

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas

Guía para elaboración del Protocolo

Griselda Sánchez-Otero¹, Diego A. Flores-Hernández¹

¹Academia de Mecatrónica, Departamento de Tecnologías Avanzadas

30 de agosto de 2019

Introducción

Este documento tiene el propósito de servir como una guía que oriente a los estudiantes para elaborar y redactar una propuesta de desarrollo de un sistema mecatrónico mediante la presentación de un Protocolo. Se pretende sistematizar y materializar los pasos y etapas que deben seguir para elaborar la propuesta de proyecto, proceso complejo que en ocasiones se vuelve disperso, causando dificultades en los estudiantes ya que tienen que integrar los conceptos metodológicos de investigación y los conceptos formales de ingeniería.

El protocolo es fundamental en el proceso de elaboración del proyecto de ingeniería, por lo que, debe explicarse de forma clara, concisa y práctica. Aquí presentamos algunas referencias y comentarios que serán de utilidad a los estudiantes durante este proceso.

¿Qué es un protocolo?

Un protocolo es un entregable (compromiso escrito) que representa la planeación del proyecto que se desarrollará a lo largo de las Unidades de Aprendizaje (UAPs) de Trabajo Terminal I (TT1) y Trabajo Terminal II (TT2). Este documento (plan escrito) debe ser de carácter científico-técnico, en el cual se muestre el alcance, el tiempo y los recursos involucrados para su desarrollo.

El protocolo consiste en un formulario que elabora una institución para sistematizar la presentación de los proyectos de investigación que recibe para su estudio, análisis y dictamen [1].

La investigación científica no es errática, sino planeada. Es necesario proyectar previamente el trabajo que se piensa realizar. El método científico es el procedimiento planeado que se sigue en la investigación. La investigación científica requiere, por parte del sujeto investigador, de ciertas habilidades manuales y mentales. Tiene que adiestrarse en el ejercicio de la investigación, labor que tiene que practicarse con inteligencia, imaginación y paciencia, dentro del mayor rigor tradicional y la más estricta objetividad [2].

La formulación del proyecto a desarrollar conlleva a documentar los requisitos iniciales que satisfacen las necesidades y expectativas de los interesados. El protocolo sería, en el área de administración de proyectos, el acta de constitución del proyecto [3]. Siendo que el acta de constitución del proyecto será el documento que autoriza formalmente el proyecto.

Importancia del protocolo

El éxito de un proyecto debe medirse en términos de completar el proyecto dentro de las restricciones de alcance, tiempo, costo, calidad y riesgos. El Insituto de Administración de Proyectos (*Project Management Institute* - PMI), los define como [3]:

- Alcance: todo el trabajo que debe ser realizado para producir los entregables finales del proyecto que cumplan con los requisitos acordados.
- Tiempo: cantidad de tiempo disponible para completar el proyecto.
- Recursos: la disponibilidad limitada de recursos tales como personas, instalaciones, equipos, materiales, herramientas y otros recursos relacionados con los requisitos del proyecto. El costo es un recurso, definido como las limitaciones financieras basadas en el presupuesto disponible para el proyecto.

Asimismo, debe considerarse la salud y seguridad del personal, el impacto ecológico-ambiental, y las leyes, reglamentos y otros requisitos legales. El planear, sistematizar, favorece el trabajo ordenado, aprovecha recursos y disminuye el desgaste por estrés.

El proceso de desarrollo del proyecto tiene implícitas las fases del proceso de investigación [4], por lo tanto, es fundamental saber la secuencia que debe llevar elaborar un "Trabajo de investigación", ya que el protocolo está inmerso en él y es importante contar con una visión integral del desarrollo de las etapas formales de la construcción del conocimiento. A continuación se describe brevemente cada fase:

1. **Planeación:** aquí se realiza la definición y planificación de los objetivos de la investigación, se delimita el alcance del proyecto. Consiste en observar, definir y proponer. El protocolo que se desarrolla en la UAP Metodología de la investigación (MI) llega hasta esta fase.
2. **Práctica:** esta fase se encarga de recopilar material, es decir, recolección de información, la cual puede ser bajo los enfoques de observación y de experimentación. Asociándolo a un proyecto de ingeniería, se estaría realizando el diseño e implementación del sistema utilizando las herramientas propias. Se desarrolla en las UAPs TT1 y TT2.
2. **Interpretativa:** esta fase está orientada al análisis e interpretación de los resultados, también aquí se contempla la documentación y difusión de los logros obtenidos. En nuestro caso esta fase se ve reflejada en el reporte escrito de la UAP de TT1 y TT2 y en la defensa oral.

