



# EL PROTOTIPADO FÍSICO Y EL DIGITAL HAN DE IR JUNTOS DE LA MANO

Por L. Stephen Wolfe, P. E.



**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>Los prototipos evolucionan rápidamente . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Estudios de la forma . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>Prototipos visuales . . . . .</b>	<b>5</b>
Ingeniería de productos . . . . .	5
Ingeniería de fabricación . . . . .	5
Marketing y ventas . . . . .	6
<b>Prototipos operativos . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>Cómo elegir bien. . . . .</b>	<b>8</b>

**Acerca del autor**

L. Stephen Wolfe, P. E. es un ingeniero mecánico profesional de San Diego, California. Durante más de 20 años publicó los boletines *Computer Aided Design Report (Informe sobre el diseño asistido por ordenador)*, *Rapid Prototyping Report (Informe sobre el prototipado rápido)* y *Product Data Management Report (Informe sobre la gestión de los datos de los productos)*, además de libros sobre estos mismos temas. Estas publicaciones ejercían el papel de *informes del consumidor* para los ingenieros que buscaban información objetiva sobre las tecnologías de desarrollo de productos. Actualmente, ayuda a los compradores de sistemas CAD/CAM, CAE, PDM y prototipado rápido a definir sus necesidades, llevar a cabo investigaciones independientes, identificar a los proveedores, negociar con ellos y aplicar con eficacia métodos nuevos. [www.cadcampub.com](http://www.cadcampub.com)

## LOS PROTOTIPOS EVOLUCIONAN RÁPIDAMENTE

Los creadores del software CAD 3D para prototipos digitales en ocasiones afirman que sus sistemas eliminan la necesidad de prototipos físicos. Pero los prototipos físicos siguen utilizándose mucho actualmente porque son esenciales para la creación de grandes diseños. Gracias a la velocidad de los sistemas de impresión 3D, los diseñadores de productos innovadores utilizan más prototipos físicos que en los tiempos en los que todos los prototipos se hacían a mano y los combinan con los digitales para acelerar el diseño. En este trabajo se exploran las maneras en las que se complementan los prototipos digitales y los físicos y se ofrece una orientación sobre lo que hay que buscar a la hora de decidir dónde y cuándo utilizar cada uno.

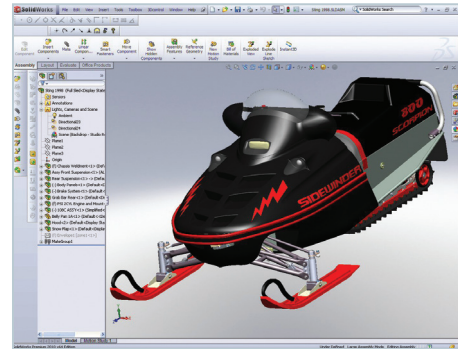
Los prototipos son modelos de productos nuevos.<sup>1</sup> Los diseñadores han utilizado prototipos o modelos de diseños desde que los creadores empezaron a planear las cosas que iban a fabricar en lugar de hacerlas a mano individualmente.

Durante miles de años, los prototipos han sido objetos físicos. Pero, a finales del siglo XX, los ingenieros desarrollaron el software de diseño asistido por ordenador (CAD) en 3D, que permite crear prototipos digitales en la memoria de un ordenador y verlos en la pantalla gráfica.

Hasta 1987, los prototipos físicos tenían que hacerse a mano con madera o metal utilizando máquinas de taller como molinos y tornos.<sup>2</sup> Muchas veces, los fabricantes de prototipos partían de diseños de ingeniería en dos dimensiones. Las piezas complejas requerían varios montajes y el uso de diversos moldes. Había que programar herramientas mecánicas de control numérico en crípticos lenguajes informáticos.

La aparición del prototipado digital dio como resultado el desarrollo de sistemas que podían producir de manera automática prototipos físicos complejos a partir de modelos digitales. Un ejemplo actual de estos sistemas de fabricación aditivos son los sistemas Ultra de Z Corporation ZPrinter® y ZBuilder™ que fabrican productos complejos depositando finas capas de material. Las piezas se fabrican directamente a partir de modelos 3D generados por ordenador sin que haya que elaborar o interpretar diseños de ingeniería.

