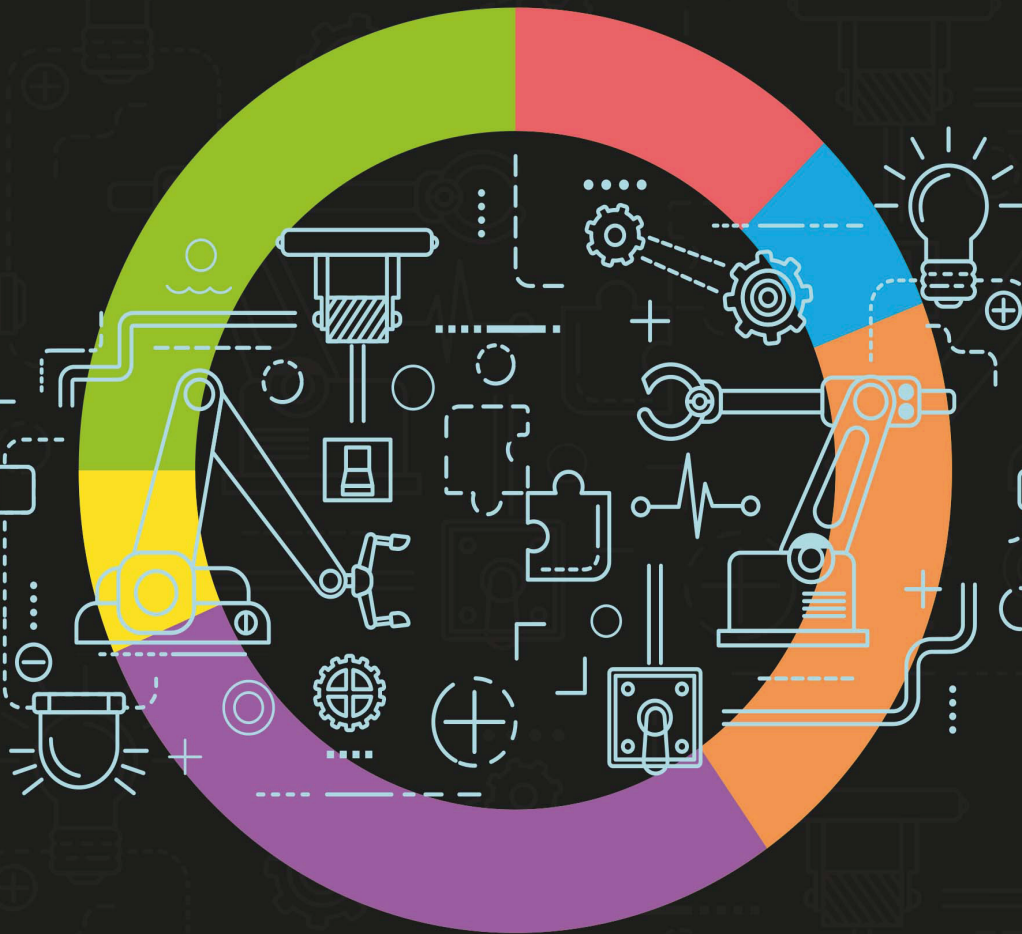




Institución
Universitaria

MANUFACTURA Y GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO (PLM)



Libia María Baena Pérez
José Adrián Tamayo Sepúlveda
Adrián José Benítez Lozano

Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto (PLM)

Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto (PLM)

Libia María Baena Pérez

José Adrián Tamayo Sepúlveda

Adrián José Benítez Lozano

Baena Pérez, Libia María

Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto PLM / Libia María Baena Pérez, José Adrián Tamayo Sepúlveda, Adrián José Benítez Lozano. –Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano, 2022.

344 p. -- (Teknik)

Incluye referencias bibliográficas

1. Manufactura. 2. Ciclo de vida de un producto. 3. Materiales. 4. Ingeniería Asistida por computador. 5. Ingeniería de producción. I. Tamayo Sepúlveda, José Adrián. II. Benítez Lozano, Adrián José. III. Tít. IV. Serie

670 SCDD 21 ed.

Catalogación en la publicación - Biblioteca ITM

Primera edición: septiembre de 2022

ISBN: 978-958-5122-72-7 (PDF)

© Instituto Tecnológico Metropolitano

Hechos todos los depósitos legales

Hecho en Medellín, Colombia

EDICIÓN

Fondo Editorial ITM

Calle 73 76^a-354

Telefono: (574) 604 440 5100 Ext. 5197-5382

catalogo.itm.edu.co

fondoeditorial@itm.edu.co

Instituto Tecnológico Metropolitano

Medellín, Colombia

COMITÉ EDITORIAL

Jorge Iván Brand Ortiz, Ph. D.

Gloria Mercedes Díaz Cabrera, Ph. D.

Juliana Cardona Quirós, Esp.

Jorge Iván Ríos Rivera, Ms.

Sebastián Vásquez Moreno, Esp.

Salvo cuando se especifica lo contrario, las figuras y tablas de este volumen son propiedad de los autores.

EQUIPO EDITORIAL

Juliana Cardona Quiros

Directora editorial

Sebastián Vásquez Moreno

Profesional universitario FEITM

Catalina Ocampo Ocampo

Gustavo Otálvaro Ocampo

Editores de mesa

Martha Cecilia Caballero Jerez

Corrección de textos

Mauricio Raigosa Álvarez

Diseño y diagramación

Las ideas y opiniones de este libro son responsabilidad exclusiva de los autores, quienes son igualmente responsables de las citas, referencias y de la originalidad de su obra. En consecuencia, el ITM no responderá ante terceros por el contenido técnico o ideológico del texto, ni asume responsabilidad alguna por las infracciones a las normas de propiedad intelectual.

COMO CITAR:

Baena Pérez, L. B.; Tamayo Sepúlveda, J. A.; Benítez Lozano, A. J. (2022). *Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto PLM*. Fondo Editorial ITM.

