Diseño de materialización

PID_00253855

Sònia Llorens Cervera

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 3 horas

Universitat Oberta de Catalunya

Sònia Llorens Cervera

Doctora Ingeniera industrial y Máster IMEI (Ingeniería Mecánica y Equipamiento Industrial) por la Universitat Politècnica de Catalunya. Tiene amplia experiencia en docencia, investigación y transferencia tecnológica en el sector industrial. Su línea de actividad se centra actualmente en la optimización de la gestión de la RDi y de los procesos de innovación industrial, así como de los proyectos de innovación aplicados a la Economía Circular y la Industria 4.0.

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.

Índice

Introducción 5

1. Diseño de materialización 7
1.1. Ingeniería concurrente 7
1.2. Fases y puertas de validación durante el diseño 9
1.3. Liderazgo y monitorización del proyecto 11
1.4. Diseño para la fabricación y el montaje (DFMA) 12
1.5. Diseño para la calidad 13
1.5.1. AMFE 14
1.5.2. Aportaciones de la industria 4.0 al diseño para la calidad 16
1.5.3. Ejercicio Metrología 4.0 18
1.6. Modelado y prototipado durante el diseño 18
1.6.1. Validación del concepto 19
1.6.2. Prototipado de comportamiento 21
1.6.3. Prototipado de fabricación 23
1.7. Ingeniería colaborativa 24
1.7.1. Sistemas PLM 25

2. El desarrollo ágil de productos: otro formato para la realización del 4.0 27
2.1. Desarrollo *Agile* 27

3. Ejercicio 4.0 30

Bibliografía 31

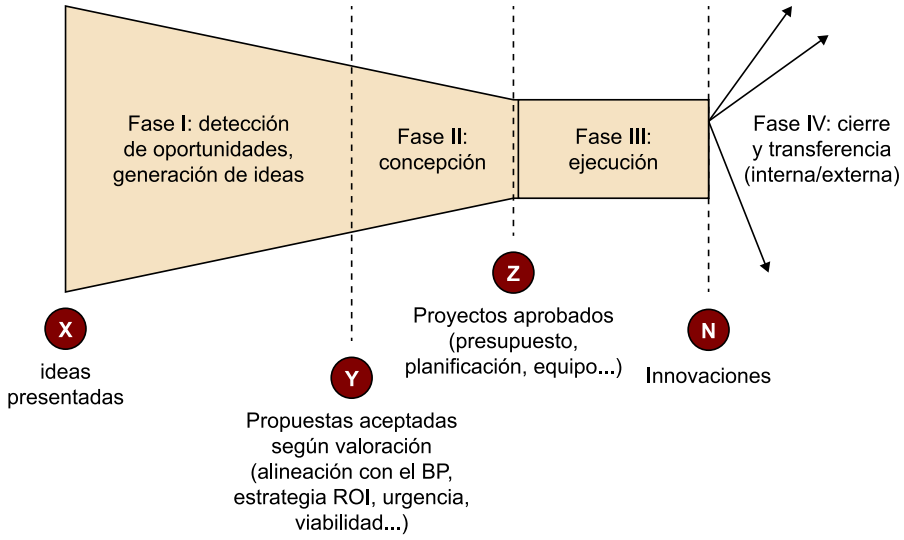
Introducción

Las primeras fases en las que una empresa define y concibe la idea a desarrollar son fundamentales para posicionarse en el mercado de forma estratégica; para ello, existen palancas de competitividad que deben ser usadas y dinamizadas de forma interna a la organización y en colaboración con el resto de *stakeholders*.

Las primeras puertas de control para la fase de concepción de una idea permitirán comprobar el cumplimiento de:

- la identificación de necesidades
- el análisis de competencia y el *benchmarking*
- el análisis de las tecnologías disponibles
- la estrategia comercial
- los requerimientos definidos
- el alcance del proyecto definido
- los costes y ventas objetivo y el estudio de ROI según las inversiones requeridas
- la creación del documento de especificaciones

Figura 1. Fases del ciclo de la innovación



Fuente: elaboración propia

Así pues, cuando estas ideas han sido aceptadas se convierten en propuestas de proyecto a desarrollar, con una listas de requerimientos a cumplir, un presupuesto y una planificación, un equipo de trabajo, etc.

La materialización ágil y óptima de la idea tendrá la misma importancia que la detección de la idea en sí, ya que ello nos va a posicionar de una forma más o menos competitiva en el mercado, y con mayor o menor deuda técnica[1] según la bonanza de la materialización realizada.

(1)La **deuda técnica**, también conocida como **deuda de diseño**, hace referencia a los costes de un esfuerzo adicional causado por la elección de un desarrollo apresurado e inacabado, en lugar de usar un enfoque que tomaría más tiempo pero que obtendría una mayor consolidación de las decisiones de diseño.

1. Diseño de materialización

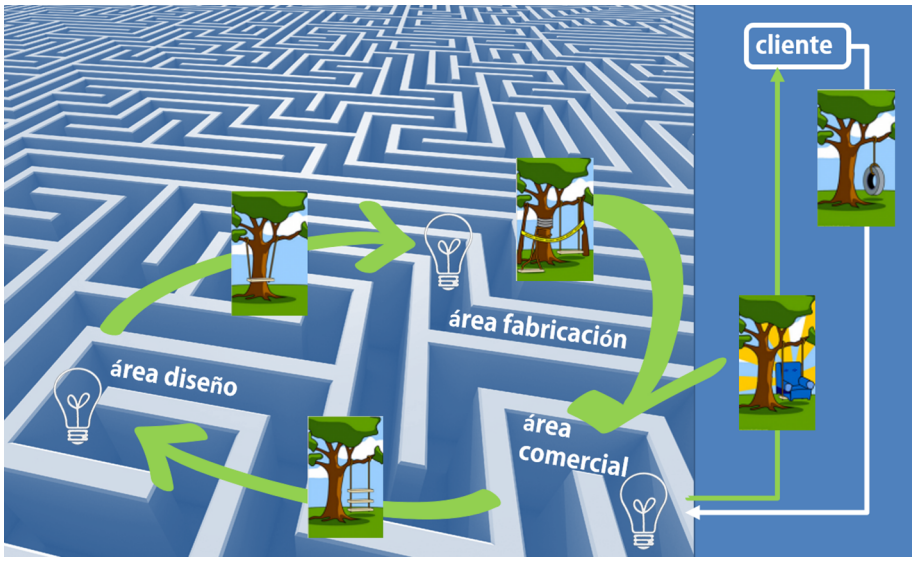
1.1. Ingeniería concurrente

Durante las últimas décadas del siglo XX –proceso que hoy en día todavía continúa–, la manera de concebir y producir bienes y servicios ha ido experimentando una transformación, influida sobre todo por el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y por nuevas concepciones, herramientas, metodologías y formas organizativas.

En esa transformación, uno de los vectores clave ha sido la orientación hacia un diseño que no solo asegure las funciones de los productos, sino también que facilite su producción.

Con esta transformación se pretende eliminar los clásicos muros interdepartamentales y la ejecución secuencial de tareas en el seno de un proyecto, ya que a menudo conlleva mayores plazos de realización, así como una pérdida de la obtención de aquello que realmente aporta valor en el mercado:

Figura 2. El diseño «a través de los muros» es uno de los factores críticos a evitar, pues produce una falta de comunicación en áreas



Fuente: elaboración propia

Los aspectos más destacados de esta transformación son, por un lado, la progresiva importancia que adquiere, en el contexto de las actividades de las empresas, el diseño en general, y muy especialmente la fase inicial de especificación y diseño conceptual, y por otro lado, la incorporación a las etapas de diseño y desarrollo de los requerimientos y condicionantes de los diferentes contextos en los que convivirán los productos y los servicios a desarrollar (entorno productivo, entorno de utilización, entorno social, etc.): es lo que llamamos **diseño para el ciclo de vida**.

