

Análisis por tamizado

Calidad hasta el último grano



Copyright © 2016 by Retsch GmbH Haan.
Reservados todos los derechos, especialmente aquéllos referentes a
la reproducción, distribución y traducción del texto.
Queda prohibida la reproducción, la transformación mediante el uso
de sistemas electrónicos o la distribución de este texto, en todo o
en parte, sin la previa autorización por escrito de Retsch GmbH.

	Página
Introducción	4
1. El análisis por tamizado en el control de calidad	5
2. Métodos de tamizado	8
2.1. Tamizado vertical	9
2.2. Tamizado horizontal	10
2.3. Tamizado con golpeteo	10
2.4. Tamizado por chorro de aire	10
2.5. Opción: tamizado en húmedo	11
3. Preparación y realización del análisis por tamizado	12
3.1. Toma y división de la muestra	12
3.2. Elección de los tamices	15
3.3. Procedimiento	15
3.3.1. Tamizado en cascada	16
3.3.2. Valor de corte	16
3.3.3. Tamizado en húmedo	17
3.4. Tiempo, amplitud y velocidad de tamizado ideales	18
3.5. Ayudas para el tamizado	20
3.6. Limpieza de los tamices analíticos	21
4. Evaluación e interpretación de los datos del tamizado	24
4.1. Tipos de cuantificación $Q_{(x)}$	26
4.2. Diámetro equivalente	28
4.3. Funciones de distribución	29
5. Aparatos RETSCH	31
5.1. Tamices analíticos	31
5.2. Tamizadoras analíticas	34
5.3. Software de evaluación	39
5.4. Divisores de muestras	40
5.5. Baños ultrasónicos	40
5.6. Secadora rápida	41
6. Sumario	41
7. Anexo	41
7.1. Normas de tamizado (con tabla comparativa)	42
7.2. Certificados	44
7.3. Parámetros del análisis por tamizado	50

Introducción

Un parámetro importante para la caracterización de materiales a granel de diferente forma y tamaño es el conocimiento de su distribución granulométrica. La distribución granulométrica de un producto afecta de forma decisiva propiedades tales como su solubilidad, su fluidez y su capacidad reactiva. En las industrias de alimentos, farmacéutica y química, así como en numerosas áreas de aplicación, el análisis por tamizado clásico se ha establecido como método para el control de la producción y de la calidad



de materiales a granel en forma de polvos y granulados. Gracias a su fácil realización, costos de inversión bajos, resultados rápidos, precisos y reproducibles, así como la posibilidad de obtener fracciones de muestra de diferentes granulometrías, el análisis por tamizado puede competir perfectamente con la difracción láser, el análisis de imagen y otras técnicas analíticas de última tecnología.

No obstante, para que este método pueda garantizar una alta reproducibilidad y fiabilidad, las tamizadoras y los accesorios deben cumplir con las altas exigencias de la normativa pertinente nacional e internacional. Esto significa que, además de las tamizadoras, también los tamices analíticos y todos aquellos instrumentos requeridos para la caracterización de materiales (p. ej. balanzas) deben ser calibrables y cumplir con los requisitos para los equipos de medición y control empleados en sistemas de gestión de calidad. Otro aspecto de suma importancia es el cuidado que se tenga durante la preparación de la muestra, ya que sólo las muestras meticulosamente preparadas proporcionan resultados fiables que permiten la caracterización exacta del material.

1. El análisis por tamizado en el control de calidad

El término "calidad" se emplea usualmente en el habla cotidiana para expresar que el valor de un producto es alto. No obstante, el siguiente enunciado nos proporciona una definición más exacta: **"La calidad de un producto viene determinada por la conformidad de ciertas propiedades de éste con requisitos específicos, la cual ha sido comprobada mediante un control pertinente"**. En otras palabras, un producto es de alta calidad si se somete a un control y éste da como resultado que las propiedades relevantes para la determinación de la calidad se encuentran dentro de los márgenes de tolerancia prescritos. A mayor divergencia con respecto a los valores de referencia, peor será la calidad del producto.

Muchos de los materiales presentes en la naturaleza y usados en la técnica son sólidos dispersos (materia que no forma una unidad compacta, sino que está dividida en elementos que pueden ser separados, p. ej. un montículo de arena) cuyas propiedades físico-químicas son afectadas de forma decisiva por el tamaño y la distribución granulométrica de las partículas – es decir los porcentajes de partículas por cada tamaño.



Algunos ejemplos de propiedades que varían en función del tamaño de grano y la distribución granulométrica del material son:

- la resistencia del hormigón
- el sabor del chocolate
- las propiedades de disolución de las tabletas
- las propiedades de aglomeración y disolución de los detergentes en polvo
- la actividad superficial de los materiales filtrantes

Estos ejemplos nos dejan en claro lo importante que es conocer la distribución granulométrica de los materiales a granel a la hora de realizar controles de calidad durante la etapa de producción. Todo cambio en la distribución granulométrica de un material durante el proceso de producción afecta también la calidad del producto.

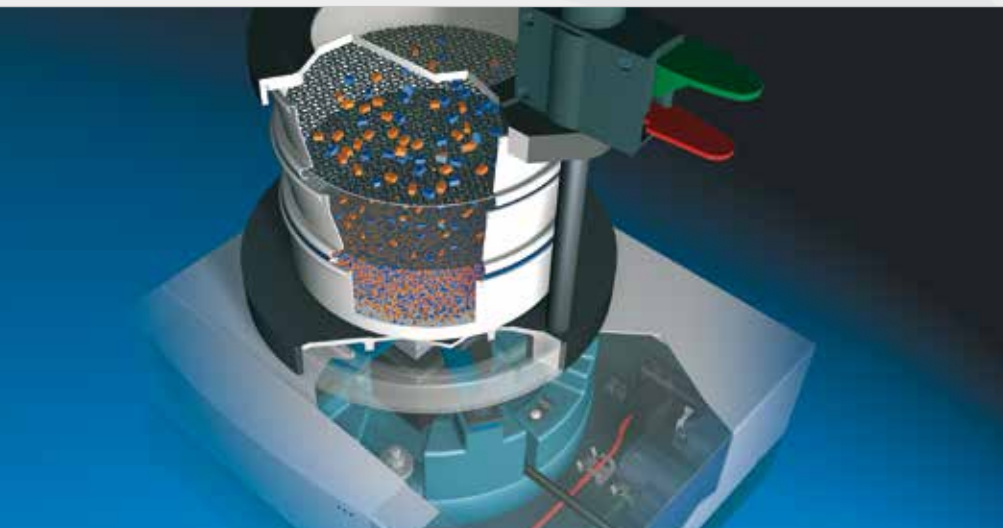
Los siguientes ejemplos de la vida cotidiana nos ilustran cómo las propiedades de un producto se encuentran directamente relacionadas con la granulometría y la distribución granulométrica del mismo:

- Cuando el **café de filtro molido** tiene una granulometría muy gruesa, las sustancias aromatizantes no se disuelven por completo al agregarle el agua hirviendo. Esto se debe a que los aromatizantes se desprenden sólo de la superficie de



las partículas y no de la partícula completa. El resultado es un café sin aroma y "aguado" porque el agua pasa muy rápido por los espacios entre las partículas y por el filtro. Si, por el contrario, el café tiene una granulometría muy fina, se liberan demasiados aromatizantes, ácidos y sustancias amargas dándole un sabor desagradable. Otra desventaja es que el filtro de papel es obstruido rápidamente por partículas finas, lo cual lleva al desbordamiento del agua a ambos lados del portafiltros.

- **Los papeles de lija y pastas abrasivas** tienen un margen de distribución granulométrica bastante estrecho. Esto significa sólo se aceptan variaciones muy pequeñas en el tamaño de grano de las partículas individuales. Cuando la granulometría se desvía mucho de los valores indicados, la superficie queda irregularmente lijada: si las partículas son muy gruesas se producen estrías profundas, y si son muy finas, la superficie casi no es lijada.
- La superficie de reacción de los **filtros de carbón activado** usados en máscaras de oxígeno debe ser grande para absorber de forma eficiente los disolventes orgánicos nocivos que se encuentran en el aire. Las propiedades de absorción de los filtros varían principalmente en base al tamaño de partícula. Cuando el filtro tiene una granulometría muy gruesa, los vapores nocivos no son eficientemente neutralizados. Cuando la granulometría es demasiado fina, el aire no pasa bien por los poros tan pequeños y la persona que lleva la máscara tiene dificultades para respirar.



2. Métodos de tamizado

El proceso de tamizado puede realizarse haciendo mover la muestra hacia arriba (tamizado vertical) o en un solo plano (tamizado horizontal). Las tamizadoras de golpeo aplican ambos movimientos. El movimiento hace que las partículas sean cotejadas con la luz de malla del tamiz. El paso de cada partícula dependerá de su tamaño en relación a la abertura de malla del tamiz, de su posición al incidir sobre el tejido (orientación) y de la cantidad de veces que incida sobre éste.

El tamizado puede realizarse con un solo tamiz de luz de malla previamente definida: en tal caso se realiza con fines orientativos, ya que no se determina la distribución granulométrica del material, sino únicamente el porcentaje de partículas menores y mayores que la abertura de malla (**valor de corte**).

Cuando desean obtenerse varias fracciones de material, entonces se emplea un juego de tamices (**tamizado en cascada**). Los tamices analíticos son colocados uno encima del otro, en forma de columna, ordenados de abajo hacia arriba por orden creciente de abertura de malla. El material a analizar se añade al tamiz superior, el cual tiene la abertura de malla mayor.

La elección del método de tamizado se hará en base al **tamaño de grano** de la muestra (ver Fig. 1). Para las muestras de 40 μm a 125 mm se emplea normalmente el método clásico de tamizado por vía seca. Sin embargo, el límite inferior del rango de medida puede variar dependiendo de algunas propiedades del material, tales como la formación de aglomerados, la densidad y la carga electrostática.

El rango de medida es más amplio con el tamizado por vía húmeda, al llegar a los 20 μm . Cuando el tamizado por vía húmeda está contraindicado y desean medirse partículas pequeñas, el tamizado por chorro de aire es el método de elección al proporcionar resultados fiables también con partículas a partir de 20 μm .

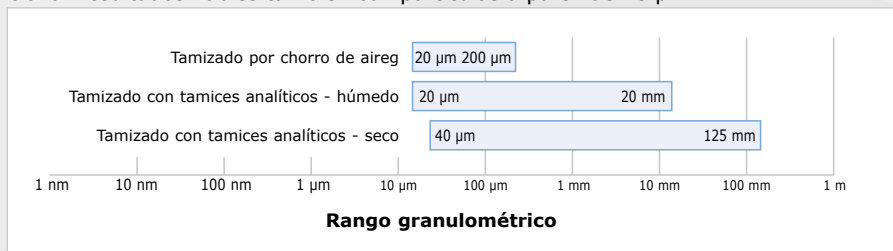


Fig. 1:
Rangos granulométricos de los
diferentes métodos de tamizado

2.1. Tamizado vertical

En el tamizado vertical, el material es primero proyectado hacia arriba por la vibración en la base del tamiz, y después cae por la fuerza de gravedad de nuevo sobre el tejido. La amplitud del movimiento indica la distancia recorrida verticalmente por la base del tamiz.

En las tamizadoras RETSCH, el material es sometido a un movimiento tridimensional, es decir que además del movimiento vertical realiza simultáneamente un movimiento de rotación (ver Fig. 2, izq.).

Esto hace que se distribuya de manera uniforme por toda la superficie de malla. Las partículas reciben un impulso en dirección vertical, dan varias vueltas en el aire y luego caen sobre el tejido cotejándose con la luz de malla. El accionamiento electromagnético de las tamizadoras de proyección de RETSCH pone en movimiento un sistema de resorte-masa, el cual a su vez transmite las vibraciones a la columna de tamices. La amplitud del movimiento de vibración puede ajustarse continuamente con una precisión de unos pocos milímetros.

En todas las tamizadoras RETSCH de la serie "control", la amplitud del movimiento y el tiempo de tamizado son de ajuste digital. Una unidad de control por microprocesador vigila permanentemente la amplitud de la vibración, garantizando así procesos completamente reproducibles.



*Fig. 2:
Tipo de movimiento realizado en el tamizado tridimensional (izq.),
el tamizado horizontal (centro) y el tamizado por golpeo (der.).*

2.2. Tamizado horizontal

En el tamizado horizontal, el movimiento circular se realiza únicamente en el plano horizontal (ver Fig. 2, centro). Las tamizadoras horizontales se emplean principalmente para materiales con partículas de geometría no esférica (aciculares, lajosos, alargados, fibrosos). El movimiento de tamizado en un solo plano hace que la posición de incidencia de las partículas sobre el tejido casi no cambie.

2.3. Tamizado con golpeteo

En el tamizado con golpeteo, además del movimiento circular en el plano horizontal hay un movimiento vertical generado por un impulso de golpeteo (ver Fig. 2, der.). Las tamizadoras de golpeteo son prescritas por numerosas normas.

