

Tema A5. Educación en Ingeniería Mecánica: Diseño Mecánico

“Adaptación de la filosofía PLM en la curricula de la carrera de Ingeniería en Diseño Mecánico Aeronáutico”

A.Camberos^a, R. Ramirez-Resendiz^a, N. Muñoz-Madrigal^a, D.A. Briseño-Urbina^b, O.A. Jiménez Arévalo^{a*}

^aUniversidad Aeronautica en Querétaro, Carretera Estatal 200 Querétaro - Tequisquiapan No. 22154 Colón, Querétaro. C.P. 76270. México

^b Unidad de Alta Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Av. Fray Antonio de Monroy e Híjar S/N, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, México

* Autor contacto. Dirección de correo electrónico: omar.jimenez@unaq.edu.mx

RESUMEN

Se expone el desarrollo de la integración de la filosofía de gestión del ciclo de vida del producto (Product Lifecycle Management-PLM) a la curricula de la carrera de Ingeniero en Diseño Mecánico Aeronáutico de la Universidad Aeronáutica en Querétaro. Más que la simple incorporación de cursos sobre las plataformas digitales usadas, se presenta la integración de las etapas propias del PLM con el proceso de Diseño Mecánico y su vinculación con las diferentes materias de la carrera, tomando en cuenta la incidencia de estas en las habilidades y conocimientos adquiridos que impacten en el adecuado desempeño del estudiante respecto a su formación como diseñador. De esta forma, se ha logrado una propuesta que implica la adición de actividades dirigidas a la vivencia del PLM por medio de proyectos estructurados acordes a las materias cursadas, incluyendo la existencia de trabajo colaborativo y metas encadenadas entre cuatrimestres por medio de actividades integradoras.

Palabras Clave: Diseño Mecánico, Integración Curricular, Ciclo de Vida del Producto.

ABSTRACT

This paper presents the development of the integration of the Product Lifecycle Management (PLM) philosophy into the curricula of the Aeronautical Mechanical Design Engineer at the Aeronautical University in Querétaro. More than the mere incorporation of courses on the digital platforms used, it is presented the integration of the stages of the PLM with the process of Mechanical Design and its relationship with the different subjects of the career, taking into account the incidence of these in the skills and acquired knowledge that impact on the proper performance of the student regarding his training as a designer. In this way, a proposal has been reached that involves the addition of activities aimed at the experience of the PLM through projects structured according to the subjects studied, including the existence of collaborative work and goals chained between quarters through integrative activities.

Keywords: Mechanical Design, Curriculum, Product Lifecycle Management.

1. Introducción

La teoría del ciclo de vida de un producto fue introducida en 1950 para explicar el ciclo de vida esperado de un producto típico desde el diseño hasta la obsolescencia. La teoría divide la vida del producto en las fases de introducción de producto, crecimiento de producto y final de vida. La meta de administrar el ciclo de vida del producto es maximizar su

valor y rentabilidad en cada etapa. El ciclo de vida está asociado principalmente a la teoría de mercadeo [1].

La administración del ciclo de vida o *Product Lifecycle Management –PLM-* en inglés, es la actividad de negocios que consiste en administrar los productos de una empresa a través de todo el ciclo de vida de la manera más efectiva. Desde la concepción del producto hasta que se retira y se deshecha. PLM administra tanto al portafolio de productos como a los productos individuales. Los objetivos de PLM son aumentar las ganancias de los productos, disminuir los

costos relacionados con los productos, maximizar el valor del portafolio de productos y maximizar el valor de productos presentes y futuros para consumidores y accionistas [2].

El núcleo de PLM es la creación, preservación y almacenamiento de información relacionada a los productos y actividades de la compañía para asegurar la distribución, refinación y reutilización de la información requerida para las operaciones. En otras palabras, el trabajo hecho previamente debe ser explotable sin importar el tiempo y lugar. Al mismo tiempo la idea es convertir la información administrada por los empleados y especialistas de la empresa en capital de la compañía en una forma fácil de administrar y de aprovechar [3].

PLM promete integrar y hacer disponible toda la información producida durante cada etapa del ciclo de vida, para todas las personas dentro de la organización en cada nivel administrativo y técnico, junto con los proveedores y clientes [4].

Para las empresas y fabricantes que necesitan diseñar, producir y distribuir productos en todo el mundo, es esencial tener una sola fuente para administrar todos los datos de procesos. Una manera de lograr esto es implementar un sistema PLM.

PLM se ha vuelto importante como la única fuente de información para la gestión de todos los aspectos del producto, desde el desarrollo inicial hasta la jubilación producto. Los 7 beneficios clave de PLM son:

- Tiempo más corto de comercialización
- Reducción de los riesgos de cumplimiento
- Disminuir los costos
- Aumentar la productividad
- Acelerar el crecimiento de los ingresos
- Impulsar la innovación
- Mejorar la calidad del producto

Mediante el uso de PLM, los fabricantes son capaces de poner en práctica todos los procesos y procedimientos necesarios para mantener la calidad del producto y la satisfacción del cliente desde la concepción del producto, en especial cuando los grupos de manufactura y diseño se encuentran en distintas localidades.