Contenido complementario

Se entiende por ciclo de vida el conjunto de las etapas que recorre una determinada entidad, desde que inicia su existencia hasta que la finaliza; este concepto se puede aplicar a diferentes realidades, como, por ejemplo, a personas, edificios, empresas, organizaciones...

Podemos encontrar dos conceptos de ciclo de vida que se mezclan y debemos diferenciar:

- **Ciclo de vida de un producto:** corresponde al conjunto de las etapas que recorre un producto (considerado como objeto individual), desde que se crea hasta su fin de vida. Las primeras etapas (las de origen) transcurren en la empresa que lo origina (definición, diseño, desarrollo, fabricación, embalaje, transporte...). A continuación se realiza una transferencia entre fabricante y usuario y, después, se llega a las últimas etapas (las de destino), que pasan a manos del usuario (uso, mantenimiento) y, eventualmente, de la colectividad (fin de vida). Así pues, el diseño para el ciclo de vida de un producto debe considerar la fase de concepción, todas las etapas por las cuales pasa el producto y su fin de vida. Existen múltiples clasificaciones de las etapas del ciclo de vida de un producto, pero en un primer resumen se podrían agrupar en las siguientes:
  - definición y toma de decisiones
  - diseño y desarrollo
  - fabricación
  - distribución y comercialización
  - uso y mantenimiento
  - retirada y fin de vida (posible reutilización)

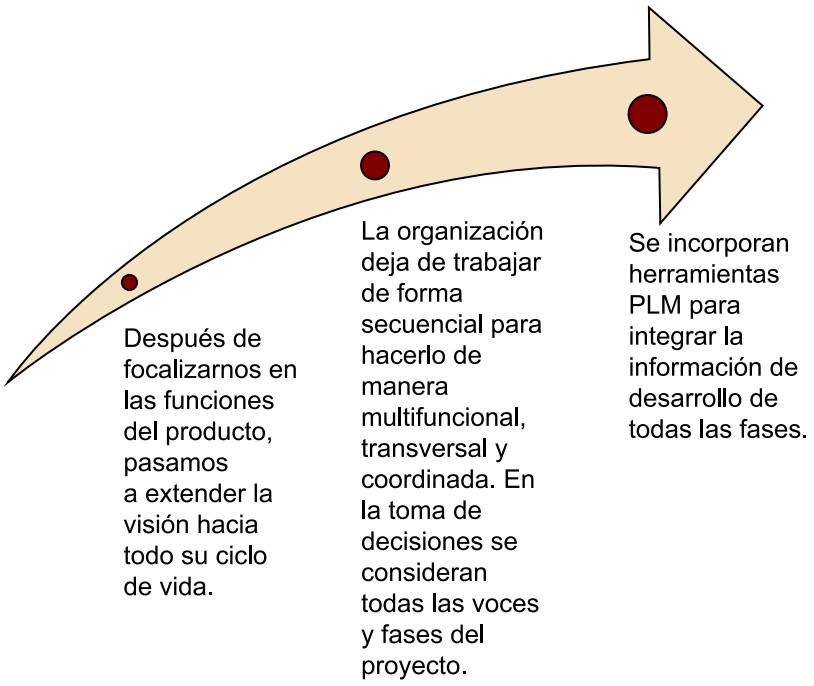
- **Ciclo de vida de un proyecto:** es el conjunto de etapas de un proyecto, desde que se inicia hasta que finaliza o se abandona.

Por ejemplo, el ciclo de vida de un coche (producto) incluiría las siguientes fases: concepción, desarrollo, fabricación (individual), venta (individual), uso y mantenimiento (individual) y fin de vida (individual). En cambio, el ciclo de vida de un modelo de automóvil (proyecto) estaría formado por la concepción y el desarrollo, el lanzamiento al mercado y la evolución de la fabricación y las ventas.

Según este enfoque, la **ingeniería concurrente** se considera una herramienta o estrategia de trabajo que permite al diseñador tener en cuenta todas las etapas del ciclo de vida de un producto (herramienta del diseñador); para la empresa, se trata de una forma de organización empresarial basada en la formación de equipos de trabajo multidisciplinarios (comercial, oficina técnica, producción, calidad, etc.) que comuniquen y avancen en el proyecto de desarrollo de un

producto de forma coordinada, con el objetivo de reducir los tiempos del proyecto y del lanzamiento al mercado y de garantizar que las especificaciones del producto se alinean con las necesidades del receptor final: con esta estrategia la empresa procura asegurarse la supervivencia en un mercado globalizado, competitivo y que cambia rápidamente de necesidades.

Figura 3. Ingeniería concurrente



1.2. Fases y puertas de validación durante el diseño

La materialización del producto una vez realizados los estudios previos de viabilidad y la especificación del proyecto a desarrollar se pueden agrupar principalmente en las siguientes fases:

1. Diseño conceptual: se desarrollan conceptos, propuestas de solución y alternativas para cumplir los requerimientos. Al final de esta fase se ha seleccionado una alternativa, que será desarrollada y prototipada. Durante esta etapa son muy útiles las herramientas que nos permiten validar propuestas conceptuales sin la necesidad de una fabricación completa de producto, como son:

1) Herramientas CAD-CAE para obtener diseños conceptuales con visualización 3D y con la posibilidad de realizar simulaciones virtuales del comportamiento del producto o de una parte de producto diseñada.
2) AMFES (análisis modal de fallos y efectos) que permitan avanzarnos a posibles problemas.
3) Procesos de *rapid prototyping* (como la impresión 3D), que permiten validar geometrías e incluso algunas funcionalidades de piezas o conjuntos.

4) Creación de prototipos funcionales, en los cuales se puede validar un concepto concreto sin necesidad de construir todo el producto con métodos finales de fabricación.

Esta primera fase concluye en una **puerta de validación de concepto.**

2. Diseño para el prototipado (prototipaje y ensayo)**:** en esta fase ya se desarrolla un diseño fabricable (mediante técnicas de prototipado y/o definitivas) para poder realizar ensayos del producto global. En general, es una fase en la que:

1) Se gestionan utillajes.
2) Se gestionan proveedores (precios, muestras, plazos de entrega...).
3) Se define un protocolo de ensayos y se comprueba el producto (ensayos a fatiga).

En esta fase es importante que el producto se realice con un diseño y unos medios de fabricación tan próximos como sea posible a medios definitivos de fabricación, y más si se inician ensayos de fatiga del producto.

A pesar de ello pueden ser muy útiles los métodos de *rapid prototyping* y *rapid tooling* para la obtención de utillajes y piezas en plazos cortos, aunque se deba considerar este factor y la caracterización y propiedades de la pieza que se obtiene en los ensayos a realizar.

Los ensayos darán paso a las modificaciones de diseño y al **diseño para la industrialización**. En esta fase se afinan los diseños oportunos que optimicen los procesos de fabricación, de ensamblaje y del resto de las fases del ciclo de vida del producto (transporte, puesta a punto, mantenimiento, desmantelamiento final) y se asegura que se haya realizado un diseño según el *target cost* y las especificaciones.