Contenido

PRESENTACIÓN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
PARTE 1.....	13
DISEÑO Y GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO (PLM)	
CAPÍTULO 1.....	14
Diseño metódico: una propuesta dentro del ciclo de vida del producto. Método de diseño de productos para ingenieros <i>Sergio Aristizábal Restrepo</i>	
CAPÍTULO 2.....	38
Sistemas CAD/CAM/CAE y PLM <i>Adrián José Benítez Lozano</i>	
CAPÍTULO 3.....	57
Metodologías de diseño y herramientas computacionales <i>Jaime Vélez, Jonathan Pabón, Daniel Ramírez</i>	
CAPÍTULO 4.....	77
Aplicación de economía circular en el diseño y desarrollo de un domo geodésico funcional <i>David A. Duque, Diana C. Guzmán, José A. Tamayo</i>	
PARTE 2.....	96
MATERIALES: MANUFACTURA AVANZADA	
CAPÍTULO 5.....	97
La pulverización catódica como una herramienta para la modificación superficial de materiales metálicos usados en implantes quirúrgicos <i>Julián Andrés Lenis Rodas, Francisco Javier Bolívar Osorio</i>	
CAPÍTULO 6.....	117
Recubrimientos electroless Ni-P <i>Diego Felipe Carrillo Ballesteros</i>	

CAPÍTULO 7	137
Pulvimetalurgia en aleaciones de magnesio	
<i>Yineth Patricia Galíndez</i>	
CAPÍTULO 8	154
Nanofluidos: la nueva generación de fluidos	
<i>Marllory Isaza Ruiz</i>	
CAPÍTULO 9	181
Materiales avanzados en la manufactura de celdas solares flexibles: síntesis, desarrollo y manipulación	
<i>Juan Felipe Tirado Jaramillo, Manuel Felipe Vásquez Montoya, Daniel Estiben Ramírez Zora, Rafael Andrés Betancur Lopera, Juan Felipe Montoya Arango, Franklin Jaramillo Isaza</i>	
CAPÍTULO 10	220
Materiales: manufactura aditiva	
<i>Johnnatan Rodríguez</i>	
CAPÍTULO 11	238
Adelantos y tendencias en el uso de materiales avanzados y su procesamiento por métodos de manufactura aditiva	
<i>Jonathan Pabón, Jaime Vélez, Daniel Ramírez</i>	
CAPÍTULO 12	254
La manufactura aditiva en el sector de la construcción	
<i>Libia María Baena Pérez</i>	
CAPÍTULO 13	268
Manufactura aditiva: tendencias, retos y caso de estudio en impresión 3D de hidrocoloides	
<i>Juliana Montoya, Laura Flórez</i>	
CAPÍTULO 14	281
Tendencias de manufactura de materiales poliméricos	
<i>Allison Arango Loaiza, Libia María Baena Pérez</i>	
CAPÍTULO 15	297
Tendencias de manufactura de materiales cerámicos	
<i>Allison Arango Loaiza, Libia María Baena Pérez</i>	

PARTE 3	307
MANUFACTURA VIRTUAL Y FÁBRICAS INTELIGENTES INMERSAS EN LA INDUSTRIA 4.0	
CAPÍTULO 16	309
Fábricas inteligentes e internet de las cosas	
<i>Andrea Uribe Rendón, Yenny Alejandra Aguirre Álvarez</i>	
<i>Jorge Alonso Monsalve Jaramillo, Luis Fernando Quiroga Peláez</i>	
<i>Julián Andrés Román, Juana Stella Fuentes Gamboa</i>	
<i>Jairo Hernando Ramírez Marín, María Eugenia González Pérez</i>	
CAPÍTULO 17	327
Retos técnicos y capacidades en inteligencia artificial para la i4.0	
<i>José F. Pulido-Jiménez</i>	
CONCLUSIONES	337
Índice de figuras	340
Índice de tablas	343

PRESENTACIÓN

El libro *Manufactura y gestión del ciclo del vida del producto (PLM)* es un compendio de temáticas y trabajos que parten de la necesidad de generar eficiencia y valor agregado en los diferentes sistemas productivos por medio de las nuevas tecnologías y materiales integrados con la manufactura avanzada y la gestión de ciclo de vida del producto. Con el desarrollo de nuevos materiales y el mejoramiento de sus propiedades es imperiosa la necesidad de sacar provecho en la producción, es decir, el compromiso de realizar su transformación de forma eficiente y rentable que genere las mejores alternativas para la obtención de productos, su procesamiento, la configuración del sistema productivo y su integración con los diferentes pilares de la industria 4.0.

Se trata de un patrón transversal que podrá evidenciarse a lo largo del texto con el fin de entregar al lector herramientas y metodologías que vayan en la línea del desarrollo de nuevas tecnologías, procesos innovadores e información de las últimas tendencias en manufactura de punta, sobre todo en la aditiva, la cual hace parte de los pilares fundamentales de la cuarta revolución industrial que hoy se exige a las empresas de categoría mundial.

La obra reúne sistemáticamente revisiones de la literatura y resultados de trabajos de investigación de diferentes autores que abordan temas de ciencia, tecnología e innovación relacionados con las áreas de diseño, manufactura e ingeniería asistida por computador, manufactura avanzada, sistemas de producción inteligentes y ciclo de vida del producto, que están a la vanguardia de los sistemas productivos en el mundo.

Es este un documento apropiado para los programas de Tecnología en Sistemas de Producción, Ingeniería de Producción e ingenierías afines, ya que se presenta temas actuales y relevantes sobre diseño, procesamiento

primario de materiales, control de procesos de manufactura y gestión de ciclo de vida del producto.

Ofrece al lector una visión holística del ciclo de vida del producto que comprende el diseño, la manufactura y el constante análisis de ingeniería de producto en los sistemas que lo producen, además de detenerse en algunos procesos innovadores de manufactura y puesta a punto en los materiales que mejoran sus propiedades, para lograr un mejor desempeño en su uso final o en su procesamiento y manufactura, etapa primaria de todo proceso de transformación y obtención de producto.

Finalmente, agradecemos especialmente a los participantes de esta publicación por el esmero en su investigación y por su experticia, plasmada en el aporte científico que se evidencia en el texto. También a nuestros lectores por su interés en el contenido de esta obra y por su motivación de cara al fascinante mundo de la manufactura y de la gestión de procesos productivos.

