

## Práctica recomendada: flujo descendente de requisitos

### Resumen general

Tanto si el objetivo de su empresa es ofrecer un nuevo producto como mejorar una línea de productos existente, el éxito depende del grado en que el desarrollo de productos cumpla los requisitos gobernados por el mercado. Este es un hecho conocido y aceptado universalmente. Sin embargo, lo que ha cambiado es que el ciclo de vida del desarrollo de productos se ha contraído mientras que la complejidad del producto ha aumentado considerablemente. Por ejemplo, los coches que implementan tecnologías híbridas avanzadas eléctricas, de seguridad y de ocio se diseñan ahora en cuestión de meses en lugar de años. El reto en este ciclo de vida de desarrollo comprimido es trabajar con destreza, mantener los costes y, en último término, diseñar productos que cumplan, y superen, las expectativas de los clientes.

Durante las fases iterativas de planificación, concepto y diseño del ciclo de vida del producto, los requisitos deben permanecer completos, claros, bien estructurados, controlables y verificables. El flujo descendente de requisitos es una práctica recomendada que ayuda a los ingenieros a mantener la claridad y la estructura mientras realizan la descomposición de los requisitos generales del sistema en requisitos de diseño funcionales, físicos y de componentes. El flujo descendente de requisitos establece también la trazabilidad entre niveles de descomposición, lo que ayuda a controlar la ambigüedad o los errores que pueden causar que los procesos de diseño sean menos eficaces. La descomposición funcional y física bien gestionada de los requisitos ayuda a los equipos de ingeniería a identificar los mejores componentes y optimizar el diseño y la fabricación de productos.

Mathcad de PTC<sup>®</sup> (the product development company) ofrece el entorno ideal para crear modelos matemáticos, realizar cálculos cruciales que proporcionen una descomposición física precisa y garantizar la trazabilidad a pesar de los cambios de diseño. Como software estándar de cálculos de ingeniería, las funciones exclusivas de Mathcad, como la notación matemática estándar, gestión de unidades y hojas de trabajo de estilo pizarra, reducen considerablemente el "ruido" del flujo descendente de requisitos. En particular, Mathcad permite:

- Clarificación de cómo se cumplen los requisitos en los diseños de productos subyacentes y qué requisitos gobiernan el diseño de sistemas, productos o piezas
- Conocimiento de cómo afectan los cambios de diseño a los requisitos y cómo afectan los cambios de requisitos a los diseños de productos
- Visibilidad en todas las disciplinas de ingeniería durante todo el proceso de desarrollo de productos

Mathcad proporciona a los equipos de ingeniería mayor confianza en que las soluciones que diseñan cumplirán de forma óptima los requisitos del mercado y lograrán los objetivos estratégicos de la empresa, como una mayor cuota de mercado, menor tiempo de lanzamiento comercial y rentabilidad.

## Retos de ingeniería en la gestión de requisitos durante la descomposición física

Tanto si la ingeniería tiene el encargo de desarrollar un nuevo producto como mejorar los productos existentes, el proceso comienza por el análisis y la documentación de las necesidades generales y, después, la derivación de requisitos de solución.

Existen diversos factores que introducen “ruido” en este proceso y lo hacen difícil. Algunos de estos factores son:

- Errores humanos e incoherencias en el análisis matemático y la documentación
- Interrupciones en la trazabilidad entre los requisitos físicos cuando se reasignan a requisitos funcionales o se asignan en la fase de diseño de componentes
- Fallos de comunicación entre equipos en distintas áreas funcionales, por ejemplo entre los equipos de ingeniería eléctrica y mecánica
- Incapacidad de mantener los requisitos y los resultados de pruebas actualizados al introducir cambios

El flujo descendente de requisitos es una práctica recomendada que ayuda a los ingenieros a derivar o descomponer los requisitos funcionales y físicos a partir de los requisitos del sistema o del mercado (Figura 1).

Vamos a centrarnos en las demandas de la descomposición física que incluyen la conversión de los requisitos cualitativos definidos en fases anteriores en requisitos cuantitativos que sean verificables.

