

- amixon® whitepaper -

Pulvimetalurgia y viabilidad económica de la  
fabricación aditiva

# Para una impresión 3D preparada para el futuro: tecnologías innovadoras de procesamiento de polvo metálico



## INTRODUCCIÓN

# Hacia una impresión 3D rentable

Los procesos de fabricación aditiva se encuentran en un punto de inflexión. Todo el mundo habla de esta tecnología y funciona. Y sin embargo: la impresión 3D sigue siendo vista por gran parte de la industria como una tecnología del futuro y no como un modelo de producción realista y rentable del presente.

Las ventajas de la impresión 3D son innegables: Más libertad de diseño, amplias opciones para la "producción bajo demanda" y la creación de prototipos, personalización dimensional y menos desperdicio de material. Las empresas del sector de la producción coinciden en que estos son buenos requisitos para un mercado volátil. La tecnología 3D tiene el potencial de cambiar radicalmente la naturaleza de la fabricación.

Sin embargo, a pesar de este optimismo, de un aumento relativamente constante de la aceptación y de los continuos avances tecnológicos, la impresión 3D aún no ha logrado un gran avance. Los procesos de fabricación convencionales, como el moldeo por inyección y el mecanizado, siguen dominando la producción. No hay indicios de que la impresión 3D vaya a desafiar seriamente su posición.

La razón de la lenta curva de desarrollo de la impresión 3D es fácil de encontrar: Los costes de producción son demasiado elevados. Décadas de investigación y conocimientos han optimizado los procesos de fundición, moldeo y mecanizado en este sentido. La fabricación aditiva, en cambio, carece de conceptos y medidas para controlar los costes.

Este libro blanco analiza a continuación los obstáculos que se interponen en el camino de la impresión 3D rentable. Solo las respuestas adecuadas a estos obstáculos sentarán en última instancia las bases del progreso sostenible de la impresión 3D y, en última instancia, de su éxito en la industria del futuro.





ACERCA DE AMIXON

# Tecnología de mezclado industrial made in Germany

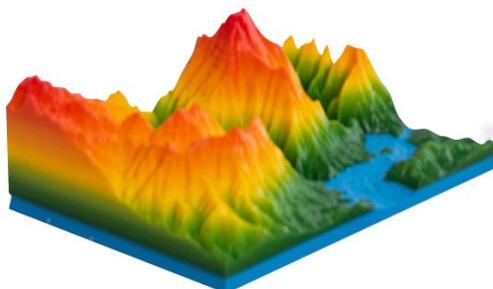
Desde hace casi 40 años, amixon® es líder del mercado en el desarrollo y la producción de sistemas de mezcla de alta precisión para los requisitos higiénicos especialmente exigentes de la industria de transformación. Las mezcladoras industriales amixon® son de fabricación alemana, están fabricadas en acero inoxidable, cumplen las normas de higiene más estrictas y están equipadas con una innovadora tecnología de mezcla. Cada máquina es una solución personalizada para sus requisitos individuales en el procesamiento de polvos metálicos, cerámicos y poliméricos utilizados en la fabricación aditiva.





# Contenido

1. Factores de coste en la fabricación aditiva	6
1.1. El equipamiento	6
1.2. Población activa	7
1.3. Material	8
2. El reto de la rentabilidad en la producción de polvo	9
2.1. Requisitos de distribución granulométrica y morfología	9
2.2. Propiedades reológicas	10
2.3. Reutilizar el polvo metálico sobrante	11
3. La importancia de la tecnología de mezclado para una fusión de lechos de polvo rentable	12
3.1. El vaciado completo reduce la pérdida de producto y aumenta la Trazabilidad de la mezcla	12
3.2. Homogeneidad y condicionamiento	13
3.3. Soluciones para el reprocesamiento y el éxito Reutilización de polvos metálicos	15
4. Conclusión	16



amixon® secador mezclador cónico y reactor cónico  
AMT

## RESUMEN

# El polvo metálico y la economía de la impresión 3D

La fusión de lecho de polvo por láser (L-PBF) es un proceso de fabricación aditiva que pertenece al grupo de procesos de fusión por haz. En este proceso, se fusionan varias capas de polvo metálico mediante fusión selectiva por láser para formar una réplica exacta de modelos digitales en 3D. El potencial de L-PBF es indiscutible. Como tecnología de la "Industria 4.0", este proceso de fabricación aditiva se considera con visión de futuro, ya que permite la producción de piezas en función de las necesidades y productos en masa personalizados. Sin embargo, a pesar de sus numerosas ventajas y de casi una década de bombo y platillo, la impresión 3D sigue siendo una tecnología de nicho. La razón: el proceso es demasiado lento y los costes de los materiales son demasiado elevados. Esto dificulta el uso de la impresión 3D en un entorno industrial amplio.