INTRODUCCIÓN

Manufactura y ciclo de vida del producto (PLM) es una compilación de revisiones de la literatura y los resultados de trabajos de grado e investigaciones inmersas en la industria 4.0, que abordan temas de ciencia, tecnología e innovación relacionados con las áreas de diseño, gestión de ciclo de vida del producto (diseño, manufactura y análisis de ingeniería), y técnicas de procesamiento avanzado de materiales, manufactura aditiva. Los procesos de manufactura se llevan a cabo para fabricar objetos y productos en general; por ello, estos procesos pueden ser descritos desde los puntos de vista tecnológico y económico.

En un sentido tecnológico, la manufactura se refiere a la transformación de formas, geometrías, propiedades y aspectos de los materiales comúnmente empleados en la ingeniería mediante procesos fisicoquímicos. La manufactura, vista desde el sentido económico, consiste en la transformación de estos materiales en productos finales mediante el uso de métodos de procesamiento, con el fin de otorgarles valor agregado a los productos. Esta generación de valor agregado es fundamental para todo sistema productivo; por tal razón, todos los procesos de manufactura tienen como objetivo principal incrementar el valor de los materiales o materia prima en sus productos finales con una mínima o eficiente optimización de sus procesos.

También es importante conocer la manufactura en su forma dinámica y su articulación en sistemas de procesos de transformación rentables y amigables con el medioambiente. Los nuevos métodos de fabricación que han surgido en los últimos años para obtener productos con mejores propiedades y aplicaciones más versátiles y exigentes, involucran el empleo de procesos de manufactura avanzada que permiten garantizar niveles de trabajo con

mayor productividad en menor tiempo y disminución de costos asociados a la producción.

Lo anterior ha generado un gran interés en los campos de la investigación, en la academia y la innovación tecnológica. *Product Lifecycle Management* (PLM) es un proceso encargado de administrar el ciclo de vida completo de un producto determinado, desde su diseño con soluciones CAD (*Computer Aided Design*) hasta su optimización con soluciones CAE (*Computer Aided Engineering*).

Finalmente, se emplean las soluciones DMF (*Digital Manufacturing*) para analizar la manera en que se va a producir y se le va a dar mantenimiento al producto; así, puede compartirse con todos los actores del ciclo productivo información relevante que ha sido generada en las etapas que intervienen en dicho ciclo junto con las soluciones PDM (*Product Data Management*). Por tanto, la PLM posee importantes ventajas y capacidades que les otorgan a las empresas del sector manufacturero facilidades a la hora de administrar e innovar, de manera eficaz, sus productos y servicios relacionados con ellos a lo largo de toda su vida económica.

La gestión de ciclo de vida del producto es un tema transversal a toda industria manufacturera y de servicios; tiene como objetivo principal la optimización de los procesos de producción y manufactura, así como el manejo de grandes volúmenes de información. También tiene por vocación la gestión del patrimonio técnico de la empresa y la optimización del desarrollo de los nuevos productos. El procesamiento de los materiales de ingeniería, los procesos y sistemas de manufactura y el desarrollo del ciclo de vida del producto son pilares esenciales en la manufactura moderna; por tanto, son estos los temas que se abordan en el libro por diferentes autores expertos en las áreas mencionadas.

El libro está estructurado en cuatro grandes ejes temáticos. El primero, corresponde al diseño y la gestión del ciclo de vida del producto, PLM; allí se presentan herramientas de diseño conceptual y de detalle, además de sus aplicaciones. El segundo eje se enfoca en la manufactura avanzada,

la puesta a punto y el procesamiento avanzado de materiales; en este eje se presentan capítulos que dan a conocer tendencias para mejorar el procesamiento de materiales metálicos, pulvimetalurgia y recubrimientos. El tercer eje comprende las últimas tendencias en manufactura aditiva de los grupos clásicos de materiales de ingeniería como metales, polímeros, cerámicos y compuestos, además de sus aplicaciones tecnológicas. Un cuarto eje, la manufactura virtual y fábricas inteligentes inmersas en la industria 4.0, muestra su relevancia en la eficiencia de los procesos productivos del entorno actual que exigen la competitividad y la globalización en temas de manufactura y productividad.

Finalmente, el libro entrega conclusiones, sistemáticas y globales, con base en todas las temáticas abordadas. Como ya se mencionó, cada uno de estos ejes está integrado por diversos capítulos que desarrollan temáticas específicas y trabajos novedosos en la materia, que servirán de referente para la constante búsqueda de eficiencia de los sistemas productivos, el procesamiento de materiales y su integración continua con la exigente y tangible industria 4.0.

The background is a dark grey field filled with white line-art icons. These icons include various mechanical parts like gears, pistons, and robotic arms, as well as electrical symbols like resistors and springs. There are also abstract shapes like puzzle pieces and dashed lines, suggesting a complex engineering or manufacturing process.

Parte 1

Diseño y gestión del ciclo de vida del producto (PLM)

Capítulo 1

Diseño metódico: una propuesta dentro del ciclo de vida del producto. Método de diseño de productos para ingenieros

Sergio Aristizábal Restrepo

sergioaristizabal@itm.edu.co

Msc. en Ingeniería

Grupo de Calidad, Metrología y Producción

Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM

1.1. Introducción

Diseño, rediseño y PLM son conceptos íntimamente relacionados, bien sea porque se presentan en etapas iniciales del ciclo de vida del producto, o porque se dan en sus etapas intermedias o finales para alargar dicho ciclo, o para dar otra oportunidad de uso a un producto que ha sido exitoso. En este capítulo se hace referencia a qué hacer para enfrentar proyectos de diseño o rediseño como etapas ineludibles dentro del ciclo de vida del producto. Desde sus orígenes, el ser humano ha desarrollado objetos que le facilitan o le permiten realizar labores que aumenten su comodidad. Esas creaciones y adaptaciones remiten al diseño; además, la demanda de ellos ha llevado a buscar la forma de reproducirlos de forma efectiva y eficiente.