Para gestionar correctamente los requisitos durante la descomposición física, los equipos de ingeniería deben poder:

- Garantizar que los requisitos abarcan de forma completa los requisitos funcionales y que están claramente estructurados y articulados o documentados
- Estructurar la descomposición para que los requisitos físicos se puedan rastrear fácilmente en niveles más generales de requisitos
- Asegurar que los cambios en los requisitos más generales se asocian con precisión a los requisitos físicos y se mantienen actualizados (todos los niveles deben estar sincronizados)
- Definir y ejecutar las pruebas apropiadas de requisitos físicos de manera oportuna y precisa
- Recibir los resultados de pruebas y pasarlos por los niveles de requisitos para comprobar que se cumplen: un proceso iterativo que requiere gestión de cambios sincronizada con gestión de requisitos

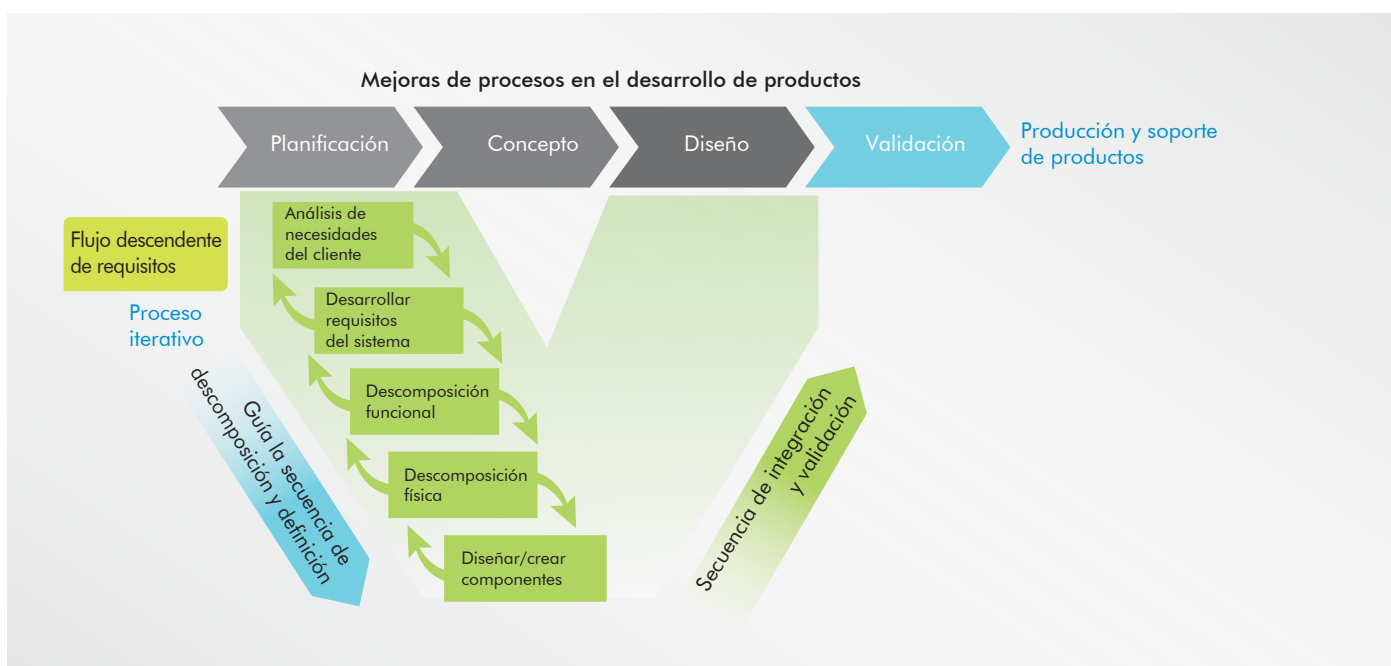


Figura 1: Flujo descendente de requisitos desde los requisitos iniciales hasta el diseño detallado.