Uno de los principales problemas en la implementación de sistemas PLM es el desconocimiento existente sobre los mismos. Es común la confusión entre el sistema y la plataforma informática que lo respalda, lo cual lleva a que las capacitaciones hacia los ingenieros se enfoquen más en el dominio de un software de apoyo que en el entendimiento de los conceptos y filosofía involucrados, generando de esta forma curvas de aprendizaje largas dentro de las empresas, ya que los egresados de las carreras de ingeniería mecánica limitan por lo general el aprendizaje en el tema a prácticas de manejo de programas informáticos especializados, lo que por lo general se repite en los cursos de actualización disponibles.

En este sentido, el presente trabajo expone el desarrollo de la integración de la filosofía de gestión del ciclo de vida del producto (*Product Lifecycle Management-PLM*) a la curricula de la carrera de Ingeniero en Diseño Mecánico

Aeronáutico de la Universidad Aeronáutica en Querétaro, buscando superar el paradigma de cursos sobre las plataformas digitales usadas, por lo que se ha buscado la integración de las etapas propias del PLM con el proceso de Diseño Mecánico y su vinculación con las diferentes materias de la carrera mencionada, tomando en cuenta la incidencia de éstas en las habilidades, conocimientos y competencias adquiridos que impacten en el adecuado desempeño del estudiante respecto a su formación como diseñador. De esta forma, se ha logrado una propuesta que implica la adición de actividades dirigidas a la vivencia del PLM por medio de proyectos estructurados de acuerdo a las materias cursadas, incluyendo la existencia de trabajo colaborativo y metas encadenadas entre cuatrimestres por medio de actividades integradoras. Con este resultado se completa el desarrollo del proyecto de implementación del Laboratorio de Gestión del Ciclo Vida del Producto y se logra el aprendizaje de la filosofía y las diferentes plataformas por medio de la inmersión del alumno en los proyectos.

2. Marco Teórico

2.1. Gestión del ciclo de vida del producto

Administrar el ciclo de vida de producto no es una tarea sencilla. Durante el desarrollo de un producto éste pasará por una serie de modificaciones cuya secuencia y ejecución se debe cuidar con detalle. Toda la información generada por cada modificación se tiene que registrar y almacenar para evitar problemas durante la etapa de desarrollo. Una vez que el producto existe, éste se usará en la ubicación del cliente; donde es difícil para una compañía controlar al producto. Las actividades que se encuentran bajo el alcance de PLM se enlistan a continuación.

1. Maximizar la ganancia del portafolio de productos
2. Administrar un portafolio de productos bien estructurado
3. Proveer control y visibilidad de los productos a través del ciclo de vida
4. Administrar productos durante el ciclo de vida
5. Administrar la realimentación sobre los productos por parte de los clientes, ingenieros y el mercado.
6. Saber las características exactas, tanto técnicas como financieras de un producto a través del ciclo de vida.
7. Administrar procesos relacionados con productos para que sean coherentes, unificados y efectivos.
8. Capturar, administrar de manera segura y mantener la integridad de la información sobre la definición de producto haciéndola disponible dónde y cuándo se necesite.
9. Permitir el trabajo colaborativo con los socios de diseño, proveedores y clientes.

Las actividades involucran a todos los niveles empresariales y técnicos de una empresa, al igual que

clientes y proveedores. Esto fundamenta la necesidad de disponibilidad de información y datos de productos; y también el trabajo colaborativo.

Los tres principales factores que dificultan la implementación del PLM son:

- *Personalización*: Esto es una parte significativa de la implementación del PLM. No existe tal cosa como un “Ambiente de manufactura típico”, si existen ciertas similitudes en base al tipo de organización o industria, pero fundamentalmente implementan la manufactura diferente, tienen su propio ambiente, semántica para datos, nombres personalizados, esquemas etc. Así que para personalizar un sistema PLM para tener el nivel adecuado es muy significativo. La clave para tener éxito aquí es tener las herramientas de personalización correctas y un ambiente de programación integrado.

- *Datos de difícil acceso*: Para ejecutar el ambiente de manufactura es necesario tener los datos necesarios en el sistema. Sin esto no se ejecuta la manufactura con PLM. Contar con datos en formatos viejos u obsoletos en el sistema se vuelve una tarea difícil. Esto casi siempre es una serie de pasos complicados de importar y exportar datos ya que no hay formatos estándar.

- *Integración con sistemas de planificación de recursos empresariales*: PLM necesita ser compatible con la ERP implementada. Si no se tiene implementada una integración con ERP, puede resultar en un ambiente cerrado donde es difícil optimizar la manufactura. Actualmente la mayoría de los costos de producto resultan de factores relacionados con los requerimientos de producto, diseño, manufactura y capacidades de la cadena de suministro [3].

Existen cinco fases en el ciclo de vida de un producto, las cuales se muestran en la figura 1.



Fig. 1.1 Fases del ciclo de vida de producto.

En cada una de las cinco fases el producto se encuentra en un estado diferente. Durante la fase de concepción, el producto es solo una idea en la mente de las personas. Durante la fase de definición, las ideas son convertidas en descripciones detalladas. Al final de la etapa de realización, el producto existe en su forma final que utilizará el cliente.