Normalmente, el proceso de desarrollo de un producto empieza con prototipos sencillos, luego sigue el desarrollo de prototipos visuales más detallados, y, por último, se ponen a prueba prototipos operativos. Examinemos cómo evolucionan las necesidades de los prototipos digitales y físicos dentro del contexto de cada etapa del proceso de diseño.



**Ilustración 1.** Ejemplo del modelo CAD en 3D de una motonieve diseñado con Dassault Systèmes SolidWorks®.



**Ilustración 2.** La impresora de Z Corporation ZPrinter 650 produce piezas a una velocidad de 1.1 pulgada vertical (28 mm) por hora con una longitud y una anchura de 10 x 15 pulgadas (254 x 381 mm).

<sup>1</sup> Tercer diccionario íntegro de Merriam-Webster.

<sup>2</sup> “Del editor”, Rapid Prototyping Report, Vol. 1, nº 1, junio de 1991, pág. 2.

## ESTUDIOS DE LA FORMA

La mayoría de los procesos de diseño parten de bocetos. Una vez que se ha realizado un boceto atractivo, los diseñadores empiezan a modelar en CAD 3D.

Los prototipos conceptuales carecen del detalle de los diseños acabados pero permiten a los diseñadores explorar de una forma básica el tamaño, el aspecto y el efecto de la idea de producto en una etapa temprana del proceso de diseño. Los modelos conceptuales digitales son fáciles de realizar con software CAD porque sólo necesitan unas pocas características. Gracias a los conceptos CAD, los diseñadores pueden evaluar sus ideas desde cualquier ángulo y realizar los cambios al momento.

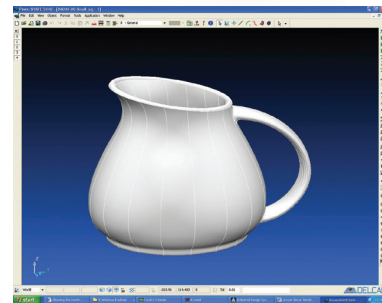
La magia de los gráficos informáticos hace que parezca que los modelos CAD existen en un espacio tridimensional que se abre detrás de la pantalla de un ordenador. No podemos tocar ni sentir los prototipos digitales. Muchas veces, tampoco podemos hacernos una idea física de la escala de los modelos CAD porque pueden mostrarse a cualquier escala. Por eso hay muchos tipos de diseños que no pueden evaluarse únicamente a través de imágenes de ordenador.

Los clientes, los ejecutivos, el personal de ventas y servicio, y también los diseñadores, necesitan tocar, coger y sentir modelos conceptuales físicos para entender mejor todos los diseños. Nuestra reacción emocional ante los prototipos físicos es la misma que la que nos provoca el producto real. Y, salvo en los casos en los que los ingenieros de CAD invierten un esfuerzo enorme en la creación de entornos virtuales, los modelos generados por ordenador no nos permiten ver cuál será el efecto visual del producto en el lugar real en el que va a utilizarse.

Por ejemplo, Cisco Consumer Business Group produce enrutadores inalámbricos, interruptores y componentes inalámbricos de audio que se utilizan en casas y oficinas. Estos dispositivos electrónicos tienen que resultar atractivos en el entorno en el que van a utilizarse.

Eskild Hansen, jefe del centro de diseño europeo de Cisco, dice que la ZPrinter 450 produce 10 prototipos rápidos a la semana para revisiones de diseño. Hansen piensa que es esencial que los diseñadores propongan modelos físicos y que los marquen con lápiz antes de pasar a su desarrollo con software CAD.<sup>3</sup>

Para los prototipos conceptuales, es esencial la velocidad. La vida útil de un prototipo conceptual puede ser de sólo unas pocas horas. Es conveniente producir los modelos conceptuales en el estudio de diseño o en sus cercanías. Por eso los sistemas que utilizan materiales peligrosos, requieren ventilación especial o emplean estructuras de soporte que han de quitarse con herramientas especiales no son los más idóneos para los modelos conceptuales. Los modeladores conceptuales deben emplear materiales de bajo coste porque hacen falta muchos modelos.