Consideraciones importantes

- **Elección del tema:** debe ser de interés para los que lo desarrollan, el proyecto se realizará en al menos tres semestres, el protocolo es el inicio del desarrollo. Este tema debe motivarlos a realizarlo, a continuar, a investigar, a proponer, a innovar. El tema debe ser viable, es decir, que se pueda realizar en el tiempo y con los recursos disponibles. El tema debe permitir demostrar la integración del conocimiento adquirido a lo largo de la carrera a través del proyecto.
- **Elección de los compañeros de equipo:** esta elección debe ser objetiva, es necesario considerar las habilidades y competencias que tienen tus compañeros. Considerar cómo pueden, entre todos, aportar al desarrollo exitoso del proyecto. Así mismo, es importante que considere: la situación académica de los integrantes (regulares o irregulares), cuántas Unidades de Aprendizaje han cursado, cuáles cursarán en TT1 y TT2, qué UAP Optativas han cursado y cursarán (estas UAP son de vital importancia, debe ser conocimiento adicional alineado al tema seleccionado, que permita facilitar el proceso de desarrollo).
- **Elección de los asesores:** es importante la elección de quién asesorará el proyecto de ingeniería, debe ser una persona que aporte al desarrollo del proyecto, conocer del tema o de alguna parte. Debe ser capaz de otorgar el tiempo e importancia necesaria, orientar y ayudar siempre que se requiera. Asimismo,

es importante la empatía que se tenga, esto hará más armonioso el desarrollo y ampliará los canales de comunicación, haciendo más fluido el avance del proyecto. La elaboración del Protocolo debe ser en conjunto con sus asesores, es por ello, que es conveniente la pronta elección de al menos uno de ellos para que pueda dar el seguimiento desde el inicio. No olvidar que es posible la inclusión o cambio de asesores durante el desarrollo.

- **Claridad de la propuesta solución:** debe fundamentarse en conocimientos de ingeniería, concretar el problema a resolver, responder las preguntas ¿En qué consiste la función y con qué elementos posiblemente lo hará? El uso de modelos y diagramas permiten expresar con claridad la posible solución al problema que resolverá.
- **Profundidad en la investigación de la información:** se debe tener un conocimiento amplio del tema que se desarrollará, al grado de convertirse en expertos a lo largo del proceso. Entre más grande sea el conocimiento del tema, más concreta y concisa será la propuesta, es decir, reducirlo en su extensión y ampliarlo en su profundidad. Es importante la formalidad en las fuentes de investigación (artículos, libros, conferencias, patentes, tesis, etc.), esto dará el sustento adecuado a cada parte del Protocolo.
- **Planeación del proyecto:** todo el proyecto abarca TT1 y TT2, y debe asociarse con el cronograma. Considerar los riesgos como: modificación de los calendarios para presentación, periodos vacacionales, restricción de recursos económicos, posibles fallas, entre otros.
- **Organización del tiempo:** el proceso de diseño consume aproximadamente el 70 % del desarrollo del proyecto, es de suma importancia que se aproveche bien el tiempo para que se consiga el nivel de detalle adecuado para que en TT2 se pueda asignar un tiempo adecuado para la verificación del sistema, pruebas y ajustes. Estimar bien el tiempo asignado a las actividades pensando en la disponibilidad de los recursos (bibliografía, desarrollo de experimentos, disponibilidad de infraestructura). Considerar dentro de la planeación y asignación de tiempo los riesgos como tiempos de entregas de componentes y fabricación. Considerar la posible inexperiencia en la fabricación, ensamble y pruebas, ya que pueden generarse tiempos adicionales para la mejora, modificación o reparación de los componentes físicos involucrados. Considerar el tiempo necesario para el entendimiento del problema que resolverán, incluyendo los fenómenos físicos que se involucren (e.g. condiciones ambientales que afectan, concentración de radiación, cambios de fases, etc.).
- **Comunicación oral y escrita:** redacción y ortografía. El Protocolo debe ser comprensible para los revisores, la estructura ayuda con la congruencia y sentido de las ideas que se presentan. La comunicación oral es necesaria para el intercambio de ideas.
- **Análisis y síntesis de información:** es necesario analizar la información presentada, es importante que la extensión del marco de referencia sea corta pero sustancial, en ocasiones es extensa pero no aporta nada a la propuesta de desarrollo. Se pueden emplear recursos como Tablas o Cuadros para englobar y agrupar información, señalando qué características son importantes para la investigación.
- **Normatividad:** considera la normativa que se incluye en: Reglamento de titulación profesional del Instituto Politécnico Nacional, programa académico de ingeniería mecatrónica (opción curricular), y los lineamientos que regulan el seguimiento, implementación y operación de los proyectos de ingeniería (e.g. proyectos que involucren el manejo de explosivos o químicos, purificación de agua, contacto y procesamiento con alimentos, entre otros).
- **Congruencia con el perfil de egreso:** el proyecto a desarrollar debe estar asociado al nivel de conocimiento y al perfil de egreso de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, siendo el siguiente:

“Es un profesional interdisciplinario capaz de diseñar, manufacturar y construir dispositivos y sistemas mecatrónicos, así como automatizar procesos industriales, con dominio de una segunda lengua y la habilidad de integrarse en equipos de trabajo, para desarrollar y emplear nueva tecnología, que esté aplicada de manera ética y responsable en la solución de las necesidades del entorno social y en armonía con el medio ambiente” [5].

