoni, Fabrizio Piergentili, Serena Donati, Massimo Perelli, Andrea Negri, Michele Marino (2013). An Innovative Deployable Solar System for Cubesats. *Acta Astronautica* 95 (2014) 210-211.
- Farzana Asad Mir, Ashly H. Pinnington (2013). Exploring the Value of Project Management: Linking Project Management and Project Success. *International Journal of Project Management* 32 (2014) 202-217.
- Gabriela Fernandes, Stephen Ward, Maddalena Araujo (2015). Improving and Embedding Project Management Practice in Organizations- A Qualitative Study. *International Journal of Project Management* 33 (2015) 1052-1067
- Harold R. Kezner (2013). *Project Management: A System Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. 11va (Ed). Willey Publications.
- Howard E. Mccurdy (2013). Learning from History: Low-Cost Project Innovation in the U.S. National Aeronautics and Space Administration. *International Journal of Project Management*.31 (2013) 705-708.
- K. Thayagarajan, J.P. Gupta, P.S. Goel, K. Jayaraman (2004). University Small Satellite Program- Anusat. *Acta Astronautica* 56 (2005) 89- 97.
- Maria Antonietta Visco, Nicole Viola, Roberta Fusaro, Valter Basso (2015). Methodology for requirements definition of complex space mission and systems. *Acta Astronautica* 114 (2015) 79 - 92
- Marc Lappe, Konrad Spang (2013). Investments In Project Management Are Profitable: A Case Study-Based Analysis Of The Relationship Between The Cost And Benefits Of Project Management. *International Journal of Project Management*. 32 (2014), 603-606.

- Marcello Spagnulo y Rick Fleetter (2013). *Space Program Management Methods and Tools*. Springer and Microsm Press, El Segundo California.
- Marly Monteiro de Carvalho, Leandro Alves Patah, Diógenes de Souza Bido (2015). *Project Management and Its Effects on Project Success: Cross-Country and Cross-Industry Comparisons*. *International Journal of Project Management*.
- Project Management Institute (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. 5ta (Ed). Publications Pm, Newtown, Pa.
- Steven j. Dick (2007). *Assessing the impact of space on society*. *Space Policy* 23 (2007) 29-32.
- Wiley J. Larson, Y James R. Wertz (2005). 3ra (Ed.). *Space Mission Analysis and Design*. *Space Technology Library and Microcosm Press*. El Segundo California.

**Este artículo puede citarse de la siguiente forma:**

**Citación estilo APA sexta edición**

Crescencio Esquivel, J., Córdova Alarcón, J.R., López Jarquín, A.D., Solis Santomé, A. & Grageda Arellano, I. (mayo-agosto de 2019). Implementación del PMBOK para el desarrollo de nano-satélites en el IPN. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 5(2), 24-41.

**Citación estilo Chicago decimoquinta edición**

Crescencio-Esquivel, Joel, Córdova-Alarcón, José Rodrigo, López-Jarquín, Alma Delia, Solis-Santomé, Arturo & Grageda-Arellano, Irán. Implementación del PMBOK para el desarrollo de nano-satélites en el IPN. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 5 No. 2 (mayo-agosto de 2019): 24-41.

**Citación estilo Harvard Anglia**

Crescencio Esquivel, J., Córdova Alarcón, J.R., López Jarquín, A.D., Solis Santomé, A. & Grageda Arellano, I., 2019. Implementación del PMBOK para el desarrollo de nano-satélites en el IPN. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, mayo-agosto, 5(2), pp. 24-41.

**Citación estilo IEEE**

[1] J. Crescencio-Esquivel, J.R. Córdova-Alarcón, A. D. López-Jarquín, R. Solis-Santomé y I. Grageda-Arellano. Implementación del PMBOK para el desarrollo de nano-satélites en el IPN. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, vol. 5 No. 2, pp. 24-41, mayo-agosto de 2019.