

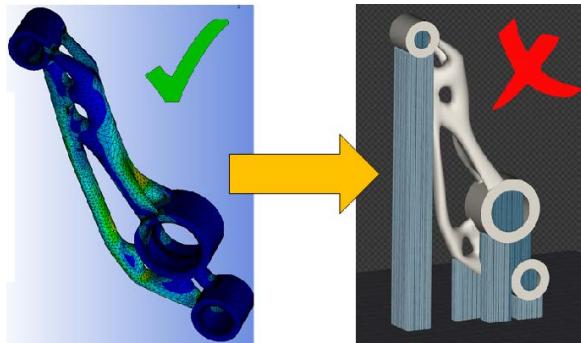
Diseño para FA metálica: guía para principiantes

La fabricación aditiva (FA) nos proporciona toda la libertad para crear componentes de formas libres y elementos complejos, directamente desde CAD y sin necesidad de costosas herramientas. Estos diseños serían muy poco prácticos, si no imposibles, de fabricar con los métodos convencionales. Los componentes aditivos son a menudo más ligeros, más eficientes y más fáciles de adaptar a la aplicación.

Sin embargo, esta flexibilidad no proporciona toda la libertad de diseño para crear cualquier forma posible. Al menos, si queremos fabricar la pieza a un precio adecuado.

Como todos los procesos de fabricación, la tecnología de FA tiene sus ventajas y limitaciones.

Por ejemplo, las piezas de fusión láser de capas de polvo diseñadas con elementos en voladizo, es decir, construidas sobre polvo sin fundir, podrían necesitar soportes desechables para hacer posible su construcción. Estos soportes aumentan el tiempo de construcción, consumen más materiales y requieren post-proceso adicional para retirarlos.



Las piezas optimizadas funcionalmente que no han sido diseñadas para FA podrían necesitar gran cantidad de soportes, por lo que su fabricación no sería eficiente.

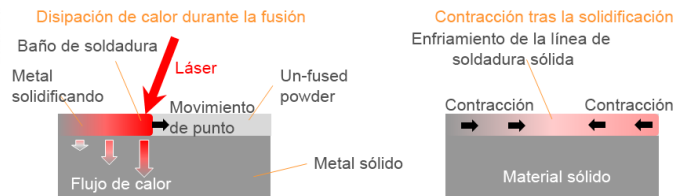
El diseño para FA (DfAM) es, por tanto, crucial para producir piezas que combinen un rendimiento excepcional con una fabricación aditiva práctica y rentable. Relación entre optimización funcional y diseño de procesos en el artículo [¿La optimización topológica es realmente óptima?](#)

En este artículo se analizan los principales factores que influyen en la tasa de éxito y productividad de las construcciones de FA, y se incluyen algunas directrices importantes que deben seguir los diseñadores para crear componentes de producción eficientes.

Factor n.º 1: tensión residual

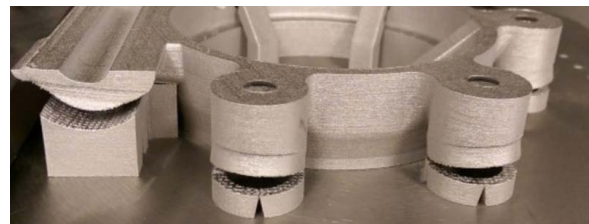
La tensión residual es un resultado natural del calentamiento y enfriamiento rápido propio de los procesos de fusión láser de capas de polvo. Las capas se crean desplazando el láser enfocado sobre la mesa, que funde la capa de polvo superior sobre la capa anterior. El calor pasa del baño de soldadura al metal sólido de la capa inferior, donde el metal fundido se enfría y se solidifica. Este proceso se realiza muy rápidamente, en microsegundos.

A medida que la nueva capa metálica se solidifica y se enfría sobre la capa inferior, esta se contrae. La nueva capa metálica está limitada por estructura sólida inferior, y esta contracción produce las fuerzas de tensión entre las capas.