Esto finaliza en una **puerta de validación de diseño y lanzamiento de preserie**, en la cual se comprueban aspectos como estos:

- ensayos realizados y diseño con cumplimiento de especificaciones
- diseño validado para poder ser fabricable
- definición del plan de lanzamiento de preserie
- formación de las áreas de la empresa relacionadas con el producto y que no son estrictamente del área de I+D (como, por ejemplo, *marketing* y comercial, área de servicio técnico, etc.)
- definición del plan de comunicación de producto

A partir de aquí, el proyecto ya sigue las fases propias de industrialización, mantenimiento y cierre de proyecto, que se resumen en:

Contenido complementario

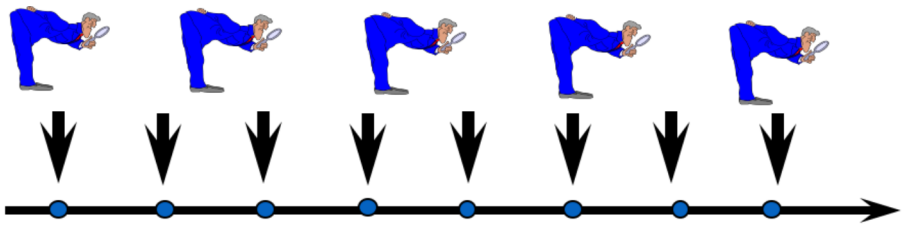
El momento de la validación del diseño puede constituir un punto de inflexión en el proceso de desarrollo de producto, ya que es cuando se debe confirmar que las salidas del diseño (funciones y características) cumplen las entradas (es decir, las especificaciones): así, la validación del diseño es el momento en el que se asegura que lo que se está diseñando es lo que se ha requerido inicialmente.

Como se verá más adelante, algunas voces ponen en cuestión la validez de esta fase y proponen *inputs* y *feedbacks* más iterativos en el proceso de desarrollo de un producto o servicio mediante la aplicación de métodos ágiles (o *Agile*).

- **Fabricación y lanzamiento de preserie** (para evitar la propagación «vírica» de fallos y obtener *feedback* del mercado): en esta etapa se centran ya los esfuerzos en la gestión de utillajes, en la gestión de proveedores y en la estructura de producto y el *layout* de operaciones necesarias para la industrialización del producto.
- **Certificaciones** (normas europeas, normas estadounidenses...).
- **Actualizaciones de la familia del producto.**
- **Fabricación en serie.**
- **Distribución / Uso / Mantenimiento de gama.**
- **Fin de vida.**
- **Fin del proyecto:** cierre con el cliente (interno-externo), cierre de la documentación, revisión del proyecto y gestión del conocimiento.

1.3. Liderazgo y monitorización del proyecto

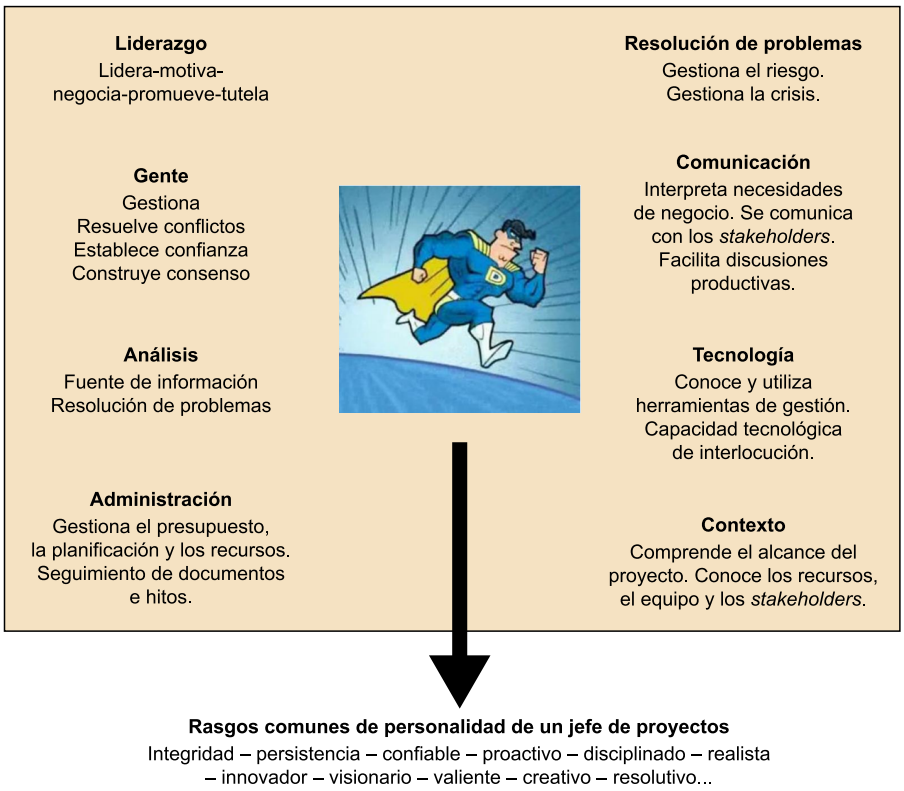
La ejecución de proyectos técnicos requiere de un equipo multidisciplinario y de una monitorización del avance de proyecto permanentes, para detectar las desviaciones y corregirlas con antelación, antes de que el producto diseñado salga al mercado: para ello se realizan las revisiones de estado de forma periódica y se examinan las puertas de control antes de pasar a la siguiente fase del proyecto.



En general, los proyectos son dirigidos por un jefe de proyectos, cuyo papel es asegurar el correcto avance en el desarrollo del producto, el cumplimiento de especificaciones, tiempos y costes de proyecto y la coordinación de las tareas del equipo, así como la comunicación adecuada con el resto de *stakeholders*.

La figura del jefe de proyectos es clave y requiere de un perfil profesional que combine las capacidades técnicas con las de gestión y comunicación.

Figura 4. El perfil del jefe de proyectos



Fuente: elaboración propia

Puesto que un proyecto demasiado grande puede ser difícil de controlar de forma integrada, a menudo se realizará la descomposición en **subproyectos, con objetivos y paquetes de trabajo más alcanzables y medibles en menores plazos**.

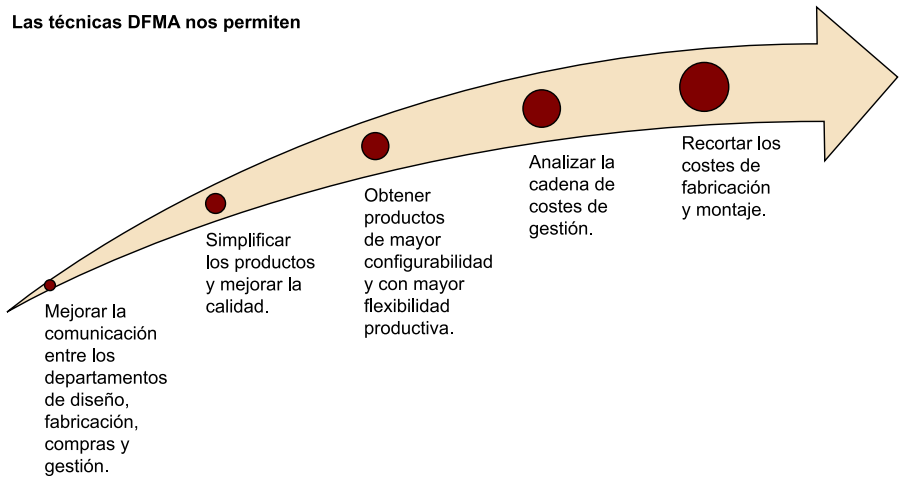
1.4. Diseño para la fabricación y el montaje (DFMA)

Una de las principales actividades de la ingeniería concurrente es el diseño para la fabricación y el montaje (del inglés *design for manufacturing and assembly*, DFMA), que consiste en optimizar un diseño (o rediseño) teniendo en cuenta la factibilidad de ser fabricado y montado, considerando los costes, y las funciones esenciales del producto.

Los principales objetivos del DFMA son:

- Disminuir costes e inversiones de fabricación y montaje por medio de un diseño que optimice los procesos, entre otros.
- Disminuir los costes de gestión.
- Permitir una mayor configurabilidad de producto y una mayor flexibilidad de fabricación (obteniendo mayor agilidad de respuesta al mercado).

Figura 5.



Contenido complementario

Las metodologías y herramientas fueron introducidas en la industria por el Dr. Boothroyd y el Dr. Dewhurst en 1983 (propietarios de la marca registrada DFMA).