Mathcad de PTC® (the product development company) desempeña una función integral en la descomposición física:

- Mathcad ofrece el entorno idóneo para realizar la descomposición al permitir a los ingenieros controlar con facilidad y precisión los cálculos matemáticos utilizados en el modelado físico y el análisis.
- Mathcad permite la evaluación sencilla por parte de equipos de distintas ubicaciones geográficas mediante notación matemática natural conocida con anotaciones de texto.
- Mathcad establece la trazabilidad de la descomposición de los requisitos y se integra con las herramientas de gestión del ciclo de vida del producto que organizan los requisitos en diferentes niveles y con sistemas de diseño gobernados por requisitos.

Veamos cómo ayudaría Mathcad a una empresa tecnológica a gestionar la descomposición física utilizada en la producción de obleas de semiconductores.

### Ejemplo de flujo descendente de requisitos habilitado para Mathcad

A la vista de un aumento de las expectativas de crecimiento del negocio así como de la competencia extranjera, una empresa fabricante quiso crear un nuevo sistema de fabricación de semiconductores capaz de generar obleas un 20 % más rápido que con los métodos actuales. Si eran capaces de cumplir este objetivo de diseño, podrían mantener su cuota de mercado y lograr una diferenciación suficiente de su producto respecto de las alternativas extranjeras de menor coste. El enfoque de diseño anterior de este fabricante era comenzar por crear un cálculo básico de producción de obleas. El cálculo se generaba registrando la hora de inicio/parada en cada paso de una línea de producción existente. Estos tiempos de procesamiento empíricos se capturaban en una hoja de cálculo y se totalizaban en función de la disposición específica de la línea de producción. Por ejemplo, si era necesario mover una oblea por 5 estaciones y cada estación requería 10 minutos de procesamiento, el rendimiento general sería de 50 minutos por oblea. Una vez preparado el cálculo aproximado, el equipo de diseño se centraba en crear y ajustar los prototipos físicos hasta alcanzar el objetivo de rendimiento final.

Este enfoque forzado plantea varios inconvenientes. Primero, este enfoque solo proporciona un modelo de baja fidelidad que no tiene en cuenta las interdependencias dinámicas que pueden existir en el proceso de mecanizado. Después, este enfoque depende mucho de los prototipos físicos que aumentan el coste y el tiempo necesario para desarrollar el producto. Por último, la innovación se retrae porque la tendencia será simplemente desarrollar una variante de producto frente a un producto realmente

original. El desarrollo de equipamiento vanguardista y/o la implementación de procesos nuevos y no probados sin respaldo analítico aumentan el riesgo de un fallo costoso. Teniendo en cuenta estos inconvenientes, el equipo de investigación decidió desarrollar un modelo matemático de alta fidelidad en Mathcad y utilizarlo para identificar, elaborar y, finalmente, crear un flujo descendente de requisitos antes de dedicar recursos limitados al desarrollo de prototipos. El departamento de investigación organizó, o descompuso, el modelo en tres elementos que representaban las áreas de rediseño significativo del nuevo sistema de fabricación de obleas. Estos incluían la disposición de la línea de producción, el sistema de control específico de obleas y el proceso de deposición utilizado para impregnar la propia oblea. A continuación se tratarán cada uno de estos por separado.