La evolución de la tecnología, el desempeño de los productos en su uso o el deseo de cada uno de los usuarios de que dichos objetos tengan algún diferenciador asociado a ellos mismos hacen que se transformen e incluso que sean reemplazados por otros; esto último remite al rediseño, pues probablemente se enfrenten los mismos requerimientos, aunque con algunas variaciones. En el diseño de productos, hablar de métodos, metódicas y metodologías es cosa de mucho tiempo atrás; probablemente su difusión y su uso se evidenciaron en Alemania después de la Segunda Guerra Mundial [1], Pahl y Beitz [3] como herramienta esencial para garantizar el resurgimiento económico de ese país; sin embargo, desde la antigüedad (Herón, Aristóteles, Platón), el Renacimiento (Leonardo da Vinci), el Modernismo (Descartes) y otras épocas y personajes, es evidente que el trabajo metódico es efectivo en resultados, en reproducibilidad y, sobre todo, permite enseñar a diseñar y a rediseñar. Los nuevos productos, bien sean diseños o rediseños, buscan satisfacer de mejor manera, más económicamente, en forma más diferenciada y de modo que las personas queden más impactadas por su uso o tenencia. Es decir, aparte de satisfacer lo implícitamente funcional se espera de ellos que generen emociones o que permitan desarrollar experiencias.

Con base en una visión rápida sobre el desarrollo de nuevos productos en empresas locales, en cuanto a lo que se podría identificar como rediseño, un muy alto porcentaje de los proyectos que se desarrollan corresponden a

rediseño por adaptación, por escalado, por adición o simplificación y, en el mejor de los casos, por incorporación de componentes tecnológicos. Obviando las significativas diferencias entre el diseño y el rediseño, y asumiendo que el desarrollo de productos se realiza de mejor forma con orden, control sobre los avances y, ante todo, con la ejecución consciente de actividades y elaboraciones mentales, en este texto se usará el concepto de método de diseño como aplicable tanto al diseño como al rediseño y haciendo referencia, principalmente, al rediseño con incorporación de componentes que, a su vez, pueden ser diseños.

La proliferación de métodos, metódicas o metodologías se debe básicamente a dos razones: la primera tiene que ver con la intención de los autores de proponer algunas consideraciones sobre la forma de hacer o de lograr; es así como las principales diferencias están en el orden de ejecución o de aplicación, en el uso, o no de determinada herramienta; e incluso, en el alcance que se espera que tenga el proceso de diseño. La segunda tiene que ver con la necesidad de normalización de las actividades de diseño para poder ser evaluadas o controladas por una norma técnica (VDI, ISO, ASTM, etc.) [1], [2], [4].

En general, se puede afirmar que los métodos han tenido básicamente dos orígenes: uno, la experiencia y los resultados exitosos, los cuales se describen cómo lograrlos. Y dos, el análisis de los anteriores más las modificaciones o adiciones de acuerdo con lo que considere el autor que se debe tener en cuenta para lograrlo. Es así como los métodos se plantean como guías para facilitar el desarrollo de los proyectos para ordenar la ejecución de las diferentes actividades, para permitir el control de avance de los proyectos, así como para coordinar las labores de equipos de trabajo con varios participantes y, sobre todo, para facilitar la inclusión de la gestión de producción, la posición de los usuarios, y lo relacionado con el medioambiente u otros actores.

La intención de esta propuesta es dotar al ingeniero, al diseñador de profesión o a quien asuma el rol de diseñador, de una herramienta y guía que les permitirá lograr «que los objetos que proponen o diseñan sean la materialización de lo que ellos quieren que sea, y no el resultado fortuito de

restricciones, limitaciones o ignorancias de cualquier tipo». Esta se presenta como una herramienta sistemática para desarrollar alternativas de solución, tarea fundamental del diseñador.

1.2. Resumen

El desarrollo de productos nuevos o la actualización de los existentes requiere el menor tiempo de respuesta posible, bien sea por oportunidad o por competencia. El método que se presenta está basado en la visión del autor sobre los elementos prácticos que le permitirán al ingeniero responder, de forma más rápida y completa, a los interrogantes más significativos que deberían formularse al enfrentar el proceso de diseño, adicionalmente a la incorporación de la ingeniería concurrente como una de las realidades más coherentes de vinculación colaborativa de diferentes especialidades para el desarrollo de proyectos; esto, debido al hecho de que las exigencias tecnológicas demandan la incorporación de diferentes disciplinas en la conformación de dichos proyectos.

La propuesta está basada en preguntarse, establecer indicadores y criterios de calificación (parametrización) para determinar concretamente la efectividad del desarrollo, así como en una evaluación posterior y la comparación con un referente para establecer la eficiencia de los resultados. La elaboración de esta se basa en el análisis comparativo entre diferentes propuestas metodológicas y en la recolección de enseñanzas y conclusiones de muchos años explicándola, aplicándola y comprobando sus efectivos resultados en diferentes industrias.

Se plantea una estructura básica que le da cuerpo a la propuesta, además de la incorporación de conceptos novedosos como las preguntas, esencia de motivación y desarrollo; asimismo, lo colaborativo, lo concurrente y las bondades y libertades del diseño industrial en cuanto a formas, proporciones, estética, creatividad y desarrollo. La propuesta se presenta bajo la consideración del desarrollo de proyectos de diseño para la academia; sin embargo, su aplicación práctica en el contexto industrial quedará justificada en los resultados que se van obtener en cada fase. En proyectos académicos, todos

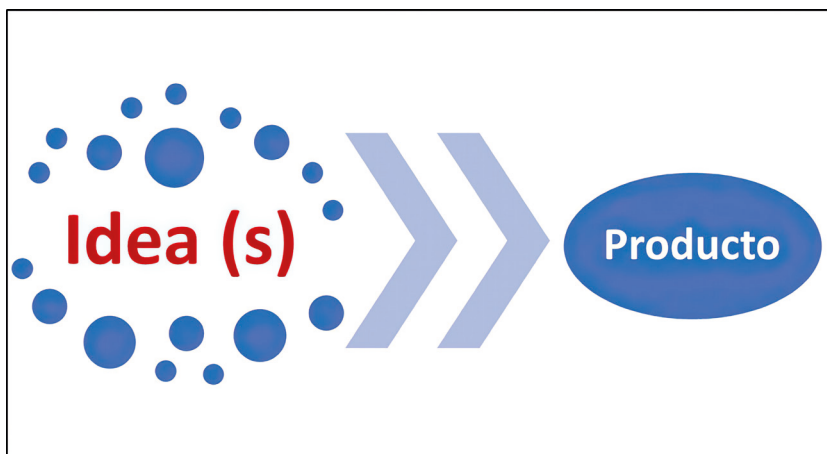
los numerales deben ser resueltos, mientras que los que se deben resolver en la industria estarán identificados así:

1.3. El método

1.3.1. Consideraciones

Como concepto fundamental se parte de que el diseño es el proceso de materializar una idea en un producto (Figura 1.1.). Dicha materialización se puede dar en diferentes niveles tales como: bocetos, planos, maquetas, modelos funcionales, prototipos virtuales o físicos, lote de prueba, entre otros.