Este libro blanco de amixon® aborda estos obstáculos. Explica los antecedentes y analiza las posibilidades de una impresión 3D sostenible y rentable mediante la fusión de lecho de polvo. ¿El mayor reto? Los elevados costes de inversión de la propia impresora 3D. Sin embargo, los costes de material también son un factor clave a la hora de evaluar la viabilidad económica del proceso de impresión 3D. Los costes de material también son un quebradero de cabeza para los productores de los polvos metálicos necesarios para la L-PBF, ya que la rentabilidad también juega un papel importante para ellos. La innovadora tecnología de mezclado de amixon® puede ayudar en este sentido. Ayuda a reducir los costes de material, haciendo que este proceso de fabricación aditiva sea económicamente viable para una gama más amplia de industrias.

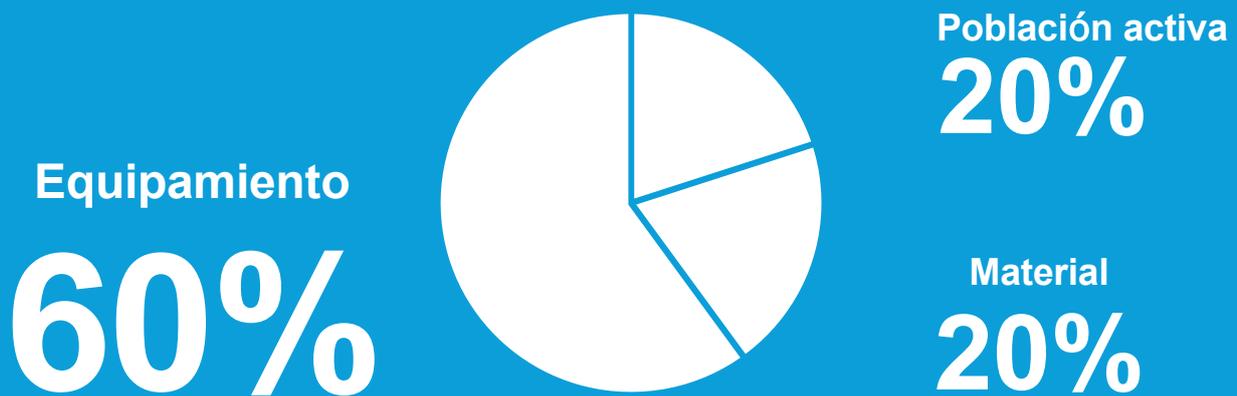


# 1

## Factores de coste en la fabricación aditiva

Las propias impresoras 3D, el personal formado y los materiales necesarios para que el proceso se desarrolle sin contratiempos tienen un coste elevado.

### Los factores de coste en de la fabricación aditiva de un vistazo:



Fuente: (Bono s.f.)

#### 1.1 El equipo

Se calcula que el equipamiento representa el 60% de los costes y es el principal factor de coste.<sup>1</sup> La compra de una impresora 3D de gran tamaño y precisión cuesta algo menos de un millón de euros. Además, hay que tener en cuenta el 10% del precio de compra para gastos de mantenimiento y el 12% para piezas de repuesto.<sup>2</sup>

Además, los procesos de impresión 3D a gran escala requieren una infraestructura estable para el transporte de materiales y el diseño. También puede haber costes adicionales de refrigeración, manipulación y acabado de los componentes impresos, y el funcionamiento de una impresora 3D consume bastante más energía que los métodos de fabricación convencionales<sup>3</sup>.

Los costes globales deberían reducirse a largo plazo a medida que la tecnología siga avanzando. Sin embargo, los obstáculos financieros siguen siendo elevados, sobre todo para las empresas más pequeñas, y la impresión 3D es una tecnología que promete un escaso retorno de la inversión.

## 1.2 Población activa

Alrededor del 20% de los costes se destinan a personal formado.<sup>4</sup> Estos costes son muy similares a los de los métodos de fabricación tradicionales. Sin embargo, la impresión 3D funciona de forma comparativamente lenta y requiere personal especialmente formado para garantizar muy buenos diseños, realizaciones, acabados y controles de calidad fiables de los componentes 3D.

Por ejemplo, los conocimientos de CAD en 3D por sí solos no bastan para un "diseño para fabricación aditiva" (DAFM) eficaz. El DAFM requiere conocimientos especializados para entender cómo las estructuras impresas en 3D pueden ser autoportantes. Los empleados formados en DAFM pueden, en última instancia, crear renderizados en 3D que sean autoportantes. Se elimina la impresión de material de soporte adicional y los consiguientes costes adicionales de tiempo, procesamiento y material.