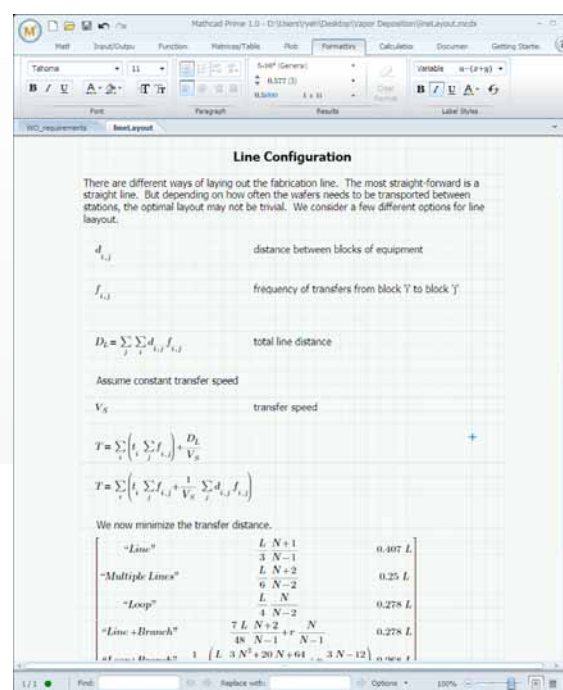


Figura 2: Modelo de disposición de línea de producción en Mathcad

**a. Disposición de la línea de producción:** para cumplir el objetivo de aumento de rapidez, debían modelarse y analizarse diversas opciones de enrutamiento en la línea de producción. Cada opción de enrutamiento implicaba varios subrequisitos, incluida la distancia recorrida, el tiempo de recorrido, la frecuencia de transferencia y el orden de las estaciones de preparación y producción. En Mathcad, estos aspectos se modelaron como ecuaciones básicas de distancia y velocidad. Además, se asignaron tolerancias de movimiento en cada estación sobre la base de la variación de componentes. Al finalizar este paso, se estableció un modelo basado en tiempo que permitía a los ingenieros identificar rápidamente potenciales cuellos de botella en el proceso de diseño de trayectorias.

**b. Sistema de control de obleas:** una vez establecida la disposición de línea de producción de corte de desbaste, y exploradas las limitaciones, el equipo elaboró con confianza requisitos adicionales para el propio sistema de control de obleas. Hay varias opciones para mover las obleas en la línea de producción. En este caso, los ingenieros examinaron la eficacia de utilizar un método de línea de montaje tradicional por el que la oblea se transfiriera de estación en estación mediante una serie de brazos robóticos y lo compararon con una nueva técnica que utilizaba un mecanismo de levitación magnética. Aunque más caro, el sistema de levitación magnética reducía la fricción y, por lo tanto, el desgaste de componentes a la vez que minimizaba cualquier potencial contaminación de polvo por contacto. En este

para transportar las obleas, era necesario un dominio adicional de modelado de transistores. Por suerte, con Mathcad este modelo multidominio se puede montar de forma sencilla utilizando las ecuaciones electromagnéticas. Al finalizar este paso, obtuvieron un modelo detallado del recorrido de la línea de producción así como los requisitos específicos para cada uno de los sistemas de control.

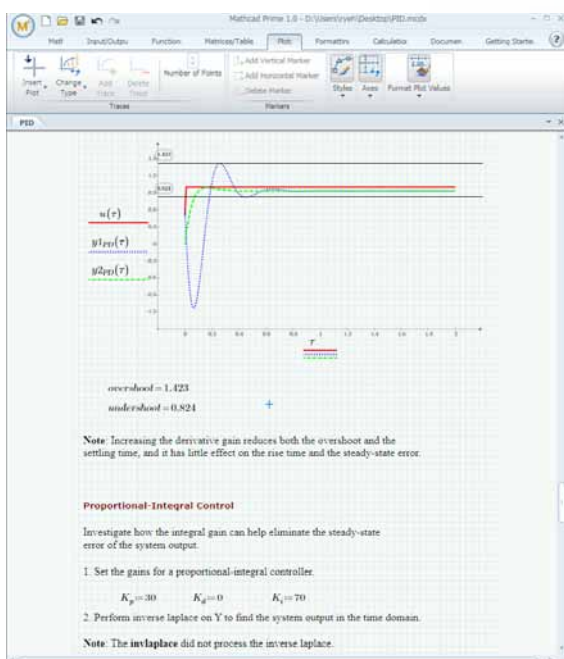


Figura 3: Requisitos de control de manejo de obleas

punto, el equipo de diseño incluyó a los ingenieros de controles para ampliar los requisitos de ambas técnicas de control en estudio. Los ingenieros de controles comenzaron analizando la previsión de tiempo, o el tiempo asignado por cada estación, y determinando con qué rapidez tendría que responder cada componente para cumplir esos requisitos. En esta fase, el equipo definió los parámetros críticos de motor, incluido el tiempo de respuesta ( $T_r$ ), tiempo de estabilización ( $T_{settle}$ ) y sobreoscilación, necesarios para cada motor de accionamiento directo utilizado en la línea de montaje, así como el tiempo de respuesta y la precisión de posición requeridos del sistema basado en levitación magnética. Dado que el enfoque basado en la levitación magnética utilizaba un circuito de conmutación de alta velocidad