El número de incidencias de las partículas sobre el tejido del tamiz es mucho menor que en las tamizadoras tridimensionales (2,5/seg – en las tridimensionales es de aprox. 50/seg), lo que se traduce en tiempos de tamizado más largos. Por otra parte, gracias al golpeteo, las partículas son impulsadas con mayor fuerza obteniéndose, por ejemplo con materiales abrasivos, una fracción de material pasante mayor. En el caso de materiales livianos como el talco o la harina, la fracción de finos que se obtiene es menor que en otras tamizadoras.

2.4. Tamizado por chorro de aire

La tamizadora a chorro de aire es un aparato con un solo tamiz. Esto significa que para cada proceso de tamizado se emplea únicamente un tamiz. En esta tamizadora, el tamiz no se mueve.

El material es movido por una corriente de aire en rotación: este aparato lleva conectada una aspiradora industrial que genera un vacío en la cámara de tamizado, con lo que el aire del entorno es succionado a través de una tobera ranurada en rotación. De esta manera se crea una corriente de aire que sale a gran velocidad de la tobera atravesando de abajo hacia arriba el tejido del tamiz y levantando el material. Una vez encima de la malla, la corriente se reparte por toda la superficie del tamiz y es de nuevo succionada hacia abajo, esta vez a baja velocidad. El material de granulometría más fina pasa a través de la abertura de malla y es succionado por la aspiradora. El material también puede recogerse con ayuda de un ciclón. Para comenzar con el análisis granulométrico, se toma el tamiz de luz de malla más pequeña. El índice de material pasante se determina por pesada diferencial antes y después del tamizado.

Si se desea trazar una curva de distribución, entonces ha de repetirse este procedimiento empleando tamices con aberturas de malla en orden creciente. El material retenido en el primer tamiz se coloca sobre el tejido del siguiente tamiz (abertura de malla un poco mayor), se tamiza de nuevo, y así sucesivamente.

El tamizado por chorro de aire se emplea, por ejemplo, para el control rápido y en línea de procesos en máquinas clasificadoras.

2.5. Opción: tamizado en húmedo

La mayoría de los análisis por tamizado se realizan por vía seca. Sin embargo, hay algunas aplicaciones para las cuales el tamizado por vía húmeda se hace imprescindible: por ejemplo el análisis de suspensiones que no deben secarse o la caracterización de polvos muy finos con una granulometría inferior a los 45 µm que además tienden a aglomerarse. En ambos casos, si se realizara un tamizado por vía seca, el material se quedaría atascado en la malla del tamiz.

El tamizado por vía húmeda se realiza de forma similar al tamizado en seco: la columna de tamices se coloca sobre la tamizadora y el tamiz superior es cargado con la muestra en forma de suspensión. Para aumentar la efectividad del tamizado realizado por el movimiento de la base, se agrega agua al filtro superior con una boquilla pulverizadora. Esto se hace hasta que el líquido que sale por debajo (bandeja colectora con boca de salida) no se ve turbio por la presencia de partículas. Para determinar la granulometría de la fracción más fina, puede hacerse pasar ésta por un filtro de porosidad mínima que se deja secar y luego es pesado (ver sección 3.3.3.).

Atención: el agua no deberá alterar el material, es decir, las partículas no deberán inflarse ni disolverse o reaccionar con el líquido.

Durante el tamizado en húmedo pueden formarse burbujas de aire entre los tamices. Esto sucede porque la columna de tamices forma una unidad completamente hermética que no deja escapar el material (ni en forma de polvo ni de líquidos) eliminando por completo el riesgo de contaminación cruzada. Dicho efecto se produce principalmente en tamices con una abertura de malla < 100 µm. Para estos casos, RETSCH ofrece "anillos de degasificación" que se colocan entre los tamices de la columna. Estos anillos permiten que el aire comprimido se expanda sin que se produzcan fugas de líquido o muestra.

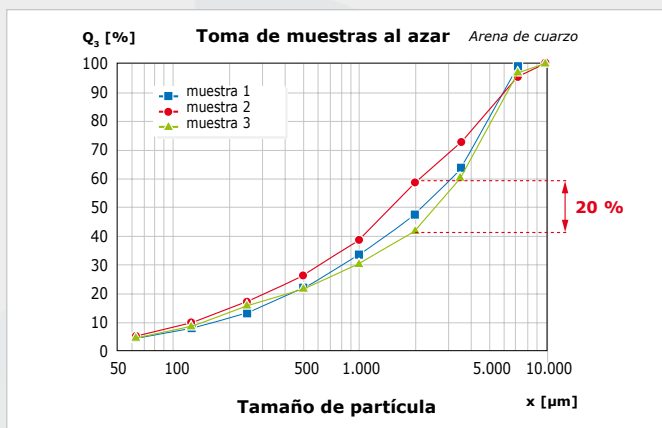
3. Preparación y realización del análisis por tamizado

El análisis granulométrico abarca, además del tamizado, todos los pasos para su preparación: es decir, la toma y eventual división de la muestra, así como la elección de los tamices apropiados. Después del tamizado siguen la evaluación de los datos, la recuperación del material, la limpieza y el secado de los tamices. Para obtener resultados reproducibles, es necesario que todos los pasos del proceso completo se realicen meticulosamente con instrumentos de laboratorio (tamizadora, balanza) que trabajen de forma exacta y fiable. **Con un software de evaluación, el trabajo de registro y evaluación de los datos se verá reducido a un mínimo, así como los errores durante la transferencia de los datos.**

3.1. Toma y división de la muestra

La curva mostrada en la figura 3 ilustra la importancia de la toma de la muestra: si ésta es tomada al azar (p. ej. con una pala), aún cuando el análisis se haya realizado de forma correcta y las fracciones de muestra provengan del mismo material, se obtendrán resultados diferentes y no reproducibles.

*Fig. 3:
Toma de muestras al
azar con una pala: tres
análisis realizados
correctamente arrojan
tres resultados
diferentes.*



Como puede observarse en la figura, la diferencia de material pasante en la fracción < 2 mm es de un 20%. Por lo tanto, se recomienda trabajar con sumo cuidado ya desde la toma de la muestra. Un requisito primordial para que el análisis por tamizado sea reproducible es la obtención de **una fracción representativa del material** que va ser caracterizado. "Representativa" significa que las propiedades de dicha fracción – en este caso la distribución granulométrica – son iguales a las de la muestra completa.

Cuando se tienen cantidades muy grandes de material, tales como las cargas de barcos o trenes, la toma de las fracciones presenta ciertas dificultades. En estos casos se emplean muestreadores especiales para extraer fracciones individuales de diferentes puntos, que luego son mezcladas. Otro ejemplo es la toma de muestras en una planta de producción directamente del flujo de material para su posterior análisis.

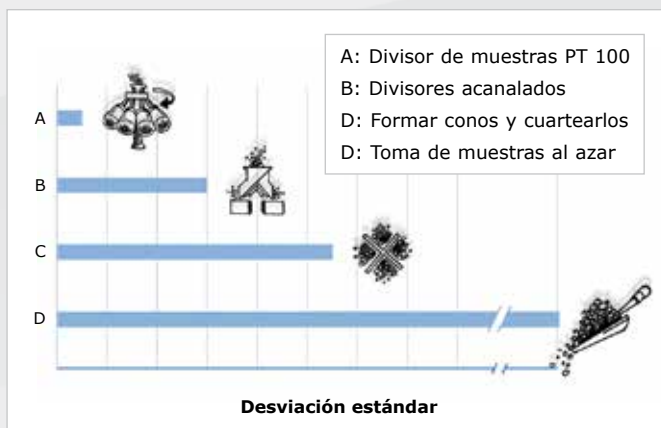


*Fig. 4:
Desviación cualitativa de
los diferentes métodos
de división de muestras.*

Los laboratorios normalmente reciben volúmenes de muestra que sobrepasan la **carga máxima** inicial de material recomendada para los tamices/columnas de tamices. La carga máxima permitida depende de diversos factores, tales como el número y la abertura de malla de los tamices, la granulometría máxima y la distribución granulométrica del material. La norma **DIN 66165** nos da más información al respecto: aquí se incluye una lista indicando la cantidad máxima de material que puede quedar retenido en un decímetro cuadrado de la malla del tamiz al finalizar el tamizado. Para dar un ejemplo, la cantidad máxima permitida para un tamiz con una abertura de malla de 1 mm es de 20 cm³ por decímetro cuadrado. En un tamiz de Ø 200 mm, esto equivale a una cantidad de 63 cm³; y en uno de Ø 400 mm, a 252 cm³ (4 veces más). La carga máxima inicial no debería sobrepasar el doble del valor recomendado: para un tamiz de Ø 200 mm con una abertura de malla de 1 mm, ésta sería de máx. 126 cm³. Al multiplicar estos valores con la densidad de la carga a granel se obtienen los respectivos valores de masa.

Ejemplos de cantidades máximas permitidas de carga y material retenido en tamices de Ø 200 mm:

Luz de malla	Carga máx. inicial	Cantidad máx. retenida
25 µm	14 cm ³	7 cm ³
45 µm	20 cm ³	10 cm ³
63 µm	26 cm ³	13 cm ³
125 µm	38 cm ³	19 cm ³
250 µm	58 cm ³	29 cm ³
500 µm	88 cm ³	44 cm ³
1 mm	126 cm ³	63 cm ³
2 mm	220 cm ³	110 cm ³
4 mm	346 cm ³	173 cm ³
8 mm	566 cm ³	283 cm ³

Para obtener fracciones representativas, apropiadas para el análisis en el laboratorio, se ofrecen **divisores de muestras** profesionales con una desviación estándar muy pequeña. La figura 4 ilustra cómo difiere la desviación estándar según el método empleado para dividir la muestra. Como

puede observarse claramente, la desviación cualitativa en los divisores de muestras rotativos es la más pequeña de todas. Estos aparatos alcanzan un máximo de reproducibilidad siendo claramente superiores a los demás métodos.

Atención: Para el análisis por tamizado se empleará siempre una fracción completa de la muestra inicial, obtenida durante el proceso de división.

3.2. Elección de los tamices

Como se mencionó anteriormente, la elección de los tamices dependerá de la cantidad de muestra que se tenga y de la distribución granulométrica de la misma. En cuanto a las aberturas de malla, éstos se seleccionarán de tal manera que la gama completa de tamaños de grano de la muestra quede cubierta en intervalos regulares. Mientras más amplio sea el rango granulométrico, más tamices deberán usarse. Para saber qué aberturas de malla usar, véase la tabla de la sección 7.1. con los valores recomendados por diversas normas internacionales (Principal sizes, Supplementary sizes).

3.3. Procedimiento

El primer paso es determinar el peso de los tamices sin carga. Asimismo, la muestra tiene que ser pesada. Esto permitirá detectar y eliminar posibles pérdidas de material.

Antes de evaluar el resultado del tamizado, es necesario determinar el volumen o la masa del material retenido en los diferentes tamices (fracciones granulométricas). La técnica empleada con mayor frecuencia es la **pesada diferencial**: cada tamiz con su respectivo material retenido se pesa y el valor resultante se resta del peso sin carga de los tamices. La evaluación subsiguiente se describe en el capítulo 4.

Luego puede extraerse el material del fondo de los tamices. Una ventaja importante del análisis por tamizado que no ofrece la mayoría de los sistemas de medición ópticos es la **obtención de fracciones granulométricas individuales**. Las fracciones no son sólo valores analíticos, sino que están físicamente disponibles.

3.3.1. Tamizado en cascada

El tamizado en cascada es el método mayormente empleado para determinar la distribución granulométrica de una muestra:

- Se seleccionan los tamices de la columna y la bandeja colectora (ver sección 3.2.)
- Se determina el peso sin carga de los tamices/bandeja colectora*
- Se colocan los tamices sobre la bandeja colectora en orden creciente de abertura de malla
- Se pesa la muestra y se carga el tamiz superior (abertura de malla mayor – obsérvese la cantidad máxima permitida)*
- Se coloca y se fija la columna de tamices con la muestra en la tamizadora
- Se programan la amplitud óptima y el tiempo de tamizado (ver sección 3.4.)
- Se pone en marcha la tamizadora*
- Una vez finalizado el tamizado, se pesan los tamices y la bandeja colectora con sus respectivas fracciones granulométricas*
- Se determina la masa de las fracciones granulométricas* (peso después del tamizado menos peso sin carga)
- Se evalúan los datos *

* Con el software de evaluación EasySieve®, los datos de la pesada son registrados automáticamente y la evaluación se realiza de forma rápida y fácil. Todas las tamizadoras RETSCH de la serie "control" pueden ser operadas con el software EasySieve®.

3.3.2. Valor de corte

En algunos casos no se necesita determinar la distribución granulométrica, sino sólo el porcentaje de material menor/mayor que un valor determinado (abertura de malla). Para ello, la muestra se tamiza una sola vez y sólo con fines orientativos, p. ej. para evaluar el resultado de una molienda.

Para determinar el valor de corte se emplea sólo un tamiz analítico con una abertura de malla definida y la bandeja colectora. El procedimiento es, por lo demás, igual al del tamizado en cascada. Con el método de tamizado por chorro de aire también es posible determinar el valor de corte.

3.3.3. Tamizado en húmedo

El tamizado se realiza por lo general por vía seca. Sin embargo, cuando el proceso se ve dificultado por aglomeraciones, cargas electrostáticas o la granulometría muy fina del material, éste puede tamizarse por vía húmeda.