**Ilustración 3.** Diseño de una jarra de Denby Pottery que parte de un esbozo, para convertirse en un modelo CAD 3D y luego en un prototipo físico impreso realizado con una ZPrinter de Z Corporation.



**Ilustración 4.** Utilizando una rápida y económica ZPrinter, Cisco a menudo produce prototipos para evaluar conceptos de diseño.

<sup>3</sup> "Cisco utiliza la tecnología de impresión 3D para contribuir a la conservación de la tradición del diseño escandinavo", Z Corporation, 2009.

## PROTOTIPOS VISUALES

Los prototipos visuales reflejan con exactitud la apariencia de un producto en todos sus detalles sin realizar su función. Los prototipos visuales sirven a una gran variedad de fines en el desarrollo de productos.

## Ingeniería de productos

El proceso mediante el cual se concretan todos los detalles de ingeniería necesarios para definir los productos de cara a su producción comienza una vez se han aprobado los conceptos iniciales. Normalmente, este trabajo se realiza con software CAD en 3D. Con el software CAD 3D se diseña la geometría del producto y se verifican la forma, el ajuste y las tolerancias de fabricación. El CAD no sólo produce modelos matemáticos para la fabricación; también automatiza los diseños de producción y genera las facturas de los materiales utilizados por los planificadores de la fabricación y los agentes de compras.

Los productos modernos deben cumplir muchos requisitos: atractivo estético, seguridad, ergonomía, fiabilidad y bajo coste. Los prototipos digitales por sí solos no bastan para garantizar que se satisfagan todas estas exigencias. Antes de recurrir a herramientas de producción caras, la mayoría de los fabricantes insisten en que el aspecto final del producto se apruebe en un prototipo físico. Los defectos de ergonomía o atractivo físico que pasan desapercibidos en los modelos digitales se detectan, normalmente, en las revisiones de los prototipos físicos. Los técnicos de servicio tienen que asegurarse de que los productos pueden desmontarse para hacer reparaciones y de que se pueda acceder con facilidad a las piezas para reducir los costes de producción.

## Ingeniería de fabricación

El diseño de los procesos y herramientas de producción en masa suele costar más que el desarrollo del producto fabricado. Las actividades de la ingeniería de fabricación incluyen el diseño de instalaciones de producción, líneas de montaje, armazones, dispositivos fijos y calibres; la planificación de procesos; la redacción de instrucciones de montaje; la programación y validación de fresadoras de control numérico; y la programación y planificación de los recursos de fabricación.

Hasta los años 90, normalmente la ingeniería de fabricación venía precedida de una detallada ingeniería de producto. Muchas veces, los fabricantes descubrían que, aunque los productos funcionaban según lo previsto, los costes de fabricación eran demasiado altos.

Hubo algunas empresas con visión de futuro que se dieron cuenta de que la ingeniería de fabricación debía intervenir antes de que los diseños de producto estuvieran acabados. Hay retoques sin importancia que pueden suponer un ahorro enorme en costes de fabricación y hacer que los productos sean más competitivos en sus mercados. Los fabricantes actuales de más éxito implican a los ingenieros de fabricación (incluidos los de los proveedores) en el proceso de desarrollo del producto. Una de las principales tareas que deben abordar los ingenieros en las primeras fases del desarrollo de un producto es conseguir un diseño que pueda montarse de forma rápida y económica.



**Ilustración 5.** Modelo de ingeniería de un sensor de seguridad laboral Black & Decker, producido con la ZPrinter de Z Corporation, que muestra los detalles internos necesarios para la fabricación.

Los fabricantes de software de producción de prototipos venden aplicaciones que simulan operaciones de montaje y de manipulación del material. La creación y la programación de simulaciones digitales en 3D de sistemas de producción son tareas difíciles que requieren habilidades especializadas. A menos que se trate de productos grandes o pesados, como camiones o aviones, muchas veces resulta más rentable imprimir prototipos físicos en 3D para planificar y verificar los procedimientos de montaje antes de disponer de las piezas de producción.