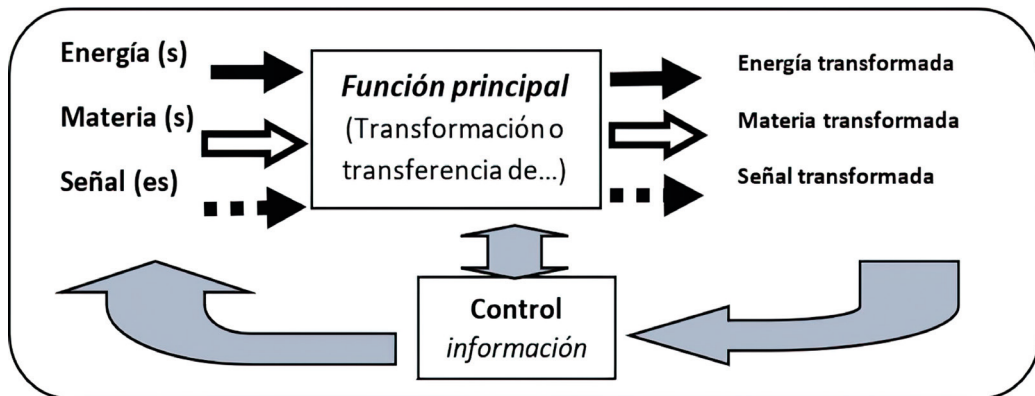
Figura 1.1. El propósito del diseño



Fuente: elaboración propia.

En el inicio del ciclo de vida del producto es indiferente cómo se obtuvo la idea, pues obedece a situaciones de creatividad o intuición, puede surgir de cualquier forma o momento y el grado de materialización dependerá del alcance de cada proyecto; así que, estos extremos no se consideran en la propuesta. Otra visión que se va a utilizar es la de sistemas; es así como se puede representar todo artefacto, objeto o producto de la siguiente forma (Figura 1.2.):

Figura 1.2. Representación como sistema



Fuente: elaboración propia.

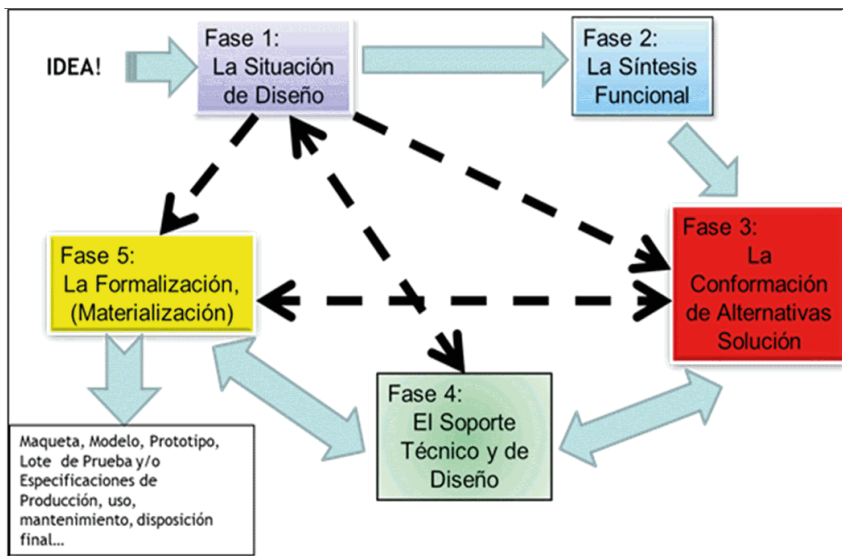
1.3.2. Las preguntas

El desarrollo de este método está basado en qué hacer para dar respuesta a varias preguntas clave:

- a. ¿Cuál es la situación que se debe enfrentar o solucionar? ¿A quiénes involucrar en el desarrollo?
- b. ¿Qué funciones debe hacer, facilitar y permitir hacer el producto?
- c. ¿Con qué componentes físicos reales, subsistemas, elementos comerciales o componentes diseñados se pueden solucionar las funciones planteadas?
- d. ¿Cómo se pueden integrar esos componentes?
- e. ¿Cómo quedarían configuradas, en principio, las propuestas?
- f. ¿Qué valores han de tener las principales variables asociadas a la construcción del producto? ¿Cuáles son los requerimientos de ingeniería?
- g. ¿Qué valoración se puede dar a las propuestas para priorizarlas?
- h. ¿Cuál de las propuestas seleccionaría para construcción?
- i. ¿Cuál es el desempeño del producto diseñado?

Estas son las preguntas guía que nos permiten desarrollar en detalle cada una de las 5 fases del proceso de desarrollo de productos. En la Figura 1.3. se ilustra un flujograma general del proceso de diseño de acuerdo con lo planteado.

Figura 1.3. Diagrama del proceso de diseño



Fuente: elaboración propia.

1.4. Flujograma de las fases

1.4.1. Primera fase

A partir de la solicitud de presentar alternativas de solución a una situación que requiere diseño, las primeras preguntas son, entre otras:

- ¿Qué idea se va a desarrollar?
- ¿Qué hay que solucionar realmente?
- ¿Qué se espera obtener o resolver?
- ¿Cuáles son los requerimientos del cliente?

- e. ¿Cuáles son los requerimientos tecnológicos?
- f. ¿Con qué se cuenta en materiales, procesos, tecnología y conocimientos?
- g. ¿Quiénes son los usuarios y cuál es el contexto donde se usará el producto?