Para el tamizado en húmedo se requieren, además de los tamices, una bandeja colectora con boca de salida y una tapa especial para el tamizado en húmedo con boquilla pulverizadora. El tamizado se realiza haciendo pasar agua por la columna de tamices: el agua entra pulverizada por la boquilla que se encuentra en la tapa del tamiz superior y sale por la boca de salida de la bandeja que se encuentra en la base junto con la última fracción de material. Una vez que la turbidez del agua de salida ha desaparecido, el tamizado ha terminado.

- Se prepara una suspensión con la muestra + agua en un vaso de precipitados. Se reduce la tensión superficial agregando unas gotas de tensioactivo: esto facilita el paso del material por la luz de malla.
- Se seleccionan los tamices de la columna y la bandeja con boca de salida (ver sección 3.2.)
- Se mojan los tamices con agua y se arma la columna de tamices sobre la bandeja con boca de salida (orden creciente de abertura de malla).
- Se colocan los anillos de desgasificación entre los tamices para evitar la formación de burbujas de aire (en tamices con una abertura de malla $< 100 \mu\text{m}$).
- Se coloca la columna de tamices sobre la tamizadora.
- Si ha de pesarse también la fracción de granulometría menor (la que sale por la boca de la bandeja) para la evaluación, ésta tendrá que recogerse de manera apropiada.

- Se abre la tapa del tamiz superior y se introduce la suspensión.
- Se fija la columna de tamices.
- Parámetros recomendados para la tamizadora:
amplitud: 1 - 1,2 mm, operación por intervalos, tiempo: 5 min (en la mayoría de los casos se obtendrá una buena separación del material a los 2 - 3 min).
- Se pone en marcha la tamizadora.
- Se abre la llave del agua.
- Se observa el líquido que sale por la boca de la bandeja: el tamizado habrá finalizado cuando salga agua clara.
- Se cierra la llave del agua y se para la máquina.
- Se pone cada una de las fracciones de material retenido en un papel de filtro (plegado), y se secan a peso constante en la estufa a 105 °C.
- Se pesan las fracciones y se evalúan los datos con el software EasySieve®.
- Si la fracción de material más fino no fue recogida, su peso puede calcularse en base al valor de la pesada inicial:
 $\text{peso inicial} - \text{suma de las fracciones} = \text{fracción más pequeña}$

3.4. Tiempo, amplitud y velocidad de tamizado ideales

El tiempo, la amplitud y velocidad de tamizado ideales varían según el material a separar, y afectan de forma decisiva el resultado del análisis.

Las normativas nacionales e internacionales así como las directrices y estándares internos por lo general incluyen información detallada con los parámetros a configurar para el análisis granulométrico de productos específicos. Si no se dispone de dichas referencias, el tiempo, la amplitud y la velocidad del tamizado tienen que determinarse experimentalmente.

La figura 5 nos muestra claramente cómo el resultado del tamizado se ve afectado por la **amplitud**. En el ensayo se tamizó arena de cuarzo por 5 minutos con 3 amplitudes diferentes: 0,5 mm, 1,2 mm y 2mm. Como puede observarse, el tamizado más efectivo (mayor cantidad de material pasante) se alcanzó con la amplitud media (1,2 mm). La razón de este resultado es muy sencilla: cuando la amplitud es muy pequeña, las partículas no se elevan lo suficiente del tejido del tamiz y no se pueden mover libremente ni cambiar de posición, mientras que cuando es muy grande, se elevan demasiado incidiendo muy pocas veces y pasando con menos frecuencia.

La amplitud óptima es aquella en la que se alcanza el **estado de resonancia** (ver Fig. 6). Aquí, las partículas tienen la mayor probabilidad de paso, ya que el tiempo que tardan en subir y bajar corresponde a un periodo de vibración de la base. Cada vez que el tamiz recibe un impulso, el material cae sobre aberturas diferentes en diferente posición. La práctica ha demostrado que los mejores resultados se obtienen con una amplitud de 1,2 a 1,3 mm.

Según la norma DIN 66165, el **tiempo de tamizado** óptimo es el tiempo necesario para que la cantidad de material pasante sea menor del 0,1 % de la carga inicial, el cual se determina a intervalos de un minuto. Si después del primer minuto la cantidad que ha pasado es mayor, se tamiza por otro minuto, y así sucesivamente.

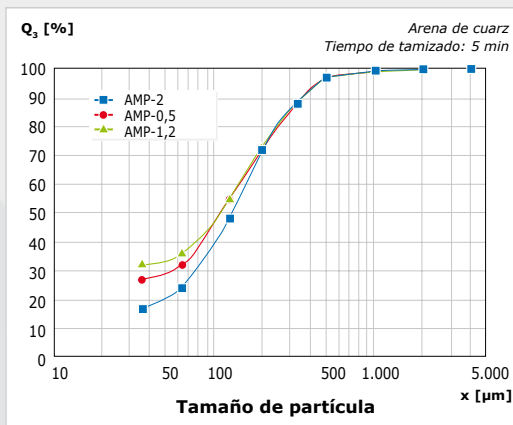


Fig. 5:
Variación del resultado
en función de la
amplitud

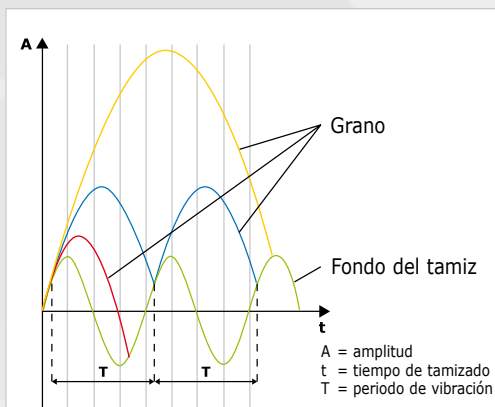


Fig. 6:
Movimiento de las partículas en relación al fondo del tamiz;
Curva azul: la partícula se encuentra en resonancia;
Curva roja: la partícula cae demasiado rápido;
Curva amarilla: la partícula es proyectada muy alto.

3.5. Ayudas para el tamizado

Las interacciones entre las partículas del material a tamizar son muy importantes, pues en base a éstas el material dejará tamizarse bien o mal. Entre éstas pueden mencionarse a nivel intermolecular las fuerzas de van der Waals (interacción dipolo-dipolo), puentes de hidrógeno en materiales con humedad residual, así como fricciones producidas por cargas electrostáticas (ver Fig. 7).

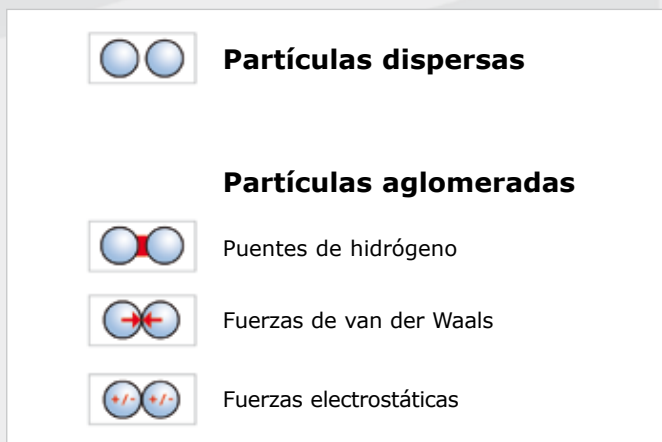


*Fig. 7:
Fuerzas de atracción entre las partículas que afectan el resultado del tamizado*

Dichas fuerzas de atracción propician la formación de aglomerados. La forma y la superficie de las partículas contribuyen también con este fenómeno: si las partículas tienen una superficie rugosa o con muchas hendiduras, éstas se encajan unas con otras formando aglomerados.

La determinación de la distribución granulométrica se ve falsificada por los aglomerados, ya que no se miden partículas individuales sino conjuntos de partículas obteniéndose porcentajes muy altos de material grueso.

Para deshacer aglomerados existentes o evitar la formación de los mismos, pueden emplearse ayudas mecánicas durante el tamizado.

Las ayudas para el tamizado se dividen en tres grupos principales:

- (a) Ayudas mecánicas** (cubos de goma, cepillos, bolas de ágata, goma o esteatita, aros con cadenas): destruyen los aglomerados y hacen que las partículas atoradas en la malla del tamiz se suelten.
- (b) Aditivos sólidos** (talco, Aerosil®) para productos grasosos, húmedos, pegajosos y aceitosos: al ser agregados al material éstos se depositan sobre la superficie de las partículas uniéndose con los componentes aglomerantes y neutralizándolos. Tienen una granulometría tan fina que no afectan el resultado del análisis granulométrico.
- (c) Aditivos líquidos** (p. ej. spray antiestático, bencinas, alcoholes, tensioactivos): éstos reducen las cargas electrostáticas, eliminan los componentes grasosos y aceitosos del material, o bien reducen la tensión superficial para el tamizado en húmedo.

3.6. Limpieza de los tamices analíticos

Los tamices analíticos son instrumentos de medición, y por lo tanto deben tratarse cuidadosamente antes, durante y después del tamizado. Antes del primer uso, es recomendable limpiarlos con etanol o isopropanol para eliminar restos de agentes conservantes; y si no se están usando, deberán guardarse en un lugar seco y libre de polvo.

Durante el tamizado, en ningún momento se forzará el material para que pase por el tejido del tamiz. La mera cepillada del material – aun cuando sea suave – o el uso de ayudas mecánicas inapropiadas (bolas de metal, cubos, cadenas, etc.) puede modificar la abertura de malla y dañar el tejido, especialmente en aquellos tamices muy finos.

Una vez finalizado el tamizado, se extraen las fracciones granulométricas de los tamices. Las partículas que se han quedado atascadas por su tamaño casi igual al de la luz de malla pueden retirarse sin necesidad de mojar el tamiz, simplemente volteándolo sobre la superficie de la mesa y dándole unos ligeros golpecillos. Si después de hacer esto hay todavía partículas atoradas, puede limpiarse con un pincel fino la cara inferior de la malla del tamiz.

Las mallas con una abertura $> 500 \mu\text{m}$ pueden limpiarse muy bien, en seco o en húmedo, con un cepillito para las uñas de cerdas de plástico. Estas ayudas para la limpieza no dañan el tejido.

Los tamices analíticos con una abertura de malla $< 500 \mu\text{m}$ deberían limpiarse sólo en un baño ultrasónico. El ultrasonido con su alta frecuencia ha demostrado ser un medio muy eficaz, especialmente en las mallas finas, para desatascar las partículas de granulometría límite; además de ser cuidadoso con el tamiz al no aplicar fuerzas mecánicas sobre éste.

Como solución limpiadora se recomienda agua mezclada con un tensioactivo comercial. La limpieza en el baño ultrasónico dura por lo general 2 - 3 minutos. Después se enjuagan bien los tamices con agua clara y se secan. No se recomienda el uso de soluciones fuertemente alcalinas o ácidas. En casos excepcionales, puede emplearse ácido acético al 5 % o una solución de carbonato de sodio para extraer partículas muy finas atascadas en el tejido. En tales casos, los tamices se enjuagarán inmediatamente después de la limpieza poniéndose especial atención en eliminar por completo los residuos que puedan corroerlos.

Para el secado pueden emplearse estufas de laboratorio de cualquier tamaño. La colocación vertical de los tamices en la estufa da muy buenos resultados. La temperatura de secado no debería sobrepasar los $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que el tejido fino de metal podría deformarse afectando la efectividad de la separación.

Una opción para el secado de tamices de hasta 200 mm que da resultados excelentes es la secadora rápida TG 200 de RETSCH. Los tamices mojados se apilan sobre la secadora – pero esta vez en orden decreciente de aberturas de malla: el tamiz inferior será el de mayor abertura, y el superior el de menor abertura. Una corriente de aire variable y previamente termostatzada pasa por la columna de tamices acelerando el proceso de secado. Después de unos 3 a 5 minutos los tamices están secos y listos para el uso.

Antes de la limpieza y el secado se retirarán las juntas de goma o plástico de los tamices.

Antes del uso y después de cada limpieza, debe verificarse visualmente que los tamices no presenten daños y estén completamente limpios. Observando el tamiz a contraluz (luz de día) podremos reconocer fácilmente restos de material, rasgaduras o agujeros. El sostener el tamiz ligeramente inclinado nos permite detectar irregularidades, abolladuras y ondas en el tejido.

Si se detectan irregularidades en el tejido como las anteriormente mencionadas, el tamiz no cumplirá con los requisitos del control de calidad según DIN ISO 3310 y deberá ser sustituido.

Sólo la manipulación, limpieza, secado y almacenaje correctos garantizan que los tamices puedan ser usados por muchos años como instrumentos de medición precisos.