Durante la fase de uso/soporte, el producto es usado por el cliente. Eventualmente el producto llega a una fase en la cual ya no es útil por lo tanto es retirado por la compañía y desechado por el cliente.

El producto debe ser administrado en todas estas fases para asegurar que todo funciona bien y que el producto le regresa una ganancia a la empresa. Eso significa administrar el producto a través de todo su ciclo de vida.

Cada una de las fases consiste en una serie de actividades por cumplir para después pasar a la fase siguiente. Las actividades de cada fase varían dependiendo de cuál es el producto y su propósito. Dentro de una compañía, la responsabilidad del producto es diferente en cada fase, en un momento puede ser responsabilidad del departamento de marketing y otras veces puede ser responsabilidad del departamento de ingeniería o de mantenimiento.

2.2. Diseño de productos

El desarrollo de producto es el conjunto de actividades que se inicia con la percepción de una oportunidad de mercado y termina en la producción, venta y entrega de un producto. Un producto es algo vendido por una empresa a sus clientes. Desde la perspectiva de los inversionistas en una empresa con fines de lucro, el desarrollo exitoso de un producto resulta en productos que se pueden producir y vender con rentabilidad, aun cuando ésta es a veces difícil de evaluar con rapidez y en forma directa. Se pueden mencionar cinco dimensiones más específicas, relacionadas definitivamente con la utilidad, que se usan para evaluar el rendimiento de un trabajo de desarrollo de producto:

- Calidad de producto
- Costo de producto
- Tiempo de desarrollo
- Costo de desarrollo
- Capacidad de desarrollo

Un alto rendimiento en estas cinco dimensiones debe finalmente llevar al éxito económico.

El desarrollo de productos es una actividad interdisciplinaria que requiere de la colaboración de casi todas las funciones de una empresa; no obstante, tres funciones son casi siempre esenciales a un proyecto de desarrollo de productos:

- Mercadotecnia.
- Diseño.
- Manufactura.

Diferentes personas dentro de estas funciones reciben con frecuencia una capacitación específica en aspectos como investigación de mercados, ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ciencia de materiales u operaciones de manufactura [5].

Durante las actividades de diseño, las ideas se desarrollan en objetos materiales que se pueden utilizar como un producto. Si este objeto es una estantería o una estación espacial, es el resultado de un proceso que combina las personas y sus conocimientos; herramientas y habilidades para desarrollar una nueva creación. Esta tarea

requiere tiempo y dinero; y si la gente tiene la capacidad suficiente y el ambiente en el que trabajan está bien estructurado, se puede hacer eficientemente. Además, si son expertos, el producto final será apreciado por aquellos que lo utilizan y trabajan con él. Los clientes lo verán como un producto de calidad [6]. Entonces, el proceso de diseño es la organización y administración de la gente y la información que generan durante el desarrollo de un producto.

Existen diferentes puntos de vista del proceso de diseño. La principal diferencia radica en el nombre de las operaciones/etapas de la secuencia; sin embargo virtualmente son las mismas. Entre todas las versiones del proceso de diseño se observa una tendencia a la formalización e inclinarse más a atender el problema al inicio y posponer la solución a las últimas etapas, a diferencia de buscar una solución al inicio y tratar de mejorarla. [7]. En la figura 2 se muestra la versión del proceso de diseño elegido [8]. Esta versión separa las etapas de diseño mecánico y manufactura.

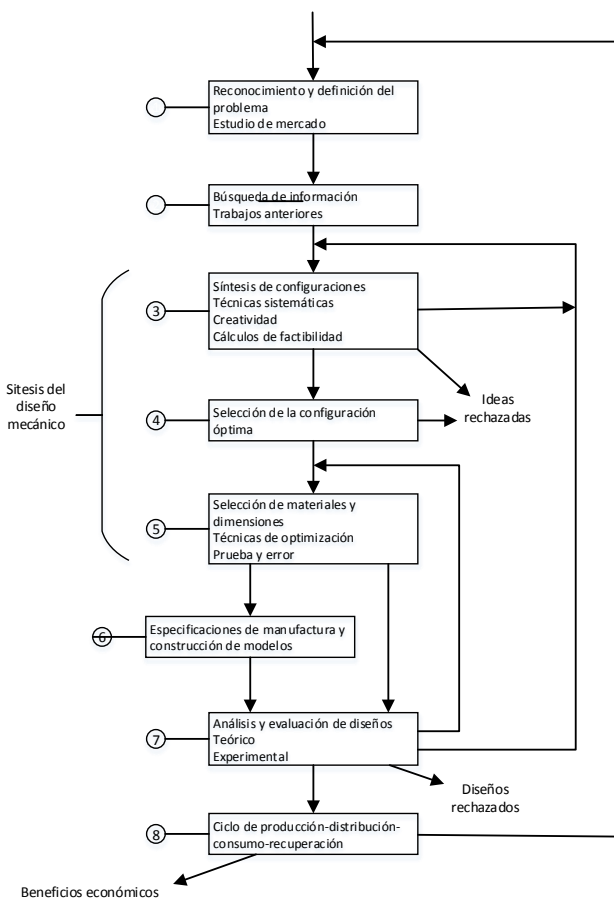


Fig. 2. Proceso de diseño secuencial. Traducida de [8]

