

---

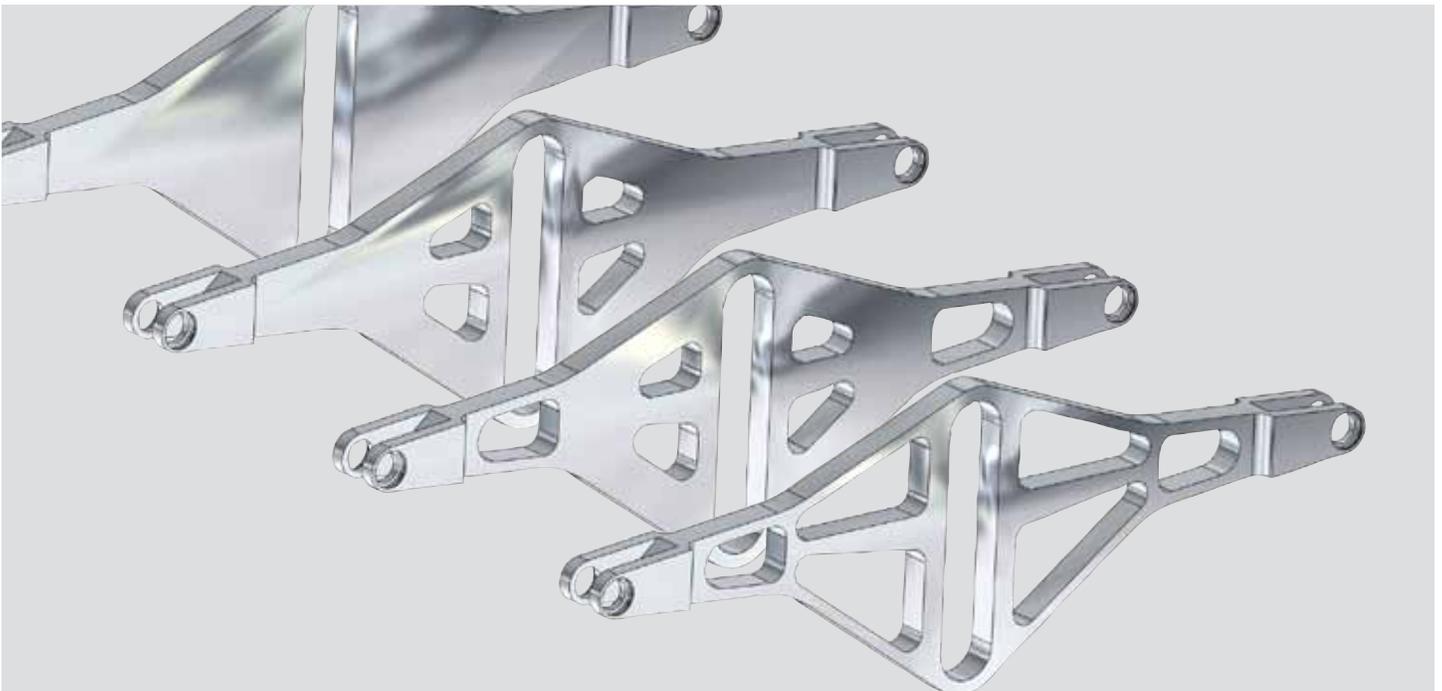
# OPTIMIZACIÓN DE SOLIDWORKS

---

## Resumen

La optimización es el cálculo de los factores de peso, esfuerzo, costo, desviación, frecuencias naturales y temperatura, que dependen de variables como las dimensiones, cargas y restricciones, los materiales y los requisitos de fabricación. El desafío es que rara vez conocemos estos datos en las primeras etapas del proceso de diseño.

En este documento se revisan algunos conceptos clave de la optimización, las herramientas actualmente disponibles para la optimización según el análisis de elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) y, a continuación, se analiza detalladamente cómo los ingenieros de diseño pueden sacar el máximo partido para la optimización en su trabajo diario.



## Introducción a la optimización

Durante la última década, los ingenieros de diseño han aprendido a utilizar y a confiar en herramientas de ingeniería asistida por computadora (CAE, por sus siglas en inglés) como el FEA, la dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés) y la simulación del movimiento como ayuda importante para producir mejores diseños con más rapidez. Saben que dichas herramientas les ayudarán a diseñar piezas, ensamblajes y productos que soportarán el intenso servicio del que probablemente serán objeto.