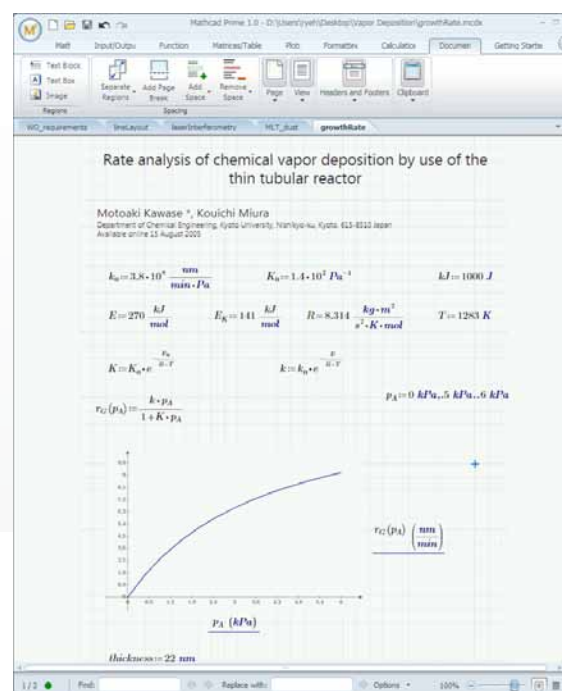


Figura 4: Modelo de absorción de Langmuir

**c. Deposición química de vapor:** puesto que se desarrolló un modelo detallado para el enrutamiento de la línea de producción y el control de obleas, el siguiente paso era desarrollar un modelo más detallado para cada una de las estaciones de la línea de producción. La más importante de estas estaciones era el propio proceso de deposición química de vapor. Este proceso estaba en gran medida gobernado por la física [véase la hoja adjunta de Mathcad]. El crecimiento viene determinado principalmente por la presión de cámara  $P_A$  y la temperatura  $T$ . Cuanto mayores son la temperatura y la presión, más rápido es el proceso de deposición; no obstante, a medida que aumenta la temperatura, también aumenta la tensión en la oblea. Hay que tener en cuenta, además, la necesidad de asegurar que el horno y la bomba de vacío puedan lograr la temperatura y la presión requeridas. Esto se llevó a cabo con el modelo de absorción de Langmuir (con dependencia de la presión parcial reactiva) y se muestra en la hoja de Mathcad. Otros factores que considerar incluyen los gases que se añaden a la cámara, ya que estos agregados pueden aumentar o reducir las tasas de crecimiento.

Por último, el equipo de diseño realizó un modelo matemático detallado en Mathcad para describir todos los aspectos importantes de los procesos de enrutamiento de la línea de producción, control de obleas y deposición. Podían modificar la disposición de la línea de producción, cambiar el mecanismo de control de obleas o introducir otra dinámica de cámara, y determinar rápidamente el impacto de los cambios en el diseño. Este modelo detallado proporcionó una cascada de requisitos desde el rendimiento de obleas general del 20 % hasta los requisitos individuales para cada accionador, cámara y sensor utilizado en la línea de producción. El flujo descendente de requisitos y la trazabilidad que proporcionaba permitieron al equipo de investigación explorar nuevos e innovadores diseños sin tener que desarrollar prototipos físicos costosos. Como resultado, pudieron proporcionar un contexto de cálculo en apoyo de sus decisiones de diseño y generar una ruta para la verificación futura de requisitos y la consiguiente reutilización de conocimientos de sus modelos. Mediante estas prácticas recomendadas de ingeniería, este fabricante pudo crear con

eficacia su nuevo sistema de fabricación de obleas, proteger su cuota de mercado y eludir la competencia de menor coste.