4. Evaluación e interpretación de los datos del tamizado

Resultados del análisis por tamizado

Cantidad de muestra: 150 gramos = 100 %
Parámetros de tamizado: tiempo = 4 min,
Amplitud = 1,3 mm

Tamiz [μm]	Peso neto [g]	Peso retenido	Dife- rencia [g]	Porcen- taje [%]
Malla	501	505,5	4,5	3
45	253	259	6	4
63	268	283	15	10
140	298	328	30	20
250	325	373	48	32
500	362	384,5	22,5	15
1.000	386	401	15	10
2.000	406	412	6	4
4.000	425	428	3	2

= 150 g = 100 %

Fig. 8:
Determinación de la cantidad de material rete-
nido en cada fracción

Tal como se mencionó en la sección 3.3., los tamices se pesan dos veces: la primera vez antes del tamizado sin carga, y la segunda después del tamizado con el material retenido (pesada diferencial, ver Fig. 8). La diferencia entre ambos valores es el peso de la fracción granulométrica respectiva. Este valor y la suma de las diferencias nos permiten calcular el porcentaje de cada fracción granulométrica con respecto al total de retenido.

La diferencia entre el peso original de la muestra y la suma de las fracciones de retenido se denomina "pérdida de tamizado". Según la norma DIN 66165, si dicha diferencia es mayor del 1 %, el tamizado deberá repetirse.

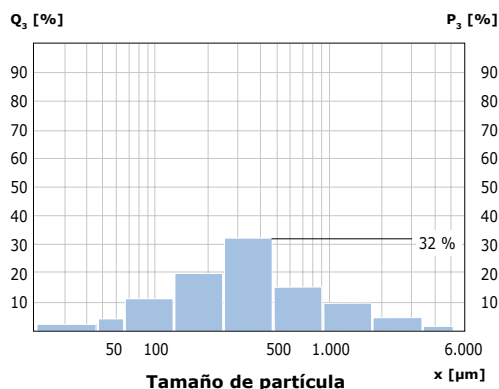


Fig. 9:
Histograma con las fracciones

El porcentaje de peso de las fracciones puede representarse gráficamente en forma de histograma (ver Fig. 9). En nuestro ejemplo, la fracción de retenido con una granulometría entre 250 y 500 μm es la mayor con un porcentaje del 32 %.

Al sumar las fracciones individuales e interpolar los puntos de medición se obtiene la curva acumulativa de la distribución granulométrica Q_3 (ver Fig. 10).

La curva acumulativa de la Fig. 11 nos permite determinar diversas propiedades de la muestra. Por ejemplo: si buscamos el tamaño de partícula $250\ \mu\text{m}$, nos damos cuenta de que corresponde a un valor de $36\ \%$ en el eje y. Esto significa que el $36\ \%$ de la muestra total tiene una granulometría inferior a $250\ \mu\text{m}$. Si buscamos el valor mediano de la distribución granulométrica $Q_3(50)$, vemos que corresponde a $330\ \mu\text{m}$ en el eje x. Esto quiere decir que el $50\ \%$ de la muestra tiene un tamaño de grano igual o inferior a $330\ \mu\text{m}$. Los demás valores de $x(Q_3)$ y $Q_3(x)$ pueden determinarse de la misma manera.

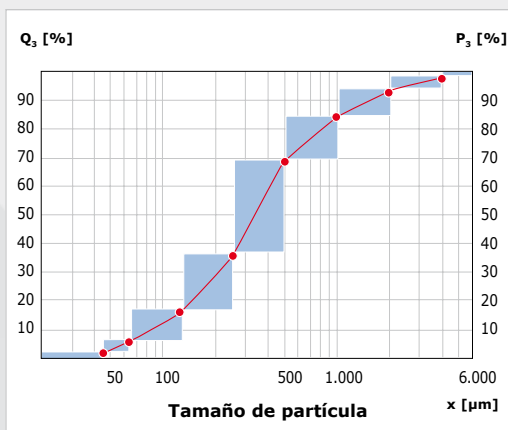


Fig. 10:
Histograma con curva acumulativa de distribución granulométrica

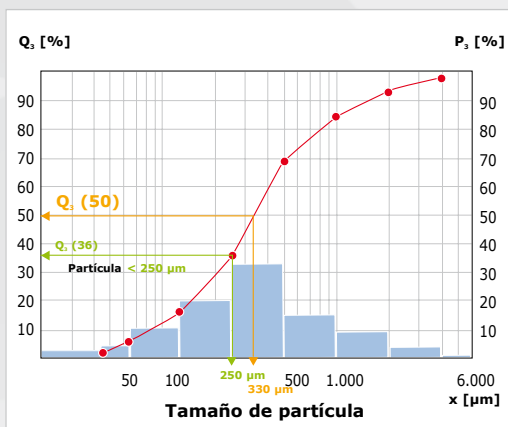


Fig. 11:
Curva acumulativa de distribución granulométrica con ejemplos de valores porcentuales

4.1. Tipos de cuantificación $Q_{(x)}$

En la sección anterior se utilizó el término Q_3 en el contexto de la distribución granulométrica. Aquí, el subíndice 3 nos indica que la curva acumulativa se refiere a la **masa o volumen** de la muestra (magnitud tridimensional). Esto significa que las fracciones granulométricas han sido pesadas o que su volumen ha sido determinado con un matraz aforado u otro instrumento. La representación gráfica también puede hacerse en base a la distribución por **longitud** Q_1 , por **superficie** Q_2 o por **cantidad** Q_0 (ver Fig. 12). En ésta última, se cuentan las partículas de una fracción granulométrica, por ejemplo con un microscopio.

Fig. 12:
Tipos de cuantificación de conjuntos de partículas (Q_i)



Dependiendo del tipo de cuantificación empleado, las curvas obtenidas en la práctica pueden diferir, p. ej. al visualizar la distribución por volumen y por cantidad. Tal como puede observarse en la Fig. 13, la curva roja de la distribución por cantidad nos indica que la muestra tiene un alto porcentaje (casi 20 %) de partículas con una granulometría inferior a 100 μm . En la curva azul de la distribución por masa o volumen (Q_3), por el contrario, no aparecen las partículas finas. Ésta sólo muestra partículas a partir de 400 μm .

Estas diferencias quedan claramente demostradas con el siguiente ejemplo: en un conjunto de partículas conformado por un cubo grande de 10 mm de arista y 1.000 cubos pequeños de 1 mm de arista, la curva de distribución por volumen nos indicaría que 50 % del volumen corresponde al cubo grande y el otro 50 % a los cubos pequeños (ver también Fig. 14). En la curva por cantidad, por el contrario, el cubo grande representaría 1/1000 de la muestra total.

Para obtener resultados que puedan compararse, es muy importante usar siempre el mismo conjunto de referencia Q_r .

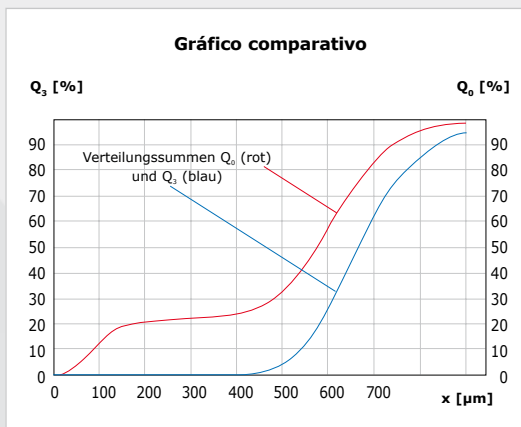


Fig. 13:
Diferentes curvas acumulativas de distribución por cantidad (Q_0) y por volumen (Q_3) para el mismo conjunto de partículas (referencia Q_r)

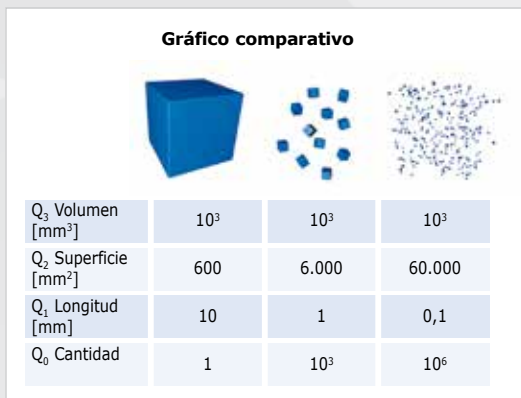


Fig. 14:
Diferencias en la distribución por superficie, longitud y cantidad de un conjunto de partículas con el mismo volumen pero diferentes geometrías (1 cubo, 1.000 cubos, 1.000.000 de cubos)

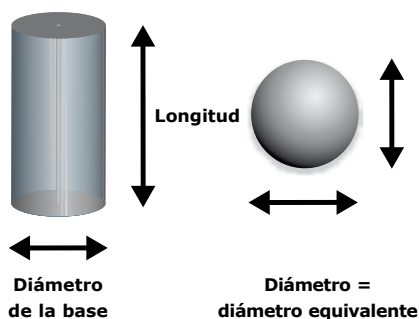


Fig. 15:
Comparación entre una barra y una esfera (diámetro equivalente = diámetro de la base/ esfera)

4.2. Diámetro equivalente

¿Qué nos dice concretamente el análisis por tamizado acerca del tamaño de partícula? Para explicar esto, tomaremos a manera de ejemplo un tamiz con una abertura de malla de 1 mm. Si tenemos partículas esféricas y éstas pasan por el tamiz, quiere decir que tienen un diámetro menor de 1 mm. Ahora bien, la cosa se complica cuando las partículas son irregulares, p. ej. con forma cilíndrica o lenticular: a diferencia de las esféricas, sólo pasarán a través del tamiz aquéllas que se encuentren en una posición determinada. Esto significa que durante el proceso de tamizado cada partícula rebota repetidamente contra la malla del tamiz cambiando su posición con cada salto hasta que su "superficie de proyección" más pequeña queda de cara con la malla, y es entonces cuando pasa por la abertura. La superficie de proyección es la "sombra" bidimensional que proyecta la partícula.

En una barrita (ver Fig. 15), sería la superficie de la base, que si tiene un diámetro inferior a 1 mm hará que ésta pase por la abertura de malla independientemente de cuál sea su longitud. Su **diámetro equivalente** es, por lo tanto, inferior a 1 mm. Esto quiere decir, para los efectos del tamizado, que las partículas irregulares son consideradas como "esferas equivalentes" (esferas con las mismas propiedades que las partículas irregulares), cuyo tamaño puede ser determinado con ayuda del tamizado. En este caso el análisis por tamizado no nos proporciona ningún tipo de información relativa a su forma o su longitud.

Las partículas en forma de plaquita o lente pueden pasar por la abertura de malla si tienen una orientación diagonal (ver Fig. 16), lo cual indica que su diámetro equivalente es menor que su diámetro, pero mayor que su espesor.

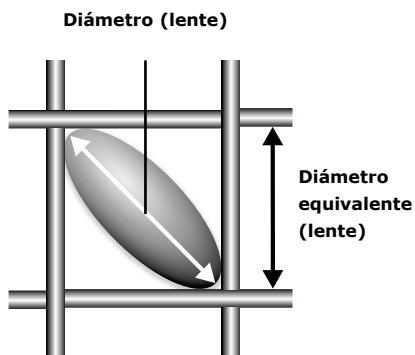


Fig. 16:
Las partículas lenticulares pasan por la abertura de malla en posición diagonal (diámetro equivalente < diámetro)

4.3. Funciones de distribución

La caracterización y comparación de conjuntos de partículas entre sí se realiza con ayuda de una representación gráfica en forma de curva de frecuencia de distribución $q_r(x)$ (Fig. 17) o curva acumulativa de distribución $Q_r(x)$ (Fig. 18). Las fracciones granulométricas pueden representarse en forma de histograma (diagrama de barras) según su cantidad de partículas. Esto va expresado por p_r (ver Fig. 19). La curva acumulativa de distribución $Q_r(x)$ está normalizada en base a la cantidad total de partículas medidas (%), siendo $Q_r(x)$ adimensional.