Las actividades de las etapas “síntesis del diseño mecánico” y “especificaciones de manufactura y construcción del modelo”, se asemejan a las actividades de las etapas PLM concepción, definición y realización. Esto simplificará formular la relación etapas PLM- etapas del proceso de

diseño. A las etapas del proceso de diseño seleccionado se les referirá como etapas-PDS. Las etapas PDS se definen de la siguiente manera:

1. Reconocimiento y definición del problema
2. Búsqueda de información
3. Síntesis del diseño mecánico
4. Especificaciones de manufactura y construcción del modelo
5. Análisis y evaluación del diseño
6. Ciclo de producción-distribución-consumo-recuperación

3. Análisis

3.1. Programa educativo

Derivado del proceso de desarrollo curricular, se definieron las siguientes características para la carrera de Ingeniería en Diseño Mecánico Aeronáutico:

Competencias

Integrarse en las áreas de diseño mecánico, diseño de herramientas, diseño estructural y diseño de elementos de turbo maquinaria y en la manufactura de componentes aeronáuticos, así como, en la gestión del desarrollo de un proyecto y con la disposición para la investigación.

Perfil de egreso

El egresado del Programa Educativo de Ingeniería en Aeronáutica en Diseño Mecánico será un profesional con elevado nivel académico, formado en un programa de educación integral basado en competencias, mismo que le habilitará para:

- Plantear, analizar y resolver problemas de forma creativa a partir de sus conocimientos adquiridos.
- Con disposición para apoyar la investigación científica y capacidad para el desarrollo tecnológico.
- Con la capacidad de tomar decisiones, así como, formular, desarrollar y plantear proyectos de ingeniería.
- Con un alto sentido de responsabilidad al ejercer su profesión con calidad, lo que realizará con un alto respeto por la diversidad y multiculturalidad.
- Asume como principios de su acción y de sus relaciones humanas, los valores institucionales.
- Conoce y aplica distintas estrategias de enseñanza y aprendizaje que le permiten la adquisición de nuevos conocimientos de manera continua.
- Con un amplio dominio de los campos disciplinarios de su profesión.
- Evaluar componentes estructurales de uso aeronáutico.
- Seleccionar materiales para su implementación en componentes estructurales.
- Diseñar elementos mecánicos, mecanismos y herramientas con aplicación en aeronaves.
- Elegir el proceso de manufactura óptimo para la fabricación de elementos mecánicos, mecanismos y herramientas.
- Diseñar elementos de motores de combustión interna rotativos [9].

De estas definiciones se deriva el mapa curricular de la carrera, el cual tiene una serie de materias que permite cumplir con los objetivos del plan de estudio, y que a la vez están vinculadas con las actividades propias del diseño mecánico.

3.2. Integración PLM-IDMA

La integración entre PLM e IDMA tiene como origen la relación común que tienen ambos con el proceso de diseño en ingeniería. La relación entre el proceso de diseño y PLM se basa en los siguientes puntos:

- Las definiciones de ambos tienen un fin común orientado a la administración de personas e información generada durante el ciclo de vida de producto o desarrollo de producto.
- Se conforman de etapas y sub etapas secuenciales con objetivos definidos que contribuyen al desarrollo del producto.
- Su objetivo es el desarrollo de un producto desde la idea conceptual hasta la disposición/recuperación del mismo.

La relación entre el proceso de diseño y las materias de la currícula de IDMA se origina de la base teórica común que tienen ambos para los temas que los componen. Es decir, las materias de la currícula de IDMA pertenecen al proceso de diseño.

El comité de planeación encargado de la supervisión de esta tesis, seleccionó un conjunto de materias de la currícula de ingeniero en diseño mecánico aeronáutico (IDMA), para utilizarse en la integración PLM-IDMA. Las materias seleccionadas comparten fundamentos teóricos con el proceso de diseño y por lo tanto son parte del mismo. A las etapas del proceso de diseño se les referirá como etapas PDS. En la tabla 1 se muestran las materias utilizadas en la integración. A este conjunto de materias se le referirá como materias IDMA.

3.3. Metodología de integración

La metodología de integración entre materias IDMA y etapas PLM propuesta, consta de los siguientes pasos:

1. Selección y descripción del proceso de diseño.
2. Descripción de las etapas del proceso PLM.
3. Relación etapas PLM-etapas PDS.
4. Descripción de materias IDMA.
5. Relación materias IDMA-etapas PDS.
6. Asignación de actividades.
7. Selección del software de apoyo.

Comparando las descripciones de las etapas PDS y de las sub etapas PLM, se observan similitudes entre las actividades que conforman las etapas de ambos conjuntos. Agrupando las etapas por actividades similares y cuidando el orden secuencial, resulta la relación final etapas PLM-etapas PDS que se muestra en la tabla 2 y que es base para la integración.

Tabla 1. Materias IDMA.

