



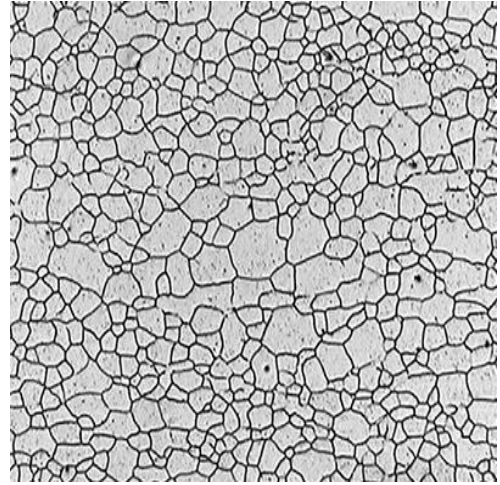
# Análisis del tamaño de grano en metales y aleaciones

## Bases del análisis del tamaño de grano en metales y aleaciones

En los laboratorios metalográficos, analizar granos en muestras metálicas y aleaciones, como el aluminio o acero, es importante para controlar su calidad. La mayoría de los metales se componen por naturaleza de áreas cristalinas con límites internos, conocidos comúnmente como «límites de granos». Cuando un metal o una aleación es procesado, los átomos de cada grano en crecimiento se alinean en función de un patrón específico, dependiendo de la estructura cristalina de la muestra. Al crecer, cada grano va a chocar eventualmente con otro y formar una interfaz con orientaciones atómicas distintas. Se ha establecido que las propiedades mecánicas de la muestra mejoran a medida que el tamaño del grano disminuye. Por lo tanto, la composición y el procesamiento de las aleaciones deben ser controladas cuidadosamente para obtener la dimensión de grano deseada.

Tras la preparación de las muestras metalográficas, los granos de una aleación específica suelen ser analizados usando la microscopía para demostrar la integridad y calidad de dichas muestras en función de la dimensión y distribución de sus estructuras de grano metálico.

Este análisis es vital para la seguridad del producto en muchas industrias. Por ejemplo, considerando los riesgos a los que está sujeta la vida de las personas, el sector automotor estudia la dimensión y distribución de los granos, en particular de las aleaciones, para determinar si un componente desarrollado recientemente podría soportar circunstancias extremas. De la misma manera, los fabricantes de componentes aeroespaciales necesitan poner mucha atención a las características del grano en los componentes de aluminio usados en trenes de aterrizaje de aviones comerciales. Adicionalmente al análisis de las tendencias estructurales de grano metálico, puede que los inspectores requieran seguir procedimientos rigurosos e internos de control/aseguramiento de calidad para documentar a fondo los resultados y almacenar estos últimos para referencias posteriores.



**Imagen microscópica de estructuras de grano metálico en acero con magnificación de 100X**

## Desafíos al analizar estructuras de grano en aleaciones y metales

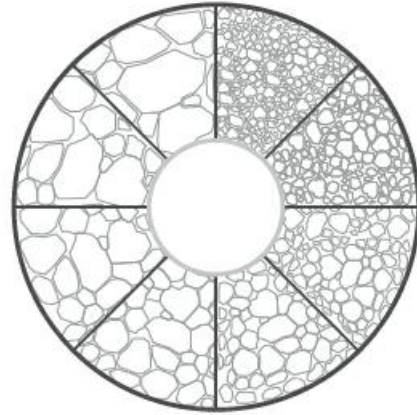
Entre las normas internacionales comúnmente aplicadas para los análisis del tamaño de grano, destacan: ASTM E112 (EE. UU.), ISO 643 (mundial), JIS G 0551 (Japón), JIS G 0552 (Japón), GOST 5639 (Rusia), GB/T 6394 (China), DIN 50601 (Alemania) y ASTM E1382 (EE. UU.).

A pesar de que existe una gran variedad de normas internacionales, ASTM E112 —que establece métodos de ensayo estándar para determinar el tamaño promedio del grano— es la norma dominante en la cual se basan los análisis de grano de América del Norte y del Sur. Los laboratorios de control/aseguramiento de calidad continúan usando el método de comparación de cuadrícula ASTM para analizar granos. Este método requiere que operadores efectúen una estimación visual de la dimensión del grano al comparar una imagen en vivo bajo un microscopio con una cuadrícula micrográfica, expuesta generalmente en la pared cercana al microscopio.

Otra posibilidad es que, en lugar de efectuar la comparación con la cuadrícula micrográfica, el operador introduzca un retículo de ocular —que alberga imágenes de patrones predefinidos de tamaños de grano— directamente en la trayectoria óptica del microscopio. De esta manera, la comparación se lleva a cabo directamente en el microscopio, en donde el operador puede ver de forma simultánea la muestra en cuestión como también la imagen «dorada» (referencia).