El DFMA pretende realizar un diseño susceptible de ser fabricado (o buscar alternativas cuando no es posible fabricar una pieza o un conjunto) y fácilmente montable: eliminando, por ejemplo, radios de curvado de chapa no compatibles con los equipos de plegado; evitando diseños de piezas plásticas sin salida de molde; incorporando elementos de referenciación; evitando operaciones no compatibles (soldadura después de pintura de pieza, por ejemplo); considerando las secuencias de montaje para optimizar el proceso; estructurando el diseño en módulos; simplificando las uniones; minimizando las direcciones de montaje; eliminando la posibilidad de errores durante el montaje y la puesta en marcha, etc.

Las principales metodologías para el DFMA son:

- El diseño para el ciclo de vida del producto, como ya se ha comentado en apartados previos.
- La organización en equipos multifuncionales y transversales, que permitan obtener las distintas voces de la empresa.
- La definición de una plataforma de producto y la modularidad de producto, que permita una mayor configurabilidad del producto (variantes comerciales, personalización en la fabricación, etc.) y reutilización del *know-how*.

La aplicación de nuevas herramientas PLM y de las nuevas tecnologías de prototipado rápido es de gran utilidad en el proceso de DFMA. Lo veremos en los siguientes apartados.

1.5. Diseño para la calidad

Otra perspectiva importante de la ingeniería concurrente es el llamado **diseño para la calidad**, en el que se asegura, durante la fase de diseño, que se va a dar respuesta a los requerimientos de calidad en los siguientes términos:

1) El producto o servicio diseñado da respuesta a las necesidades del usuario (voz del cliente).
2) El producto o servicio diseñado cumple las normativas que le aplican y permite certificar el producto y/o la empresa.
3) El producto o servicio diseñado tiene un funcionamiento robusto, fabricado bajo criterios y parámetros (tolerancias, calidad de materiales, por ejemplo) de calidad.
4) El proceso de fabricación y montaje está optimizado para ser ejecutado sin errores y/o con las mínimas incidencias (con un diseño *poka-yoke*, por ejemplo).
5) El producto o servicio funciona correctamente sin fallos durante la fase de uso y permite los procesos de mantenimiento y reparación cuando se requiera.

Algunas herramientas conocidas del diseño para la calidad son:

- El desarrollo de la función de la calidad (*quality function deployment*, QFD), donde se asegura la incorporación de la voz del cliente.
- Los cálculos de fatiga (mediante CAE) y ensayos de durabilidad de producto (o de piezas o conjuntos concretos).
- Los dispositivos antierror (*poka-yoke*) para alcanzar los «cero defectos» en las fases de fabricación, montaje, uso…
- El diseño de experimentos para entender el sistema que se diseña mediante un número concreto de experimentos.
- El análisis de modos de fallo y efectos (AMFE) para la predicción y prevención correctiva durante la fase de diseño.

A continuación trataremos sobre una de las herramientas clave en el diseño de materialización, ya que combina la inclusión de todas las voces de la empresa con la antelación a la generación de la deuda técnica.

1.5.1. AMFE

El AMFE es una técnica preventiva de trabajo en equipo que pretende identificar, evaluar y minimizar los riesgos potenciales que puedan perjudicar la calidad de un producto o proceso, antes de que aparezcan.

Dicha herramienta, que nos permite evaluar riesgos de posibles fallos de nuestro diseño, calcula el impacto que este puede tener y la necesidad o no de actuar con acciones de corrección.

¿Para qué sirve el AMFE?

Para anticiparse a la aparición de problemas.

Es, pues, una herramienta de aplicación imprescindible para la materialización del diseño, bajo la premisa de minimizar la deuda técnica.

Los pasos a realizar para ejecutar correctamente un AMFE son los siguientes:

- Constitución de un equipo de personas interdepartamental con un conocimiento amplio del producto/proceso, desde todos los puntos de vista.
- Acotación del sistema en partes más pequeñas y concretas para identificar y evaluar los posibles defectos.

- Identificación de los fallos y sus efectos, causas que los provocan y sistemas de detección.
- Valoración de los fallos: índice de gravedad, ocurrencia y detección.
- Cálculo del índice de prioridad de riesgo (IPR) = gravedad × ocurrencia × detección.
- Decisión de las actuaciones a seguir en función del IPR.
- Planificación de las medidas correctoras.
- Ejecución de medidas correctoras.
- Revisión de la eficacia de las medidas aplicadas.

El **índice de gravedad** será el indicador para medir el impacto que puede tener el posible fallo, ya sea para el cliente, ya sea para el sistema en general:

Índice de gravedad: importancia del efecto del fallo para el cliente y para el sistema total
1: Pequeña – Imperceptible por parte del cliente
2-3: Baja – Perceptible, pero no molesta o molesta ligeramente
4-6: Moderada – Degradación del producto/pieza/sistema y queja del cliente
7-8: Alta – Degradación y reparación costosa
9-10: Muy alta – Afecta a la seguridad con o sin aviso

El **índice de ocurrencia** será el indicador para medir la probabilidad de la aparición de ese fallo:

Índice de ocurrencia: evalúa la probabilidad de que se produzca el fallo para cada una de las causas potenciales
1-2: Menos de 1 por millón – **Pequeña** (el fallo es improbable)
3: 1 por 4.000
4: 1 en cada 1.000 – **Moderada** (fallos ocasionales)
5: 1 en cada 400
6: 1 en cada 80
7: 1 en cada 40 –**Alta** (fallos repetidos)
8: 1 en cada 20
9: 1 en cada 8 –**Muy alta** (fallo casi inevitable)
10: 1 en cada 2

El **índice de detección** será el indicador para medir las posibilidades de detección del fallo en caso de que ocurra:

Índice de detección: evalúa la probabilidad de detectar la causa o el fallo antes de que llegue a afectar al cliente (el índice se calcula considerando las medidas de detección)
1-2: Muy alta – Detectaremos una debilidad de diseño-producción
3-4: Alta – Gran probabilidad de detección
5-6: Moderada – Podemos detectar una debilidad
7-8: Baja – Es improbable que la detectemos
9: Muy baja – Probablemente no detectaremos la debilidad
10: Nula – No la detectaremos o bien no existen controles

Estos tres índices nos permiten realizar una valoración global del fallo y calcular el índice de prioridad de riesgo (IPR):

IPR = índice de gravedad × índice de ocurrencia × índice de detección

Se establecerá un valor a partir del cual se debe actuar mediante una acción correctora antes de que el producto salga al mercado, puesto que se considera que existe demasiado riesgo si no se corrige el fallo potencial.

El cuadro AMFE de un proyecto puede ser tal y como muestra la figura siguiente:

SISTEMA /COMPONENTE	FALLO	CAUSAS POTENCIALES DEL FALLO	CONSECUENCIA / EFECTOS DEL FALLO	GRAVEDAD (1)	OCURRENCIA (2) (PROBABILIDAD, REPETIBILIDAD)	DETECCIÓN (3)	VALORACIÓN (IPR)	ACCIÓN	RESPONSABLE	FIN ACCIÓN	G	O	O	IPR POSACCIÓN
Ej1	fallo grave (se puede producir ocasionalmente y se puede detectar)			10	4	3	120	se requiere acción						
Ej2	fallo que provoca quejas del cliente (se repite; lo podemos detectar)			4	7	3	84	se requiere acción						
Ej3	fallo que provoca queja del cliente (es muy improbable que pase; lo podemos detectar)			4	1	3	12							
Ej4	fallo que puede provocar reparación costosa (poco probable, pero muy difícil de detectar)			8	3	9	216	se requiere acción						