Sin embargo, es posible que los productos diseñados para funcionar en las “peores situaciones” no sean los mejores diseños para su entorno en la vida real. Para cumplir con los requisitos de seguridad y fuerza, es posible que estén diseñados con exceso de material y sean demasiado pesados para sus propósitos, o bien demasiado difíciles y costosos de fabricar. Los ingenieros de diseño que quieran diseñar los productos que mejor y más rentables resulten para sus funciones deben tomar el siguiente paso del análisis en el desarrollo de productos: la optimización.

---

La optimización del diseño puede incrementar el valor de un producto mejorando su rendimiento en su entorno operativo.

## Optimización para los ingenieros de diseño

La optimización del diseño puede incrementar el valor de un producto mejorando su rendimiento en su entorno operativo y reduciendo el costo de producción mediante la reducción de la cantidad de material utilizado para fabricarlo.

El ingeniero de diseño está, por definición, a la vanguardia del desarrollo de productos. Actualmente, dicho ingeniero ya está familiarizado con el análisis del diseño, lo que significa que él o ella disponen de los conocimientos básicos necesarios para llevar a cabo la optimización y sólo necesita herramientas de optimización para dar el siguiente paso.

Al utilizar la optimización, el ingeniero de diseño incrementará sus conocimientos acerca del comportamiento de su producto y mejorará el diseño, mientras se adhiere a los datos obtenidos de análisis realizados previamente.



Ilustración 1: Llave fija para su optimización

## Elementos fundamentales de la optimización

El proceso de la optimización tiene tres componentes principales:

- Objetivo
- Restricciones
- Variables

En su manera más simple, el diseño optimizado debería maximizar o minimizar el objetivo cambiando las variables mientras se mantienen las respuestas críticas dentro de las restricciones definidas.

## Objetivo

El objetivo es el propósito por el que se realiza la optimización. Por ejemplo, si los estudios de investigación de una empresa muestran que obtendrá una ventaja competitiva produciendo el producto más ligero o menos caro, entonces reducir el peso o el costo se convierte en el objetivo de la optimización. Este caso se denomina optimización de un sólo objetivo.

A menudo los ingenieros tienen que enfrentarse a optimizaciones con varios objetivos. Sin embargo, este tipo de optimizaciones pueden demandar más recursos de los que puede haber disponibles de manera cotidiana. Si el ingeniero de diseño puede ajustar la definición de su problema a un sólo objetivo (o a un objetivo cada vez) el proceso de optimización se convierte en algo más sencillo.

En la mayoría de los casos, los ingenieros que trabajan con respuestas estructurales tienen como objetivo la minimización del peso. En las aplicaciones de flujo de fluidos, los objetivos más habituales consisten en minimizar la caída de la presión y la energía turbulenta o en maximizar la velocidad.

## Restricciones

Las restricciones pueden aportar realismo a la optimización. El ejemplo de la viga en voladizo en la Ilustración 2 es una muestra. Si el problema de optimización se configurara como un estudio de minimización del peso sin restricciones, el programa de optimización seleccionaría inmediatamente la condición de material mínima permitida por las variables de las dimensiones. Sin embargo, en el mundo real, la mayoría de las piezas tienen otros requisitos operativos, como pueden ser la resistencia o la rigidez. Por eso es importante que el ingeniero seleccione las restricciones que definen el comportamiento aceptable de la pieza dentro de su sistema. Las restricciones que elige suelen ser aquellas permitidas en un único análisis estático, de frecuencia o térmico.

Si el ingeniero de diseño puede ajustar la definición de su problema a un sólo objetivo (o a un objetivo cada vez) el proceso de optimización se convierte en algo más sencillo.

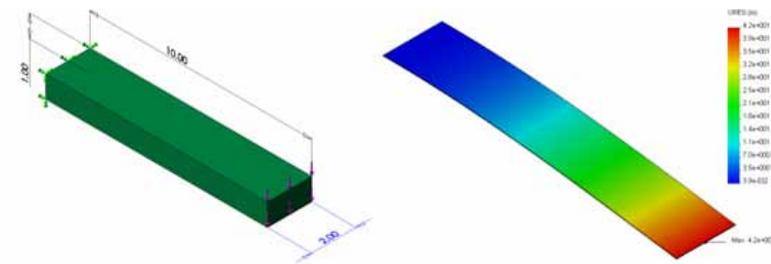


Ilustración 2: Una viga de peso mínimo puede desviarse de manera excesiva

## Variables de diseño

En un estudio de optimización, el ingeniero necesita poder cambiar los parámetros de diseño si espera encontrar la mejor de las muchas configuraciones posibles. Esos parámetros son las variables de diseño. Pueden ser las dimensiones, el número de instancias de una matriz, las propiedades materiales, las cargas, la rigidez de los resortes o bien cualquier otro aspecto de un diseño que pueda tener una "mejor" consideración o valor detectable.