Dado que la impresión 3D es un proceso automatizado, con el tiempo se producirá una reducción de los costes laborales. Esto se debe a que cada vez se utilizan más tecnologías digitales y robóticas en todo el sector. Los avances tecnológicos acelerarán aún más el proceso y el personal aprenderá los conocimientos necesarios para llevar a cabo la impresión 3D de forma eficiente en mano de obra y costes.

### 1.3 Material

Se calcula que las inversiones en materiales "sólo" suponen el 20% de los costes totales.<sup>5</sup> Sin embargo, el control de costes y la optimización de procesos tienden a centrarse más en el ahorro en este segmento y menos en personal y equipos. La razón: los costes de material pueden calcularse de antemano. Por ejemplo, el volumen de polvo metálico necesario puede determinarse fácilmente.

Por otra parte, las inversiones necesarias para el funcionamiento de los equipos, los costes de mantenimiento, el consumo de energía y la garantía de calidad no pueden medirse con precisión en un primer momento. Es más, en el caso de la colaboración recurrente entre clientes finales y productores de polvo metálico, estos últimos pueden verse presionados en las negociaciones de costes. Una estrategia que no es tan fácil de aplicar cuando se calculan los costes de los equipos y la mano de obra.

Esta concentración en los costes de material pone a los fabricantes de polvos metálicos en una situación difícil, ya que también tienen que hacer frente a los retos de una producción rentable. Estas no son buenas condiciones para un mercado de impresión 3D autorregulado y orientado al progreso. El capítulo 2 de este libro blanco está dedicado a los retos que hacen que la producción de polvos metálicos sea tan costosa.

**El control de costes y la optimización de los procesos se centran más en los costes de material y menos en el ahorro de personal y equipamiento. Esto se debe a que los costes de material pueden calcularse por adelantado fácil de calcular.**



# 2

## El reto de la rentabilidad en la producción de polvo

De la cerámica a los polímeros: Hay muchos materiales que pueden utilizarse para producir polvos metálicos para la fusión de lechos de polvo. También existen varias técnicas de atomización de materias primas para producir polvo metálico. Nos centraremos en las técnicas que utilizan la atomización con gas. Uno de los métodos más comunes para producir polvo metálico para la fabricación aditiva.

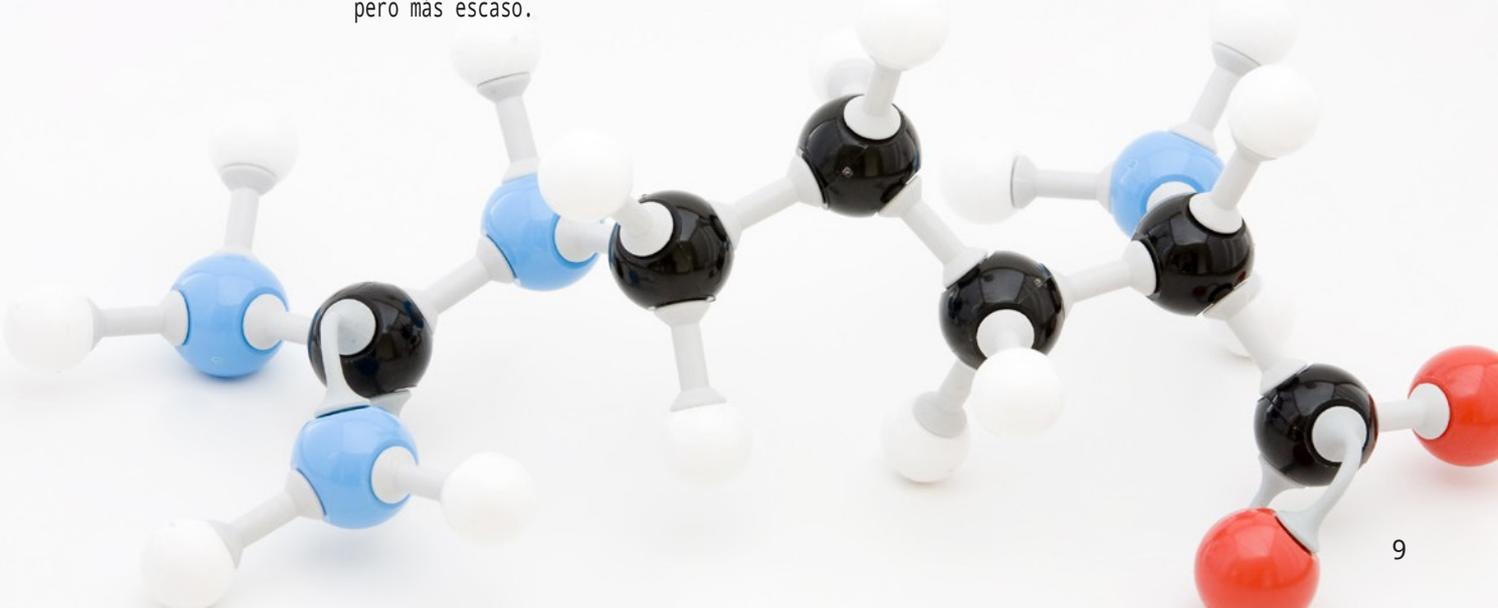
A diferencia de la impresión 3D, la pulvimetalurgia se basa en muchas décadas de experiencia y optimización de procesos. Sin embargo, con el creciente interés por las ventajas de la impresión 3D, la demanda de polvos metálicos de alta calidad también ha evolucionado positivamente. En la última década, ha aumentado nada menos que entre un 10 % y un 40 % al año.<sup>6</sup> Para satisfacer esta creciente demanda, los pulvimetalúrgicos se enfrentan a grandes retos en el funcionamiento rentable de las instalaciones de producción.