Debido a que el tamaño del grano es estimado por el operador, estos métodos pueden producir resultados imprecisos y no repetibles, ya que no se reproducen entre los diferentes operadores. Además, los técnicos de control de calidad deben introducir manualmente sus resultados en una hoja de cálculo o informe de un programa informático, lo que crea mayores posibilidades de error.

A partir de estos desafíos, se plantean las siguientes preguntas: ¿Cómo puede un laboratorio metalúrgico de control/aseguramiento de calidad implementar una solución de análisis de grano completamente automática y llave en mano al mismo tiempo que elimina posibles imprecisiones y subjetividad introducidas por el factor humano, y cumple con la normativa ASTM E112 u otras normas internacionales? También, ¿cómo es posible almacenar datos y generar informes de forma automática ahorrando a la vez tiempo valioso y reduciendo costos (Esp. costes)?

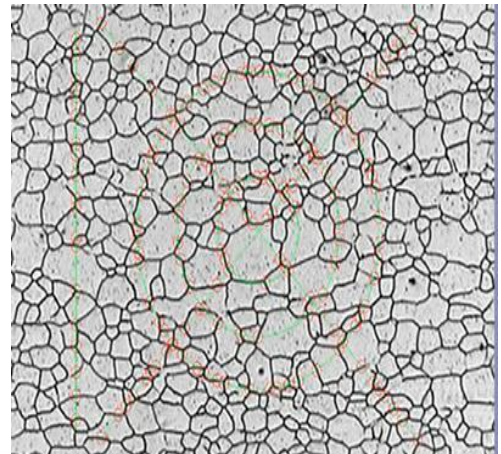


**Análisis de una estructura de grano metálico usando un retículo de ocular con los patrones predefinidos de tamaño de grano**

## Métodos para analizar granos en conformidad con la norma ASTM E112 entre otras

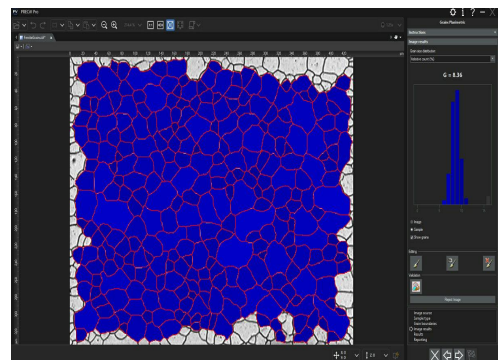
Una nueva época comenzó para los laboratorios metalúrgicos modernos de control/aseguramiento de calidad digital. Gracias a los avances de los softwares para los microscopios metalúrgicos destinados a la ciencia de los materiales, los operadores pueden usar hoy funciones analíticas de imagen para analizar estructuras cristalinas (granos), en conformidad con la normativa ASTM E112 y una variedad de estándares internacionales.

Una de las soluciones digitales más populares que sirven para cumplir el análisis del tamaño de grano se denomina «método del segmento interceptado». En este caso, un patrón (círculo, retículo, líneas, etc.) se superpone en la imagen digital (en vivo o capturada). Cada vez que el patrón de superposición intercepta con un límite de grano, se traza una intersección en la imagen y es grabada (vea un ejemplo de los puntos en la imagen a la derecha). Tomando en cuenta el sistema de calibración, el software analítico de imágenes calcula automáticamente el tamaño del grano (o, también, conocido como «ASTM G» o «número de tamaño de grano») y la longitud media del segmento interceptado en función del recuento de los puntos interceptados y la longitud del patrón.



**Análisis de granos utilizando el método del segmento interceptado**

Otro método conocido para calcular el tamaño del grano en el laboratorio digital metalúrgico es el método «planimétrico». A diferencia del método del segmento interceptado el método planimétrico determina el tamaño del grano en una imagen (en vivo o capturada) calculando el número de granos por unidad de superficie.



**Análisis de estructuras cristalinas con el método planimétrico**

Dado que los resultados se calculan internamente en el software de análisis de imágenes, las conjeturas adjudicadas al operador pueden eliminarse. En varios casos, se mejora la precisión general, la repetibilidad, así como la reproducibilidad. Además, el software analítico de imágenes de algunos microscopios metalúrgicos puede ser configurado con el fin de obtener resultados del grano de forma automática en una hoja de cálculo o base de datos opcional.

Los informes que contienen datos analíticos e imágenes asociadas relevantes también pueden ser generados al pulsar un botón. Todo esto es posible gracias a una capacitación mínima.