Los ingenieros de fabricación también pueden servirse de los prototipos físicos para diseñar y comprobar los armazones, los dispositivos fijos y los calibres empleados en los procesos de montaje antes de que las piezas de producción troqueladas, fundidas o moldeadas estén disponibles. Y cuando son las herramientas, dispositivos fijos y calibres los que están diseñados con CAD 3D, pueden generarse en muy poco tiempo prototipos rápidos para evaluar si funcionan correctamente y están bien montados. Por ejemplo, Hydroforming Design Light AB de Vansbro, Suecia, utiliza modelos realizados con su ZPrinter para comprobar el ajuste en los dispositivos fijos de las piezas de los prototipos complejos.<sup>4</sup>

### Marketing y ventas

El personal de ventas y marketing ya no puede esperar a que los diseñadores de producto terminen su trabajo para empezar a vender. Los productos de consumo de las temporadas altas se han de pedir con muchos meses de antelación, y los compradores de productos innovadores quieren ver lo que están pidiendo.

El personal de marketing tampoco puede esperar a tener fotografías de los productos para empezar a planear las campañas publicitarias y los diseños de los anuncios. Y le interesa evaluar las reacciones de los clientes a los nuevos diseños de producto antes de que se adquieran unas herramientas que son muy costosas. ¿Los diseñadores han creado algo que el público querrá comprar? ¿O los clientes no mostrarán ningún interés?

El software de prototipado digital puede producir imágenes de calidad fotográfica de diseños de productos a partir de modelos CAD. Hay casos en los que el renderizado por ordenador no es suficiente. Muchas veces hace falta fotografiar a personas utilizando el producto o manipulándolo. Gracias a los prototipos físicos visuales de los diseños finales o casi finales, los clientes tienen acceso a muestras que pueden fotografiarse antes de que los fabricantes faciliten muestras de los primeros artículos.

El personal de marketing también quiere disponer de prototipos físicos, y no sólo de imágenes generadas por ordenador, para las ferias comerciales y los clientes con el fin de evaluar las reacciones de éstos. Habrá compradores al por menor que querrán ver y experimentar con los prototipos antes de comprometerse a adquirir un volumen importante de productos. Por ejemplo, el personal de ventas de Timberland, una empresa fabricante de calzado de calle e informal, presenta prototipos en las promociones de ventas con las principales cadenas de distribución.<sup>5</sup>



**Ilustración 6.** Un renderizado muy realista del reloj Devon Tread 1 realizado con Bunkspeed SHOT™, una aplicación que ofrece imágenes muy realistas de modelos CAD en 3D, utilizando el software de renderizado de imágenes mentales de gran precisión física: iray®, una filial de Nvidia.



**Ilustración 7.** Los prototipos de calzado de la empresa Timberland realizados con la impresora ZPrinter a color de Z Corporation son de un gran realismo.

<sup>4</sup> "Hydroforming Design Light AB aprovecha la fuerza del agua, el color y la impresión 3D para mejorar el rendimiento de la empresa", Z Corporation, 2007.

<sup>5</sup> Timberland ahorra tiempo y costes y consigue el estilo que busca gracias a la impresión 3D", Z Corporation, 2005.

Los sistemas de creación de prototipos visuales tienen algunas capacidades en común con los que se emplean en los estudios de forma. Tienen que ser rápidos porque los prototipos visuales han de estar disponibles enseguida. Las impresoras 3D también tienen que tener unos costes bajos de operación porque se necesitan muchos prototipos.

Los sistemas de producción de prototipos visuales que imprimen en varios colores a la vez eliminan la necesidad de pintar los modelos después de su fabricación. Y los sistemas de producción de prototipos visuales tienen que tener la precisión necesaria para evaluar el ajuste entre las piezas.