Estructura del protocolo

En el siguiente listado se muestra la estructura y orden que el protocolo deberá tener. Se puede emplear como una lista de verificación para determinar si se están o no cumpliendo los requisitos del protocolo. En las siguientes secciones se describe cada uno de los elementos que componen el Protocolo, incluyendo algunos ejemplos y consideraciones que se deberán tomar en cuenta.

- ☐ Portada
 - Formato: DTA-PPT-01
- ☐ Título
 - Máx. 15 palabras
- ☐ Resumen
 - 150 – 200 palabras
- ☐ Abstract
 - 150 – 200 palabras
- ☐ 1. Introducción
 - 400 – 600 palabras
- ☐ 2. Planteamiento del problema
 - 150 – 400 palabras
- ☐ 3. Justificación
 - 150 – 400 palabras
- ☐ 4. Objetivos
 - ☐ 4.1. Objetivo general
 - ☐ 4.2. Objetivos específicos TT1
 - 5 – 7 objetivos
 - ☐ 4.3. Objetivos específicos TT2
 - 3 – 7 objetivos
- ☐ 5. Antecedentes
 - 600 – 1,200 palabras
- ☐ 6. Marco teórico
 - 400 – 1,200 palabras
- ☐ 7. Propuesta de solución
 - 1,200 – 2,400 palabras
 - ☐ 7.1. Definición de la metodología mecatrónica
 - ☐ 7.2. Desarrollo de la propuesta solución
 - ☐ 7.3. Resultados esperados
- ☐ 8. Administración del proyecto
 - ☐ 8.1. Presupuesto estimado e infraestructura
 - Recursos humanos, presupuesto e infraestructura
 - ☐ 8.2. Planeación de actividades
 - Cronograma TT1 y Cronograma TT2
- ☐ Referencias
 - Formato IEEE

Portada

La portada cumple una función imprescindible en todo informe escrito ya que identifica al texto. Los datos que provee la portada le permiten al lector ubicar el trabajo en el espacio y en el tiempo [2]. La portada será el formato **DTA-PPT-01**.

Clasificación del proyecto: de acuerdo al perfil de egreso de la carrera Ingeniería en Mecatrónica, se pueden clasificar los proyectos a desarrollar en las siguientes categorías:

1. Diseño e implementación de sistemas mecatrónicos.
2. Optimización de sistemas mecatrónicos.
3. Actualización de sistemas a sistemas mecatrónicos.
4. Automatización y puesta en marcha de procesos o sistemas industriales.
5. Modelado matemático y simulación de sistemas mecatrónicos.

NOTA: Incluir en el formato DTA-PPT-01 los nombres del profesor de metodología de la investigación y el profesor de especialidad, así como la clasificación del proyecto a realizar.

Título

Extensión: máximo 15 palabras.

- Sencillo, claro y preciso, debe reflejar el propósito del proyecto (problema a resolver), expresar de manera concreta el contenido del trabajo.
- Debe relacionarse con el programa académico.
- Debe definirse en no más de 15 palabras, de forma que se pueda identificar claramente el tema a desarrollar.
- No debe ser general, ni emplear siglas, abreviaturas y palabras ambiguas.

Resumen

Extensión: 150 – 200 palabras.

El resumen describe brevemente la esencia del proyecto en aproximadamente 150 – 200 palabras. Describe el contexto del problema a resolver, la motivación del desarrollo, el planteamiento del problema, el objetivo general y la propuesta de solución. Es el primer acercamiento del revisor a la propuesta, debe ser claro y conciso. Se sugiere que esta sección se redacte cuando ya se tengan las demás secciones del protocolo concluidas.

Abstract

Extensión: 150 – 200 palabras.

Versión en inglés del resumen.

1. Introducción

Extensión: 400 – 600 palabras.

La introducción debe describir el contexto y los antecedentes en el que se desarrolla el proyecto, por qué es interesante realizar este estudio. Debe introducir al tema de manera no necesariamente técnica, se expone el problema comúnmente desde conceptos generales a particulares. Recordar que los revisores de la propuesta de desarrollo son una audiencia experta, por lo tanto, no es necesario ahondar en conceptos generales. Incluye una revisión breve de los antecedentes asociados al proyecto, mostrando la motivación, la significancia y la originalidad, es decir, el propósito y los objetivos del desarrollo. Finalmente, debe incluir brevemente lo que se propone realizar, delimitando claramente el alcance del proyecto a desarrollar. Algunas preguntas de apoyo son:

- ¿Cuál es el tema y el entorno del proyecto?
- ¿Para qué sirve el desarrollo que se plantea?
- ¿Cómo se pretende resolver de forma general el proyecto?
- ¿Cuál es el método empleado?
- ¿Cuáles son las limitaciones del proyecto?