### 2.1 Requisitos de distribución del tamaño de las partículas y morfología

El proceso de atomización con gas da lugar a partículas de diferentes formas y tamaños, desde menos de 1  $\mu\text{m}$  hasta 500  $\mu\text{m}$ . Los porcentajes varían en función del fabricante, pero en la mayoría de los casos la atomización con gas produce más partículas de polvo grandes y gruesas y menos material fino. El polvo metálico se tamiza en lotes de tamaño y forma similares antes de procesarlo y, finalmente, envasarlo.

Para imprimir componentes estables con buenas propiedades de carga, la fusión de capas de polvo requiere un polvo metálico lo más esférico posible y con un tamaño de partícula uniforme. Además, la mayoría de los procesos de fusión de lecho de polvo requieren un polvo metálico extremadamente fino para poder imprimir con eficacia. Las partículas con un tamaño de alrededor de 10  $\mu\text{m}$  son la opción preferida. Las partículas de mayor tamaño son prácticamente inutilizables para la fusión de capas de polvo y difíciles de reutilizar.

Lo que queda es mucho material sobrante que no se utiliza. Un problema que, en última instancia, también hace subir el precio del material de polvo fino, más favorecido pero más escaso.



## 2.2 Propiedades reológicas

El polvo metálico utilizado en la fusión de lechos de polvo es fundamental para la eficacia del procesamiento y la calidad de un componente impreso en 3D. Para aplicaciones especialmente importantes, los polvos metálicos deben cumplir determinadas normas en cuanto a sus propiedades físicas y químicas. Los fabricantes deben garantizar siempre que el polvo cumpla de forma fiable los siguientes requisitos:



### ✓ Fluidez y untabilidad

Una vez que el láser ha fundido completamente los contornos de un componente 3D, la bandeja se hunde y se aplica una nueva capa de polvo de forma fina y uniforme. Las excelentes propiedades de fluidez permiten una dosificación rápida y precisa. Las óptimas propiedades de esparcimiento garantizan que sólo se necesite una pequeña cantidad de fuerza para distribuir uniformemente el polvo metálico. Esto evita daños en la estructura del componente previamente fundido.

### ✓ Sin aglomerados ni cohesión

Ya sea durante el almacenamiento, el transporte o los procesos de mezcla: El polvo metálico fino siempre está sujeto al riesgo de aglomeración. Para evitar la formación de estos aglomerados, el material a granel debe prepararse y manipularse correctamente. Así se evitan defectos de calidad en el componente 3D acabado.

### ✓ Químicamente estable

Durante la fusión en lecho de polvo, el polvo metálico se funde bajo un aporte de calor. Para ello se suelen utilizar rayos láser o de electrones. Sin embargo, el polvo metálico debe estar químicamente inerte antes de la fusión. La humedad, la oxidación, el calor o la fricción durante el proceso de mezcla pueden anular este estado inerte. Se trata de una situación que debe evitarse con una tecnología de mezclado innovadora para impedir una fusión prematura o insuficiente en el proceso de impresión 3D.

### ✓ Mezcla uniforme de los aditivos

Muchos polvos metálicos se procesan de nuevo tras la atomización para mejorar sus propiedades reológicas. Por ejemplo, añadiendo recubrimientos o aditivos de flujo. Las calidades de mezcla homogéneas ideales con ingredientes tan sensibles suponen un gran reto en el proceso de mezcla.

### 2.3 Reutilización del polvo metálico sobrante

Una situación en la que todos salen ganando: por un lado, el cliente final, que quiere mantener bajos los costes de material, y por otro, los fabricantes de polvo metálico, que siempre sufren escasez de material fino: El reciclaje del polvo metálico sobrante tiene ventajas para ambas partes. Pero, por desgracia, este proceso de reciclaje no es tan sencillo. Esto se debe a que es importante que el polvo metálico sea de una calidad alta y constante para poder cumplir en todo momento los requisitos de alto rendimiento de los componentes 3D.