### PROTOTIPOS OPERATIVOS

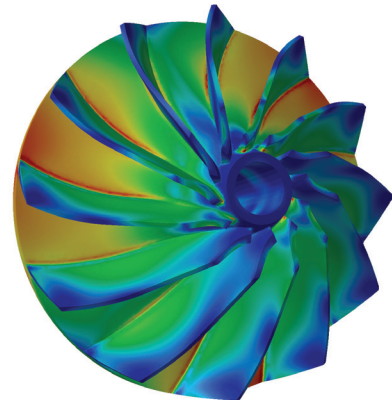
Los prototipos funcionales plasman tanto la forma como la función del producto.<sup>6</sup> Los prototipos digitales pueden validar muchos aspectos del rendimiento físico de un producto. Por ejemplo, el software CAD puede utilizarse para estudios cinemáticos. Con el software de análisis dinámico pueden estimarse las cargas que soportan los componentes. Los análisis de elementos finitos sirven para visualizar las fuerzas, las temperaturas y los campos magnéticos. La dinámica de fluidos computacional puede ilustrar los flujos de fluidos y ofrecer un cálculo aproximado de la presión que soportan los objetos sólidos.

El software de producción de prototipos digitales puede ayudar a reducir el número de prototipos operativos necesarios para un producto determinado, pero no los puede eliminar del todo. Si las condiciones de cargas o límites no son las correctas, es posible que los resultados que ofrezca el software analítico tampoco lo sean. Se han de comparar los resultados de las pruebas físicas con los resultados analíticos para garantizar la fiabilidad y la seguridad del producto.

Hay aspectos del rendimiento físico que es más rentable evaluar con pruebas que con análisis por ordenador. Por ejemplo, Steeda Autosports monta modelos ZPrinter de sus kits de admisión de aire frío en motores Ford y mide el flujo de aire y la caída de presión reales.<sup>7</sup>

Comprobar los ajustes de las piezas y su presión con modelos generados por ordenador es una tarea que consume mucho tiempo y que requiere analistas muy bien preparados. Gracias a la fabricación de prototipos con sistemas como el ZBuilder Ultra, los diseñadores pueden evaluar los acoplados por presión poniéndolos a prueba. ZBuilder Ultra emplea materiales flexibles que responden de manera similar al plástico inyectado.

Someter a los prototipos a pruebas funcionales antes de pasar a fabricar los productos en masa es esencial. El personal de marketing también necesita evaluar la aceptación que tienen entre los clientes las características del diseño antes de realizar costosas inversiones en herramientas. Y, evidentemente, los organismos reguladores exigen que los productos se sometan a pruebas para garantizar su seguridad.



**Ilustración 8.** Esquema de las tensiones producidas por las fuerzas centrípetas en un impulsor de turbina generado con el programa Abaqus de Dassault Systèmes.



**Ilustración 9.** Ejemplo de prototipo operativo de una entrada de aire (componente de color blanco) de Steeda Autosports fabricado con una ZPrinter para la fase de pruebas.

<sup>6</sup> Categorías básicas de prototipos, Wikipedia, Octubre 2010.

<sup>7</sup> “El uso de la ZPrinter revoluciona la I+D en Steeda Autosports”, 2010.

Los prototipos operativos deben estar hechos de materiales que tengan propiedades físicas y acabados de superficie similares a los del producto que se va a fabricar. En otras palabras, las piezas que sean de metal en el producto final también tendrán que serlo en el prototipo. El material polimérico ha de tener la fuerza y la dureza del plástico moldeado.

Los sistemas de fabricación aditivos actuales no ofrecen la variedad de propiedades materiales que se hallan en la producción en masa. Pero sí que hay sistemas que se acercan. ZBuilder Ultra de Z Corporation emplea un material fotopolimérico con una resistencia a la tensión de más de 6.000 psi.

Las piezas realizadas con impresión 3D también pueden facilitar la producción de fundiciones a cera perdida. Por ejemplo, Spirax Sarco utiliza su ZPrinter para imprimir patrones básicos en lugar de enviar modelos CAD a un subcontratista de herramientas. Esta técnica supone un ahorro de tiempo de tres a cuatro semanas y una reducción de los gastos en herramientas de entre 3.000 y 5.000 dólares americanos. El patrón cuesta unos 8 dólares.<sup>8</sup>

Pueden fabricarse prototipos operativos completos a partir de una mezcla de piezas creadas con sistemas de prototipado rápido, fabricadas con métodos tradicionales o compradas. Por ejemplo, se podrían combinar piezas realizadas con ZBuilder con otras hechas de vidrio, planchas de metal y componentes eléctricos adquiridos por catálogo.