Para el desarrollo de estas preguntas y el inicio del proceso de diseño se pueden elaborar ciertos documentos que queden como registro de lo investigado y punto de partida para el proyecto. El primer documento será el resumen o *brief*, en el cual se presentan los siguientes ítems:

- a. *Descripción*. Mediante la descripción de la situación que se va a resolver (proyecto) se pueden presentar de dónde y por qué surgió, quiénes participan y la importancia de la solución, o cual es la motivación principal de la idea, sin necesariamente profundizar en ello.
- b. *Antecedentes*. Con el fin de determinar el punto de partida para desarrollar algo diferente, se consigna todo lo que antecedió al proyecto, qué soluciones se han dado, si es posible, cuáles han fracasado o qué alternativas de solución hay.
- c. *Justificación*. Se da razón de quién o quiénes se benefician con el desarrollo del proyecto, en qué se benefician y por qué vale la pena el desarrollo de la idea.
- d. *Objetivos*. Normalmente hay dos tipos de objetivos, uno general que engloba el proyecto y sus resultados esperados y tres o cuatro específicos ligados al desarrollo o logros parciales. Otra opción es plantear tres o cuatro objetivos generales, tipo marco lógico.
- e. *Alcance*. Se especifica hasta dónde se va a llegar con el desarrollo del proyecto, es decir, se establece cuando el grupo de diseño identifica que terminó la tarea. Debe estar descrito de forma cuantitativa y con elementos concretos. Según el proyecto y las condiciones, es aquí donde se especifica qué incluye y qué no y se establece el contrato de cumplimiento.
- f. *Desarrollo metodológico*. Se hace un recuento de las actividades que se desarrollarán para resolver las diferentes etapas o fases; se debe ser lo más

concreto posible en cuanto a lo que se va a hacer. Es conveniente asignar encargados o responsables, ya que la concreción de las actividades permite identificar los requerimientos, habilidades o competencias de quien puede ejecutarlas.

g. *Cronograma*. Distribución de actividades en el tiempo, asignación de recursos, programa de reuniones generales de grupo, así como las que involucren solo a algunos de los participantes. El desarrollo metodológico provee todas las actividades generales que deben ir en el cronograma. El uso de un software de programación de proyecto es una herramienta fundamental para esto (Projetc, PDM, Odo, Trello, Monday, otros).

Conformación del ambiente concurrente

h. *Grupo de trabajo*. Se seleccionan las personas de acuerdo con lo requerido y con lo disponible y considerando los diferentes roles para el desarrollo. diseño gráfico, diseño industrial, ingeniería, manufactura, antropología, comercialización, logística, etc. Adicionalmente, y por consenso, se asignan los roles y responsabilidades.

i. *Herramientas de concurrencia y colaboración*. Se debe definir por cuáles medios y en qué plataforma se montarán los avances, así como establecer las jerarquías para el acceso o a la información, bien sea de aporte, consulta o modificación (Google, Teams, Zoom, Trello, SocialShared, Producteev, ActiveCollab y Yammer, Slack, Asana, Podio, Jive.Live, Minutes, Doodle).

j. *Determinación de la dinámica de trabajo*. Se debe definir si se trabaja en tiempo real, por sesiones de grupo o por aportes individuales a la plataforma más reuniones periódicas o por avances.

k. *Caracterización*. Especificaciones para el diseño del producto. este es uno de los puntos más importantes de todo proyecto, pues en él se pretende recoger, desde el principio, la mayor cantidad de información posible que le indique al grupo de diseño qué es lo que debe buscar, qué debe satisfacer, en qué se debe fijar, qué debe evitar e, incluso, por medio de qué será evaluada su propuesta. La información que se pondrá aquí se obtendrá de

varias fuentes, pero la primera es la del cliente y el usuario; luego hablarán el grupo de diseño, los proveedores y el producto mismo, entre otros.

l. Especificaciones. Es la expresión de las necesidades o su traducción como conjunto de requisitos expresados en formas cuantitativa o cualitativa respecto a las características de una entidad para hacer posibles su realización y examen [4]. El nivel de detalle que se logre en estas especificaciones será el facilitador principal en el desarrollo de etapas posteriores, y como finalmente se convertirá en la lista de chequeo para evaluar las alternativas de solución, debe estar planteado de forma que se pueda calificar.

Nota. Como este es un documento dinámico, presenta variaciones y revaluaciones con el desarrollo en la medida en que comienzan a aparecer consideraciones de manufactura, ensamble, medioambiente, costos y otras. Su elaboración en el ámbito académico exige que se evalúe la totalidad de los ítems aceptando que, en algunos de ellos, se puede responder **no aplica** (N/A). En el ámbito industrial, cada empresa seleccionará los ítems que considerará, así como su nivel de importancia. Una muy buena guía para la elaboración de estas especificaciones la provee el profesor Stuart Pugh [5], [6], quien propone un listado de 32 ítems por considerar en la elaboración de las *especificaciones para el desarrollo de un producto*, PDS (por sus siglas en inglés). En la Tabla 1.1. se indican, de forma genérica, los ítems por considerar en el desarrollo de una propuesta de diseño:

Tabla 1.1. Ítems suficientes para considerar en un PDS

Usuario	Entorno	Desempeño	Vida de servicio
Estética	Materiales	Competencia	Procesos de manufactura
Tamaño	Peso	Desechos	Partes estándar
Ergonomía	Seguridad	Mantenimiento	Tiempo de desarrollo
Cantidad	Instalación	Manufactura	Tiempo en el mercado
Empaque	Transporte	Patentes	Aspectos legales
Pruebas	Políticas	Almacenamiento	Limitaciones de la compañía
Precio	Calidad	Documentación	Limitaciones del mercado

Fuente: elaboración propia.

De los 32 ítems, el mismo Pugh considera que 28 son los más significativos, los mínimos necesarios, directamente relacionados con los productos en la etapa de diseño (Tabla 1.1.). Una buena forma de plantear una especificación es mediante una tabla que contenga sus distintos componentes; en la Tabla 1.2. se ilustra un modelo para utilizar.

Tabla 1.2. Conformación de especificaciones de diseño

La voz del cliente	El atributo de diseño	El parámetro de validación	El comparador	La unidad de medida	Clasificación deseo/demanda	Observaciones
--------------------	-----------------------	----------------------------	---------------	---------------------	-----------------------------	---------------

Fuente: elaboración propia.