El problema: se han detectado signos de degradación en diversos polvos metálicos. Las aleaciones de polvo de alta temperatura, como Iconel 718, pueden deformarse en función de su proximidad a la masa fundida del láser. Por tanto, parte del polvo metálico es inutilizable para su reutilización, ya que las morfologías son demasiado grandes o demasiado gruesas.<sup>7</sup> Otros materiales, como el polvo de titanio, son susceptibles a la absorción de oxígeno y, por tanto, sólo pueden reutilizarse unas pocas veces.<sup>8</sup>

Hasta la fecha, no existen métodos cualificados para analizar y reciclar estos materiales residuales para su uso en la fusión de lechos de polvo. El desarrollo de tales procesos sería una gran ayuda tanto para los fabricantes de polvo como para los usuarios finales. Los enfoques innovadores que proporcionan una base química para la alta reutilización del nuevo polvo metálico también tienen aún margen de mejora. Con más investigación y desarrollo en este campo, los fabricantes de polvo podrían hacer una importante contribución a la rentabilidad de la impresión 3D.

Pasemos ahora a la cuestión de cómo los innovadores sistemas de mezclado de amixon® pueden ayudar a superar algunos de los retos descritos anteriormente. Nos centraremos en la distribución del tamaño de las partículas, la reología y la reutilización del polvo metálico.

**Faltan enfoques innovadores que proporcionen una base química para la alta reutilización del nuevo polvo metálico.**

**Con más investigación y desarrollo en este campo, los fabricantes de polvo podrían contribuir de forma importante a la rentabilidad de la impresión 3D.**

# 3

## La importancia de la tecnología de mezclado para una fusión rentable del lecho de polvo

Los sistemas de mezcla, secado al vacío y reactores ~~desp~~ desempeñan un papel crucial en la producción y el reciclado de polvos metálicos. Tras atomizar y tamizar el polvo metálico, se procesan lotes de partículas de tamaño similar en plantas de mezclado. Allí se les confieren las propiedades homogéneas, las composiciones químicas y las características de fluidez necesarias para obtener componentes 3D duraderos y de alto rendimiento.

Para reducir el tiempo de procesamiento y ~~evita~~ la degradación del polvo metálico, la tecnología de mezcla debe permitir los procesos de homogeneización, acondicionamiento, secado y enfriamiento en una sola máquina. Para ello, <sup>amixon®</sup> ha desarrollado mezcladores, reactores y secadores al vacío 3 en 1 que garantizan un rendimiento y una longevidad de la mezcla inigualables.

Las siguientes características de la tecnología de mezclado <sup>amixon®</sup> ayudan a los fabricantes de polvo metálico a aumentar la eficacia del proceso y el rendimiento del producto y a poder reutilizar el material sobrante en cualquier momento:

### 3.1 El vaciado completo reduce la pérdida de producto y aumenta la trazabilidad de la mezcla

Una delimitación ideal de los lotes sin mezclas cruzadas es de gran importancia para el seguimiento preciso de los lotes y la garantía de calidad. La contaminación cruzada entre lotes individuales tiene un efecto negativo en la distribución del tamaño de las partículas. Esto, a su vez, provoca graves problemas de calidad en el componente impreso en 3D.

La solución ideal para este ~~reto~~ es el <sup>amixon®</sup> AMT, un mezclador cónico 3 en 1, secador y reactor. La cámara de mezcla cónica y las espirales convexas permiten que el polvo metálico salga completamente sin segregarse. El eje mezclador sólo se apoya desde arriba y no entra en contacto con el producto. De este modo se evitan los depósitos de residuos de material.

<sup>amixon®</sup> desarrolla sistemas de mezcla con base plana que garantizan hasta un 99,997% de vaciado residual. El <sup>amixon®</sup> VMT es un sistema de mezcla, secado y reactor 3 en 1 y cuenta con un recipiente de mezcla cilíndrico ~~equipa~~ con la innovadora tecnología ComDisc®. Este mecanismo flexible se instala debajo del eje mezclador y desciende hacia el fondo del recipiente durante el vaciado. Allí se desliza radialmente por el suelo de la planta mezcladora y guía la mezcla hacia la salida.

Vaciar completamente una mezcladora industrial no sólo es esencial para ~~evita~~ la contaminación cruzada y los problemas de trazabilidad de los lotes. Al mismo tiempo, aumenta el rendimiento del lote, ya que no quedan finos valiosos en el sistema de mezcla.





amixon® secador-mezclador de vacío y reactor de vacío VMT

### 3.2 Homogeneidad y condicionamiento

La reología perfecta del polvo metálico es crucial para una fusión eficaz del lecho de polvo. Para fabricar un producto que cumpla unos requisitos tan exigentes se requiere una sofisticada tecnología de mezclado.