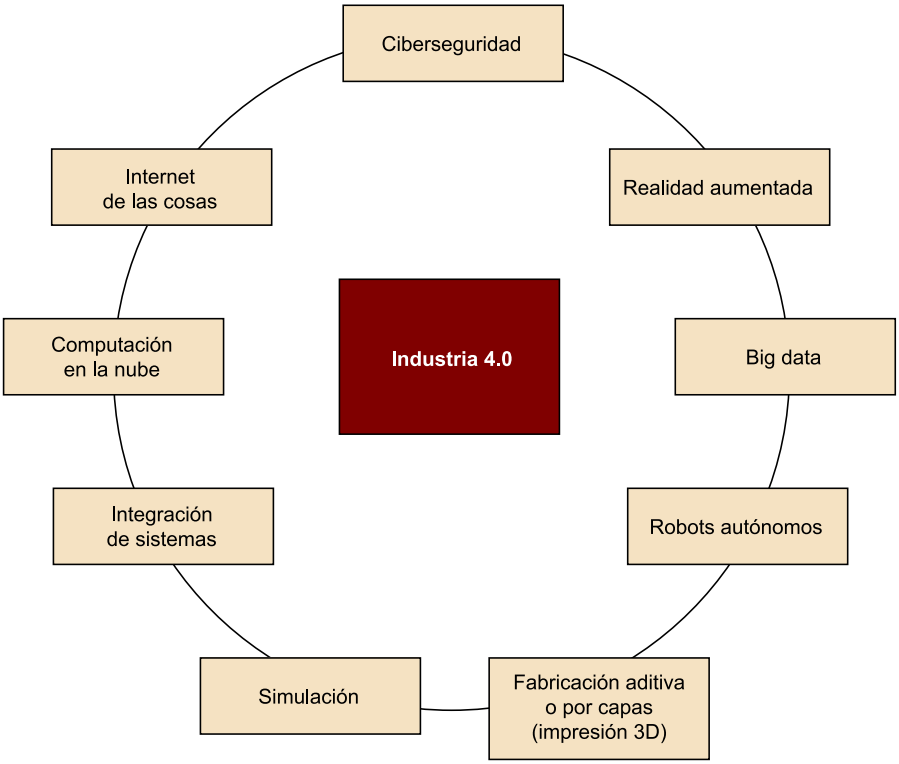
Fuente: elaboración propia

En el cuadro AMFE se listarán los fallos potenciales, así como el IPR calculado; para aquellos en los que se decide realizar una acción preventiva deberá monitorearse la revisión del IPR una vez realizada la acción correctora.

1.5.2. Aportaciones de la industria 4.0 al diseño para la calidad

La industria 4.0 presenta nuevas oportunidades para optimizar los sistemas de calidad; por tanto, las podremos incorporar en nuestro desarrollo de producto o servicio.

Figura 6. Industria 4.0



Algunas de estas tecnologías son:

- Sensores IoT (*Internet of things*) interconectados a nuestros productos o servicios, que pueden ser buenos aliados para la detección temprana de errores y/o el mantenimiento predictivo de los equipos, gracias a la obtención de datos en tiempo real y la metrología asistida por ordenador.
- Sistemas MES (*manufacturing execution system*) o MOM (*manufacturing operations management*) que reportan, en nuevas interfaces hombre-máquina (HMI) con gran usabilidad, datos sobre los procesos de fabricación y de nuestro ERP (*enterprise resource planning*) necesarios para el control de los recursos y de la calidad.

- Sistemas de realidad aumentada[2]que permitirán a nuestros operarios el acceso a datos útiles que puedan requerir durante la fabricación y el montaje, desde cualquier parte, para el control de calidad.

- Dispositivos tecnológicos (como tabletas y relojes inteligentes) que permiten, por ejemplo, avisar rápidamente a todo el personal implicado ante una alarma de avería en una máquina o un paro en la producción.
- Sistemas expertos que trabajarán en *background* aprendiendo mediante algoritmos de aprendizaje automático para controlar y diagnosticar exhaustivamente, *a posteriori*, los procesos (optimización de procesos).

[(2)]Recordemos aquí la diferencia entre realidad virtual (VR) y realidad aumentada (RA). La **realidad aumentada** intenta perfeccionar la realidad, agregar cosas a esta a través de nuestros sentidos: es decir, se complementa el entorno real con objetos digitales. En cambio, la **realidad virtual** pretende sustituir la realidad por medio de dispositivos que nos permitan simular una experiencia sensorial completa dentro de un ambiente artificial sin ver nada de lo que hay en el exterior, es decir, nos desplazamos a una realidad construida (virtual).

- Infraestructuras en la nube (*cloud*) para el almacenamiento y la manipulación de los datos de forma intraempresarial y de forma interempresarial.

Ved también

Lee el artículo del siguiente enlace:
https://maquinasyequipos.com.ar/el-rol-de-la-metrologia-en-la-industria-4-0/

1.5.3. Ejercicio Metrología 4.0

Con la aparición de la cuarta revolución industrial se está tendiendo hacia lo que ya se conoce como la metrología inteligente y conectada (es decir, la metrología 4.0).

Analiza los principales retos para la adaptación de la metrología al nuevo enfoque 4.0 (en cuanto a competencias profesionales, obtención, almacenamiento y análisis de datos, sistemas de comunicación, instrumentos de medición virtuales…).

¿Qué aportaciones futuras consideras que podrán ser implementadas en la fase de diseño del producto?

1.6. Modelado y prototipado durante el diseño

El modelado y prototipado constituye una de las herramientas más potentes para la optimización del diseño y la minimización de la deuda técnica. Los principales objetivos que se persiguen son:

- Asegurar el cumplimiento de las especificaciones del producto a diseñar en la fase más temprana del desarrollo.
- Garantizar la funcionalidad de todos los elementos y el diseño del departamento técnico.
- Minimizar comportamientos no deseados.
- Comprobar que los proveedores (internos y externos) serán capaces de fabricar y ensamblar los componentes y los conjuntos diseñados (es decir, confirmar el DFMA).
- Definir y validar el proceso de fabricación y montaje (*layout*) y formar al personal en los procesos.

Podremos considerar el desarrollo de prototipos a partir de dos opciones –el **prototipado virtual** y el **prototipado físico**– y bajo **diversos objetivos** –validación de **concepto** (aprobar las funciones que queremos que realice nuestro producto, conjunto o pieza), **comportamiento** (tanto el deseado como el no

deseado) y validación en el proceso de **fabricación**. Actualmente podríamos decir que también existen herramientas de «prototipado» para validar, junto con nuestros clientes, sistemas en el terreno comercial.

Según lo que deseemos prototipar –y la forma en que la queramos prototipar–, dispondremos de distintas herramientas:

Uso	Prototipado **virtual**	Prototipado **físico**
Validación de **concepto**	Modelos matemáticos Modelos CAD en 3D Modelos de realidad virtual	Maquetas y prototipos para validación de forma Prototipos funcionales para validar una función específica
Prototipado de **comportamiento**	Cálculos especializados Modelos CAE	Prototipado de partes y prototipos funcionales para ensayar comportamientos
Prototipado de **fabricación**	Modelización del flujo de trabajo Modelos CAM	Preseries
Validación **comercial**	Configuradores y sistemas de realidad virtual y de realidad aumentada	Producto físico en un *showroom*, en una feria, en un *experience center*…

El prototipado virtual dispone de herramientas cada vez más potentes y sofisticadas, lo que nos permite, con un buen uso, realizar simulaciones en las fases más conceptuales del desarrollo de producto, con tiempos de ejecución mucho menores que el prototipado físico, y con mayor facilidad de limitar el aspecto, la función o el comportamiento específico que se desea modelar y validar.

Así, las simulaciones virtuales nos permitirán validar las soluciones conceptuales, prever comportamientos y efectos (deseados y no deseados) de nuestro diseño y optimizar el diseño (por ejemplo, la optimización de gruesos de chapa manteniendo las prestaciones requeridas, la optimización de radios de curvatura para minimizar concentraciones de esfuerzos, etc.).