1.4.2. Segunda fase

Formulación específica de la situación de diseño

Llamaremos así al planteamiento que se hace en términos de qué es lo que, en esencia, realiza el sistema producto. Para esto es necesario responder:

- a. ¿Cuáles son las salidas del sistema producto? ¿Qué entrega al medio donde va a estar? (Se deben poner todas: deseadas e indeseadas).
- b. ¿Cuáles son las entradas al sistema producto? ¿Qué toma del medio donde va a estar? ¿Qué se le debe suministrar? ¿De qué disponemos para su funcionamiento? ¿Cuál será el flujo principal? (Esto se responde con base en aquel flujo de salida que no se puede modificar, pues de hacerse se cambiaría de sistema).

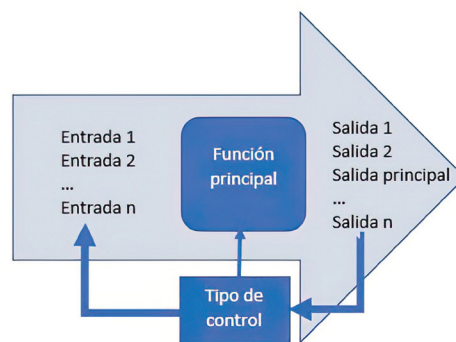
Con esta información se recomienda ilustrar el objeto para desarrollar como un sistema.

Representación como sistema tecnológico

Representación gráfica en la que se ilustra la interrelación entre el objeto o sistema, el medio y el usuario. Es una mirada desde afuera sin considerar

cómo ocurren las transformaciones dentro de él. Para hacer esta se identifican el flujo principal de salida (lo que se espera que ocurra o entregue el sistema) y los flujos de entrada, se define la función principal (lo que en esencia hace el objeto, no para lo que se usa), y se completan los flujos de entrada y de salida; se identifican el tipo de control del sistema, así como las variables de retroalimentación y las principales decisiones de control. En la Figura 1.4. se ilustra esta representación:

Figura 1.4. Representación como sistema



Fuente: elaboración propia.

Estructura funcional

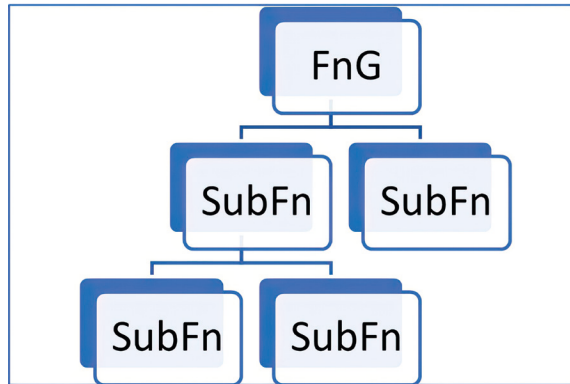
Primero se debe describir lo más detalladamente posible la secuencia de operaciones o pasos para convertir las entradas en salidas (llámense receta, método, secuencia u otra manera como se logran los resultados deseados partiendo de las entradas definidas).

A partir de dicha descripción, se elabora un listado de funciones lo más completo posible. Es decir, qué debe hacer, facilitar o permitir el sistema. No tiene un orden ni jerarquía, solo se pretende listar la mayor cantidad de funciones que se esperan o que deben ser satisfechas por el sistema tecnológico.

Se debe elaborar un árbol de funciones: a partir de la función principal, se descompone en subfunciones dependientes, en forma jerárquica, la mayor cantidad de ellas tratando de llevar este hasta las funciones más elementales

o básicas posibles. Hay que recordar que toda función que se pueda descomponer se debe hacer al menos en dos subfunciones (Figura 1.5.).

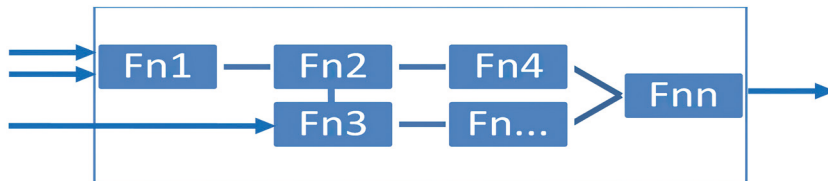
Figura 1.5. Árbol de funciones



Fuente: elaboración propia.

Con base en el árbol anterior, y considerando las funciones del nivel menor, se debe hacer una estructura funcional básica para el flujo principal. Hay que hacerla con la mayor cantidad de funciones, lo más completa posible y se deben identificar todos los cambios que se registren en el flujo principal (Figura 1.6.).

Figura 1.6. Estructura funcional



Fuente: elaboración propia.

Hay que adicionar a la estructura anterior los flujos secundarios que complementan el funcionamiento y las funciones propias de estos flujos. Si el sistema de control está definido como un elemento aparte o si se debe definir como tal, hay que incluir dicho sistema de control dentro de la estructura, haciendo todas las conexiones e identificación de flujos de él y hacia él. Se debe rehacer

la estructura hasta lograr el mayor nivel de claridad posible, es decir, que se pueda visualizar rápida y claramente lo que permite realizar el sistema.

1.4.3. Tercera fase

Alternativas de solución

La labor fundamental del diseñador y una de sus principales responsabilidades consiste en desarrollar y presentar alternativas de solución más que *la solución*; se recomienda entonces elaborar al menos tres propuestas completas y totalmente satisfactorias. Esto, debido a que muy pocas veces es él o su grupo de diseño quienes deciden qué propuesta es la que se construirá. Contar con dichas alternativas permitirá, a quien tome la decisión, hacerlo con sus propios criterios y con la certeza de que su selección responderá, satisfactoriamente, a los requerimientos planteados.

- a. *Portadores físicos*. Elementos reales, objetos, dispositivos, mecanismos que solucionan cada una de las funciones planteadas y algunas especificaciones complementarias. La idea es mostrar como mínimo tres portadores para cada una.
- b. *Matriz morfológica*. Tabla donde se despliega toda la información sobre funciones, características y portadores (Tabla 1.3.)