Las siguientes características de los mezcladores, secadores y reactores AMT y VMT facilitan la producción rentable de polvos metálicos de alta calidad para la fabricación aditiva:



## Homogeneización suave pero completa

Los mezcladores de polvo amixon® están equipados con una herramienta de mezcla helicoidal vertical en el centro de la cámara. Durante la rotación se genera un flujo tridimensional. Los polvos metálicos se enroscan hacia arriba en la periferia de la cámara de mezcla. Una vez que alcanzan la parte superior, fluyen hacia abajo en el centro de la cámara de mezcla de acuerdo con la fuerza de la gravedad. Este flujo tiene lugar en toda la cámara de mezcla y garantiza un funcionamiento sin espacios muertos. En estas condiciones, sólo se requiere una baja frecuencia de rotación para evitar la formación de aglomerados y producir una mezcla homogénea ideal con excelentes propiedades de flujo. Por tanto, las partículas del polvo metálico sólo están expuestas a fuerzas de cizallamiento bajas y están protegidas de forma fiable. Gracias al funcionamiento estanco al vacío y a la presión, también se reduce considerablemente el contenido de oxígeno y nitrógeno en la mezcla.



## Integración uniforme de aditivos de flujo

El proceso de homogeneización suave pero minucioso es ideal para trabajos de mezcla exigentes. Esto incluye, por ejemplo, la integración uniforme de aditivos de flujo extremadamente ligero como la sílice pirógena. A pesar de la alta sensibilidad al cizallamiento de estos aditivos y su tendencia a flotar en la parte superior de la mezcla, se integran eficazmente en la corriente de mezcla y se integran homogéneamente en el material a granel. Los innovadores mecanismos de descarga también garantizan que los aditivos no se separen del material a granel después de la mezcla.



## Tratamiento multietapa para el recubrimiento de partículas

Una técnica habitual para procesar polvos metálicos higroscópicos consiste en recubrir las partículas con aditivos nanofinos para evitar la formación de aglomerados. Equipados con diversas funciones de procesamiento, los sistemas de mezcla, secado y reactores <sup>amixon®</sup> son ideales para este tipo de procesos precisos de varias etapas. Para distribuir uniformemente los agentes de recubrimiento en el material a granel, primero se crea un nivel de humedad uniforme dentro del polvo. Para ello, cada partícula individual se humedece con el aditivo y, a continuación, se seca al vacío. Esto garantiza un recubrimiento uniforme en la superficie de cada partícula. Al mismo tiempo, se reducen tanto el tiempo de procesamiento como el aporte de calor necesarios para lograr el resultado deseado.