### Mathcad garantiza la trazabilidad de la descomposición de requisitos

Durante las fases iterativas de planificación, concepto y diseño descritas en el ejemplo de fabricación anterior, los requisitos deben permanecer completos, claros, bien estructurados, controlables y verificables.<sup>1</sup> Los sistemas de Gestión del ciclo de vida del producto (PLM) como Windchill de PTC organizan los requisitos en distintos niveles y dividen las tareas en disciplinas adecuadas (por ejemplo, ingeniería mecánica y eléctrica).

Los requisitos se pueden revisar durante las fases de planificación y concepto para ayudar a gestionar los requisitos derivados cuando surjan y realizar un seguimiento de los datos asociados con los componentes correspondientes del proyecto para proporcionar trazabilidad (Figura 5).

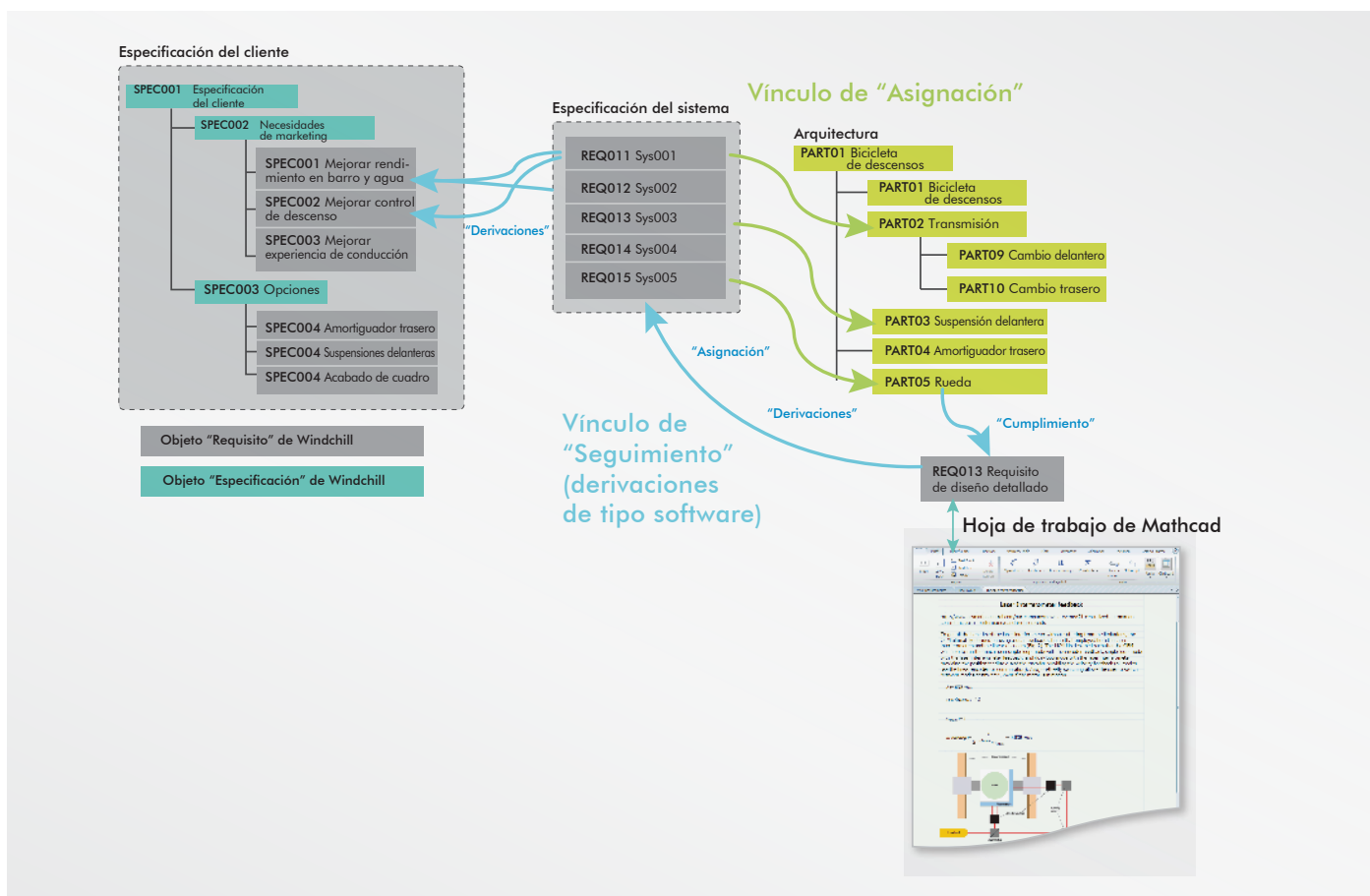


Figura 5: Flujo descendente de requisitos en fabricación de obleas

<sup>1</sup> Visite PTC – Mathcad – Ingeniería de sistemas – Software de cálculos de ingeniería para descargar la hoja técnica *Práctica recomendada: estudios de diseño y análisis de ventajas y desventajas*

La arquitectura abierta de Mathcad permite la integración sencilla con sistemas PLM para proporcionar máxima trazabilidad. Al trabajar dentro de un sistema PLM, Mathcad proporciona el motor de fórmulas y cálculos que se “asientan” en los requisitos y ayudan a explicar la lógica inherente en la descomposición física. Mathcad ayuda a clarificar cómo se cumplen los requisitos en los diseños de productos subyacentes y qué requisitos gobiernan el diseño de sistemas, productos o piezas. Los ingenieros pueden archivar y extraer hojas de trabajo de Mathcad desde la interfaz de usuario de Mathcad o PLM, y buscar rápidamente etiquetas de atributos y contenido de las hojas de trabajo almacenadas de Mathcad. Mediante Mathcad, los sistemas PLM pueden conservar y acceder a todas las versiones de las hojas de trabajo. Si se modifican los requisitos, Mathcad controla los cambios necesarios en fórmulas y cálculos, y los itera según sea necesario, proporcionando asignaciones/matrices de trazabilidad