**Ilustración 10.** La ZBuilder Ultra de Z Corporation produce piezas con un acabado de superficie liso, detalles definidos y propiedades mecánicas similares al plástico ABS.

## CÓMO ELEGIR BIEN

El prototipado físico y el digital se complementan entre sí. Los dos deberían convertirse en una parte integrante de sus procesos de desarrollo del producto.

Con las herramientas de prototipado digital, los modelos 3D pueden concebirse y modificarse rápidamente. Pero los gráficos de ordenador no se pueden comparar con la realidad. Combinándolos con las tecnologías de fabricación aditivas, pueden hacerse prototipos físicos a partir de modelos digitales con rapidez y con mucho menos trabajo del que se requería tradicionalmente.

Para decidir cuándo y cómo se van a emplear prototipos físicos además de los digitales, hay que conocer los métodos del prototipado digital y del físico. No hace falta que los directores y ejecutivos de ingeniería se conviertan en expertos en fabricación aditiva. Pero, si no ellos, los miembros del personal designados deberían familiarizarse con las distintas prestaciones, materiales, costes, velocidades de construcción y precisiones del sistema de producción de prototipos físicos. Con esa información, los directores tendrán una base razonable para decidir si es más rentable, o en qué casos va a ser más rentable realizar un prototipo físico que analizar o simular la respuesta del producto con prototipos digitales.

<sup>8</sup> “La experiencia en aplicaciones de vapor junto con el acceso a la impresión 3D constituyen una potente combinación para Spirax Sarco Inc.”, Z Corporation, 2008.

---

A la hora de evaluar las tecnologías de prototipado físico de cara a adquirir un sistema para una empresa o emplear un servicio, hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Los sistemas más rápidos que producen varios modelos a la vez son ideales para prototipos iterativos, conceptuales o prototipos visuales en los que se sustenta una ingeniería de fabricación, marketing o diseño detallados.
2. Si se tiene la intención de hacer muchos prototipos, es posible que convenga más reducir los gastos de material que adquirir un sistema de bajo coste.
3. Los sistemas de color eliminan la necesidad de la pintura y el acabado.
4. Para evaluar el ajuste de las piezas, pueden hacer falta materiales fuertes pero flexibles. 5. Hay tecnologías que se adecuan a la elaboración de patrones para fundiciones de metal y otras que no.
6. Para las pruebas físicas pueden hacer falta materiales más resistentes.
7. Para los prototipos operativos o las imágenes publicitarias finales, pueden ser necesarios sistemas con un acabado de superficie fino, pero estos sistemas cuestan más tiempo de producir.

Las empresas que tomen las decisiones adecuadas sobre las tecnologías de prototipado digital y físico tendrán ventajas competitivas sobre las demás. La combinación eficaz del software CAD y el de ingeniería con la impresión 3D y el prototipado rápido garantizará que los productos de la empresa sean deseables, asequibles, fiables y seguros.



**Z CORPORATION™**  
**AUTHORIZED RESELLER**

#### **Acerca de Z Corporation**

Z Corporation Las tecnologías 3D ayudan a los ingenieros, arquitectos y diseñadores de productos a crear los diseños adecuados a la primera. Los profesionales utilizan impresoras 3D ZPrinter, máquinas de prototipado rápido de ZBuilder Ultra y escáneres láser 3D, como los ZScanners®, para comprimir el ciclo de diseño, generar conceptos nuevos, comunicar con claridad, fomentar la colaboración y reducir los errores. Estas soluciones abarcan todo el proceso de diseño en 3D desde el concepto hasta la verificación del diseño.



**Z CORPORATION™**

**SEDE CENTRAL**  
Z Corporation  
32 Second Avenue  
Burlington, MA 01803 EE. UU.  
+1 781 852 5005

[www.zcorp.com](http://www.zcorp.com)

**ORION INTEGRACION SL** [www.orion-int.es](http://www.orion-int.es) [info@orion-int.es](mailto:info@orion-int.es) Telf: 902903018

©2010 Z Corporation. Z Corporation y su logotipo son marcas comerciales de Z Corporation. El resto de nombres de empresas y productos son marcas comerciales o registradas de sus respectivos propietarios.

PRO-WP-2010