Fusión láser de una nueva ruta de soldadura encima de un sustrato sólido (izquierda). Según avanza sobre el vector de escaneado, el láser funde el polvo que, a continuación, se enfría, principalmente a través del dissipador de calor hacia el metal sólido de abajo. Una vez solidificado, el metal se contrae al enfriarse (derecha), y genera fuerzas de tensión entre este y la capa inferior.

La tensión residual puede ser destructiva. A medida que se añaden las capas una sobre otra, la tensión acumulada puede distorsionar la pieza, que podría curvarse en los bordes y soltarse de los soportes:



En casos más extremos, la tensión podría superar la resistencia de la pieza y provocar grietas en el componente o distorsionar la placa de montaje:



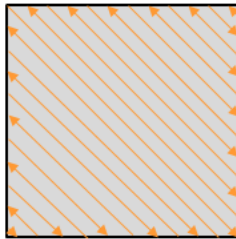
Estos efectos son más pronunciados en piezas con grandes secciones transversales, ya que estas suelen tener líneas de soldadura más largas y, por tanto, más distancia sobre la que pueden actuar fuerzas de tensión.

Minimizar la tensión residual

Una forma de evitarlo sería modificar la estrategia de escaneado para elegir un método que se adapte mejor a la geometría de la pieza. Normalmente, para rellenar el centro de la pieza, actividad denominada 'mallado', se mueve el láser hacia atrás y adelante. El patrón elegido influye en la longitud de los vectores de escaneado y, por consiguiente, en el nivel de tensión que, posiblemente, se acumulará en el componente. Las estrategias con vectores más cortos generan menos tensión residual:

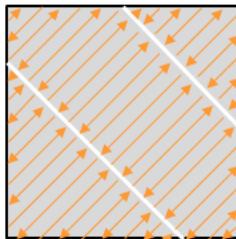
Estilo de mallado Meandro

- 67° de rotación después de cada capa
- Frecuencia de actualización más alta
- Aumenta la tensión residual
- Adecuado para piezas pequeñas y finas



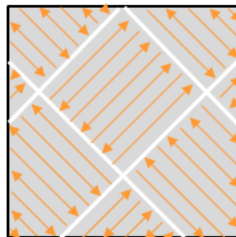
Patrón de mallado Franjas

- Distribución homogénea de la tensión residual
- Adecuado para piezas grandes
- Frecuencia de actualización más alta que en el patrón Ajedrez



Estilo de mallado Ajedrez

- Las capas están divididas en islas de 5 por 5 mm
- 67° de rotación del patrón completo y cada isla después de cada capa
- Distribución homogénea de la tensión residual
- Adecuado para piezas grandes



Imágenes de arriba: estrategias de escaneado y su idoneidad para distintos tipos de piezas. Las dos estrategias más comunes son 'meandro' para piezas con paredes finas (también denominada barrido), y 'franjas' para piezas con secciones más gruesas. Las estrategias 'Ajedrez' o 'Isla' también pueden ser efectivas. El escaneado de Franjas y Ajedrez mantiene la longitud de las líneas de escaneado más cortas individuales para reducir la acumulación de tensión residual.

También se puede girar la orientación de los vectores de escaneado entre una capa y la siguiente, de forma que las tensiones no estén alineadas en el mismo plano. Normalmente, se utiliza la rotación de 67 grados entre cada capa para asegurar que existan varias capas antes de repetir exactamente la dirección de escaneado.

Otra técnica consiste en calentar la placa de montaje para reducir la tensión residual, aunque también es posible aliviar la tensión acumulada mediante otros tratamientos térmicos post-proceso.