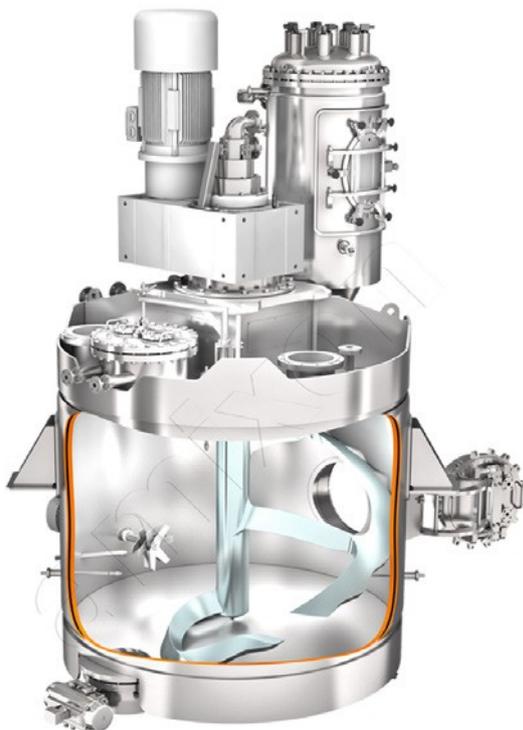


Diagrama de principio VMT

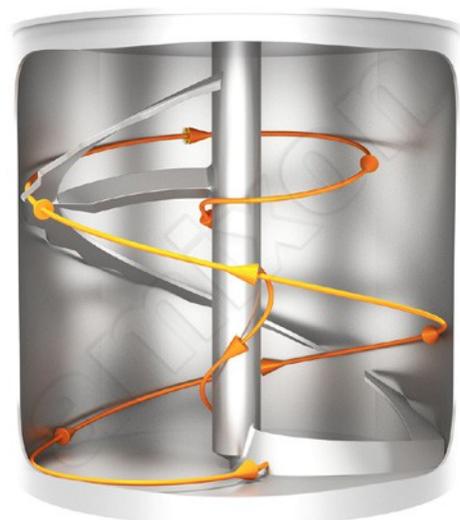


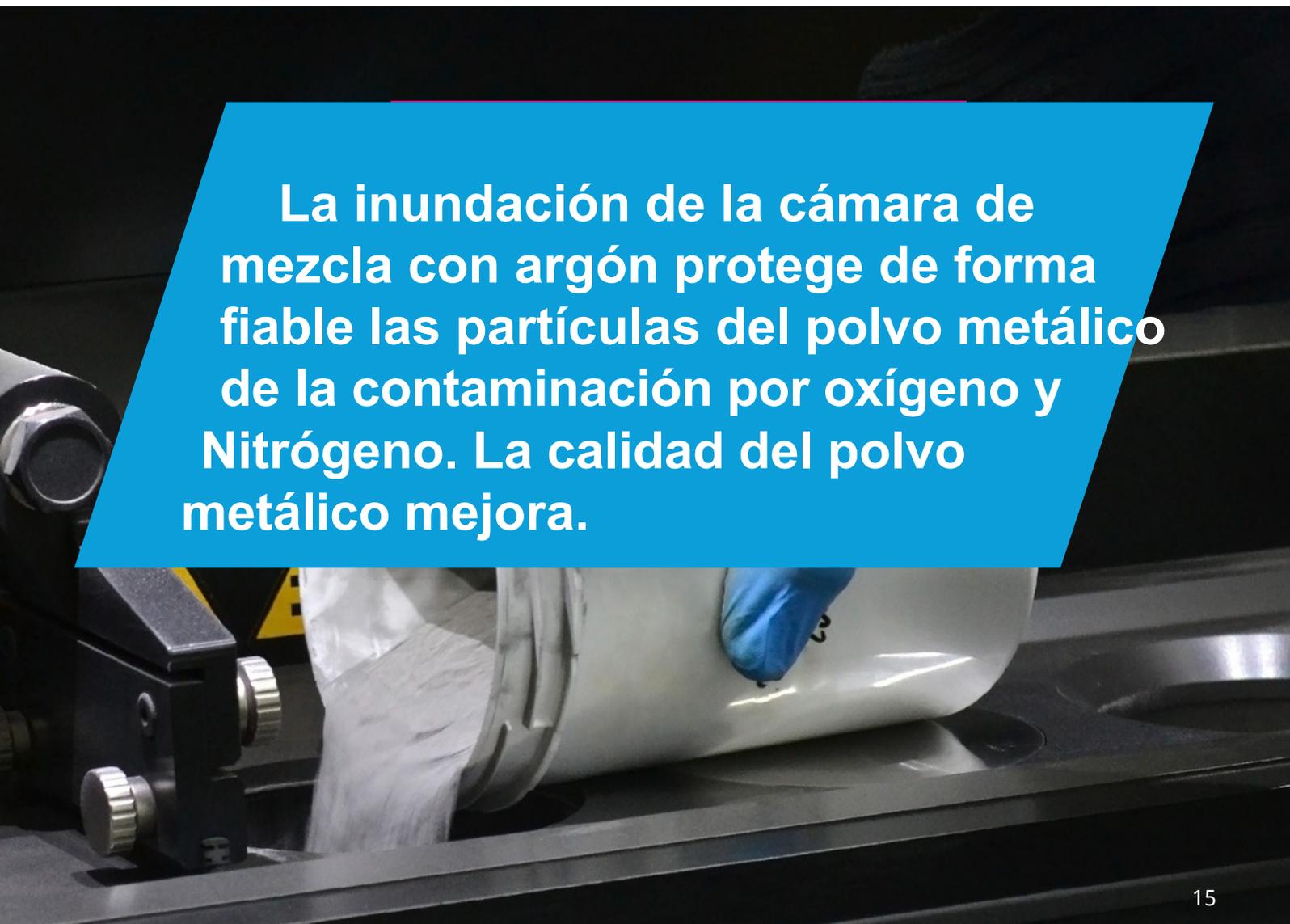
Diagrama de flujo VMT

### 3.3 Soluciones para el reprocesamiento y la reutilización con éxito de polvos metálicos

La mezcla de material virgen con material residual sobrante es una de las técnicas más utilizadas para reciclar polvos metálicos. Aunque este proceso reduce permanentemente el contenido de oxígeno en la mayoría de las aleaciones metálicas, no es adecuado para todas las aplicaciones. Especialmente para aplicaciones en los sectores médico o aeroespacial, se aplican normas de calidad especiales que los polvos metálicos reciclados pueden no ser capaces de cumplir.<sup>9</sup> Esto se debe a que, aunque el contenido global de oxígeno en una mezcla de material virgen y polvo metálico reciclable parece cumplir las especificaciones, las partículas individuales pueden seguir teniendo un contenido de oxígeno demasiado alto. Esto tiene un impacto negativo en la calidad del producto final.