Tabla 1.3. Matriz morfológica

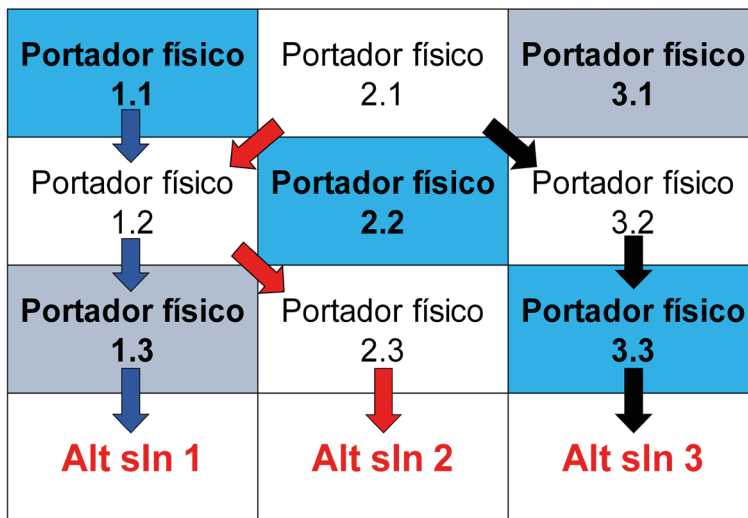
Subfunciones	Portador 1	Portador 2	Portador 3
Subfunción 1	Pieza o parte 1.1	Pieza o parte 1.2	Pieza o parte 1.3
Subfunción 2	Pieza o parte 2.1	Pieza o parte 2.2	
Subfunción 3	Pieza o parte 3.1	Pieza o parte 3.2	Pieza o parte 3.3
Especificación 1	Pieza o parte 4.1		

Fuente: elaboración propia.

Conformación de alternativas de solución

Sobre la matriz morfológica se *arman* alternativas, seleccionando un portador de cada fila por cada subfunción y especificación, y combinándolos (Figura 1.7).

Figura 1.7. Conformación de alternativas



Fuente: elaboración propia.

Para esta combinación se deben tener en cuenta: las compatibilidades tecnológica y energética, el *flujo suave* de las energías, materias y señales, las posibles condiciones geométricas de superficies de contacto o proporciones volumétricas, etc. El proceso de selección de portadores para integrar en una alternativa de solución es un trabajo colaborativo y simultáneo. Para esta selección se puede usar el siguiente cuestionario aplicado a cada portador:

- ¿Es compatible con la función principal del sistema? (¿Ayuda a resolverla o la complementa?)
- ¿Cumple con las especificaciones tipo requisito o requerimiento? (En principio, ¿es factible técnicamente?)
- ¿Está dentro de los costos permisibles?

- d. ¿Tiene seguridad intrínseca?
- e. ¿Es la preferida por la empresa?
- f. ¿Se cuenta con toda la información requerida?

Se responde SÍ o NO a cada una de estas preguntas, en orden, una tras otra, hasta que la respuesta a una de ellas sea NO. En el caso de que todas las respuestas sean afirmativas, el portador evaluado es un buen candidato para ser parte de una alternativa de solución. Para la mayoría de los casos, resolver las tres primeras preguntas es suficiente y, solo para seleccionar o diferenciar se responden las tres siguientes. Como ya se propuso, el ideal es conformar al menos tres alternativas de soluciones significativamente diferentes y utilizando diferentes portadores.

1.4.4. Cuarta fase

Diseño industrial, ergonomía, ingeniería y evaluación de alternativas

A las alternativas elaboradas se incorporan los elementos fundamentales del diseño industrial como son la estética (formas, proporciones, texturas, colores, etc.), el lenguaje del producto (la comunicación y lo emocional), la ergonomía (elementos de relación persona-objeto, tamaño (antropometría), formas y posición de los componentes que faciliten la manipulación y eviten riesgos para el usuario. Esto le da carácter al diseño y también se desarrolla la ingeniería, la cual permite y sustenta la materialización del sistema solución o producto.

Cálculos y selecciones (aproximación al diseño de detalle)

Consiste en determinar el valor de las variables significativas del sistema y de los flujos que él vaya a manejar; seleccionar los materiales pertinentes, elaborar los planos de ingeniería y las listas de partes; y costear las partes y procesos para cada alternativa, por medio de cotizaciones reales, por aproximación o por consulta a expertos.

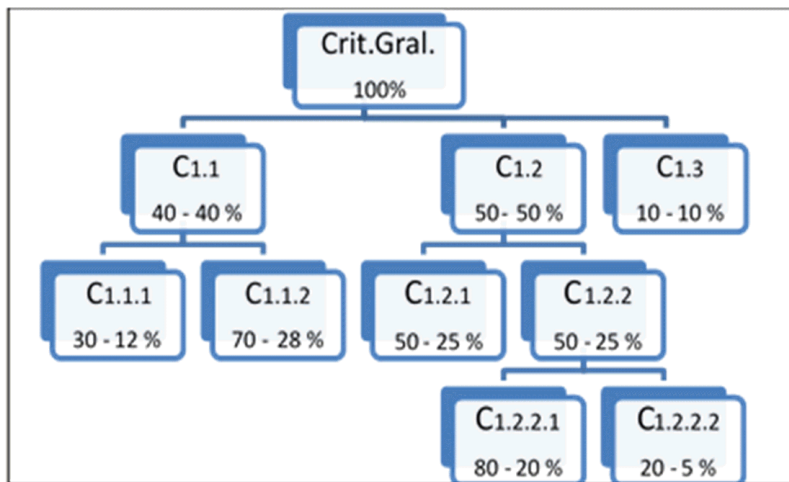
Evaluación de alternativas

Evaluación técnico-económica (ETE¹) para priorizar las alternativas y tener claridad de la viabilidad de su ejecución; para su realización se debe seguir:

Definición de criterios de evaluación². Responden a la pregunta: ¿con base en qué se determinaría la satisfacción a una expectativa con respecto al producto?

Elaboración de un árbol de criterios (Figura 1.8.) donde se evidencie la relación jerárquica entre ellos; este permite establecer el grado de importancia de cada subcriterio con respecto a su predecesor y con respecto al criterio general de evaluación [7].

Figura 1.8. Árbol de criterios de evaluación.



Fuente: elaboración propia.

¹ Evaluación técnico-económica: guía basada en lo propuesto por la Norma VDI 2225 y el método del análisis del valor de uso (UVA).

² Criterios de evaluación: con base en qué se determina el grado de cumplimiento de lo esperado.