visual sincronizada y actualizada. Mathcad se integra también con sistemas CAD como Creo Parametric de PTC, de forma que el impacto de los cambios en el flujo descendente de requisitos se puede reflejar en los planos de diseño revisados. La arquitectura abierta de Mathcad permite asimismo la trazabilidad para grupos de ingeniería que no utilizan sistemas PLM. En muchas empresas, los requisitos generales se originan como documentos en Microsoft Office y SharePoint. La arquitectura abierta de Mathcad permite la integración con estas aplicaciones e incluye integración plena con Microsoft Excel. Las hojas de trabajo de Mathcad se pueden almacenar y actualizar dinámicamente mediante Live Math para uso específico. Como alternativa, las hojas de trabajo se pueden exportar como ficheros PDF que se pueden gestionar en sistemas ECM o DMS normales.

### Alineación de los procesos de desarrollo de productos con los objetivos empresariales

Para lograr una mayor cuota de mercado, la empresa puede definir una iniciativa para mejorar un proceso de negocio específico: por ejemplo, la fabricación más eficaz y flexible de componentes clave de los productos. Mathcad capacita a los equipos de ingeniería para realizar mejor la descomposición física, articular y compartir su trabajo, y establecer trazabilidad en el flujo descendente de requisitos. El uso de las hojas de trabajo dinámicas y la gestión de unidades de Mathcad ofrece mayor confianza en que las soluciones diseñadas cumplirán de forma óptima los requisitos del mercado y lograrán mayores objetivos estratégicos de la empresa.

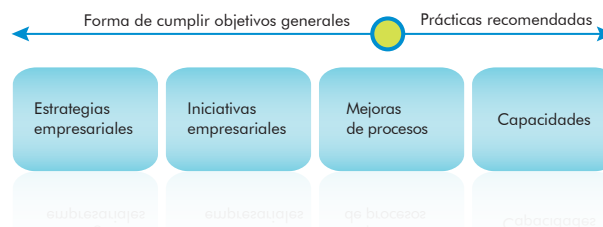


Figura 6: Mejoras de procesos de ingeniería apoyan los objetivos estratégicos de la empresa

Las prácticas recomendadas aplicadas en la ingeniería ayudan a garantizar que la solución abarca los requisitos de eficacia y, por lo tanto, soporta la consecución de una mayor cuota de mercado. Estas prácticas recomendadas incluyen: estudios de diseño y análisis de ventajas y desventajas (DS/TOA); flujo descendente de requisitos; verificación de requisitos; y simulación de carga frontal.