#	Materia	Cuatrimestre
1	Metrología Dimensional	2do
2	Dibujo Técnico y CAD	2do
3	Procesos de manufactura I	2do
4	Modelado de Sólidos	3er
5	Metodologías del diseño en Ingeniería	3er
6	Procesos de manufactura II	3er
7	Dispositivos y mecanismos	4to
8	Introducción a las estructuras	4to
9	Análisis de Estructuras I	5to
10	Diseño de Elementos de Maquinas I	5to
11	Análisis de Estructuras II	6to
12	Diseño de Elementos de Maquinas II	6to
13	Análisis numérico de estructuras	7mo
14	Diseño de troqueles	7mo
15	Diseño de Moldes de Inyección	8avo
16	Análisis dinámico estructural	9no
17	Diseño de Componentes de Motores a Reacción I	9no
18	Diseño de Componentes de Motores a Reacción II	10mo
19	Automatización Industrial	10mo

La etapa PLM de disposición se omitió en la tabla anterior, debido a que la integración materias-PLM se enfocará en el desarrollo de producto (concepción, definición y realización) hasta el plan de producción.

El comité de planeación incluyó en la lista de materias IDMA, los temas de cada materia. Esta información es crítica para fundamentar la relación entre materias IDMA y etapas PDS.

El método diseñado para establecer la relación, consiste en comparar las materias con sus respectivos temarios contra un conjunto de palabras clave seleccionadas de las definiciones de las etapas y sub etapas PDS. Al existir una coincidencia, la materia se clasificará bajo la etapa/sub etapa PDS correspondiente.

En la tabla 3 se muestran las palabras claves clasificadas por su respectiva etapa/sub etapa. A éstas se les asigno una letra como código de identificación por motivos de simplicidad.

Tabla 2. Relación etapas PLM- etapas PDS.

Etapas PLM	Sub etapas PLM	Etapa PDS
Concepción	Especificación	Reconocimiento y definición del problema
	Diseño conceptual	Búsqueda de información.
Definición	Diseño detallado	Síntesis del diseño mecánico
	Validación y análisis (simulación)	Análisis y evaluación del diseño
	Diseño de herramientas	Especificaciones de manufactura y
Realización	Plan de manufactura	construcción del modelo
	Manufactura	
Servicio	Construcción/ensamble	Ciclo de producción-distribución-consumo-recuperación
	Control de calidad	
	Plan de producción	
	Uso	
	Soporte y mantenimiento	

La comparación entre materias y palabras clave se ejecutó respetando los parámetros siguientes:

- Si una palabra del temario se identifica dentro de las palabras claves, se considera como coincidencia.
- En la comparación se incluyen todos los temas de cada temario y también el nombre de su respectiva materia.
- Si un tema es un medio, forma parte o es una actividad de una palabra clave, se considera como coincidencia.
- Si un tema es un sinónimo o se infiere la relación con una palabra clave, se considera como coincidencia.
- Si existe más de una coincidencia de una materia, esta se clasificará dentro de todas las que se den.

En la figura 3 se muestran los resultados de las coincidencias. Cabe mencionar que resultaron múltiples casos de materias con más de una coincidencia. Esto resultará en una mayor flexibilidad durante la asignación de actividades.

Con la relación entre materias IDMA y etapas PDS definida, se procedió a clasificar las materias en etapas PLM utilizando la relación PDS-PLM establecida anteriormente.

En la tabla 4 se muestran las relaciones entre los conceptos materia IDMA, etapa PDS y etapa PLM. Estas relaciones representan los resultados del proceso de integración PLM- currículo.

Analizando las relaciones de la tabla 4, se modificó la relación de las materias Metrología Dimensional y Dibujo Técnico y CAD. Esto debido a la secuencia incorrecta de la etapa de concepción, que debe estar al inicio de las etapas PLM. En caso contrario la secuencia se rompe y no sería posible desarrollar un producto. Por lo tanto, a las materias “Metrología Dimensional” y “Dibujo Técnico y CAD” se les asignó la etapa PLM de concepción.

Las relaciones materia IDMA y etapa PLM son base para el diseño de las *etapas IDMA*, las cuales definirán las actividades que permitan el desarrollo de las competencias buscadas.

Tabla 3. Palabras clave

Etapa PDS	Sub etapa PDS	Código	Palabras clave
Reconocimiento y definición del problema	-	A	Identificación de oportunidades, estrategia corporativa, misión, objetivo, metas comerciales, limitaciones.
Búsqueda de información	-	B	Búsqueda de información, consulta, referencias, ventaja competitiva
Síntesis del diseño mecánico	Síntesis de configuraciones	C	Diseño nivel sistema, diseño de detalle, síntesis de diseño, técnicas sistemáticas, ingenio creativo, cálculos de factibilidad.
	Selección de la configuración optima	D	Selección, configuración óptima.
	Selección de materiales y dimensiones	E	Materiales, dimensiones, optimización.
Especificaciones de manufactura y construcción del modelo	-	F	Manufactura, construcción de producto, trabajo manual, transformación de materiales, fabricación.
Análisis y evaluación del diseño	-	G	Análisis teórico, análisis experimental, evaluación.
Ciclo de producción-distribución-consumo-recuperación	-	H	Producción en masa, distribución, seguimiento del producto, recuperación de producto.