Si la diferencia entre las fracciones de masa de dos diámetros equivalentes va expresada por $x_2 = x_1 + \Delta x$, entonces se obtiene

$$\Delta Q_r(x_1, x_2) = Q_r(x_2) - Q_r(x_1)$$

(ecuación 1)

Por consiguiente, la frecuencia de distribución $q_r(x_1, x_2)$ para x_1 y x_2 es:

$$q_r(x_1, x_2) = \frac{\Delta Q_r(x_1, x_2)}{\Delta x} = \frac{Q_r(x_2) - Q_r(x_1)}{x_2 - x_1}$$

(ecuación 2)

Partiendo de la premisa que $Q_r(x)$ es una función diferenciable, calculando la derivada de Q_r respecto de x se obtiene la curva de frecuencia de distribución $q_r(x)$:

$$q_r(x) = \frac{dQ_r(x)}{dx}$$

(ecuación 3)

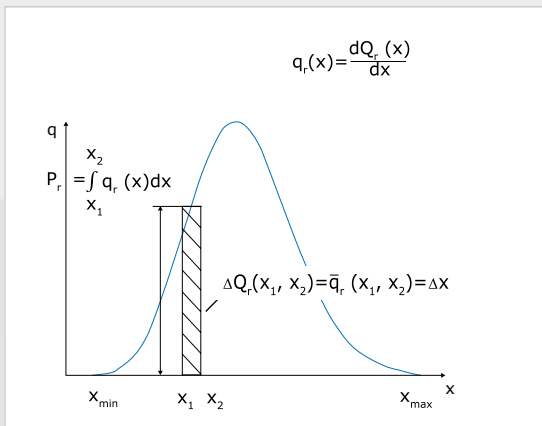


Fig. 17:
Curva de frecuencia de distribución $q_r(x)$

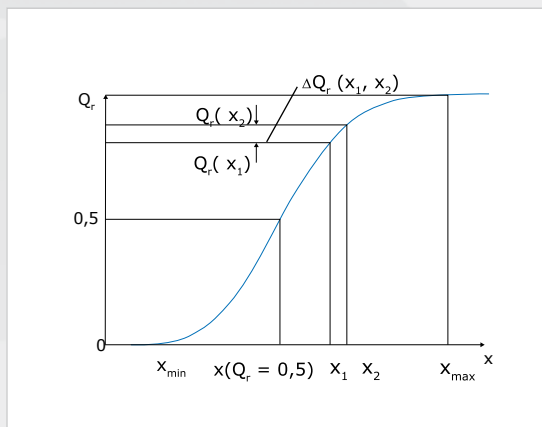


Fig. 18:
Curva acumulativa de distribución $Q_r(x)$

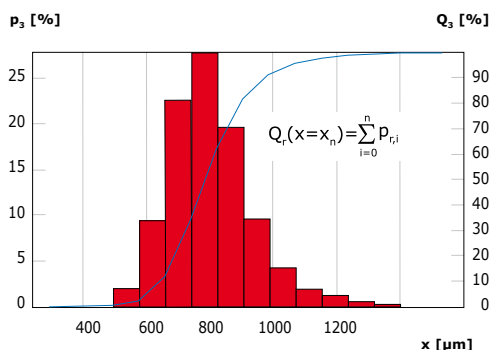


Fig. 19:
Proporciones de cantidad p_r (histograma)
de las fracciones individuales

A mayor cantidad de muestra en el intervalo $x_2 - x_1$, más empinada será la curva acumulativa de distribución en esta sección, es decir que el valor de $\Delta Q_r(x_2, x_1)$ es alto. Siendo $Q_r(x)$ una función diferenciable, se obtiene por derivación para cada diámetro equivalente de x la pendiente de la curva acumulativa y de esta manera la frecuencia relativa de una partícula. A mayor valor de $q_r(x)$, más empinada será la curva, y a menor valor de $q_r(x)$, menos empinada.

Como x corresponde al diámetro equivalente, $q_r(x)$ tiene una dimensión igual a %/longitud. La curva de frecuencia de distribución tiene muchas veces la forma de una campana de Gauss típica con un pico representando una distribución de tipo monomodal. Si tiene uno o dos picos, entonces se trata de distribuciones bimodales o multimodales.

En el análisis por tamizado, la representación de la frecuencia de distribución en forma de histograma es sumamente importante (ver Fig. 19). Los intervalos Δx vienen dados por las diferencias entre las aberturas de malla adyacentes. La diferencia entre las fracciones de masa es

$$p_r(x_1, x_2) = \Delta Q_r(x_1, x_2) \approx \bar{q}_r(x_1, x_2) \cdot \Delta x \quad (\text{ecuación 4})$$

donde $\bar{q}_r$ es la frecuencia media de distribución (ver Fig. 17).

La suma de las clases individuales puede expresarse, por lo tanto, con

$$Q_r(x=x_n) = \sum_{i=0}^n p_{r,i} \quad (\text{ecuación 5})$$

5. Aparatos RETSCH

5.1. Tamices analíticos

Para obtener resultados fiables y reproducibles dentro del marco del aseguramiento de la calidad, es imprescindible que los tamices analíticos empleados se encuentren en conformidad con las normas ISO 3310 o ASTM E11. En estas normas se definen los requisitos técnicos y ensayos que han de llevarse a cabo con los tamices. Si el laboratorio realiza además controles de calidad en conformidad con la norma ISO 9000, entonces no sólo los tamices analíticos, sino también las tamizadoras y las balanzas usadas tendrán que someterse a una inspección para equipos de medición y control.

La norma ISO 3310 prescribe para los tamices analíticos las tolerancias máximas permitidas para el diámetro de los alambres (d) y la abertura nominal (w) de las mallas (ver Fig. 20). Para cada abertura de malla w se ha definido un valor Y , el cual indica qué tanto puede diferir la abertura de malla media real de la abertura de malla nominal.

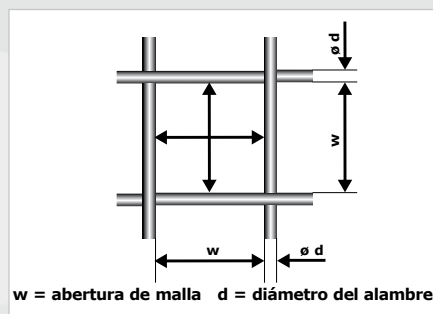


Fig. 20:
Representación esquemática de una abertura de malla



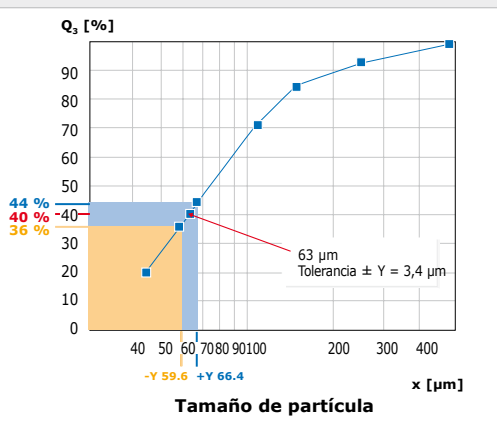


Fig. 21:
 Valor de tolerancia Y para una abertura de malla nominal de 63 μm según ISO 3310-1 (2016)
 – y lo que esto significa

Para explicar esto tomaremos un tamiz de 63 μm (ver Fig. 21). El valor de tolerancia Y en un tamiz con una abertura de malla nominal de 63 μm es de ± 3,4 μm. Esto significa que la malla tiene aberturas entre 59,6 μm y 66,4 μm.

La Fig. 21 nos la ilustra la importancia que tiene el conocimiento de la anchura de malla para el análisis granulométrico: si la abertura de malla es de 63 μm, el porcentaje de muestra que tiene un tamaño de grano inferior es de 40 %. Si la abertura de malla es de 66,4 μm (límite superior del valor de tolerancia Y), el 44 % de las partículas tiene un tamaño de grano inferior a éste. Si el usuario no conociera el valor real de la abertura de malla, pensaría que el 44 % de la muestra tiene una granulometría inferior a 63 μm.

La calidad de los tamices analíticos RETSCH ha sido comprobada en un proceso automático de medición óptica y está documentada en los siguientes informes y certificados (ver ejemplos en la sección 7.2.):

(a) Informe de control:

certifica que se ha realizado un control del tamiz en conformidad con las normas ISO 3310-1 / ASTM E11 y que los resultados se encuentran dentro del margen de tolerancia permitido.

Suministrables bajo demanda:

(b) Certificado de inspección (para tamices ISO 3310-1 / ASTM E11):

es un informe de control ampliado con los valores de las aberturas de malla medidas para trama y urdimbre.

(c) Certificado de calibración (para tamices ISO 3310-1):

incluye, además de (a) y (b), la desviación estándar del diámetro del alambre y de la anchura de la abertura de malla certificando que el tamiz tiene un grado de conformidad del 99,97 % con la norma.

Además de cumplir con los requisitos de la normativa pertinente, los tamices RETSCH ofrecen otras ventajas importantes:

La construcción especial de los tamices RETSCH con su bastidor de acero inoxidable hecho "en una sola pieza" garantiza un tamizado de gran estabilidad y fiabilidad. La malla es asegurada de forma precisa al bastidor tomando en cuenta parámetros específicos. Seguidamente, los tamices se someten a un proceso de conformación único en el mundo y exclusivo de RETSCH en el que la malla es tensada de forma fiable y estable a largo plazo. Al estar hechos en acero de alta aleación resistente a la corrosión, los tamices pueden emplearse en todas las áreas de análisis del laboratorio, así como para controles farmacológicos, biomédicos y de alimentos. Cada tamiz es sometido a un estricto control por barrido óptico para garantizar una completa conformidad con la normativa actual. Los datos de los tamices (apertura de malla nominal, número de serie, fabricante, normativa que cumple, medidas) han sido grabados con láser en el bastidor y no pueden ser manipulados o borrados.

Retsch
ANALYSENSIEB - TEST SIEVE - TAMIS D'ANALYSE

Werkzeugherstellung nach: Certificate of compliance with the order according to DIN EN 10904
Attestation de conformité à la commande: DIN EN 10904

Serial No. (Seriennr.) / Numéro de série: 1009243
Mesh (Siebgröße) / Taille du tamis: 60 µm
ASTM E11-08

Design (Aussehen) / Apparence: This sieve has been submitted to a visual inspection and found to conform with the requirements of the order.

Calibration (Kalibrierung) / Calibration: Calibration certificate is available upon request.

TEST SIEVE RECORD CARD									
Serial No. (Seriennr.)	Mesh (Siebgröße)	Material (Material)	Manufacturer (Hersteller)	Year of manufacture (Jahr der Herstellung)	Year of inspection (Jahr der Inspektion)	Year of calibration (Jahr der Kalibrierung)	Year of last inspection (Jahr der letzten Inspektion)	Year of last calibration (Jahr der letzten Kalibrierung)	Year of last inspection (Jahr der letzten Inspektion)
1009243	60 µm	Stainless steel (Edelstahl)	Retsch	2015	2015	2015	2015	2015	2015

Retsch
ANALYSENSIEB - TEST SIEVE - TAMIS D'ANALYSE

Werkzeugherstellung nach: Certificate of compliance with the order according to DIN EN 10904
Attestation de conformité à la commande: DIN EN 10904

Serial No. (Seriennr.) / Numéro de série: 1009243
Mesh (Siebgröße) / Taille du tamis: 60 µm
ASTM E11-08

Design (Aussehen) / Apparence: This sieve has been submitted to a visual inspection and found to conform with the requirements of the order.

Calibration (Kalibrierung) / Calibration: Calibration certificate is available upon request.

TEST SIEVE RECORD CARD									
Serial No. (Seriennr.)	Mesh (Siebgröße)	Material (Material)	Manufacturer (Hersteller)	Year of manufacture (Jahr der Herstellung)	Year of inspection (Jahr der Inspektion)	Year of calibration (Jahr der Kalibrierung)	Year of last inspection (Jahr der letzten Inspektion)	Year of last calibration (Jahr der letzten Kalibrierung)	Year of last inspection (Jahr der letzten Inspektion)
1009243	60 µm	Stainless steel (Edelstahl)	Retsch	2015	2015	2015	2015	2015	2015

Retsch
ANALYSENSIEB - TEST SIEVE - TAMIS D'ANALYSE

Werkzeugherstellung nach: Certificate of compliance with the order according to DIN EN 10904
Attestation de conformité à la commande: DIN EN 10904

Serial No. (Seriennr.) / Numéro de série: 1009243
Mesh (Siebgröße) / Taille du tamis: 60 µm
ASTM E11-08

Design (Aussehen) / Apparence: This sieve has been submitted to a visual inspection and found to conform with the requirements of the order.

Calibration (Kalibrierung) / Calibration: Calibration certificate is available upon request.