Consejos de diseño de tensión residual

Siempre que sea posible, procure eliminar la tensión residual durante el diseño:

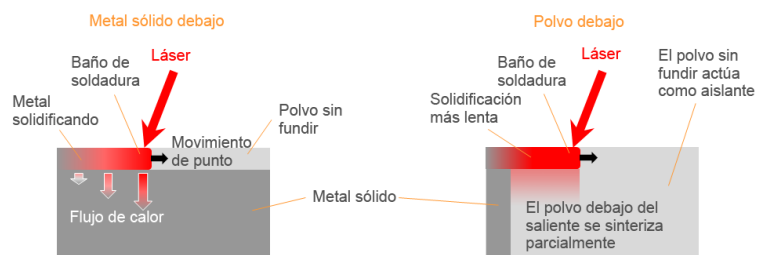
- Evite **grandes áreas de fundición ininterrumpida**
- Preste atención a los **cambios en las secciones transversales**
- Las **construcciones híbridas** incorporan una placa de fabricación más gruesa en la pieza de FA
- Use **placas de construcción más gruesas** si cree que la tensión va a ser elevada
- Seleccione una **estrategia de escaneado adecuada**

Factor n.º 2: orientación

En cualquier proceso aditivo, la dirección de construcción se define siempre en el eje Z, es decir, verticalmente desde la placa de montaje. La orientación de construcción no siempre es la orientación de uso general. Debe elegirse para conseguir la construcción más estable con el mínimo material de soporte.

Voladizos y proceso de fundición

En los procesos de fusión de capas de polvo, donde se construyen formas capa a capa, la relación entre ellas es importante. A medida que se funde cada capa, depende de la capa inferior para obtener el soporte físico y una ruta para disipar el calor.



La fusión sobre metal sólido acelera el enfriamiento (izquierda). Cuando la fusión se realiza en una zona saliente encima de polvo sin fundir, el enfriamiento es mucho más lento, por tanto, puede acumularse material adicional adherido a la base del componente.

Cuando el láser funde el polvo en una zona en la que la capa inferior es de metal sólido, el calor pasa del baño de soldadura a la estructura de abajo, que se funde parcialmente y crea una soldadura resistente. El baño de soldadura también se solidifica rápidamente al retirar el láser, ya que el calor se disipa eficazmente.

Cuando elementos del componente sobresalen, al menos en una parte de la zona inferior, el baño de soldadura tendrá polvo sin fundir. El polvo tiene una capacidad de disipación

del calor muy inferior al metal sólido, por tanto, el calor del baño de soldadura se mantiene más tiempo y genera un mayor sinterizado del polvo circundante. En consecuencia, puede acumularse material adicional adherido a la base de las zonas de voladizo, por lo que los voladizos pueden tener superficies deformadas y un acabado rugoso.

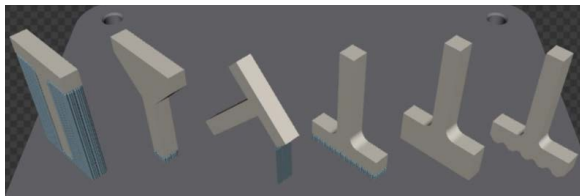
Opciones de orientación

En términos generales, los voladizos de menos de 45 grados respecto a la placa de fabricación necesitan soportes.

Las superficies en voladizos se denominan también “down-skins”. Generalmente, presentan un acabado de superficie más rugoso que las paredes verticales y las superficies orientadas hacia arriba. Este efecto se produce por el sinterizado parcial del polvo en la parte inferior del voladizo, que retrasa el enfriamiento del baño de soldadura.

Normalmente, las piezas pueden construirse en varias orientaciones. La opción idónea de orientación es una geometría con auto-soporte, para reducir los costes y el post-proceso.

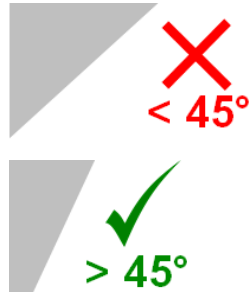
“El estudio de la orientación de construcción en la fase de diseño es uno de los principios fundamentales de DfAM”



Generalmente, un componente puede construirse en varias orientaciones, por tanto, la elección de la orientación correcta tiene un gran impacto en la cantidad de material de soportes desperdiciada y el post-proceso necesario.