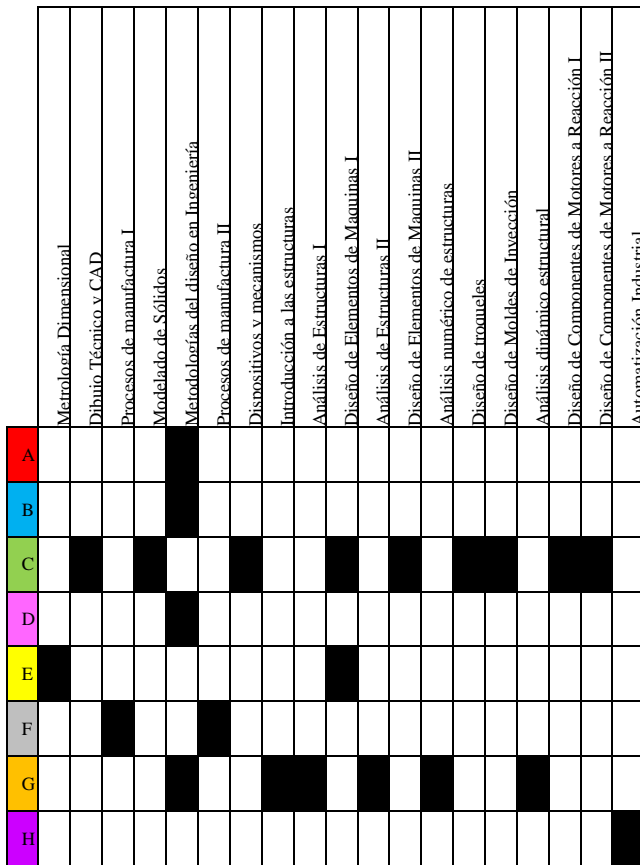


Figura 3: Resultados de coincidencias entre materias y etapas PDS

Para el desarrollo de las actividades de las etapas IDMA, se utilizará una plataforma de software capaz de soportar el desarrollo de proyectos bajo PLM. Dada la disponibilidad de este en la institución, seleccionó el software. CATIA de Dassault Systèmes, el cual es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos [9].

Los módulos que se utilizarán son:

- Part Design
- Generative Shape Design
- Assembly Design
- Drafting
- Lathe machining
- Turning Machining
- Kinematic analysis
- Generative Structural Analysis

4. Diseño de etapas IDMA y diseño de proyectos

El concepto *etapas IDMA* se refiere a las 19 etapas que conformarán todo el desarrollo de los proyectos. Éstas se relacionarán con las 19 materias de la currícula de ingeniero en diseño mecánico aeronáutico, utilizadas en el proceso de

integración PLM - currícula. El diseño de las etapas IDMA consiste en proponer el conjunto de actividades y documentos entregables que conformarán a cada una. Las propuestas se hacen en base a información específica de cada materia y a la etapa PLM correspondiente.

Tabla 4. Tabla de relación

Materia IDMA	Código etapa PDS	Etapa PLM
Metrología Dimensional	E	Definición
Dibujo Técnico y CAD	C	Definición
Procesos de manufactura I	F	Realización
Modelado de Sólidos	C	Definición
Metodologías del diseño en Ingeniería	A B D G	Concepción y definición
Procesos de manufactura II	F	Realización
Dispositivos y mecanismos	C	Definición
Introducción a las estructuras	G	Definición
Análisis de Estructuras I	G	Definición
Diseño de Elementos de Maquinas I	C E	Definición
Análisis de Estructuras II	G	Definición
Diseño de Elementos de Maquinas II	C	Definición
Análisis numérico de estructuras	G	Definición
Diseño de troqueles	C F	Definición y realización
Diseño de Moldes de Inyección	C F	Definición y realización
Análisis dinámico estructural	G	Definición
Diseño de Componentes de Motores a Reacción I	C	Definición
Diseño de Componentes de Motores a Reacción II	C	Definición
Automatización Industrial	H	Servicio

Para el diseño de cada etapa IDMA se propuso integrar información sobre la materia con la que se relaciona, con el objetivo de establecer las restricciones a las que estarán sujetas las propuestas. También se propuso información para definir cada etapa IDMA.

La información integrada para cada etapa IDMA será:

1. Nombre de materia: Se refiere a la materia con la que se relacionará directamente la etapa IDMA.

2. Cuatrimestre y horas de asignatura: La secuencia cuatrimestral es la guía principal para las etapas IDMA, ya está sujeta a decisión del departamento académico de la universidad. Las horas de asignatura serán la base para la propuesta de la duración de las etapas IDMA.
3. Temario: El temario de la materia sirve como restricción a las propuestas de actividades de cada etapa IDMA. La actividad propuesta debe relacionarse con el temario.