Las variables pueden ser continuas, lo que significa que la variable puede tener cualquier valor entre un mínimo y máximo especificados. La mayoría de las variables de dimensión pertenecen a la categoría continua.

También pueden ser discretas, lo que significa que la variable tiene un conjunto definido de valores posibles. La forma más sencilla de variable discreta es una variable activada-desactivada o sí-no. Por ejemplo, la presencia o la falta de una soldadura o cierre pertenece a la categoría de variables discretas. Otros ejemplos incluyen las instancias de un patrón. O, por ejemplo, una polea o rueda que pueden tener cualquier número de radios, pero no 3,2 ó 4,7.

Los calibres para el laminado son un ejemplo de una variable que puede pertenecer a las dos categorías. Generalmente, el espesor del calibre tiene valores predefinidos, pero es una práctica habitual especificar el espesor como una variable continua y después redondear el valor hacia arriba o hacia abajo hasta el espesor del calibre más cercano.

La selección de variables es un paso muy importante en la configuración de un estudio de optimización. Si el ingeniero selecciona demasiadas variables, o muy pocas, la eficacia del análisis se puede ver afectada. Demasiadas variables, o un rango demasiado grande, pueden hacer difícil que el programa determine la configuración de diseño más apropiada, especialmente cuando se consideran las mínimas y las máximas relativas. Por otra parte, si el diseñador ofrece pocas variables, o un rango muy pequeño, el éxito del estudio puede ser innecesariamente limitado.

El método más fiable para seleccionar variables adecuadamente radica en la realización de estudios de sensibilidad iniciales sobre las diferentes posibilidades. Este proceso se tratará en la siguiente sección.

## Herramientas para la optimización de productos

La optimización mediante el análisis por elementos finitos representa un campo de estudio creciente en la ingeniería. Aunque hay disponibles muchos programas y técnicas para realizarlo, los estudios industriales, los estudios de sensibilidad y la optimización de la forma son los más utilizados en la actualidad. Los dos métodos más utilizados de optimización de la forma son la búsqueda de gradientes y el diseño de experimentos (DoE). Este último está basado en cálculos de superficie de respuesta y produce soluciones eficaces en la gama más amplia de posibles condiciones de servicio durante la vida del producto.

### Estudios industriales

Los estudios industriales son exploraciones iterativas de configuraciones de diseño alternativas. Por ejemplo, el ingeniero de diseño puede añadir o eliminar un nervio para averiguar el impacto resultante en el rendimiento.

Los estudios industriales pueden ser muy valiosos para una rápida evaluación de varias opciones, para determinar cuál de los posibles cambios realizados en una pieza, si hubiera alguno, tendrá el mayor impacto. Como el número de combinaciones de operaciones puede ser ilimitado, es importante registrar las iteraciones y su correspondiente respuesta con el fin de evitar la duplicación o la pérdida de información. Los usuarios de SolidWorks® tienen una herramienta excelente para gestionar las iteraciones de estudios industriales en la utilidad de Configuraciones.

Después de calificar los posibles cambios, y que algunos demuestren que pueden ser objeto de más estudio, el diseñador puede emplear un estudio de sensibilidad para investigar la variabilidad de las dimensiones u operaciones de diseño relevantes.

---

Si el ingeniero selecciona demasiadas variables, o muy pocas, la eficacia del análisis se puede ver afectada.

---

Los dos métodos más utilizados de optimización de la forma son la búsqueda de gradientes y el diseño de experimentos (DoE).

## Estudios de sensibilidad

Un estudio de sensibilidad evalúa de manera sistemática el cambio en respuesta a variaciones de entrada. Los resultados de dichos estudios se suelen mostrar en trazados y gráficos que indican la magnitud del parámetro que se modifica en el eje X y la respuesta al cambio en el eje Y. La Ilustración 3 muestra un ejemplo de este resultado. Una variación grande en respuesta al rango de entrada indica una alta sensibilidad. Una variación baja en respuesta indica insensibilidad. Dichos estudios ayudan a mostrar al ingeniero las operaciones que justifican un estudio más en profundidad.