2. Planteamiento del problema

Extensión: 150 – 400 palabras.

El planteamiento del problema establece el objeto de estudio de la investigación, es necesario definirlo correctamente para no generar cuestionamientos irrelevantes. Se trata de dar una descripción concreta de la problemática a la que se va a enfrentar el estudiante en el desarrollo del proyecto, desde un enfoque de ingeniería. A partir de la problemática definida, se deben presentar los retos de ingeniería específicos a resolver. Se debe presentar un análisis de la información investigada que dé soporte a la problemática planteada. Puede apoyarse de tablas, figuras, diagramas, etc.

3. Justificación

Extensión: 150 – 400 palabras.

La justificación debe definir el por qué de la realización del proyecto. Debe definir la relevancia y pertinencia, el objeto de estudio y la utilidad del desarrollo del mismo. Todo resaltando el enfoque mecatrónico. Se puede redactar con ayuda de los siguientes cuestionamientos:

- ¿Cómo aporta la mecatrónica al desarrollo del proyecto?
- ¿Para qué servirá el proyecto que se desarrollará?
- ¿Qué aporta de nuevo esta investigación?
- ¿Quiénes serán los beneficiados con el desarrollo?
- ¿Cuáles serían las diferencias con desarrollos similares?
- ¿Puede servir el desarrollo para apoyar una teoría o método?

4. Objetivos

Los objetivos deben ser SMART (*Specific Measurable Achievable Relevant Time-bound*), es decir, deben ser específicos, medibles, realizables, relevantes y temporales [6, 7].

4.1. Objetivo general

Objetivo general esta asociado a la solución del problema o es igual al producto de la investigación. Todo objetivo expresa una acción, deben ser claros y susceptibles de alcanzar, congruentes entre sí. Los objetivos son inherentes a la definición y delimitación del problema.

A continuación se enlistan algunos requisitos para plantear objetivos:

- Enfocarse en la solución del problema.
- Deben ser realistas, medibles, e importantes.
- Deben evitar palabras subjetivas y precisar los factores existentes que lleva a investigar.
- Enfatizar la importancia de mejorar lo ya existente o de innovar un desarrollo determinado.

4.2. Objetivos específicos

Extensión: 5 – 7 objetivos para Trabajo Terminal I, y 3 – 7 objetivos para Trabajo Terminal II.

Los objetivos específicos o particulares deben asociarse a cada uno de los sistemas o sub-sistemas que conformarán el proyecto, además de incluir la integración de los mismos y la validación de todo el proyecto en general. Los objetivos específicos deben reflejar el cumplimiento del objetivo general. Éstos deben dividirse en objetivos específicos que se realizarán en Trabajo Terminal I y los que se realizarán en Trabajo Terminal II. Lo anterior permite facilitar el seguimiento del proyecto. Deben reflejar la metodología que se haya seleccionado para el desarrollo del proyecto, y los módulos-sistemas que se determinen en la propuesta solución. De tal forma, que los objetivos de Trabajo Terminal I representarán el diseño del sistema, y los objetivos de Trabajo Terminal II la fabricación e implementación del mismo. A continuación se presentan algunos ejemplos:

Objetivos específicos de Trabajo Terminal I

- Diseñar el módulo de concentración de radiación solar que permita direccionar y enfocar la radiación...
- ⋮
- Integrar computacionalmente los módulos...
- Validar el sistema mecatrónico...

Objetivos específicos de Trabajo Terminal II

- Manufacturar el módulo de concentración de radiación solar...
- ⋮
- Integrar físicamente los módulos...
- Verificar el sistema mecatrónico mediante la realización de pruebas de ...

5. Antecedentes

Extensión: 600 – 1, 200 palabras.

Se debe realizar una revisión documental (detección, obtención, consulta, extracción y recopilación de la información de interés) [8], es decir, en dónde está inmerso el proyecto, qué problemas hay, qué se ha hecho, los trabajos relacionados con lo que se pretende desarrollar, entre otros. Se recomienda que la información se analice y sintetice en una Tabla con las principales características asociadas al problema que resolverán. En la Tabla 1 se muestra un ejemplo.

6. Marco teórico

Extensión: 400 – 1, 200 palabras.

El marco teórico es la selección de teorías que están relacionadas con el objeto de investigación, aquellos elementos significativos y explicativos que permitan avanzar en el entendimiento de problema a resolver [2, 9]. Debe ser la teoría de más alto nivel asociada al proyecto.

Deben ser conceptos especializados que se requieren para entender la propuesta de solución, es decir, no se deben incluir conceptos básicos ni generales de ingeniería como componentes, fenómenos físicos, mecanismos, entre otros. Por ejemplo, si el proyecto involucra desarrollar un robot móvil para exploración en zonas de desastre, los conceptos que deberá incluir en esta sección son referidos a la aplicación del robot, como: tipos de zona de desastre, clasificación, tipos de obstáculos, etc. En esta sección no deberá incluir los tipos de configuraciones de robots móviles, ya que los revisores son expertos en el área, esta información se puede presentar como listado en la propuesta solución, es decir, como alternativas factibles que podrán resolver el problema de exploración en zonas de desastre.