La información propuesta para cada etapa IDMA será:

4. Actividades de etapa IDMA: Tareas objetivo que se llevarán a cabo durante la duración de la etapa IDMA. Para supervisar el desarrollo y cumplimiento de las actividades se propone la figura de asesor. Se clasifican en 3 categorías:
5. Actividad: Son todas las tareas relacionadas al desarrollo de producto/proyecto del equipo de trabajo. Estas actividades se relacionarán con el temario de la materia asignada para reforzar los conocimientos.
6. Ejercicio: Tienen como objetivo capacitar a los alumnos en el software de apoyo y sus diversos módulos. Consistirán en una serie de pasos secuenciados que el alumno deberá seguir para completar el ejercicio.
7. Trabajo colaborativo: La filosofía PLM se apoya e incita al trabajo colaborativo. Por esta razón se propondrán tareas que refuercen el trabajo colaborativo y que ejerciten el conocimiento de la materia correspondiente.
8. Documentos entregables: Para cada etapa IDMA se propone un formato estandarizado que sirva como reporte de actividades. A cada formato se le asignará una clave única de identificación con el fin de facilitar su revisión y almacenamiento. Sólo se hará referencia a los formatos por su código ya que estos se incluirán en la sección de anexos de esta tesis. Para la redacción de los documentos entregables se propone la figura de “redactor”. La selección del redactor será del equipo de trabajo y deberá ser establecida antes de iniciar la(s) actividad(es). En el caso de que el equipo no seleccione a un redactor, la decisión pasará al asesor.
9. Duración de actividad(es): Tiempo límite para completar las actividad(es) de cada etapa. Inicialmente el tiempo propuesto será arbitrario para después corregirse durante la validación de las etapas IDMA. Proceso descrito en el capítulo 4 de esta tesis.
10. Requerimientos: Conocimientos y habilidades necesarias para desarrollar la(s) actividad(es) de cada etapa IDMA.
11. Teoría complementaria: De considerarse necesario se agregará texto teórico complementario. Esto para facilitar el entendimiento o la realización de la(s) actividad(es). Si la actividad propuesta es del tipo ejercicio en software, en ésta sección se especificarán los pasos que el alumno deberá seguir para completar el ejercicio.

12. Instrucciones de documento entregable: Conjunto de pasos para reportar la(s) actividad(es) de la etapa IDMA en el documento entregable correspondiente.
13. Bibliografía: En caso de incluir teoría complementaria se agregará la fuente bibliográfica.

5. Resultado del proceso de integración

En la tabla 5 se resumen todas las etapas incluyendo cuatrimestre, materia, actividad y horas propuesta. El tiempo total propuesto para completar todas las etapas es de 255 horas. Las actividades de cada etapa se basan principalmente en el desarrollo de proyectos con características específicas para desarrollar una competencia en el estudiante relacionada con el ciclo PLM, teniendo un alcance y extensión adecuados para las capacidades del equipo y para el tiempo total de desarrollo del proyecto. Procurando el alcance del proyecto se asegura que el equipo de trabajo tendrá el tiempo suficiente para completar el desarrollo. En este sentido, los proyectos se proponen sean desarrollados a lo largo de varias materias a fin de que se dé una continuidad al desarrollo del producto seleccionado.

Para esto, se propuso una metodología para el diseño de proyectos. La metodología consiste en que el *Redactor* establecerá 6 puntos relacionados al proyecto y que ayudarán a definir el alcance y los requerimientos del mismo. Los puntos son:

- Producto de referencia
- Composición del producto de referencia.
- Alcance de proyecto.
- Datos de referencia.
- Requerimientos del proyecto.
- Imagen de referencia (opcional).

La información de los puntos anteriores debe de asentarse en un formato desarrollado exprofeso, siendo revisado y aprobado por parte de dos revisores.

Para validar la propuesta de la metodología se propusieron 6 proyectos de diferente índole (Tabla 6), y se aplicaron a un grupo piloto para verificar la factibilidad para ejecutarlos y obtener los resultados esperados. Los proyectos fueron ejecutados satisfactoriamente, midiendo el tiempo efectivo de ejecución comparándolo con el tiempo programado para las actividades (figura 4)

Tabla 5. Resumen de etapas IDMA

Cuatri- mestre IDMA	Etapas	Materia	Actividad	Horas propuestas
2do	1	Metrología Dimensional	Búsqueda de información de referencia	10
2do	2	Dibujo Técnico y CAD	Identificación de necesidades Identificación de requerimientos	5
2do	3	Procesos de manufactura I	Ejercicio en software 1	15

			Ejercicio en software 2	
3er	4	Modelado de Sólidos	Ejercicio en software 3	15
			Diagrama funcional del producto	
			Generación de conceptos	
			Evaluación de conceptos	
3er	5	Metodologías del diseño en Ingeniería	Generación de bosquejos	40
			Modelado e identificación de componentes	
			Generación de dibujos de detalle	
			Generación de dibujos de ensamble	
3er	6	Procesos de manufactura II	Plan de procesos de manufactura	20
4to	7	Dispositivos y mecanismos	Ejercicio en software 4	15
			Ejercicio en software 5	
4to	8	Introducción a las estructuras	Ejercicio en software 6	10
			Ejercicio en software 7	
5to	9	Análisis de Estructuras I	Ejercicio en software 8	10
5to	10	Diseño de Elementos de Maquinas I	Selección de materiales	5
6to	11	Análisis de Estructuras II	Diseño de experimentos virtuales	5
6to	12	Diseño de Elementos de Maquinas II	Ejercicio en software 9	5
7mo	13	Análisis numérico de estructuras	Simulación de experimentos virtuales	15
7mo	14	Diseño de troqueles	Simulación de manufactura virtual	15
8avo	15	Diseño de Moldes de Inyección	Ejercicio en software 10	10
9no	16	Análisis dinámico estructural	Optimización de componentes	15
9no	17	Diseño de Componentes de Motores a Reacción I	Trabajo Colaborativo 1	15
10mo	18	Diseño de Componentes de Motores a Reacción II	Trabajo Colaborativo 2	15
10mo	19	Estructuras de aeronaves	Visualización de producto	15
			Presentación de producto	