Los estudios de sensibilidad pueden indicar al ingeniero los parámetros más significativos así como el rango de valores que tienen mayor impacto en el objetivo.

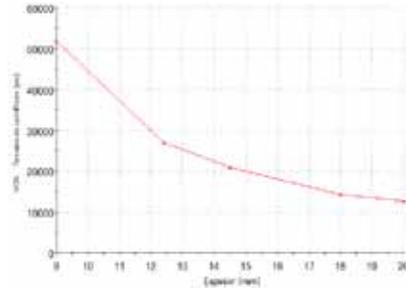
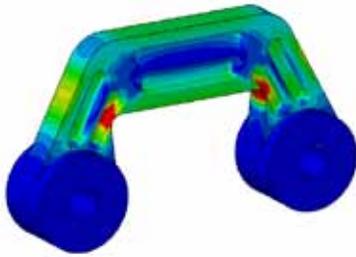


Ilustración 3: Estudio de sensibilidad de los parámetros: tensión frente a espesor

Además, los estudios de sensibilidad pueden indicar al ingeniero los parámetros más significativos así como el rango de valores que tienen mayor impacto en el objetivo. Un programa de optimización basado en el FEA puede completar dicho estudio mediante la resolución del problema con una serie de valores para un parámetro específico y, a continuación, trazar el objetivo y las respuestas restringidas.

En la Ilustración 4 se muestra el formulario de entrada para configurar dicho estudio de sensibilidad con SolidWorks Simulation, utilizando la funcionalidad Escenarios de diseño del programa. Este método automático divide cada rango del parámetro bajo consideración en divisiones iguales, indicando los valores de las dimensiones que se van a estudiar. Después de resolver el modelo en cada dimensión, el programa genera trazados de respuesta, como los que se muestran en la Ilustración 4.

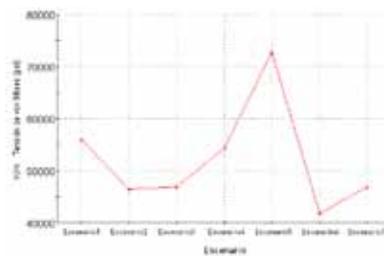
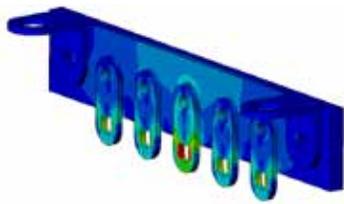


Ilustración 4: Configuración para un estudio de sensibilidad de varios parámetros utilizando escenarios de diseño

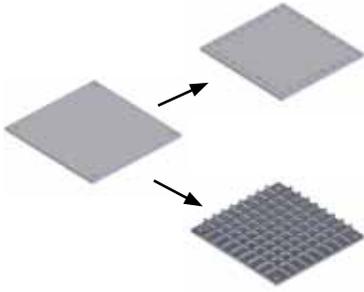


Ilustración 5: Un robusto algoritmo de optimización, puede determinar la dirección óptima del diseño

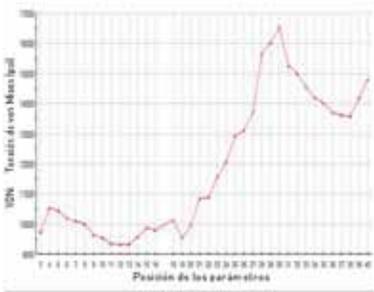


Ilustración 6: Trazado de sensibilidad con varios mínimos

## Optimización con SolidWorks

SolidWorks Simulation utiliza un método de optimización basado en DoE. Para ejecutar un problema, el ingeniero proporciona los valores máximos y mínimos de sus variables de diseño de dimensiones y, a continuación, selecciona una optimización "Estándar" o de "Alta calidad". El método estándar funciona suponiendo que la curva de respuesta objetiva entre los valores límite sea lineal, y calcula sólo la respuesta a estos valores. La optimización de alta calidad tiene en cuenta la posibilidad de una respuesta de segundo orden entre los límites y evalúa un valor medio así como los extremos. La Ilustración 7 muestra las iteraciones de diseño automático realizadas para una suspensión de automóvil en la que el tamaño de los tres redondeos es diferente. En este caso, la restricción del diseño consiste en no superar el límite elástico del material bajo la carga estática.