Por la izquierda:

- Grandes salientes que requieren gran cantidad de material de soporte (mostrado en azul)
- Diseño modificado con material cónico adicional para reducir soportes, que aumenta la masa de la pieza y, posiblemente, requiere mecanizado post-proceso / electroerosión por hilo.
- En ángulo a 45 grados: principalmente con auto-soporte, salvo un voladizo mínimo (vea los detalles más abajo). Las capas hacia abajo y hacia arriba presentan distinta rugosidad en la superficie
- Invertida con soportes cortos debajo de la cara inferior: menor tiempo de construcción, pero es necesario acabado post-proceso en la cara apoyada en los soportes

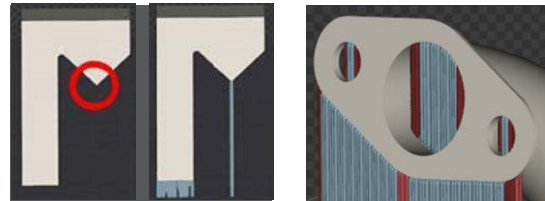


- Fijación sólida a la mesa con sobreespesor permitido para corte por electroerosión: la tensión residual puede suponer un problema
- Un enfoque similar, pero con zonas de fijación más pequeñas para reducir la acumulación de tensiones: es, probablemente, el diseño más efectivo desde un punto de vista de fabricación
- Una alternativa definitiva (no se muestra) es apoyar la pieza plana sobre la placa. Se reduce la altura de fabricación, pero también se limita el número de piezas que se pueden agrupar en la placa de fabricación y es posible que también aumente la tensión residual.

Se recomienda evaluar una serie de orientaciones de construcción en el software de preparación al iniciar el proceso de diseño del componente para decidir cuál es la más adecuada. Una vez tomada la decisión, puede detallarse el diseño sobre la base adoptada.

Voladizo mínimo

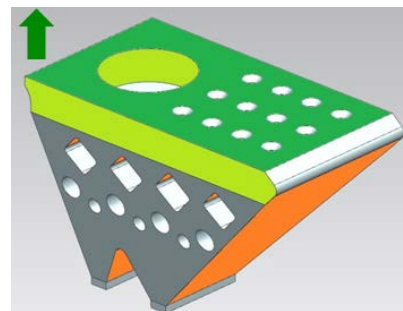
El voladizo mínimo son las áreas de la pieza que no están conectadas a la capa inferior. Estas necesitan soporte para sujetarlas durante la construcción. Si se inicia la construcción sin una estructura de soporte debajo, es posible que el dosificador desplace la primera capa construida al rellenar la siguiente, provocando una construcción fallida.



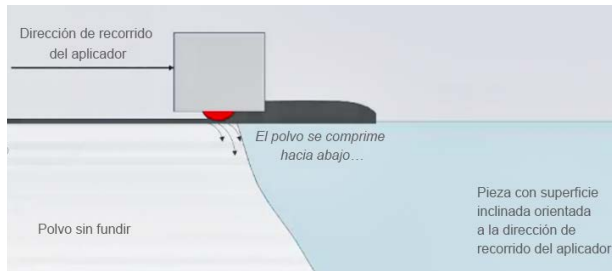
El voladizo mínimo es evidente en el ejemplo de la ilustración anterior. También pueden aparecer encima de los orificios laterales y angulares, cuando cruzan el borde de la pieza (mostrado arriba). El objetivo debe ser un diseño sin voladizo mínimo siempre que sea posible, para reducir el número de soportes.

Orientación de las piezas

Como se ha explicado anteriormente, las capas hacia abajo tienden a presentar un acabado de superficie inferior. Para producir elementos detallados con la máxima precisión, la mejor opción es orientarlos en la superficie superior de la pieza, es decir, con la capa hacia arriba. Los elementos detallados insertados en capas hacia abajo pueden sufrir una pérdida de definición.