El principal inconveniente que debe tenerse en cuenta es que las simulaciones se basan en modelos matemáticos, y, por tanto, no son más que aproximaciones del mundo real.

El mayor riesgo del uso de prototipos virtuales se alinea con la conocida frase «el papel lo aguanta todo»

Dado que «el papel lo aguanta todo», se recomienda realizar el testeo con un prototipo físico completo y con el diseño definitivo, en las condiciones operativas de funcionamiento real (o mediante sistemas que simulen esas condiciones).

1.6.1. Validación del concepto

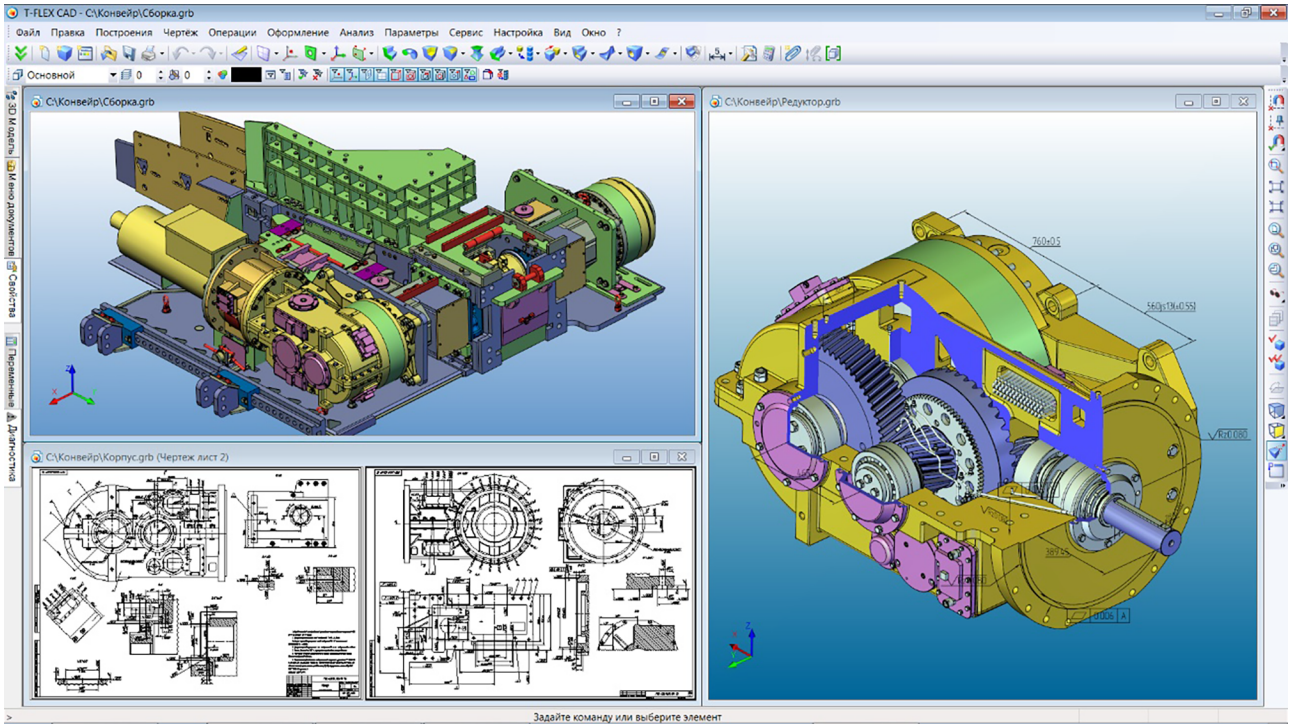
Con las herramientas de modelado y prototipado podemos comprobar la viabilidad de las soluciones de concepto definidas y realizar las modificaciones según las aportaciones de *stakeholders* sin necesidad de llegar hasta el producto final.

Las herramientas más habituales en este caso son el modelado matemático, el CAD 2D y el CAD 3D. Permiten modelar el producto como si fuera casi real, además de evitar costes de prototipado físico iterativo.

Por ejemplo, podemos modelar y dimensionar un componente o conjunto al que después aplicaremos un análisis de comportamiento.

También modelamos con CAD las distintas alternativas de solución que queremos validar y nos posicionamos en un marco de desarrollo «qué pasa si…».

Figura 7. Ejemplos de CAD 2D y 3D de diseño



Fuente: Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:T-FLEX-CAD-12-Rus.png (1)

En cuanto al prototipado físico, una buena práctica para validar alguna funcionalidad o requerimiento concreto es la realización de prototipos parciales, sin esperar a tener todo el diseño realizado.

Por ejemplo, si existen dudas sobre el desgaste de una pieza que estamos diseñando debido a la selección de los materiales, se puede realizar un prototipo funcional (sin cumplir con la estética definitiva, sin incorporar todos los subconjuntos del producto) y realizar un ensayo específico de fricción y desgaste.

En algunos casos también interesa validar las formas y el diseño estético con el cliente, con lo cual las maquetas en esta primera fase de diseño tienen un gran interés.

El CAD 3D (maquetas virtuales), la realidad virtual y la realidad aumentada ofrecen grandes posibilidades para validar estéticas y especificaciones con el cliente.

Figura 8. Gafas de realidad virtual

Fuente: Google (imágenes libres)

1.6.2. Prototipado de comportamiento

En la fase de diseño para la materialización también nos resulta muy útil validar el comportamiento de aquello que estamos diseñando (ya sea obteniendo el comportamiento deseado como otros no deseados y que deseamos detectar).

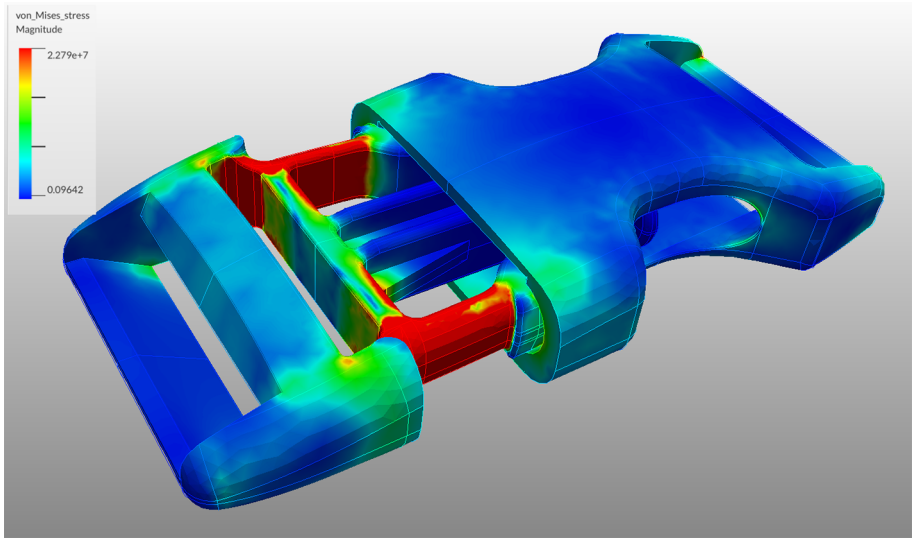
Modelado virtual-Cálculos estáticos

Las herramientas CAE permiten simular el comportamiento físico de un componente o conjunto bajo unas hipótesis de carga, de manera que puede determinarse la respuesta sin la necesidad de realizar antes un prototipado físico. Además, nos posibilita llevar a cabo «ensayos virtuales», previos a los ensayos reales del diseño finalista.

El método de elementos finitos (MEF) permite descomponer la pieza en pequeños elementos que incorporan funcionalidad y comportamiento ante una carga: el resultado será el conjunto de respuesta de todos estos elementos (de ahí la importancia del «mallado» de pieza, puesto que cuantos más elementos nos permita nuestro sistema, mayor será la aproximación a un comportamiento real).