EVIDENT		PRECIV Report	
Grain Size according to Intercept Method ASTM E 112-13 (Summary)			
<b>Analysis Summary:</b>			
Reference	Sample 01		
Group			
Sample Comment			
Date	11/7/2023 15:20		
Standard	ASTM E 112-13		
Grain Size Number G	9.05		+/- 0
Mean Intercept Length [µm]		13.90	
Average Number of Intercepts		193.00	
Number of Intercepts per Unit Length [1/mm]		71.95	

**Resultados de un análisis ASTM E112**

# Equipamiento recomendado para analizar estructuras de grano en aleaciones y metales

Una configuración típica de equipamiento, dedicada a analizar estructuras de grano en aleaciones y metales a través de análisis de imagen digital, se compone de lo siguiente:

## 1. Microscopio metalúrgico invertido

Por lo general se requiere un microscopio invertido en lugar del modelo vertical debido a que las muestras pulidas, planas, permanecen extendidas sobre la platina mecánica. Esto permite asegurar un enfoque uniforme a medida que la platina de escaneo se desplaza.

## 2. Software de análisis metalúrgico de imágenes específicas

El software analítico de imágenes dedicado a las aplicaciones de ciencia de los materiales siempre ofrece módulos complementarios opcionales para flujos de trabajo metalúrgicos específicos. Estos flujos de trabajo permiten a los usuarios analizar estructuras de grano en conformidad con la norma ASTM E112, así como con otras normas internacionales. En el momento de la adquisición, el usuario debe determinar si el método del segmento interceptado o planimétrico es el más apropiado.



Configuración típica del equipo: Microscopio metalúrgico invertido, lente de objetivo de 10X y una cámara microscópica digital de alta resolución

## 3. Lente de objetivo metalúrgico de 10X

Esta es la magnificación de objetivo requerida para analizar estructuras de grano en aleaciones y metales.

## 4. Cámara microscópica CCD de alta resolución o digital CMOS

Al considerar una cámara digital para el análisis de estructuras de grano en aleaciones y metales, se debe dar prioridad a la resolución digital por encima del tamaño del píxel o la densidad resultante del píxel. Para asegurarse de que haya una cantidad suficiente de píxeles para la muestra, y estos sean reconstruidos digitalmente hasta el más fino detalle, muchos especialistas en microscopía siguen el «teorema de muestreo de Nyquist», en el cual se determina que dos o tres píxeles son requeridos para mostrar los detalles más finos, o para la resolución óptica. Si se tiene en cuenta que el análisis de estructuras de grano es efectuado con una lente de objetivo de 10X (acompañada con oculares de 10X, esta equivale a la magnificación total de 100X), la resolución óptica de una lente de objetivo típica de grado medio sería de aproximadamente 1,1  $\mu\text{m}$ . Esto significa que el tamaño actual del píxel calibrado debe ser menor que 366 nm (proporcionado con los tres píxeles requeridos para distinguir las características más finas).

Por ejemplo, una cámara de 8,9 megapíxeles con un tamaño de píxel de 3.45  $\mu\text{m}$  produce un tamaño de píxel calibrado de 345 nm al dividir el tamaño del píxel actual por la lente del objetivo de 10X, usando un adaptador de cámara de 1X. La división de la resolución de la lente (1,1  $\mu\text{m}$ ) por el tamaño del píxel calibrado (345 nm) equivale a 3.2. En este ejemplo, los píxeles de 3.2 permiten mostrar la característica distinguible más pequeña, que cumple con los criterios del método Nyquist de dos a tres píxeles por característica distinguible. Por lo general, las cámaras microscópicas dedicadas a la ciencia de los materiales y clasificadas en tres megapíxeles o superior (considerando el tamaño del píxel de los sensores CCD y CMOS más comunes) son recomendados para el análisis de estructuras de grano en metales y aleaciones.

Visto que el análisis de tamaño de grano puede efectuarse de manera fiable en el modo de escala de grises (donde la configuración de los parámetros de umbral es más simple que en el modo cromático), la cámara elegida debe tener la opción de modo de escala de grises. Asimismo, la selección de una cámara que proporciona una alta velocidad de refresco en vivo resultará beneficiosa al enfocar o posicionar la muestra.

Se recomienda un portaobjetivos codificado manual o motorizado. El software analítico de imágenes seleccionado debe ser capaz de identificar siempre y automáticamente la magnificación (aumento) de la lente del objetivo. Esto permite asegurar un mayor nivel de precisión en la medición, mientras que el reconocimiento automático permite eliminar los riesgos de una introducción errónea de magnificación de lente en el software.

Se requiere una platina de escaneo XY manual o motorizada para manipular la muestra y ubicar el área de interés para su observación y análisis.