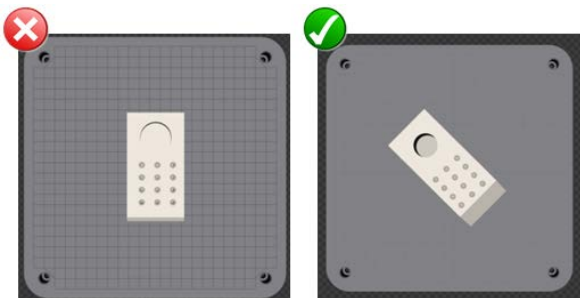
También hay que considerar la orientación del componente respecto al dosificador. Cuando el aplicador esparce el polvo por la placa para formar una nueva capa, este se va compactando progresivamente debajo del aplicador para crear una nueva capa con más densidad. Esto crea una onda de presión en la mesa del polvo a medida que se compacta el material. Este movimiento actúa sobre las superficies del componente inclinadas hacia el aplicador, y presiona el polvo y empuja hacia arriba el borde frontal del componente. Esto puede hacer que la pieza bloquee el aplicador y falle la construcción. Este efecto puede reducirse con un aplicador flexible.



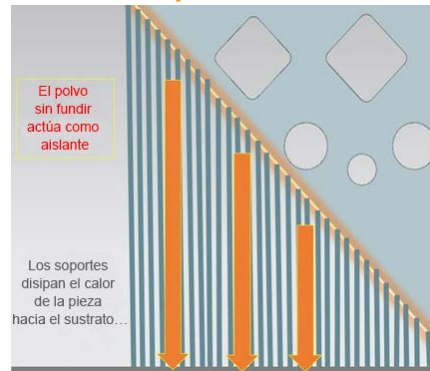
Interacción entre el dosificador y el borde inclinado de un componente.

Por tanto, siempre que sea posible, los soportes y los bordes inclinados deben orientarse alejados de la dirección del aplicador. Al girar la pieza, la onda de presión actúa sobre la pieza en un ángulo oblicuo, por lo que se reduce la posibilidad de distorsionarla.

Si no es posible cambiar la alineación rotatoria, o si la pieza gira de forma simétrica, es necesario utilizar soportes y, posiblemente un mecanizado post-proceso en la cara afectada.



Factor n.º 3: soportes



Como se ha explicado anteriormente, no se recomienda depender de los soportes para solucionar problemas de orientación. Un aumento del tiempo de construcción y post-proceso puede ser tolerable durante la construcción de un prototipo, pero es inaceptable para la producción de piezas en FA. Una dependencia excesiva de los soportes indica una geometría de pieza 'marginal', con posibles implicaciones en el proceso de fabricación.

Finalidad de los soportes

Aunque el objetivo es reducir al mínimo el uso de soportes en el diseño, no siempre es posible prescindir totalmente de ellos. Los soportes tienen tres funciones principales:

Material aislado: los soportes se emplean para 'anclar' el material que no está conectado a las capas anteriores (p. ej., si el saliente tiene menos de 45° respecto a la placa de fabricación o la pieza es un voladizo mínimo). Se recomienda integrar las estructuras de soporte en el diseño del componente.

Tensión residual: se debe mitigar la tensión residual durante el diseño de la construcción, evitando aristas afiladas y grandes áreas de material construido directamente sobre la placa de montaje. Si esto no es posible, se colocan soportes para contrarrestar la tensión de la pieza y evitar que el material se desprenda de la placa de fabricación. No se recomienda para construcciones de producción.

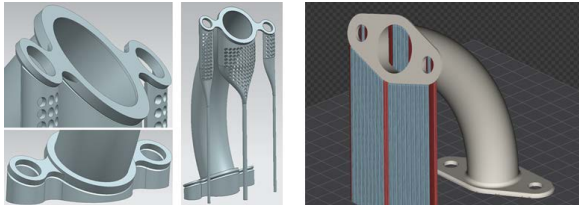
Disipador de calor: el polvo sin fundir es un aislante. Los soportes disipan parte del calor de las áreas de capas hacia abajo, para evitar que se quemen, derritan, distorsionen o decoloren, especialmente en las capas hacia abajo orientadas en la dirección del dosificador. Para reducir estos efectos, gire la pieza respecto al aplicador.