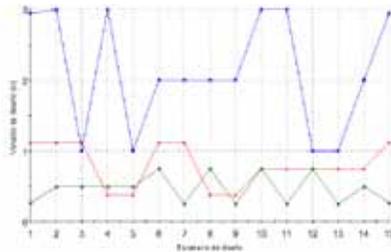
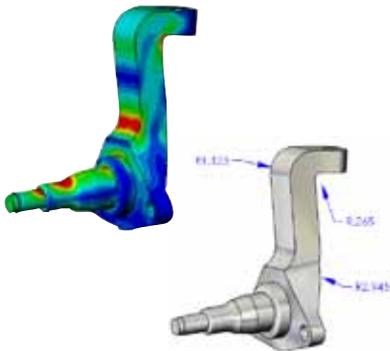


Ilustración 7: Optimización de una forma de husillo con radios variables

El estudio de optimización de SolidWorks Simulation produce un único valor que representa una configuración óptima para cada variable. Para obtener el grado de precisión más grande con este método, el ingeniero debe ajustar el rango de valores para cada variable y ejecutar una segunda optimización o un estudio de sensibilidad. Al hacerlo, el programa de optimización le ofrecerá unos datos rápidos y efectivos para mejorar su producto y alcanzar un diseño óptimo.

## **El mejor momento para ejecutar una optimización**

El ingeniero que lleve a cabo un proceso de optimización sacará el máximo partido de la tecnología realizando la optimización en las fases iniciales del proceso de diseño. A medida que el diseño avanza, tiende a ser cada vez más complejo, y los cambios resultan más difíciles de evaluar e implementar.

En la fase conceptual de un diseño, el ingeniero puede utilizar la optimización para asegurarse de que el diseño básico tenga los materiales, el espesor de pared, la rigidez necesaria y los métodos de cierre adecuados, etc. Los estudios han demostrado que el 80% del costo de un producto se define en el primer 20% del proceso de diseño. Para asegurarse de que un producto competitivo funcione según lo deseado, vale la pena analizar las configuraciones óptimas en las fases iniciales de desarrollo del producto.

A pesar de la importancia de realizar la optimización en las fases iniciales del ciclo de diseño, también tiene su lugar posteriormente en el proceso de diseño, para solucionar problemas o mejorar operaciones individuales.

## **La conexión del CAD y el análisis para la optimización**

Todo lo mencionado anteriormente se refiere a la optimización mediante el FEA, el cual muy a menudo depende del programa de CAD en el que se haya creado el diseño. El sistema de CAD también es muy importante para la optimización, porque el método de creación de modelos, los esquemas de dimensiones y las relaciones incrustadas afectan a la capacidad del diseñador para analizar las alternativas de diseño.

A medida que el ingeniero crea sus modelos, debe tener en cuenta la dimensión para que al reconstruirse el modelo no genere errores y así evitar problemas en el proceso de optimización.

La planeación es vital para la optimización. Un diseñador puede descubrir beneficios en la creación de un modelo de CAD que se va a usar exclusivamente para la optimización y posteriormente completar dicho modelo para detalle y producción. La complejidad de la pieza y la estructura deberán guiarle a la hora de seleccionar las operaciones que se van a estudiar.

---

El ingeniero que lleve a cabo un proceso de optimización sacará el máximo partido de la tecnología realizando la optimización en las fases iniciales del proceso de diseño.

## Sacar el máximo partido de la optimización

Los ingenieros que tengan la intención de usar la optimización como una herramienta para mejorar los diseños y los productos necesitan deshacerse de las ideas preconcebidas acerca de lo que constituye lo "óptimo". Se pueden obtener mejores resultados si se deja que el programa de optimización proporcione información, entendiendo así las diferentes implicaciones de los datos.

El diseñador con una mentalidad abierta encontrará que las herramientas de optimización ofrecen varias posibles soluciones al problema, soluciones que se deben tener en consideración en vista de la rentabilidad y las necesidades de fabricación para obtener el producto más rentable y mejor al final del día.