Por ejemplo, a una pieza que estamos diseñando podemos «aplicarle» mediante MEF una carga equivalente a la que recibirá durante la fase de uso, para ver las tensiones y la deformación resultantes:

Figura 9. Ejemplo de análisis MEF de un diseño que permite analizar las tensiones resultantes en una unión por clipaje



Fuente: Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NonlinearStaticAnalysisSnapFit.png (2)

Modelado virtual-Cálculos dinámicos

Además del modelado de elementos estáticos (análisis de esfuerzos) también es posible, aunque con mayor complejidad, el modelado dinámico, para simular comportamientos de fluidos, de temperaturas, de modos vibratorios de una pieza o sistema, etc.

Por ejemplo, en la industria se puede validar un diseño conceptual de una pieza de plástico mediante la simulación del proceso de moldeo, sin la necesidad de fabricar previamente algún molde (para evitar el elevado coste que implica): la simulación permitirá analizar el correcto llenado de la pieza, por ejemplo, y realizar las correcciones pertinentes antes de su fabricación.

Modelado físico

El prototipado rápido (*rapid prototyping* y *rapid tooling*) ha tenido una evolución tecnológica vertiginosa, con lo cual actualmente es posible obtener piezas y conjuntos de formas muy diversas y con un mayor número de materiales distintos:

- Mediante mecanizado (es el formato más clásico y conocido).
- Mediante técnicas de estereolitografía (SLA): la tecnología utiliza resinas líquidas fotopoliméricas que se solidifican si son expuestas a un rayo láser (este traza cada sección del modelo 3D sobre la superficie de una cuba de resina fotopolimérica y materializa así el modelo CAD de la pieza, capa a capa). La pieza obtenida por SLA permitirá chequear la forma, pero no el comportamiento.
- Sinterizado selectivo por laser (SLS) de polvo de poliamida: gracias a la tecnología de la sinterización láser se construyen piezas funcionales con características mecánicas similares a las de los termoplásticos inyectados.

Actualmente existe un gran desarrollo en materiales para SLA que puedan caracterizar el comportamiento de varios materiales.

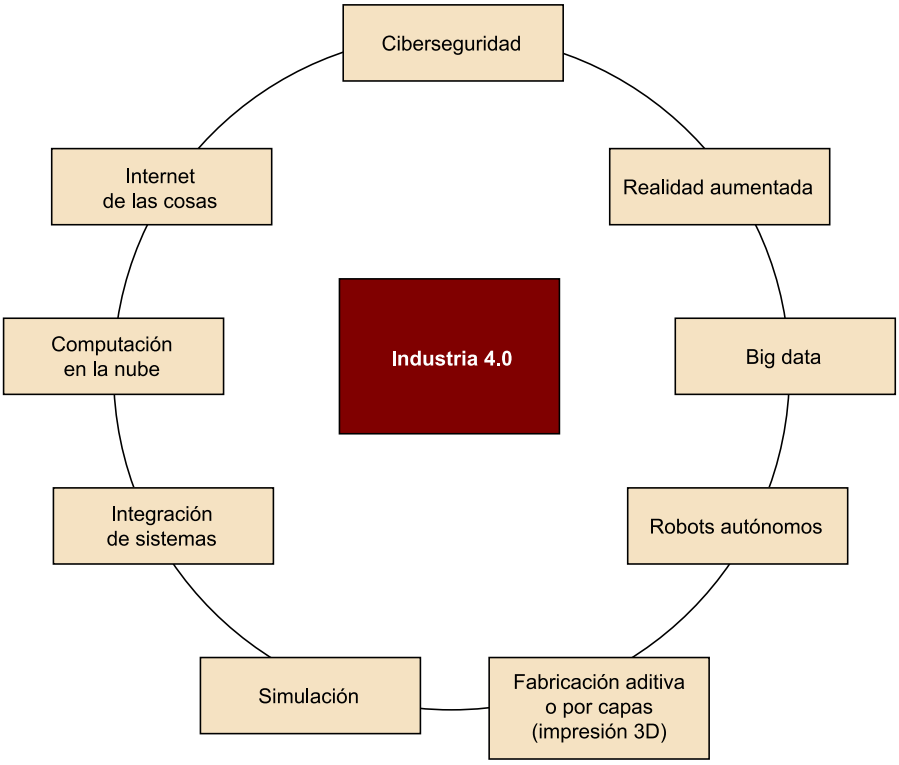
- Sinterizado por láser metálico (DMLS): es equivalente al anterior, pero con materiales metálicos.
- Modelado por deposición fundida (MDF): se trata de una técnica aditiva de prototipado en la que se realiza la pieza depositando el material en capas (mediante un filamento termoplástico o metálico) hasta formarla.
- Moldes rápidos de silicona (reproducción de piezas en resina de poliuretano mediante moldes de silicona): en la fabricación de estos moldes se utiliza un primer modelo realizado en estereolitografía, aunque esta técnica permite también utilizar como *master* casi cualquier tipo de pieza fabricada mediante sinterización, MDF, mecanizado, etc. En este caso se puede realizar un testeo de pieza fabricada con el material definitivo (aunque el proceso de fabricación no va a ser el mismo que el inyectado a presión que se puede realizar con moldes finales).

La función de los prototipos es extraer conclusiones de ciertos aspectos importantes para el funcionamiento de la pieza o producto. Sin embargo, aunque las técnicas de prototipado rápido avanzan a gran velocidad, no siempre se puede simular el comportamiento de los productos que se fabricarán con los **materiales definitivos**, ni con los **procesos de fabricacióndefinitivos**. Por ello es realmente importante conocer las limitaciones del método de prototipado que se utiliza.

1.6.3. Prototipado de fabricación

Las herramientas CAM (c*omputed aided manufacturing*) nos darán soporte en la fase de fabricación (por ejemplo, en el modelado de utillajes), en los procesos de fabricación (simulación de *layouts*, puestos de trabajo, diseño de proceso productivo), etc.

Las tecnologías de simulación y modelado virtual tendrán un papel muy activo en esta nueva revolución industrial, pues facilitan la personalización de productos y procesos (gracias a la impresión 3D) y permiten alcanzar niveles de aproximación al mercado mayores (validación de las necesidades del usuario, creación de nuevos servicios...), gracias a la realidad virtual y la realidad aumentada.



1.7. Ingeniería colaborativa

Ya hemos hablado de las ventajas y herramientas de la ingeniería concurrente.

Avanzando en el mismo esquema (de desarrollo no secuencial dentro de la empresa), ahora daremos un paso más hacia la mejora del funcionamiento de las empresas, ya que integraremos en el seno de las actividades de desarrollo de productos y servicios al resto de *stakeholders* y **proveedores**: es la llamada **ingeniería colaborativa**.

En la ingeniería colaborativa se busca la obtención de ventajas competitivas por medio de los socios-proveedores, que pueden **optimizar diferentes partes de la cadena de valor** y cubrir, por ejemplo, capacidades muy específicas que requieren cierta especialización (así se incrementan la velocidad y la minimización de los costes).

Para poder realizar ingeniería colaborativa será necesario tener disponible toda la información requerida del producto y que esta pueda fluir a través de la organización implicada.

La virtualización del conocimiento y de los procesos de diseño, así como otras palancas de la industria 4.0, desempeñan aquí un papel a favor de la ingeniería colaborativa, en la cual ya no es necesario estar ubicado en un mismo lugar de trabajo para compartir un desarrollo: las herramientas de PLM (*product life cycle management*) permitirán obtener dinámicas ágiles y avanzadas de desarrollo (a través de todo el ciclo de vida del proyecto) en colaboración con todos los *stakeholders* (ya sean internos o externos a la organización).