Tabla 6. Proyectos de verificación

Proyecto	Actividad principal
Desarrollo de tren de aterrizaje frontal de Boeing 737	Integral
Diseño y análisis de una carcasa para aerogenerador	Optimización de componentes
Diseño y cálculo estructural de moldes para la fabricación de partes de un auto ultraligero	Simulación de manufactura virtual
Diseño de estructura de semi-ala Boeing 737-200	Trabajo colaborativo
Diseño de tanque de combustible de semi-ala Boeing 737-200	Trabajo colaborativo
Diseño de superficies de control de semi-ala Boeing 737-200	Trabajo colaborativo

Se puede ver que en general, el tiempo considerado dentro de las materias para el desarrollo de las actividades de los proyectos es superior al real, salvo en 2 actividades.

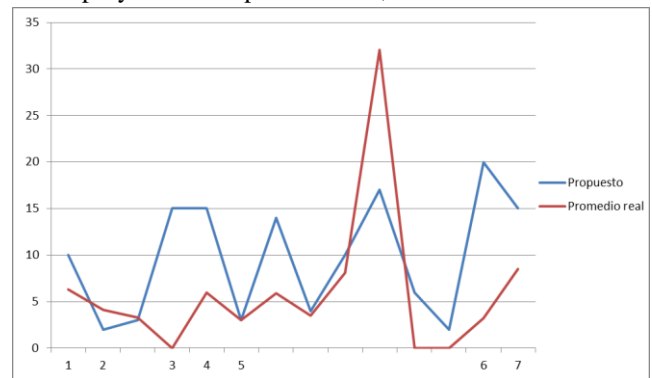


Figura 4 Tiempos de desarrollo de las actividades.

. Esto indica que las actividades pueden ser realizadas dentro del tiempo de los cursos. En el caso de las actividades que superan el tiempo, tendrían que programarse actividades extra clase dentro del programa de la materia respectiva.

4. Conclusión

La estandarización de la información de las etapas y de los formatos entregables resultó en un aprendizaje más acelerado por parte del equipo de trabajo, ya que al entender y adaptarse a la estructura de las actividades y ejercicios, el equipo requirió de menos supervisión por parte del asesor. La estandarización también resultó en un acceso y almacenamiento de información más eficiente.

Durante el desarrollo del proyecto que duró más de 200

horas, los alumnos realizaron múltiples actividades relacionadas a temas que no se cubren en los temarios de las materias de la currícula. Por lo tanto adquirieron conocimientos nuevos y adicionales a los temarios.

Tanto los conocimientos como la experiencia resultante del desarrollo del proyecto, son ventajas competitivas que los alumnos de la carrera tendrán sobre los egresados de carreras similares en otras instituciones.

Durante la validación de la metodología y de las actividades propuestas, se descubrieron múltiples consideraciones que se deben atender antes de su implementación en la carrera IDMA. Es importante que los profesores de las materias con actividades tengan una buena capacitación en el software utilizado, así como que se contemplen horas de capacitación de los estudiantes en los módulos especializados.

Las actividades propuestas en las etapas, deben usarse como referencia si es necesario incluir más actividades. Las actividades que se incluyan deben ser validadas de la misma manera que en esta tesis antes de ser implementadas.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo al Fondo Mixto De Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Querétaro por el apoyo al proyecto "Equipamiento y operación de un laboratorio de gestión del ciclo de vida del producto (PLM) para diseño, manufactura, maquinado y ensamble aeronáutico en la Universidad Aeronáutica de Querétaro (UNAQ)".

REFERENCIAS

-
- [1] L. M. Grantham, «The Validity of the Product Life Cycle in the High-tech Industry,» 1997.
- [2] J. Stark, Product lifecycle management 1st ed, London: Springer, 2013.
- [3] A. Saaksvuori y A. Immonen, Product lifecycle management. 3rd ed., Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co., 2008.
- [4] R. Sudarsan, S. Fenves, R. Sriram y F. Wang, «A product information modeling framework for product lifecycle management.» pp. 1399-1411, 2005.
- [5] K. Ulrich y S. Eppinger, Product design and development. 2nd ed., Boston: McGraw-Hill Inc., 1999.
- [6] D. Ullman, The mechanical design process. fourth ed., New york, NY: McGraw-Hill Inc., 2010.
- [7] L. Wang, W. Shen, H. Xie, J. Neelamkavil y A. Pardasani, «Collaborative conceptual design—state of the art and future trends,» Computer-Aided Design, p. 981–996, 2002.
- [8] R. Johnson, Mechanical Design Synthesis, 2 ed, Krieger Pub Co, Malabar, FL, 1978
- [9] Universidad Aeronautica en Querétaro, «Diseño Mecánico Aeronáutico,» 2015. [En línea]. Available: <http://unaq.edu.mx/index.php/oferta-educativa/ingenieria/disenio-mecanico-aeronautico>. [Último acceso: 19 Febrero 2017].
- [10] «CATIA,» 21 February 2017. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/CATIA>.