TEST SIEVE RECORD CARD									
Serial No. (Seriennr.)	Mesh (Siebgröße)	Material (Material)	Manufacturer (Hersteller)	Year of manufacture (Jahr der Herstellung)	Year of inspection (Jahr der Inspektion)	Year of calibration (Jahr der Kalibrierung)	Year of last inspection (Jahr der letzten Inspektion)	Year of last calibration (Jahr der letzten Kalibrierung)	Year of last inspection (Jahr der letzten Inspektion)
1009243	60 µm	Stainless steel (Edelstahl)	Retsch	2015	2015	2015	2015	2015	2015

(a) Informe de control

(b) Certificado de inspección

(c) Certificado de calibración

5.2. Tamizadoras analíticas

RETSCH ofrece una amplia gama de tamizadoras que garantizan resultados analíticos reproducibles:

	AS 200 basic	AS 200 digit	AS 200 control	AS 300 control
Movimiento de tamizado:	proyección por impulso de rotación	proyección por impulso de rotación	proyección por impulso de rotación	proyección por impulso de rotación
Rango:	20 µm - 25 mm	20 µm - 25 mm	20 µm - 25 mm	20 µm - 40 mm
Tamizado en seco/húmedo:	sí / sí	sí / sí	sí / sí	sí / sí
Carga/cantidad máx. de muestra:	3 kg	3 kg	3 kg	6 kg
Tamices de Ø compatible [mm]:	100 / 150 / 200 / 203	100 / 150 / 200 / 203	100 / 150 / 200 / 203	100 / 150 / 200 / 203 / 305 / 315
Cant. máx. de fracciones (seg. tamaño del tamiz):	9 / 17	9 / 17	9 / 17	9 / 17
Peso máx. de la columna:	4 kg	4 kg	6 kg	10 kg
Ajuste de la amplitud:	analógico, 0 - 3 mm	analógico, 0 - 3 mm	digital, 0,2 - 3 mm	digital, 0,2 - 2 mm
Ajuste de la velocidad:	-	-	-	-
Rango de aceleración de la base de los tamices:	-	-	1,0 - 15,1 g	1,0 - > 10,0 g
Velocidad / golpeteos:	-	-	-	-
Ajuste de tiempo:	analógico, 1 - 60 min	digital, 1 - 99 min	digital, 1 - 99 min	digital, 1 - 99 min
Operación por intervalos:	-	sí	sí	sí
Unidades de vacío:	-	-	-	-
Combinaciones de parámetros almacenables:	-	-	9	9
Con cert. inspección/calibrable:	-	-	sí	sí
Puerto serie:	-	-	sí	sí
Altura máx. columna:	450 mm	450 mm	450 mm	450 mm
Medidas (A/H/F):	400 x 230 x 350 mm	400 x 230 x 350 mm	400 x 230 x 350 mm	400 x 235 x 400 mm
Peso:	~ 30 kg	~ 30 kg	~ 30 kg	~ 35 kg

AS 450 control	AS 200 jet	AS 200 tap	AS 400 control
proyección por impulso de rotación	chorro de aire	movimiento horizontal circular con impulsos de golpeteo verticales	movimiento horizontal circular
20 µm - 125 mm	10 µm - ~ 4 mm	20 µm - 25 mm	45 µm - 63 mm
sí / sí	sí / no	sí / no	sí / no
25 kg	0,3 - 100 g	3 kg	5 kg
400 / 450	203	200 / 203	100 / 150 / 200 / 203 / 305 / 315 / 400
14 / 11	1 / 2 con ciclón	7 / 13	7 / 9 / 17
50 kg	-	6 kg	15 kg
digital, 0,2 - 2,2 mm	-	-	-
-	digital, 5-55 rpm (tobera)	-	digital, 50 - 300 rpm
0,6 - > 7,1 g	-	-	0,04 - 1,51 g
-	-	280 rpm / 150 golp/min	-
digital 1 - 99 min	digital 00:00 - 99:59	digital 1 - 99 min	digital 1 - 99 min
sí	-	-	ja
-	0 - 9999 Pa / 0 - 100 mbar	-	-
9	9	-	9
no / sí	-	-	sí
sí	sí	-	sí
963 mm	25/50 mm, 1"/2"	350 mm	450 mm
714 x 435 x 658 mm	460 x 288 x 305 mm	750 x 650 x 450 mm; con cámara de aislam. acúst.: 735 x 675 x 530 mm	540 x 260 x 507 mm
~ 200 kg	~ 14 kg	~ 68 kg; con cámara de aislam. acúst.: ~ 92 kg	~ 70 kg

AS 200 basic / AS 200 digit / AS 200 control / AS 300 control / AS 450 control

El **movimiento tridimensional** de las **tamizadoras de proyección** es producido por el accionamiento electromagnético y un sistema de resorte-masa. Todas estas tamizadoras pueden emplearse tanto para el tamizado por vía seca como por vía húmeda.

Los criterios a tener en cuenta a la hora de seleccionar una tamizadora son el diámetro de los tamices y la cantidad de material a procesar (carga).

Los modelos de la serie AS 200 se diferencian en el confort operacional y posibilidad de calibración:

	AS 200 basic	AS 200 digit	AS 200 control
Ajuste de la amplitud	analógico	analógico	digital
Ajuste de tiempo	analógico	digital	digital
Con cert. inspección/calibrable:	no	no	sí

*Tamizadora analítica
AS 200 control*

AS 200 control / AS 300 control / AS 450 control

Todos los parámetros como la amplitud, el tiempo y el intervalo de tamizado son de ajuste digital y pueden guardarse en la memoria. Estas tamizadoras disponen además de un puerto serie a través del cual pueden controlarse desde el PC con el software de evaluación EasySieve®.

En estos aparatos, el sistema de resorte-masa trabaja se mueve con su **frecuencia natural**; esto quiere decir que la frecuencia del movimiento es independiente de la frecuencia de la red eléctrica. La unidad de medición y control por microprocesador garantiza movimientos constantes y resultados absolutamente reproducibles.

Para garantizar resultados igualmente reproducibles con tiempos cortos de tamizado, el usuario puede cambiar del tamizado basado en la amplitud de vibración (A) al tamizado basado en la aceleración de la base de los tamices (g'). **Éste último es un tamizado con aceleración uniforme.**

*Analysensiebmaschine
AS 300 control*

Aquí, el índice K es el coeficiente de la aceleración de la base de los tamices (g') entre la aceleración terrestre (o aceleración por la gravedad g) como fuerza opuesta, y va expresada por la siguiente ecuación:

$$K = A \cdot \frac{(2\pi f)^2}{g} = \frac{g'}{g}$$

(ecuación 6)

(K = coeficiente de tamizado, A = amplitud,
f = frecuencia natural, g = aceleración por la gravedad,
 g' = aceleración de la base de los tamices)

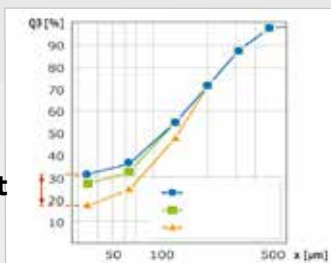
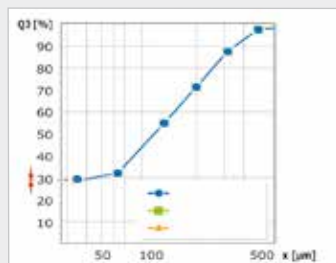
K tendrá un valor óptimo, si el sistema ha alcanzado el estado de resonancia mecánica (ver sección 3.3.), es decir cuando el tiempo que tarda una partícula en subir y bajar coincide con un periodo de vibración.

Concretamente, esto significa que las tamizadoras RETSCH, como están accionadas por su frecuencia natural, tienen un movimiento completamente independiente de la frecuencia de la red eléctrica. La frecuencia natural de una tamizadora cambia en función de ciertos factores, como por ejemplo su carga (peso de la columna de tamices): a mayor carga, menor es la frecuencia de movimiento natural. Si en el aparato se define un valor para la amplitud, el valor de K cambiará (ver ecuación 6). En tal caso puede definirse la aceleración de la base de los tamices (g'), esto mantendrá constante el valor de K garantizando un movimiento de proyección óptimo. Cuando el aparato tiene una carga mayor, la frecuencia de movimiento natural menor puede compensarse con una amplitud mayor, siendo el resultado una aceleración de la base siempre igual, ya que la cantidad de energía aplicada a las partículas es siempre la misma.



*Tamizadora analítica
AS 450 control*

AS 200 jet

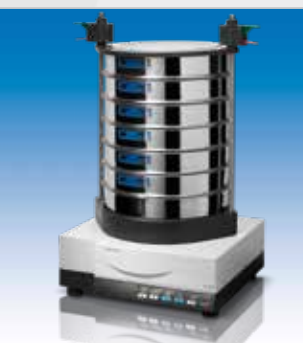




Tamizadora a chorro de aire AS 200 jet



Tamizadora de golpeteo AS 200 tap



Tamizadora horizontal AS 400 control

En la **tamizadora a chorro de aire AS 200 jet**, el tamiz no se mueve durante el proceso de tamizado. El material es movido por una corriente de aire en rotación: este aparato lleva conectada una aspiradora industrial que genera un vacío en la cámara de tamizado, con lo que el aire del entorno es succionado a través de una tobera ranurada en rotación. De esta manera se crea una corriente de aire que sale a gran velocidad de la tobera atravesando de abajo hacia arriba el tejido del tamiz y levantando el material. Una vez encima de la malla, la corriente se reparte por toda la superficie del tamiz y es de nuevo succionada hacia abajo, esta vez a baja velocidad. El material de granulometría más fina pasa a través a través de la abertura de malla y es succionado por una aspiradora. El material también puede recogerse con ayuda de un ciclón.

AS 200 tap

La **tamizadora de golpeteo AS 200 tap** realiza un movimiento horizontal circular, el cual es transmitido a través de una excéntrica. A este movimiento se le aplican simultáneamente impulsos de golpeteo por un brazo mecánico. Como la frecuencia de vibración y la de los golpeteos son fijas, en esta máquina el único parámetro ajustable es el tiempo.

AS 400 control

La **tamizadora horizontal AS 400 control** realiza un movimiento horizontal circular, el cual es transmitido a través de una excéntrica. Al igual que en las tamizadoras con movimiento de proyección, en esta máquina tanto la velocidad como el tiempo y el intervalo de tamizado son de ajuste digital y pueden guardarse en la memoria. Esta tamizadora acepta tamices con un diámetro de hasta 400 mm, permitiendo de esta manera preparar para el análisis materiales a granel gruesos, como los que se emplean usualmente en la industria de la construcción.

5.3. Software de evaluación

La evaluación del tamizado empleando un software para PC es mucho más rápida y eficiente que la evaluación manual, ya que quedan eliminados los errores de cálculo y representación gráfica. En comparación con la evaluación automática, la evaluación manual es un proceso tedioso en el que el operador puede cometer errores.

Con el software EasySieve® de RETSCH, la evaluación puede realizarse de forma confortable. Éste controla la balanza y la tamizadora (todas las tamizadoras modelo "control") indicándole al usuario cada uno de los pasos a seguir (ver Fig. 23).

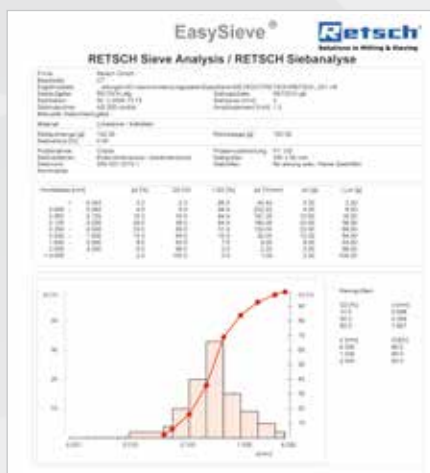
Contiene cuadros de texto en los que se pueden ingresar todos los parámetros de la medición así como los parámetros a calcular. Los parámetros que no cambian pueden editarse y guardarse en la memoria para ser llamados después.

Si se conecta una balanza, los datos obtenidos con ésta (peso de los tamices sin carga/con retenido) son transferidos directamente al EasySieve®. Si no hay ninguna balanza conectada, éstos pueden ingresarse manualmente.

El software calcula todas las distribuciones granulométricas usuales, así como parámetros característicos del tamaño de partícula (ver Fig. 24), y genera un protocolo conforme con la normativa pertinente en el que se representan los resultados de forma tabular y gráfica. Los datos también pueden ser exportados a otros programas (p. ej. Microsoft Excel).



Fig. 23:
El software EasySieve® permite realizar análisis granulométricos rápidos y fiables





*Divisores rotativos
PT 100 y PK 100,
divisores acanalados*

5.4. Divisores de muestras

Para la división exacta de muestras, RETSCH ofrece los **divisores de muestras rotativos PT 100 y PK 1000**, así como **divisores acanalados** en diferentes tamaños (RT 6.5 – RT 75).

Con el divisor rotativo PT 100 pueden obtenerse 6, 8 ó 10 fracciones de muestra representativas, dependiendo del cabezal seleccionado. El cabezal rota a una velocidad constante de 110 rpm, independientemente de la carga o de la frecuencia de la red. Los recipientes colectores (30 - 500 ml) se ponen y quitan de manera muy fácil gracias a los cierres de bayoneta.

Si se quieren obtener hasta 3 fracciones representativas de un volumen de muestra grande, el divisor de tubo rotativo PK 1000 es el aparato a escoger. El material sobrante es recogido en un recipiente de 30 litros.

Para garantizar una alimentación uniforme de la muestra, recomendamos emplear el **alimentador DR 100**.

Los divisores acanalados de RETSCH, que se ofrecen en 6 tamaños diferentes, pueden usarse para la separación manual y precisa de muestras fibrosas que tienden a aglomerarse y no pueden esparcirse bien, tales como combustibles secundarios o virutas de madera.



*Baños ultrasónicos
UR 1 y UR 3*

5.5. Baños ultrasónicos

Para la limpieza a fondo y al mismo tiempo cuidadosa de los tamices, RETSCH ofrece baños ultrasónicos en 3 tamaños diferentes (1 tamiz ó 5 tamices). Un generador de alta frecuencia produce aproximadamente 35.000 oscilaciones por segundo, las cuales son conducidas a través del líquido. Estos aparatos son fáciles de usar y no necesitan mantenimiento.

5.6. Secadora rápida

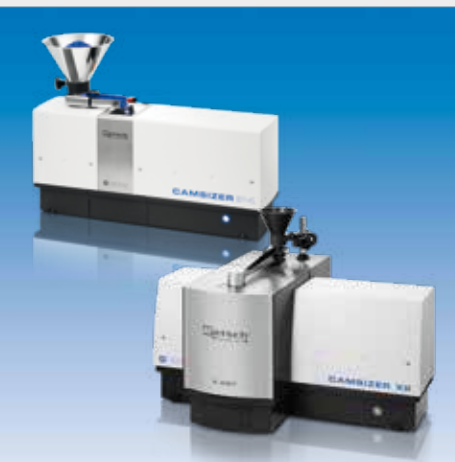
La secadora rápida TG 200 ha sido concebida para el secado cuidadoso de hasta 5 tamices de 200 mm de diámetro. En este aparato, el caudal de aire y la temperatura son de ajuste continuo (40 - 150 °C). El ventilador de 1000 W genera un caudal de 185 m³/h. La potencia calorífica es de 2000 W.