Consejos de diseño de orientación

- La orientación de construcción de una pieza **diseñada** para FA debe ser **evidente**
- Los diseñadores tratarán de crear diseños con **auto-soporte**
- El **éxito de la construcción** es lo más importante
- La **tensión residual** y el **acabado de superficie** son también factores cruciales afectados por la orientación
- La orientación influye en el **tiempo de construcción y los costes**
- A veces, las **geometrías complejas no son fáciles de orientar**: a menudo existe un conflicto entre calidad de la superficie, detalles, tiempo de construcción/coste y estructuras de soporte
- Los diseñadores deben evaluar los factores implicados para definir la orientación

Soportes principales y secundarios

Los soportes principales se desarrollan en el entorno CAD junto con el componente y se diseñan como estructuras desechables que se retiran al terminar la construcción. Los soportes secundarios se generan en el software de preparación de construcción.



Soportes principales, desarrollados en CAD (izquierda) y soportes secundarios, desarrollados en el software de preparación de construcción (derecha).

Los soportes principales sólidos proporcionan mayor control. Pueden importarse en el software de preparación de construcción (como STL) o diseñarse con el cuerpo principal de la pieza. Pueden derivarse mediante parámetros con un control de revisión completo. También es posible realizar un análisis de tensión de elementos finito. Además, se pueden diseñar y simular soportes para disipar el calor de forma controlada.

Los soportes secundarios se crean en el software de preparación de construcción, pero sin trazabilidad ni repetibilidad. Si cambia el diseño de la pieza, puede ser necesario volver a crearlos.



Tipos de soporte secundario, generados en el software de preparación de fabricación. Los soportes deben seleccionarse para minimizar el tiempo de construcción y los costes de post-proceso.

El diseño de soportes híbrido aprovecha las ventajas del diseño CAD y el Software de preparación de construcción para obtener la solución óptima.

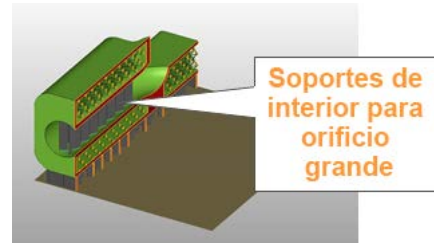
Esquinas redondeadas y chaflanes

Un saliente de 0,3 – 1 mm podría auto-soportarse, pero no se recomienda. Los salientes de más de 1 mm deben rediseñarse o utilizar soportes necesariamente. Pueden añadirse esquinas redondeadas o chaflanes a los componentes para eliminar salientes (véase a la derecha).

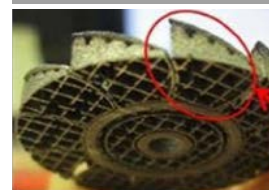


Problemas de retirada de soportes

Los soportes colocados dentro de agujeros y tubos pueden ser difíciles de retirar y podrían necesitar mecanizado posterior. Igualmente, los soportes demasiado pequeños pueden presentar dificultades. Si la geometría de la pieza es más débil que el soporte, existe el riesgo de dañar la pieza durante el post-proceso.



Soportes de interior para orificio grande



La pieza es demasiado pequeña y frágil para sujetarla mientras se retira el material de soporte

Los soportes pueden ser difíciles de retirar sin dañar la pieza.

Ejemplo de orientación para reducir los soportes al mínimo

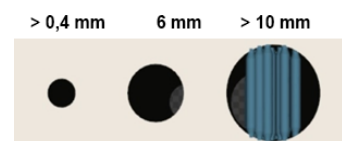
✓ Construcciones de orientación vertical directamente en la placa de montaje con material adicional para mecanizado. Orificio con más probabilidad de ser circular. Soportes mínimos y alta tasa de éxito.