1.7.1. Sistemas PLM

El PLM es un sistema informático empresarial que permite gestionar, de forma unificada y conectada, toda la información relacionada con el producto a lo largo de todo su ciclo de vida (desde las fases más conceptuales cuando se idea, se fabrica y se pone en marcha hasta el mantenimiento y su retirada en el mercado al finalizar su vida útil).

La gestión de la información y de los flujos de trabajo mediante un PLM permite optimizar los tiempos de desarrollo y de lanzamiento al mercado, aportando mayor agilidad a la empresa. Se diferencia, en este caso, de los ERP (*engineering resource planning*) porque con PLM se gestiona la información «virtual» del producto (las versiones de diseño y de estructura de producto, las listas de materiales, etc.) y solo en el momento en que se libera la información para la producción pasamos la información del PLM al ERP, que gestionará la información de producto «real».

Puesto que con el PLM se obtiene una visión de todo el ciclo de vida, se trata de un sistema que integra no solo las soluciones con las que trabaja el ERP, sino que también incluye aquellas soluciones enfocadas a la gestión de las relaciones con los suministradores –las soluciones de gestión de la cadena de suministros (SCM)– o a la gestión de las relaciones con los consumidores (CRM).

Figura 10. Resumen de las ventajas de la implementación de herramientas PLM

- Mejorar la comunicación entre los departamentos de diseño, fabricación, compras y gestión.
- Gestión de los documentos y sus versiones correspondientes, para obtener trazabilidad de los cambios y gestión del ciclo de vida del documento
- Búsqueda inteligente de archivos y recuperación de la información rápida y de la documentación relacionada (estructuración y relaciones entre la distinta información)
- Datos compartidos entre varios usuarios, de forma simultánea y controlada, para evitar errores de versiones
- Ejecución y control de los flujos de trabajo relacionados con la información que deben completar los usuarios de distintas áreas relacionadas con diferentes fases del ciclo de vida del producto
- Visualización de datos y documentos (diseño 3D de piezas, planos, etc.)
- Gestión de la información vinculada a los artículos (producto físico), que se diferencia de un gestor documental
- Creación de listas de materiales y creación de estructuras de diseño y fabricación
- Integración con el resto de los procesos de la empresa

Fuente: elaboración propia

2. El desarrollo ágil de productos: otro formato para la realización del 4.0

2.1. Desarrollo *Agile*

Recientemente muchas empresas implementan en sus organizaciones el **desarrollo ágil de proyectos**, basados en un nuevo enfoque metodológico en el cual se realizan desarrollos incrementales de producto y en el cual se acepta una evolución de especificaciones y soluciones a lo largo del propio proyecto, puesto que el mercado cambiante se concibe como un contexto al cual deben adaptarse las organizaciones actuales.

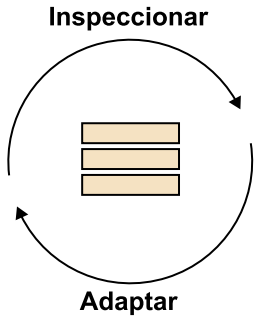
En el desarrollo ágil de proyectos, el trabajo se lleva a cabo mediante la colaboración de equipos autoorganizados y multidisciplinarios, inmersos en un proceso compartido de toma de decisiones a corto plazo. Los desarrollos incrementales se realizan a través de iteraciones.

Cada iteración, que tiene por objetivo incrementar el valor que se entrega al cliente, incluye las fases de planificación, análisis de requisitos, diseño, pruebas y documentación, además del *feedback* de la entrega.
Una de las metodologías conocidas para el desarrollo ágil es Scrum, un marco para organizar y gestionar el trabajo a partir de una serie de valores, principios y prácticas que dan a la organización una base donde añadir sus prácticas de ingeniería.

Scrum asume la incertidumbre inherente en todo desarrollo de producto y la creatividad involucrada en este proceso. Sitúa a la organización en un entorno de aprendizaje, de manera que permite a los equipos de trabajo evaluar lo que han creado y cómo lo han llevado a cabo. Además, facilita que los equipos mejoren rápidamente, tanto en velocidad como en calidad de trabajo.

Se fundamenta en una idea muy sencilla, en un ciclo de inspección y adaptación constante.

Figura 11.



Cuando iniciamos un proyecto, ¿por qué no evaluamos cada cierto tiempo cómo va el proyecto, la manera de llevarlo a cabo y si es exactamente lo que quieren nuestros clientes? ¿Por qué no buscamos maneras mejores y más rápidas de hacerlo?

La manera en que la organización piensa en el desarrollo de producto tiene que migrar hacia los siguientes conceptos:

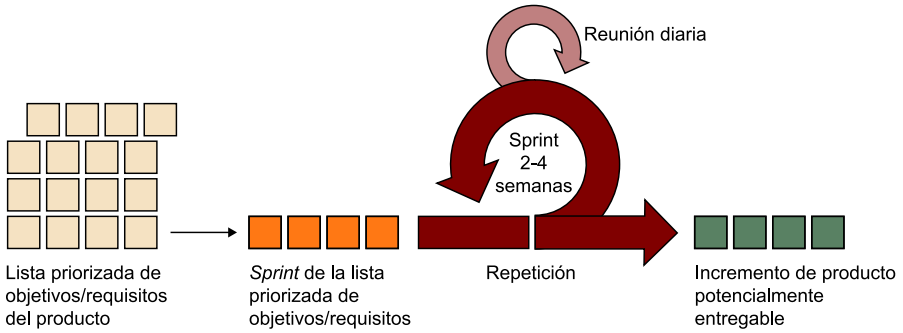
- Scrum tiene un fuerte foco en completar el trabajo (*done*). El trabajo no completado es un exceso de inventario, crea preocupación, vaguedad, sentimientos de culpa y una sensación persistente de falta de euforia.
- Scrum se fundamenta en la colaboración. Los ingenieros no llevan a cabo los desarrollos de forma individual, sino en equipo, con el objetivo de asegurar una elevada calidad y un aprendizaje más rápido.
- Scrum es iterativo. Se anima a los equipos a que «fallen rápido», para aprender y volverlo a intentar.

Aunque todo esto supone una transformación radical del modelo tradicional de desarrollo de producto, no es fácil ni está libre de dificultades; requiere esfuerzo, disciplina y confianza por parte de la organización.

Se trata de una metodología que dota a las personas de fuerza y les exige lo mejor de ellas mismas como profesionales y personas. A la vez, maximiza la satisfacción de estas personas y de la organización.

Scrum hace visibles las disfunciones y el despilfarro de recursos, y la dirección debe estar preparada para afrontar los retos que se le planteen. Principales conceptos Scrum:

Figura 12.Esquema de un ciclo básico en Scrum



Fuente: elaboración propia. A partir de http://www.scrumguides.org/scrum-guide.html

3. Ejercicio 4.0

Modelos de trabajo cooperativo mediante un diseño axiomático: la puesta al día en industria 4.0 requerirá, entre otras acciones, la adopción de modelos de trabajo cooperativo (entre universidad, administración, empresa...) y de gestión de la innovación.

Leed los siguientes artículos:

https://goo.gl/y9vuA8

http://www.redalyc.org/pdf/643/64324307.pdf

¿Cuáles son, a vuestro juicio, las aportaciones que puede conllevar una aproximación al desarrollo de productos y servicios 4.0 mediante un diseño axiomático?

En el primer artículo se menciona la posibilidad de que los requerimientos tengan un alcance mayor a los requerimientos funcionales: ¿qué tipo de requerimientos deberán tenerse en cuenta en el nuevo enfoque de la industria 4.0?

¿Cómo pueden favorecer a las empresas la gestión de la innovación y el trabajo colaborativo para alcanzar el nuevo paradigma de la industria 4.0?

Bibliografía

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:T-FLEX-CAD-12-Rus.png. [En línea] (1)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NonlinearStaticAnalysisSnapFit.png. [En línea] (2)

https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html. [En línea] (3)