*Secadora rápida
TG 200*



6. Análisis dinámico de imágenes

Análisis de alta resolución del tamaño y la forma de las partículas

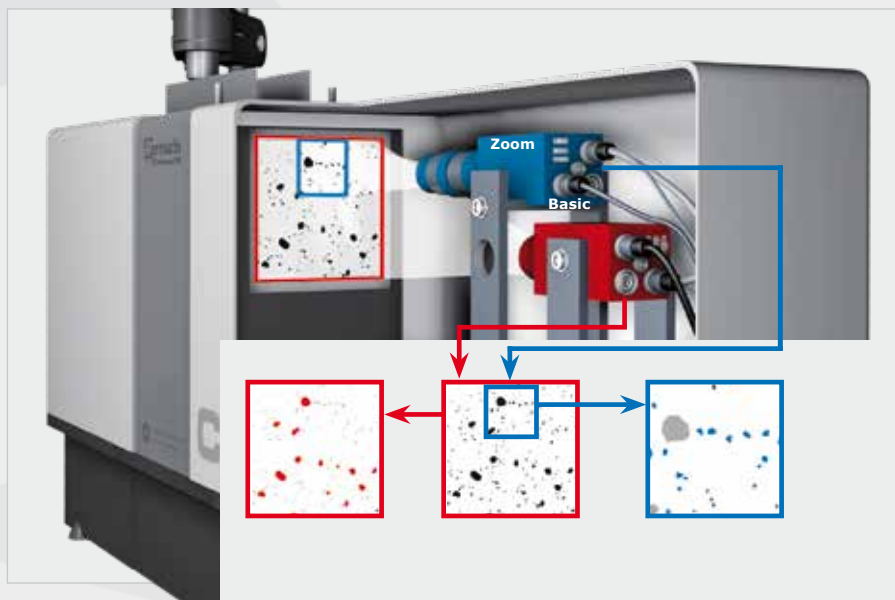


El método actualmente más empleado para determinar la granulometría de materiales es – por su economía y sencillez – el análisis por tamizado. No obstante, como el tamizado requiere mucho tiempo y proporciona relativamente poca información, hay un método alternativo que viene ganando cada vez más popularidad: el análisis dinámico de imágenes (DIA, Dynamic Image Analysis). Con los aparatos de la serie CAMSIZER, RETSCH Technology ofrece analizadores ópticos de partículas para el análisis de polvos, granulados y suspensiones. En el análisis dinámico de imágenes se hace pasar un caudal de partículas a través de un haz de luz, mientras un sistema de cámaras registra las sombras proyectadas y las mide en tiempo real. Un CAMSIZER puede analizar de 10 000 a un millón de partículas en pocos minutos, dependiendo del tamaño de estas.

RETSCH Technology ofrece dos sistemas CAMSIZER:

El CAMSIZER X2, especialmente diseñado para granulometrías finas entre 0,8 μm y 8 mm, con diferentes opciones de dispersión para la medición de materiales en polvo que tienden a aglomerarse, materiales a granel o muestras líquidas. El CAMSIZER P4, para granulometrías de 20 μm a 30 mm, analiza materiales secos que no se aglomeran mientras se encuentran en caída libre.

	CAMSIZER P4	CAMSIZER X2
Tipo de material	materiales a granel secos, que no se aglomeran: granulados y extruidos, pellets, azúcar, sales, arena, etc.	materiales a granel, polvos y suspensiones
Rango de medición	20 μm - 30 mm	0,8 μm - 5 mm (en seco, dispersión por aire comprimido)
Dispersión	caída libre	aire comprimido, en húmedo, caída libre
Correspondencia con los resultados del tamizado	sí	sí

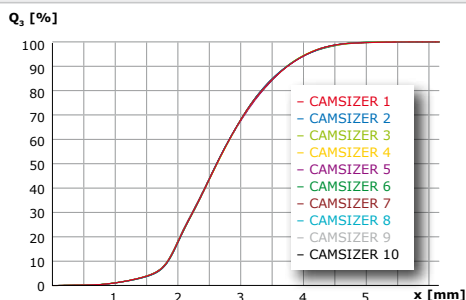


Ambos CAMSIZER cuentan con el sistema de dos cámaras patentado con una cámara zoom que registra las partículas finas y una cámara base que registra las gruesas. Este principio de medición supera a todos los demás sistemas de análisis de imágenes por su rango dinámico de medición, la velocidad de medición, la exactitud en el reconocimiento de la forma de las partículas y su resolución.

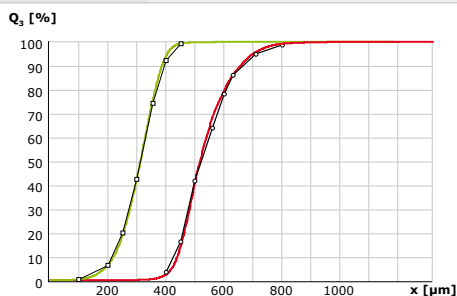
Gracias a la implementación de 2 cámaras para cubrir todo el rango de granulométrico se obtienen condiciones óptimas para el registro de partículas finas y gruesas, sin compromisos en la resolución, exactitud o en el límite de detección. Esta prestación permite medir – sin cambiar rangos de medición u objetivos ni realizar ajustes – una gama de tamaños de partícula que se extiende exponencialmente a más de tres veces la potencia de diez.

La velocidad con que se miden las partículas no sólo depende de la frecuencia de imagen de las cámaras, sino también del tamaño del área de detección, y por ende de cuántas partículas se encuentran en esta en el momento. Solo analizando una gran cantidad de partículas a la vez es que se pueden

Principio de medición del CAMSIZER P4 con cámara zoom y cámara base.



Excelente equiparabilidad entre los resultados de los instrumentos: 10 mediciones de la misma muestra con 10 CAMSIZERS diferentes. Las curvas tienen exactamente la misma trayectoria.



Resultados del CAMSIZER y del análisis por tamizado en dos muestras diferentes.



El software ofrece la opción de guardar todas las imágenes de las partículas con sus parámetros respectivos en la biblioteca de partículas.

obtener resultados reproducibles en tiempos cortos de medición. Para lograr esto con una sola cámara, esta tendría que tener una resolución de más de 40 megapíxeles y una frecuencia de refresco de 30 Hz, lo cual no es posible con la tecnología actual.

En la práctica, el análisis por tamizado convencional determina frecuentemente los estándares de calidad y especificaciones de productos sobre los que se basa la comunicación entre el proveedor y el cliente. Cualquier método de análisis alternativo que sea rápido y de alto rendimiento debe tomar esto en cuenta y generar resultados de medición completamente compatibles.

Por tal razón, el software del CAMSIZER ha sido dotado de algoritmos para la simulación del análisis por tamizado. Ello ha permitido a una gran cantidad de usuarios sustituir el análisis por tamizado tradicional, en el cual la inversión de tiempo en la preparación de la muestra es mayor, por los sistemas CAMSIZER sin tener que prescindir de los estándares de calidad a que están acostumbrados.

Gracias a la medición automática y al no producirse desgaste en el aparato, la fiabilidad y reproducibilidad de los resultados es mayor. Los usuarios del CAMSIZER se benefician además de informaciones adicionales de las partículas tales como el largo y el ancho (en fibras y extruidos), o su forma (p. ej. la angulosidad en abrasivos). Todas estas informaciones no se pueden obtener con el análisis por tamizado clásico.

7. Sumario

El tamizado analítico se emplea principalmente en las áreas de investigación y desarrollo, control de calidad de materias primas, productos intermedios y acabados, así como en la supervisión de procesos de producción.

Realizada bajo las condiciones descritas en este documento, esta técnica analítica suministra resultados reproducibles y de valor informativo. RETSCH ofrece tamizadoras y tamices calibrados, además de un poderoso software de evaluación, que garantizan resultados exactos y reproducibles en todo el mundo.

8. Anexo

8.1. Normas de tamizado

A nivel mundial existen muchas normas para el análisis granulométrico por tamizado, trayendo esto como consecuencia el empleo de diferentes denominaciones para las aberturas de malla. La mayoría de los tamices se fabrican en base a las normas ISO 3310 y ASTM E11.

A continuación se muestra una tabla comparativa de las normas existentes con las respectivas denominaciones.

International Comparison Table for Test Sieves							Table 1 – 125-1 mm		
ISO 565 ISO 3310 Table 1, Sizes in Millimetre			DE	FR	GB	NL	USA	CAN	Tyler®
			DIN	NF	BSI	N		CGSB	
Principal sizes	Supplementary sizes		DIN ISO 3310	NF ISO 3310	BS 410 / BS ISO 3310	NEN 2560	ASTM E 11 # ASTM E 323 ■●	CAN/ CGSB-8.2 M88 metric	TYLER Screen Scale
R20/3	R 20	R 40/3							
w	w	w	w	w	w	w	w	Inch / No.	Mesh
125	125	125	125	125	125	125	125	5 in.	125
	112		112	112	112	112			112
		106	106	106	106	106	106	4 1/4 in.	
	100		100	100	100	100	100*	4 in.*	100
90	90	90	90	90	90	90	90	3 1/2 in.	90
	80		80	80	80	80			80
		75	75	75	75	75	75	3 in.	
	71		71	71	71	71			71
63	63	63	63	63	63	63	63	2 1/2 in.	63
	56		56	56	56	56			56
		53	53	53	53	53	53	2 1/8 in.	
	50		50	50	50	50	50*	2 in.*	50
45	45	45	45	45	45	45	45	1 3/4 in.	45
	40		40	40	40	40			40
		37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	1 1/2 in.	
	35,5		35,5	35,5	35,5	35,5			35,5
31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	1 1/4 in.	31,5
	28		28	28	28	28			28
		26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	1 1/16 in.	1,05 in.
	25		25	25	25	25	25,0*	1 in.*	25
22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	7/8 in.	22,4
	20		20	20	20	20			20
		19	19	19	19	19	19	3/4 in.	0,742 in.
	18		18	18	18	18			18
16	16	16	16	16	16	16	16	5/8 in.	16
	14		14	14	14	14			14
		13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	17/32 in.	0,525 in.
	12,5		12,5	12,5	12,5	12,5	12,5*	1/2 in.*	12,5
11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	7/16 in.	11,2
	10		10	10	10	10			10
		9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	3/8 in.	0,371 in.
	9		9	9	9	9			9
8	8	8	8	8	8	8	8	5/16 in.	8
	7,1		7,1	7,1	7,1	7,1			7,1
		6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	17/64 in.	3
	6,3		6,3	6,3	6,3	6,3	6,3*	1/4 in.*	6,3
5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	7/32	5,6
	5		5	5	5	5			5
		4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	3/16	4
	4,5		4,5	4,5	4,5	4,5			4,5
4	4	4	4	4	4	4	4	5/32	4
	3,55		3,55	3,55	3,55	3,55			3,55
		3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	1/8	6
	3,15		3,15	3,15	3,15	3,15			3,15
2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	7/64	2,8
	2,5		2,5	2,5	2,5	2,5			2,5
		2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	3/62	8
	2,24		2,24	2,24	2,24	2,24			2,24
2	2	2	2	2	2	2	2	0,078	2
	1,8		1,8	1,8	1,8	1,8			1,8
		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	0,066	10
	1,6		1,6	1,6	1,6	1,6			1,6
1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,055	1,4
	1,25		1,25	1,25	1,25	1,25			1,25
		1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	0,045	14
	1,12		1,12	1,12	1,12	1,12			1,12
1	1	1	1	1	1	1	1	0,039	1
ISO 3310-1	wire-cloth #		125-1	125-1	125-1	125-1	125-1		125-1
ISO 3310-2	round holes ●		125-1	125-1	125-1	125-1	125-1		26,5-1
	square holes ■		125-4	125-4	125-4	125-4	125-3,35		

* ASTM Supplementary values

International Comparison Table for Test Sieves							Table 2 – 900-5 µm		
ISO 565 ISO 3310 Table 2, Sizes in Micrometer			DE	FR	GB	NL	USA	CAN	Tyler®
									