! La orientación en ángulo puede reducir el volumen de los soportes necesarios y evita que el material queda atrapado. Puede producir un orificio elíptico.

✗ La orientación horizontal ocupa más espacio y es la que más soportes requiere. Los soportes dentro del agujero son difíciles de retirar.

Detalles horizontales: soporte o rediseño

Los orificios laterales que sobresalen de las caras laterales de las piezas también pueden necesitar soportes. El tamaño mínimo de agujero que puede construirse en la mayoría de las máquinas láser de capas de polvo es 0,4 mm.

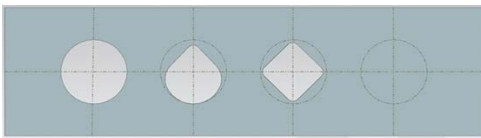


Distorsión en un agujero lateral grande

Los agujeros y tubos con un diámetro de más de 10 mm requieren soportes en el centro, por tanto, podría considerarse un cambio de diseño. Los agujeros entre estos tamaños pueden fabricarse sin soportes, pero pueden experimentar alguna distorsión en las superficies de capas hacia abajo, debido al enfriamiento lento del baño de soldadura encima del saliente.

Puesto que es improbable que los orificios horizontales tengan una redondez perfecta, a menudo compensa modificar su forma para evitar el uso de soportes. En algunos casos, una forma de lágrima o diamante sería suficiente para la pieza terminada. Ambos perfiles pueden utilizarse para canales de fluidos y otros usos hidráulicos similares, no obstante, una forma de diamante es más resistente a tensiones de presión.

En otros casos, donde es imprescindible un orificio perfectamente redondo, es necesario realizar un mecanizado post-proceso. Los diamantes proporcionan un orificio piloto simétrico para el fresado y son más adecuados que las formas de lágrima en este aspecto. En muchos casos, es más práctico rellenar el orificio y mecanizarlo partiendo de una pieza sólida.



Opciones para agujeros laterales: construya según tamaño y admita cierta distorsión, cree formas de lágrima o diamante con auto-soporte e incluya una reserva de espesor para mecanizado o para mecanizar la pieza sólida.

Consejos de diseño de soportes

- **Cambie el modelo de los agujeros mayores de 10 mm** a una forma de diamante con auto-soporte
- Use radio en chaflán para **evitar soportes largos**
- **Elimine las áreas salientes de menos de 45°** respecto a la placa de montaje
- Gire las capas hacia abajo **alejadas de la dirección del aplicador**
- **Mecanice las piezas pequeñas** después de la construcción
- **Construya directamente en la placa de montaje** con material adicional para mecanizado
- Elimina las áreas de **capas hacia abajo en horizontal**

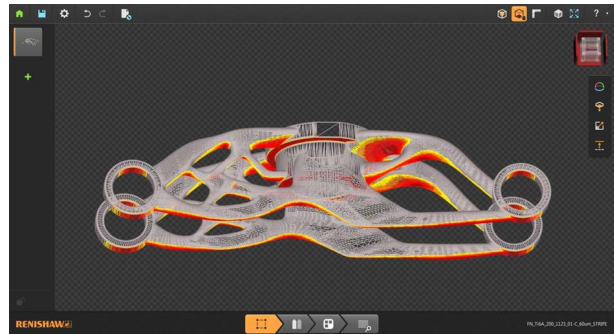
Factor n.º 4: optimización

La optimización topológica y el diseño generativo son cada vez más utilizados para diseñar piezas eficientes. Los entramados también pueden aportar ventajas de ahorro de peso. Por su capacidad para producir piezas complejas, la FA es idónea para construir estos diseños.