Ilustración 8: Brazo robótico para la misión Mars Exploration Rover (MER) de la NASA

## Éxito con la optimización

### Alliance Space Systems

Alliance Space Systems, Inc. (ASI), Pasadena, California, diseña y fabrica sistemas mecánicos, robots, estructuras y mecanismos para instrumentos aeroespaciales y científicos. En particular, ASI ha creado los brazos robóticos utilizados en los exitosos rovers *Spirit* y *Opportunity* desarrollados por la NASA para la misión Mars Exploration Rover (MER).

ASI utilizó SolidWorks Simulation para probar y optimizar el diseño de piezas y ensamblajes. "Buscábamos cada uno de los gramos de peso, cada uno de los milímetros de espacio", comenta Brett Lindenfeld, director de ingeniería de ASI. "Puesto que nuestros analistas habían utilizado SolidWorks Simulation para el análisis térmico y de esfuerzos, pudieron respaldar a nuestros diseñadores y colaborar de manera eficaz para optimizar el diseño. El equipo pudo reducir el volumen del brazo robótico en un 20 por ciento, el equivalente en el campo de la automoción al espacio necesario para el motor y la transmisión de un coche, mientras la remodelación se mantuvo en menos del uno por ciento. Fuimos rápidos, además de producir un diseño de mayor calidad y más innovador".

---

Los ingenieros que tengan la intención de usar la optimización como una herramienta para mejorar los diseños y los productos necesitan deshacerse de las ideas preconcebidas acerca de lo que constituye lo "óptimo".

## Kadant Johnson

Kadant Johnson (anteriormente The Johnson Corporation), de Three Rivers, Michigan, diseña y fabrica sistemas avanzados de control de procesos, juntas rotativas, sistemas de sifón y calefacción y componentes relacionados para equipos de transferencia de fluidos y calor utilizados en las industrias de procesos. Alan Ives, director de desarrollo de productos, y su equipo asumieron el reto de optimizar el diseño de una junta rotativa y ensamble de sifón utilizado en la sección de la secadora de máquinas de fabricación de papel de alta velocidad. Ajustar un diseño ya en 3D con cálculos manuales y el software del FEA convencional habría sido una tarea que hubiese consumido mucho tiempo. El equipo necesitaba una nueva solución de ingeniería para ahorrar tiempo y obtener la mayor amortización de la inversión del diseño.

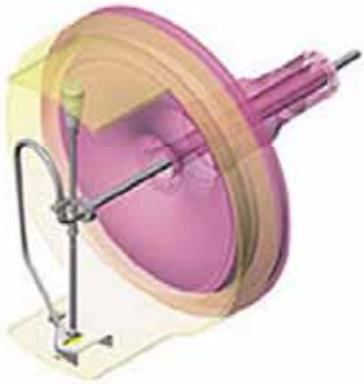


Ilustración 9: Los ensambles de sifón se optimizaron en The Johnson Company

La empresa utilizó SolidWorks Simulation para analizar y optimizar cada una de las piezas componentes y realizó un seguimiento de más conceptos en una cantidad de tiempo razonable, y con menos repeticiones del diseño. El resultado fue un ensamble más resistente, duradero y ligero desarrollado en una fracción del tiempo normal de desarrollo. "Hemos encontrado que SolidWorks Simulation es una solución muy robusta. Nos ha ayudado a conseguir todos nuestros objetivos de diseño a tiempo", explica Ives. Consiguieron una reducción del 40 al 50 por ciento del peso en cada uno de los tres proyectos y pudieron correlacionar la respuesta prevista con las pruebas físicas. "Dicha reducción es el resultado directo de la utilización de SolidWorks Simulation para optimizar el diseño", añade.

## Conclusión

La optimización del diseño puede incrementar el valor de un producto mejorando su rendimiento en su entorno operativo y reduciendo el costo de producción mediante la reducción de la cantidad de material utilizado para fabricarlo. Al utilizar la optimización, el ingeniero de diseño incrementará sus conocimientos acerca del comportamiento de su producto y mejorará el diseño.

Oficina Corporativa  
Dassault Systèmes  
SolidWorks Corp.  
300 Baker Avenue  
Concord, MA 01742 USA  
Tel.: +1-978-371-5011  
info@solidworks.com

Oficinas en Latinoamérica  
Oficina Central en Brasil: +55 11 3186 4150  
Oficina en México: +52 (55) 5211 8844  
Oficina en Argentina: +54 911 3621 2379  
Email: infola@solidworks.com