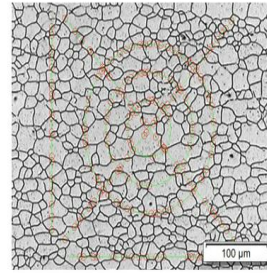
El PC que elija debe cumplir con los requisitos mínimos del sistema de la cámara y del software de análisis de imágenes. También, se requiere un monitor de alta resolución.

# Procedimiento para analizar estructuras de grano en metales y aleaciones

A continuación, se explica un procedimiento típico del análisis de estructuras de grano en metales y aleaciones con el equipamiento de microscopio metalúrgico recomendado:

1. Seleccione la lente de objetivo de 10X. Bajo las condiciones de luz reflejada y de campo claro, controle la muestra colocada en la platina XY para visualizar el área de interés.
2. Capture imágenes digitales con el software analítico de imágenes. Nota: Si la plataforma de software ofrece la posibilidad de analizar una imagen en vivo, es mejor observar la imagen en vivo.
3. En la opción de análisis de granos (Grain Analysis), configure los filtros necesarios para asegurarse de que los segmentos interceptados sean representados con precisión en la imagen. En muchos paquetes de software, esta capacidad es proyectada de manera interactiva para que el operador pueda ver los efectos del filtro en las intersecciones resultantes.
4. El software analiza la imagen en conformidad con la norma seleccionada. Los datos resultantes son recopilados directamente en una hoja de cálculo dentro del mismo software analítico de imágenes.
5. No es raro que los análisis de granos se efectúen en cinco campos aleatorios. De ser así, repita del paso 1 al 4 cinco veces consecutivas.
6. Cabe agregar que, conforme a la plantilla predefinida de un usuario, se genera un informe con los resultados del análisis, las imágenes de respaldo del grano y otros datos importantes.

Grain Size according to Intercept Method ASTM E 112-13  
(Image Results)



Sample Information:

Reference: Sample 01  
Group:

Image Results:

Image Name	FerriteGrains.tif	
Number of Intercepts		193
Pattern Length		2682.41
Grain Size Number G	9.05	
Image Comment		

## Otras maneras de agilizar el proceso analítico de grano

A diferencia de las técnicas manuales en las que los operadores realizan una estimación visual (a simple vista) del tamaño del grano (o número G), el moderno software analítico de imágenes para aplicaciones de ciencia de los materiales permite calcular el tamaño del grano con precisión y repetibilidad, al mismo tiempo que minimiza la intervención del operador.

Varios paquetes de software están desarrollados para cumplir con la normativa ASTM E112 y con una amplia variedad de otras normas internacionales cuya implementación requiere muy poco esfuerzo. Más allá del alcance del análisis de estructuras de grano metálico, muchos programas de software ofrecen conectividad, generación de informes y capacidades de gestión de datos adecuadas para ahorrar tiempo. Los softwares que incluyen la generación de informes, el almacenamiento e intercambio de datos y la búsqueda rápida de las imágenes y datos

asociados de forma automática pueden aportar mayor eficiencia a su equipo.

Al considerar una solución llave en mano para el análisis de grano automático, trabajar directamente con un fabricante de experiencia en microscopía es sumamente importante; ya que, éste puede asistirlo en cada paso de su proceso, desde la selección del equipamiento hasta la puesta en funcionamiento total.

#### Referencias

Dr. Carmo Pellicciari, Ing., Especialista metalúrgico

Estándar A112 de la American Society for Testing and Materials (ASTM)

ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700,

West Conshohocken, PA, 19428-2959. EE. UU.

«Committee E-4 and Grain Size Measurements: 75 years of progress»

Nuevos estándares ASTM, Mayo, 1991, George Vander Voort

## Related Product



### MPLFLN-BD

El objetivo MPLFLN-BD integra la corrección cromática semiapocromática y es adecuado para la más amplia variedad de aplicaciones. Está especialmente diseñado para la observación de campo oscuro y el examen de rasguños o grabados en superficies pulidas.

Conozca más aquí ► <https://www.olympus-ims.com/microscope/mplfln-bd/>



### GX53

El microscopio invertido GX53 presenta una claridad de imagen excepcional y una excelente resolución con grandes aumentos. Con accesorios que incluyen un revólver codificado y un *software*, el diseño modular del microscopio facilita la adaptación a sus necesidades.

Conozca más aquí ► <https://www.olympus-ims.com/microscope/gx53/>



### PRECiV

El software PRECiV™, fácil de usar, le permite controlar su microscopio para que pueda realizar mediciones repetitivas en 2D durante las operaciones de producción, control de calidad e inspección.

Conozca más aquí ► <https://www.olympus-ims.com/microscope/preciv/>