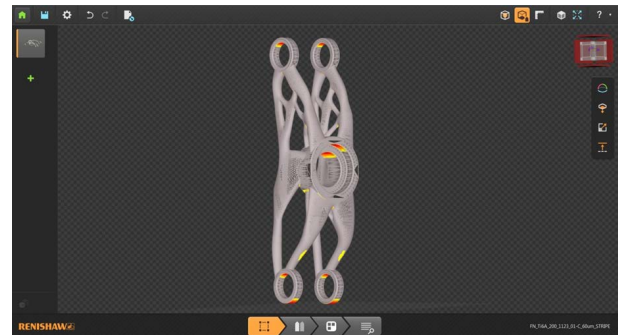


El principal objetivo de estas técnicas de optimización es mantener la resistencia y rigidez estructurales eliminando el material innecesario. A menudo, las piezas optimizadas adquieren un aspecto más complejo y orgánico. Hay que tener en cuenta que una pieza optimizada funcionalmente podría no ser adecuada para FA, especialmente en cuanto a la orientación de construcción.

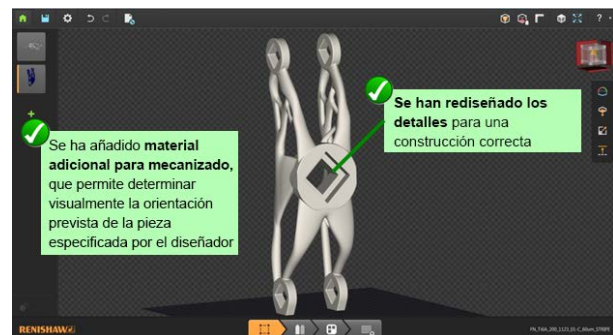
Por ejemplo, es evidente que para construir esta pieza en orientación horizontal se necesitaría una gran cantidad de soportes en las zonas salientes resaltadas en rojo.



Al cambiar la orientación de la pieza verticalmente, se reducen en gran medida las áreas que necesitan soporte. Detalles, como los orificios circulares, requieren soporte o rediseño. También hay que prestar atención al punto de unión de los ángulos de las barras de soporte y el radio de las curvas.



En la reevaluación de la pieza en la fase de diseño, se ha tenido en cuenta la orientación de construcción, y queda claro que solo hay una orientación para esta pieza. Detalles como los orificios laterales se están rediseñando ahora para su mecanizado:



Consejos de diseño de optimización

- Siga las directrices de espesor mínimo
- Identifique las superficies cruciales para mecanizado
- Evalúe la colocación y retirada de los soportes o cambie el diseño para no tener que usarlos
- Diseñe en base a una orientación y modifique los detalles según corresponda
- Verifique si es posible realizar el acabado de superficie necesario

Los diseñadores quizá tengan que combinar distintas técnicas: optimización topológica, piezas huecas, entramados (donde proceda), para conseguir un diseño eficiente. La orientación debe ser un factor crucial tras el ajuste, la forma y la función.

Resumen

La FA proporciona una gran libertad de diseño para fabricar piezas eficientes de alto rendimiento. No obstante, es imprescindible adaptar las características del proceso de FA para construir las piezas de producción con el mínimo coste y desperdicio de material.

La integración del enfoque DfAM en el diseño aumenta el éxito de la construcción y hace más rentables los procesos de FA. Necesariamente, los diseñadores tendrán que ser más creativos y mejorar sus conocimientos sobre el proceso de fabricación aditiva si quieren ser más competitivos.

Acerca del autor

Marc Saunders, director de aplicaciones de FA

Marc Saunders tiene más de 25 años de experiencia en fabricación de alta tecnología. En puestos anteriores en Renishaw, desempeñó un papel fundamental en el desarrollo de la galardonada plataforma de mecanizado automático RAMTIC de la empresa, y ha facilitado soluciones completas de metrología a clientes del sector aeronáutico.

Marc gestiona la red global de Centros de Soluciones de fabricación aditiva de Renishaw, que permite a los clientes interesados en desarrollar la FA como proceso de producción obtener experiencia práctica con la tecnología antes de comprometerse con un nuevo proyecto.

www.renishaw.es/additive