A pesar de estas limitaciones, los sistemas de mezclado herméticos al gas de amixon® han demostrado su eficacia en la reducción de estas impurezas en el polvo metálico reciclado.<sup>10</sup> Esto es posible porque la cámara del mezclador se inunda con argón durante el proceso de mezclado. De este modo, las partículas del polvo metálico quedan protegidas de forma fiable de la contaminación por oxígeno o nitrógeno y se mejora la calidad del polvo metálico.

Las plantas mezcladoras, secadores y reactores de amixon apoyan la investigación y el desarrollo de estos procesos que ahorran costes y recursos. Además, los sistemas de mezclado también apoyan la investigación innovadora sobre la base química para un mejor reciclado de materiales vírgenes. Esto es posible gracias a una amplia gama de funciones de procesamiento ajustables con precisión. Las innovaciones en este ámbito podrían aumentar la rentabilidad de la fabricación aditiva tanto para los fabricantes de polvo como para los usuarios finales, contribuyendo a que la impresión 3D se afiance en el entorno industrial.



**La inundación de la cámara de mezcla con argón protege de forma fiable las partículas del polvo metálico de la contaminación por oxígeno y Nitrógeno. La calidad del polvo metálico mejora.**

# 4

## Conclusión

### **La fusión rentable de lechos de polvo requiere una tecnología de mezclado innovadora**

Ya sea la producción rápida de prototipos, la "producción a la carta" o la personalización masiva de componentes muy complejos: Los procesos de fabricación aditiva se consideran el futuro de la economía industrial. Sin embargo, la impresión 3D aún no está en condiciones de sustituir por completo a los métodos de fabricación tradicionales. En su lugar, aún deben desarrollarse ideas innovadoras para optimizar diversos componentes del sistema a lo largo de la línea de producción.

Requiere investigación continua, colaboración e innovación de procesos, y la aún joven tecnología de fabricación aditiva establecerá con el tiempo nuevos estándares en toda la industria. Los sistemas de mezcla de <sup>amixon®</sup> aportan su contribución: con soluciones sofisticadas, producen las más altas calidades de mezcla y mejoran así la calidad y la rentabilidad del polvo metálico para la fusión de lechos de polvo.





## FUENTE

<sup>1</sup> Bono s.f.

<sup>2</sup> Thomas y Gilbert 2014

<sup>3</sup> Nyameke, et al. 2017

<sup>4</sup> Bono s.f.

<sup>5</sup> ibíd.

<sup>6</sup> Dunkley 2019

<sup>7</sup> Samant y Lewis 2017

<sup>8</sup> ibíd.

<sup>9</sup> Samant y Lewis 2017

<sup>10</sup> Córdoba, Campos y Tinga 2019

## OBRAS CITADAS

Bono, Eric. s.f. "Controlling Metal Powder Costs in Additive Manufacturing". Carpenter Technology. <https://www.carpentertechnology.com/en/alloy-techzone/technical-information/technical-articles/controlling-metal-powder-costs/>.

Córdoba, Laura, Mónica Campos y Tiedo Tinga. 2019. "Revelación de los efectos de la reutilización de polvos para la fusión selectiva por láser mediante la caracterización de polvos". JOM 1062-1072.

Dunkley, J. John. 2019. "Métodos de atomización de polvos metálicos para la fabricación moderna: ventajas, limitaciones y nuevas aplicaciones para las técnicas de fabricación de polvos de alto valor." Johnson Matthey Technol. rev. 226-232.

Nyameke, Patricia, Heidi Piili, Maija Leino y Antti Salminen. 2017. "Investigación preliminar sobre el inventario del ciclo de vida de la fusión de lecho de polvo de acero inoxidable". Conferencia nórdica sobre procesamiento de materiales por láser. Aalborg: Physics Procedia. 108-121.

Samant, Rutuja, y Brendan Lewis. 2017. "Reciclaje y reacondicionamiento de polvo metálico en la fabricación aditiva". EWI. <https://ewi.org/metal-powder-recycling-and-reconditioning-in-additive-manufacturing/>.

Thomas, Douglas S., y Stanley W. Gilbert. 2014. "Publicación especial 1176 del NIST". Diciembre. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.1176.pdf>.



**amixon GmbH**

Halberstaedter Straße 55

33106 Paderborn Alemania

Teléfono: +49-5251-688888-0

Fax: +49-5251-688888-999

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