7. Propuesta de solución

Extensión: 1, 200 – 2, 400 palabras.

La propuesta de solución muestra la descripción general de la forma en que se realizará el proyecto, es decir, ¿cómo se pretende resolver?. Es necesario que refleje el uso de la metodología mecatrónica seleccionada, que presente claramente el desarrollo de la propuesta de solución y describa los resultados esperados del proyecto de ingeniería.

7.1. Definición de la metodología mecatrónica

Los problemas de ingeniería deben resolverse metodológicamente y con fundamentos asociados a las disciplinas que involucran a la mecatrónica. Para la elección de la metodología, es necesario considerar que ésta busque la integración sinérgica y la validación y verificación constante. Existen diversos autores e institutos que han propuesto metodologías de diseño mecatrónico, entre ellas están las siguientes:

- VDI-Standard: VDI-2206 [10] es un estándar alemán para el diseño de sistemas mecatrónicos
- De Silva presenta en [11] conceptos generales de sistemas mecatrónicos
- Shetty y Kolk en [12] desarrollan un modelo para diseñar sistemas mecatrónicos

Sin embargo, la elección estará sujeta al equipo de trabajo y los asesores del proyecto. Deberán describir brevemente las fases generales de la metodología seleccionada, para posteriormente asociarlas al desarrollo del proyecto en Trabajo Terminal I y Trabajo Terminal II. Estas fases también deben verse reflejadas en la planeación de actividades.

Tabla 1: Ejemplo de síntesis de antecedentes del sistema propuesto.

Item	Nombre	Descripción	Características	País	Instituto	Tipo	Referencia
1	Prototipo mecatrónico para el triturado...	Sistema modular que permite triturar botellas de plástico...	Dimensiones = 600mm x 800mm x 1,600mm Voltaje = 110 – 120Vca. 50 – 60Hz Velocidad = 60 botellas/min Costo = \$25,000,00 ...	México	IPN-UPIITA	Tesis	[Ref]
2	Sistema automático de...	Máquina automática para el lavado de botellas de plástico...	Dimensiones = 500mm x 950mm x 1,000mm Voltaje = 110 – 120Vca. 50 – 60Hz Velocidad = 20 botellas/min Costo = \$12,000,00 ...	México	UNAM	Tesis	[Ref]
:	:	:	:	:	:	:	:
i	Robot triturador	Robot automático que permite la limpieza, triturado y compactación de...	Dimensiones = 600mm x 800mm x 1,600mm Voltaje = 110 – 240Vca. 50 – 60Hz Velocidad = 120 botellas/min Costo = \$105,000,00 ...	Suiza	ABB	Producto	[Ref]
:	:	:	:	:	:	:	:
n	Método limpieza botellas...	Metodología para la correcta limpieza de botellas mediante abrasivos...	Normas: USP-30, USP-32 Abrasivo = Óxido de aluminio Normas: USP-30, USP-32 Tipos botella =	España	UPM	Patente	[Ref]

7.2. Desarrollo de la propuesta solución

La solución al problema debe estar asociada a los requerimientos, por lo tanto, es necesario comenzar con la definición y clarificación de los mismos. También en esta sección se deben definir los modos de operación que el sistema incluirá. Para la presentación de los requerimientos se puede hacer a través de una tabla, en la Tabla 2 se muestra un ejemplo.

Tabla 2: Ejemplo de requerimientos principales del sistema propuesto.

Item	Requerimiento	Variable	Valor
R_1	Rango movimiento 1	q_1	$0^\circ - 180^\circ$
R_2	Rango movimiento 2	q_2	$0^\circ - 90^\circ$
...
R_i	Temperatura de operación	T_{op}	$15^\circ - 50^\circ C$
...
R_n	Dimensiones estimadas	A_1	150 – 300 mm
		A_2	250 – 500 mm
		A_3	250 – 600 mm

Las funciones en los sistemas mecatrónicos son fundamentales para el proceso de diseño, permiten una integración a lo largo del desarrollo, sin dividir ni secuencializar las disciplinas involucradas. Lo que permite al diseñador una búsqueda de la mejor solución que cumpla las funcionalidades, sin importar qué disciplinas se involucren. Cada una de las funciones define una parte del problema que se resolverá, más no la solución del problema. Una de las herramientas que se pueden emplear es la descomposición de funciones, y presentarlas en el documento a través de una estructura denominada FBS [13] como muestra el ejemplo de la Figura 1.