Consulte nuestra serie de hojas técnicas sobre **Prácticas recomendadas en el desarrollo de productos** :

[Hoja técnica sobre estudios de diseño y análisis de ventajas y desventajas](#) Análisis de viabilidad para diseños de ingeniería. Tome decisiones de diseño mejores y más rápidas con confianza.

Mathcad es el software estándar en el sector para cálculos de ingeniería.

Para obtener más información, visítenos en [PTC.com/mathcad/](https://www.ptc.com/mathcad/)

## Resumen

Si se emplea en las fases de planificación, concepto y diseño del desarrollo de productos, la práctica recomendada de flujo descendente de requisitos permite a los ingenieros alinear más estrechamente las decisiones de los productos con los requisitos definidos. Mathcad habilita esta práctica recomendada al proporcionar el entorno idóneo en el que realizar la descomposición. Los ingenieros pueden capturar y mostrar con facilidad y precisión los cálculos utilizados en el modelado físico y el análisis. Mediante hojas de trabajo de actualización dinámica, Mathcad ayuda a clarificar cómo se cumplen los requisitos en los diseños propuestos de sistemas, productos o componentes. Mathcad fomenta también la visibilidad de la descomposición física en todos los equipos de ingeniería durante el proceso de desarrollo de productos. Mathcad permite que los usuarios que realizan la descomposición documenten y comuniquen con facilidad la lógica en notación matemática natural conocida con anotaciones de texto que permiten la evaluación sencilla por parte de los equipos con independencia de su ubicación geográfica y zona horaria. Por último, Mathcad ayuda a establecer la trazabilidad de la descomposición de los requisitos al integrarse con las herramientas de gestión del ciclo de vida del producto que organizan los requisitos en diferentes niveles y con sistemas de diseño gobernados por esos requisitos. Las asignaciones/matrices de trazabilidad visual sincronizada y actualizada fomentan el conocimiento de cómo afectan los cambios de diseño a los requisitos y cómo afectan los cambios de requisitos a los diseños de productos.

## ¿Dirige usted un equipo de ingenieros?

Ofrecemos prácticas recomendadas en el diseño y desarrollo de productos para equipos de ingeniería como el suyo. Si está interesado en obtener más información sobre el análisis de viabilidad, verificación de requisitos o simplemente cómo utilizan Mathcad los equipos de ingeniería para aumentar la productividad, un representante de Mathcad puede mostrárselo.

**Póngase en contacto con nosotros** y un representante de Mathcad le llamará para concertar una demostración personalizada con un experto en Mathcad.

© 2012, Parametric Technology Corporation (PTC). Todos los derechos reservados. La información aquí descrita se suministra únicamente con fines informativos y está sujeta a cambios sin previo aviso. Las únicas garantías existentes para los productos y servicios de PTC son las expuestas en las declaraciones de garantía expresa que acompañan a dichos productos y servicios. Ninguna parte de este documento debe interpretarse como constituyente de garantía adicional alguna. Las referencias a éxitos de clientes se basan en la experiencia de los usuarios y el testimonio de dicho cliente. Las afirmaciones de analistas y predictivas sobre los productos y servicios de PTC o los mercados en los que PTC participa corresponden a los propios analistas y PTC no se manifiesta sobre la fundamentación o precisión de las mismas. PTC, el logotipo de PTC, Windchill y todos los nombres y logotipos de productos de PTC son marcas comerciales o marcas registradas de PTC o sus filiales en los Estados Unidos y en otros países. Los demás nombres de productos y empresas pertenecen a sus respectivos propietarios. El momento del lanzamiento de un producto, incluidas las funciones, puede variar a criterio de PTC.

7311-Mathcad Requirements Flowdown-ES-0212