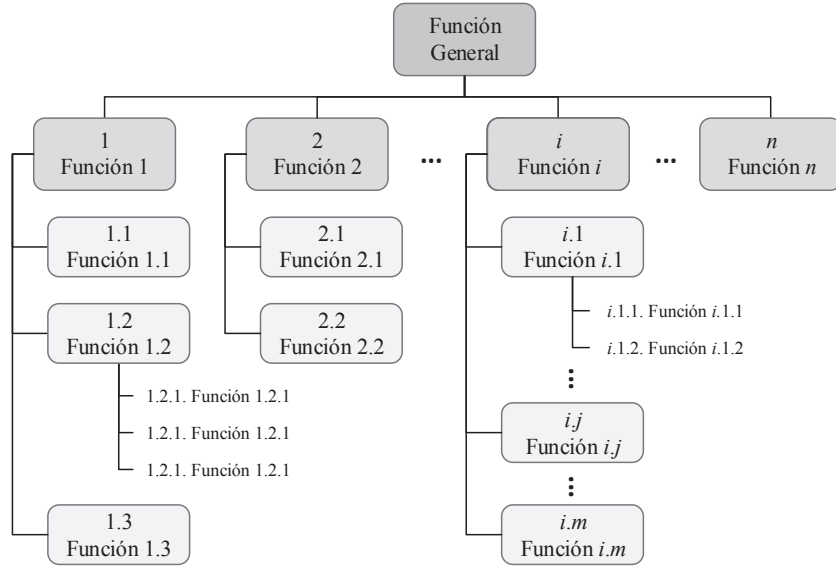


Figura 1: Ejemplo de modelo de estructura de funciones FBS.

La definición del problema como un conjunto de funciones, permite dimensionar la complejidad del proyecto que se propone. De forma complementaria se puede presentar la relación que existe entre ellas, esto permite entender parte del comportamiento del sistema, facilitando la búsqueda posterior de posibles soluciones. Una herramienta de modelado para este análisis es IDEF-0 [14], el nivel mínimo de detalle del modelo debe ser el nodo A0 expandido, es decir, que muestre la relación de las funciones F_1 hasta F_n . Las herramientas y mecanismos

que se plantean en el modelo permiten esbozar las posibles soluciones a las funciones, y las entradas de control representarán parte de las variables que se deben contemplar en el desarrollo. Y las entradas y salidas deben representar la transformación correspondiente a la función que representan. En la Figura 2 se muestra un ejemplo del modelo IDEF-0.

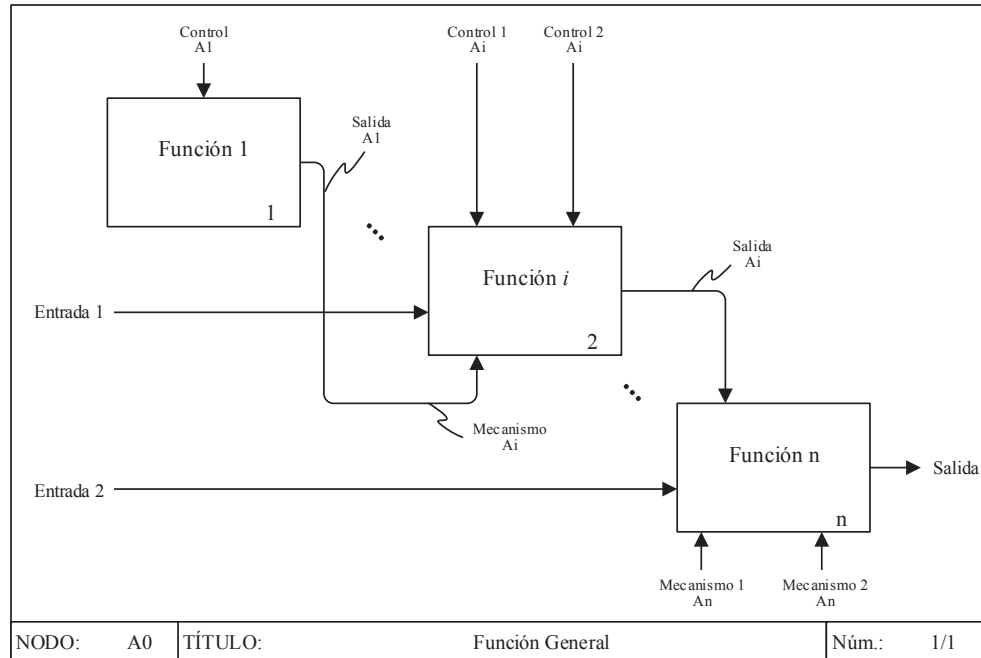


Figura 2: Ejemplo de modelo de interacción entre funciones IDEF-0.

Una vez entendido el problema mediante las funciones, se deben agrupar en sistemas o módulos, denominado arquitectura física. Éstos se componen de elementos físicos que buscarán dar solución a las funciones que desempeñen. Entonces, se debe presentar para cada módulo de forma general las posibles soluciones, y al final deberán mostrar la solución general al problema de ingeniería. La propuesta solución se puede mostrar como un diagrama a bloques que describa las conexiones existentes entre los diferentes módulos, especificando los tipos de entradas y salidas (energía, materia o información). Asimismo, deben describir los modos de operación que contemplará el sistema.

7.3. Resultados esperados

La formulación de los objetivos y alcances de un proyecto conlleva también a pensar en un esquema de validación y verificación. ¿Qué resultados se esperan al final del desarrollo? ¿Qué pruebas, experimentos deben realizarse para verificar el funcionamiento del proyecto? Esta sección se asocia directamente con la calidad esperada del proyecto, se pueden proponer los parámetros que se medirán para verificar el sistema, y definir las pruebas que se realizarán. Por ejemplo, si el proyecto a desarrollar será un sistema de seguimiento solar, dentro de los parámetros principales que se deben proponer para su verificación sería el error de seguimiento y el consumo energético. Las pruebas están relacionadas con la precisión y exactitud del sistema que se propone.

8. Administración del proyecto

La administración del proyecto permitirá concluirlo de forma exitosa, es fundamental definir desde el comienzo el presupuesto estimado, la infraestructura requerida, el recurso humano disponible y el tiempo para realizar cada una de las actividades.

8.1. Presupuesto estimado e infraestructura

En esta sección se deben contemplar los recursos materiales, económicos y humanos que se necesitan para la realización del proyecto. También incluyen las instalaciones, equipos, instrumentos y sistemas de apoyo, tanto físicos como humanos, con que se cuenta para realizar la investigación. Considerar la maquinaria que emplearán para el desarrollo de sus piezas o componentes, los servicios que pueden requerir para algún tratamiento especial de manufactura. Incluye expertos, técnicos, edificaciones, laboratorios, equipamientos, instrumentos de trabajo, sistemas de cómputo y comunicación incluyendo redes y bibliotecas. Es importante tener en cuenta este aspecto desde el momento en que se genera la idea.

Para la distribución del trabajo se debe considerar que los alumnos destinarán al menos 600 horas de trabajo, y los asesores el 10% del tiempo total del desarrollo. El tiempo por parte de los demás participantes dependerá del apoyo y aporte que realicen al proyecto, no excediendo el tiempo de los asesores. Los demás participantes pueden ser especialistas en el tema, patrocinadores, distribuidores, técnicos, entre otros. Deberán cumplir al menos con un área de aporte al proyecto. Las áreas de aporte se pueden clasificar de acuerdo a [15] como Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, STEM por sus siglas en inglés (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*). En la Tabla 3 se muestra un ejemplo de como se pueden presentar los recursos humanos disponibles, para determinar el tiempo que dedicarán los alumnos necesitan considerar las UAPs que estarán cursando cuando se encuentren en TT1 y TT2.

Tabla 3: Ejemplo recursos humanos disponibles para el desarrollo del proyecto.

Recursos humanos	STEM	Institución	Tiempo destinado
Nombre estudiante 1	STEM	IPN-UPHITA	820 horas
⋮	⋮	⋮	⋮
Nombre estudiante i	STEM	IPN-UPHITA	820 horas
Nombre asesor 1	SM	IPN-UPHITA	80 horas
⋮	⋮	⋮	⋮
Nombre asesor 3	TE	Empresa X	85 horas
Proveedor A	T	Empresa Y	20 horas
Técnico manufactura A	TE	Empresa Y	50 horas
Tiempo total			2,715 horas

Con base en los módulos presentados en la propuesta solución, se debe presentar la estimación del presupuesto requerido. Esto es fundamental para determinar parte de la factibilidad de la propuesta presentada, diversos proyectos no concluyen en tiempo y forma debido a que el costo del sistema supera lo estimado. La Tabla 4 muestra un ejemplo de como presentar el presupuesto del proyecto.

Tabla 4: Ejemplo de presupuesto estimado para el desarrollo del proyecto.

Módulo/ Sistema	Recurso Material	Cantidad	Costo	Fuente financiamiento
Módulo 1	Recurso 1	1	\$10,000,00	Convenio IPN-Empresa
	Recurso 2	1	\$1,750,00	Propio
	Recurso 3	1	\$2,500,00	SIP-20191111
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Módulo n	Recurso 1	3	\$750,00	Propio
	Recurso 2	1	\$650,00	Propio
	Recurso 3	1	\$1,250,00	Propio
	Recurso 4	2	\$1,000,00	Propio
	Recurso 5	1	\$700,00	Propio
Costo propio			\$8,100,00	
Costo financiado			\$13,000,00	
Costo total			\$21,100,00	

Por último, en esta sección se debe considerar la infraestructura que se requiere para realizar el proyecto, definiendo la disponibilidad y las características que tienen. Dentro de la infraestructura se debe incluir las máquinas asociadas a los procesos que se necesitarán, y el espacio donde lo desarrollarán. La Tabla 5 muestra un ejemplo de como presentar la infraestructura.

Tabla 5: Infraestructura para el desarrollo del proyecto.

Infraestructura	Descripción	Cantidad	Uso
Infraestructura 1	Características principales	Cantidad	Uso que se le dará
Infraestructura 2	Características principales	Cantidad	Uso que se le dará
Infraestructura 3	Características principales	Cantidad	Uso que se le dará

8.2. Planeación de actividades

Las actividades deberán estar desglosadas por módulos o sistemas y ordenadas con una secuencia lógica, es necesario distribuir el tiempo disponible para realizar el proyecto en 36 semanas, 18 asignadas a TT1 y las 18 restantes a TT2. El plan de trabajo es la descripción con cierto grado de detalle del proceso que se pretende seguir para realizar la investigación. Consiste en la división del trabajo a lo largo del tiempo disponible. Las actividades deberán reflejar los procesos involucrados en el método de diseño que se haya seleccionado con anterioridad, es posible que un grupo de actividades definidas represente un proceso o etapa del método. En la Tabla 6 se muestra un ejemplo del cronograma de las actividades de TT1.

Tabla 6: Ejemplo de cronograma de proyecto para Protocolo (Alumno 1 = A1, Alumno 2 = A2).

Item	Actividad	Responsable	Semanas															
			1	2	3	4	5	6	7	8	...	15	16	17	18			
1	Diseño Conceptual	-																
1.1	Definición requerimientos	A1																
⋮	⋮	⋮																
1.i	Generación de propuestas	A2																
⋮	⋮	⋮																
1.m	Selección de diseño conceptual	A1, A2																
⋮	⋮	⋮																
⋮	⋮	⋮																
n	Integración del Sistema	-																
n.1	Integración de <i>Hardware</i>	A2																
⋮	⋮	⋮																
n.i	Integración de <i>Software</i>	A1																
⋮	⋮	⋮																
n.m	Integración del sistema	A1, A2																

Referencias

El desarrollo del protocolo involucra una investigación de múltiples fuentes de consulta, éstas se enlistarán y presentarán de acuerdo a la norma de la IEEE. Para realizarlo de forma correcta existen diversos recursos como guías que facilitarán este proceso [16].

Material adicional recomendado

- IEEE Reference Guide [16]
- VDI-Standard: VDI-2206 Design methodology for mechatronic systems [10]
- Mechatronic Systems: Fundamentals [17]
- Guía de investigación científica [2]
- A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) [3]
- Redacción técnica [18]

Referencias

- [1] E. Resenos Díaz, *Guía para la elaboración de protocolos de investigación*. No. 001.4 R47 1998., 1998.
- [2] M. Andion Gamboa, W. Beller Taboada, and N. Dieterich, *Guía de investigación científica*. Universidad Autonoma Metropolitana, Xochimilco (Mexico), 1983.
- [3] P. M. Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Project Management Institute, Inc., 6 ed., 2017.
- [4] A. G. C. L. I. y. I. J. Narváez, A. García, *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Grupo Patria Cultural, 1 ed., 2006.
- [5] I. UPIITA, “Perfil de egreso de la carrera de ingeniería en mecatrónica,” 2019.
- [6] K. B. Lawlor, “Smart goals: How the application of smart goals can contribute to achievement of student learning outcomes,” in *Developments in Business Simulation and Experiential Learning: Proceedings of the Annual ABSEL conference*, vol. 39, 2012.
- [7] M. B. Bjerke and R. Renger, “Being smart about writing smart objectives,” *Evaluation and program planning*, vol. 61, pp. 125–127, 2017.
- [8] J. W. B. Chacón, J. C. B. Herrera, and M. R. Villabona, “Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas,” *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*, vol. 27, no. 61, pp. 83–105, 2013.
- [9] J. Uribe, *La investigación documental y el estado del arte como estrategias de investigación en ciencias sociales en la investigación en ciencias sociales. Estrategias de investigación*. Ediciones Universidad Piloto de Colombia, 1 ed., 2005.
- [10] VDI, *VDI 2206 Design methodology for mechatronic systems*. Verein Deutscher Ingenieure, 1 ed., 2004.
- [11] C. W. De Silva, *Mechatronic systems: devices, design, control, operation and monitoring*. CRC press, 2007.
- [12] D. Shetty and R. A. Kolk, *Mechatronics system design, SI version*. Cengage Learning, 2010.
- [13] U. DoD, “Systems engineering fundamentals,” *DoD, Department of Defense (USA)*, 2001.
- [14] F. PUBs, “Integration definition for function modelling (idef0),” *Federal information processing standards publication*, vol. 183, 1993.
- [15] C. S. Chai, “Teacher professional development for science, technology, engineering and mathematics (stem) education: A review from the perspectives of technological pedagogical content (tpack),” *The Asia-Pacific Education Researcher*, vol. 28, no. 1, pp. 5–13, 2019.

- [16] IEEE, *IEEE Reference Guide*. IEEE Periodicals, 2018.
- [17] R. Isermann, *Mechatronic systems: fundamentals*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [18] R. Díaz-Barriga Martínez, *Redacción técnica*. Instituto Politécnico Nacional, 2001.