Principal sizes			DIN ISO 3310	NF ISO 3310	BS 410 / BS ISO 3310	NEN 2560	ASTM E 11 # ASTM E 323 ■ ●	CAN/CGSB-8.2-M88 metric	TYLER Screen Scale
R20/3	R 20	R 40/3							
w	w	w	w	w	w	w	w	Inch / No.	Mesh
	900		900	900	900	900		900	
		850	850	850	850	850	850	20	20
	800		800	800	800	800		800	
710	710	710	710	710	710	710	710	25	24
	630		630	630	630	630		630	
		600	600	600	600	600	600	30	28
	560		560	560	560	560		560	
500	500	500	500	500	500	500	500	35	32
	450		450	450	450	450		450	
		425	425	425	425	425	425	40	35
	400		400	400	400	400		400	
355	355	355	355	355	355	355	355	45	42
	315		315	315	315	315		315	
		300	300	300	300	300	300	50	48
	280		280	280	280	280		280	
250	250	250	250	250	250	250	250	60	60
	224		224	224	224	224		224	
		212	212	212	212	212	212	70	65
	200		200	200	200	200		200	
180	180	180	180	180	180	180	180	80	80
	160		160	160	160	160		160	
		150	150	150	150	150	150	100	100
	140		140	140	140	140		140	
125	125	125	125	125	125	125	125	120	115
	112		112	112	112	112		112	
		106	106	106	106	106	106	140	150
	100		100	100	100	100		100	
90	90	90	90	90	90	90	90	170	170
	80		80	80	80	80		80	
		75	75	75	75	75	75	200	200
	71		71	71	71	71		71	
63	63	63	63	63	63	63	63	230	250
	56		56	56	56	56		56	
		53	53	53	53	53	53	270	270
	50		50	50	50	50		50	
45	45	45	45	45	45	45	45	325	325
	40		40	40	40	40		40	
		38	38	38	38	38	38	400	400
R 10	36		36	36	36	36		36	
32			32	32	32	32	32	450	450
25			25	25	25	25	25	500	500
20			20	20	20	20	20	635	635
16 (e)			16 (e)	16 (e)		16 (e)	15 (e)		
10 (e)			10 (e)	10 (e)		10 (e)	10 (e)		
5 (e)			5 (e)	5 (e)		5 (e)	5 (e)		
ISO 3310-1	wire-cloth #		900-20	900-20	900-20	900-20	850-20	850-20	850-20
ISO 3310-3	Electroformed (e)		500-5	500-5	500-5	500-5	500-5		

8.2. Certificados

ISO 3310-1

Compliance Certificate / Certificado de conformidad



ANALYSENSIEB - TEST SIEVE - TAMIS D' ANALYS

Werksbescheinigung nach
2.1 EN 10204

Certificate of compliance with
the order according to 2.1 EN
10204

Attestation de conformité
à la commande 2.1 EN
10204

Serien Nr./ Serial No./ Numéro
de serie

Maschenweite / Mesh width /
Overture de maille

Norm / Standard / Norme

13008946

45 μm

ISO 3310-1

Dieses Analysensieb wurde
sorgfältig in unserem Werk
geprüft und entspricht der oben
genannten Norm.

This test sieve has been submitted to
careful examination in our works and
is certified to conform with a.m.
standard.

Ce tamis d'analyse a été
contrôlé soigneusement à
l'usine et correspond à la
norme nommée ci-dessus.

TEST SIEVE RECORD CARD

Datum der Messung	Nutzungs- dauer Sieb	Sichtprü- fung	Mittelwert der Maschenweite in Kettrichtung +/-Y	Mittelwert der Maschenweite in Schussrichtung +/- Y	Standardab- weichung in Kettrichtung σ_0	Standardab- weichung in Schussrich- tung σ_0	Dokumentenart unbekannt = 0 Werksbescheinigung = 1 Abnahmeprüfzeugnis = 2 Kalibrierungszertifikat = 3
Date of inspection	Time used	Visual survey	Average aperture size warp +/-Y	Average aperture size weft +/-Y	Standard deviation warp σ_0	Standard deviation weft σ_0	Type of certificate Unknown = 0 Compliance = 1 Inspection = 2 Calibration = 3
11.03.2013	neu / new	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	1

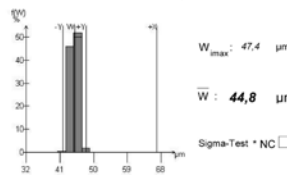
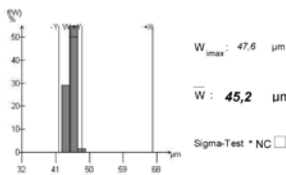
ISO 3310-1 **Inspection Certificate / Certificado de inspección**



Messdokument * Measuring Document

Abnahmeprüfzeugnis nach EN 10204 3.1
Inspection Certificate according to EN 10204 3.1

Vermessung <=10mm mit vollautomatischem Bildverarbeitungssystem, Vermessung >10mm mit Messschieber
Measurement <=10mm with fully automatic video imaging system, Measurement >10mm with Vernier

<p>Das für die Überprüfung der Siebgebebe eingesetzte Messmittel unterliegt der Messmittelüberwachung gemäß DIN ISO 9000 ff. Die Kalibrierung der Messmittel für Gewebe <=10mm erfolgt mit von der "Physikalisch-Technische Bundesanstalt" (PTB) Braunschweig, unter dem Kalibrierzeichen 4101-PTB-04 kalibrierten Objekten. Damit ist eine Rückführung auf nationale Normale sichergestellt, mit denen die PTB die physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem internationalen Einheitensystem (SI) darstellt. Die Kalibrierung der Messmittel für Gewebe >10mm ist rückführbar auf 0116 DKD-K-25501 und 0131 DKD-K-25501</p>	<p>The measuring equipment used to examine the mesh is subject to periodical inspection according to DIN ISO 9000 ff. The calibration of measuring equipment for mesh <=10mm is carried out using objects which are calibrated by the "Physikalisch-Technische Bundesanstalt" (PTB) Braunschweig, Germany, with the calibration No. 4101-PTB-04. Herewith is the traceability to national standards insured, with which the PTB presents the physical dimensions in accordance with the International Units System (SI). The calibration of measuring equipment for mesh >10mm is traceable to 0116 DKD-K-25501 and 0131 DKD-K-25501</p>
Sieb Identifikation / Sieve identification	
<p>Sieb Nr./Sieve No. : 13008946</p> <p>Durchmesser/diameter : 200 mm</p> <p>Draht/wire (d) : 32,0 µm</p> <p>Nennöffnungsweite/nominal aperture size (W): 45,0 µm</p>	
Toleranzen/Tolerances	
<p>w-y : 41,9 w+x : 66,9 σ : 8,3 d_{max} : 37,0 µm d_{nom} : 32,0 µm</p> <p>w+y : 48,1 d_{min} : 27,0 µm</p>	
<p>Anzahl der gemessenen Öffnungen - Drahtdurchmesser/Number of measured apertures - wire diameter</p> <p style="text-align: center;">410 / 430</p>	
<p style="text-align: center;">Legende / Glossary</p> <p>* C ☒ konform / conform</p> <p>* NC ☐ nicht konform / non conform</p>	<p style="text-align: center;">Ergebnis / Result</p> <p>Dieses Sieb ist / This sieve is</p> <p>* C ☒ * NC ☐</p> <p style="text-align: center;">mit der Norm / according to the standard</p> <p style="text-align: center;">ISO 3310-1</p>
<p>KETTE / Warp * C ☒ * NC ☐ Ergebnisse / Results</p>  <p style="text-align: right;">W_{max} : 47,4 µm</p> <p style="text-align: right;">W : 44,8 µm</p> <p style="text-align: right;">Sigma-Test * NC ☐</p>	<p>SCHUSS / Weft * C ☒ * NC ☐ Ergebnisse / Results</p>  <p style="text-align: right;">W_{max} : 47,6 µm</p> <p style="text-align: right;">W : 45,2 µm</p> <p style="text-align: right;">Sigma-Test * NC ☐</p>
<p>Kommentar / Comments</p> <hr/> <hr/>	
<p>Dieses Abnahmeprüfzeugnis wurde automatisch erstellt und ist daher ohne Unterschrift gültig. This inspection certificate has been automatically produced and is therefore valid without signature</p>	<p>Der Werkssachverständige / The factory-authorised inspector Holger Mersch</p> <p>Druckdatum / Date of printing: 13.03.2013</p>

ISO 3310-1

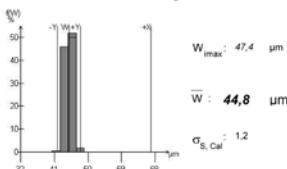
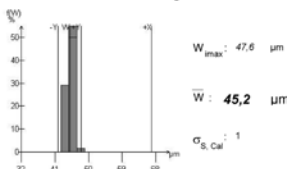
Calibration Certificate / Certificado de calibración



Messdokument * Measuring Document

Abnahmeprüfzeugnis nach EN 10204 3.1 (Kalibrierungszertifikat)
Inspection Certificate according to EN 10204 3.1 (Calibration Certificate)

Vermessung $\leq 10\text{mm}$ mit vollautomatischem Bildverarbeitungssystem. Vermessung $> 10\text{mm}$ mit Messchieber
Measurement $\leq 10\text{mm}$ with fully automatic video imaging system. Measurement $> 10\text{mm}$ with Vernier

<p>Das für die Überprüfung der Siebgewebe eingesetzte Messmittel unterliegt der Messmitteliüberwachung gemäß DIN ISO 9000 ff. Die Kalibrierung der Messmittel für Gewebe $\leq 10\text{mm}$ erfolgt mit von der "Physikalisch-Technische-Bundesanstalt" (PTB) Braunschweig, unter dem Kalibrierzeichen 4101-PTB-B-04 kalibrierten Objekten. Damit ist eine Rückführung auf nationale Normale sichergestellt, mit denen die PTB die physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem internationalen Einheitensystem (SI) darstellt. Die Kalibrierung der Messmittel für Gewebe $> 10\text{mm}$ ist rückführbar auf 0116 DKD-K-25501 und 0131 DKD-K-25501</p>		<p>The measuring equipment used to examine the mesh is subject to periodical inspection according to DIN ISO 9000 ff. The calibration of measuring equipment for mesh $\leq 10\text{mm}$ is carried out using objects which are calibrated by the "Physikalisch-Technische-Bundesanstalt" (PTB) Braunschweig, Germany, with the calibration No. 4101-PTB-B-04. Herewith is the traceability to national standards insured, with which the PTB presents the physical dimensions in accordance with the International Units System (SI). The calibration of measuring equipment for mesh $> 10\text{mm}$ is traceable to 0116 DKD-K-25501 and 0131 DKD-K-25501</p>	
Sieb Identifikation / Sieve identification			
<p>Sieb Nr./Sieve No. : 13008946</p> <p>Durchmesser/diameter : 200 mm</p> <p>Draht/wire (d) : 32,0 μm</p> <p>Nennöffnungsweite/nominal aperture size (W): 45,0 μm</p>			
Toleranzen/Tolerances			
<p>w-y : 41,9 w-x : 65,9 σ : 8,3 d_{max} : 37,0 μm d_{nom} : 32,0 μm</p> <p>w-y : 48,1 d_{min} : 27,0 μm</p>			
<p>Anzahl der gemessenen Öffnungen - Drahtdurchmesser/Number of measured apertures - wire diameter</p> <p style="text-align: center;">410 / 430</p>			
<p style="text-align: center;">Legende / Glossary</p> <p>* C ☐ konform / conform</p> <p>* NC ☐ nicht konform / non conform</p>		<p style="text-align: center;">Ergebnis / Result</p> <p>Dieses Sieb ist / This sieve is</p> <p>* C ☒ * NC ☐</p> <p style="text-align: center;">mit der Norm / according to the standard</p> <p style="text-align: center;">ISO 3310-1</p>	
<p>KETTE / Warp * C ☒ * NC ☐ Ergebnisse / Results</p> 		<p>SCHUSS / Weft * C ☒ * NC ☐ Ergebnisse / Results</p> 	
Kontrolle der Drahtdurchmesser / Verification of the wire diameter			
<p>Ergebnisse / Results</p> <p>KETTE / Warp $\bar{d}$: 32,3 μm SCHUSS / Weft $\bar{d}$: 33,2 μm * C ☒ * NC ☐</p>			
<p>Kommentar / Comments</p>			
<p>Dieses Abnahmeprüfzeugnis wurde automatisch erstellt und ist daher ohne Unterschrift gültig. This inspection certificate has been automatically produced and is therefore valid without signature</p>		<p>Der Werkssachverständige / The factory-authorised inspector Holger Mersch Druckdatum/ Date of printing: 13.03.2013</p>	

Retsch GmbH Retsch-Allee 1-5 D-42781 Haan Germany. Tel. Int. +49 (0) 2104 - 2333-100. Fax. Int. +49 (0) 2104 - 2333-199.
Email: info@retschen.com. Internet: http://www.retschen.com

ASTM E11

Compliance Certificate / Certificado de conformidad



ANALYSENSIEB - TEST SIEVE - TAMIS D' ANALYS

Werksbescheinigung nach
2.1 EN 10204

Certificate of compliance with
the order according to 2.1 EN
10204

Attestation de conformité
à la commande 2.1 EN
10204

Serien Nr./ Serial No./ Numéro
de serie

Maschenweite / Mesh width /
Overture de maille

Norm / Standard / Norme

13005243

45 μm

ASTM E11-09

Dieses Analysensieb wurde
sorgfältig in unserem Werk
geprüft und entspricht der oben
genannten Norm.

This test sieve has been submitted to
careful examination in our works and
is certified to conform with a.m.
standard.

Ce tamis d'analyse a été
contrôlé soigneusement à
l'usine et correspond à la
norme nommée ci-dessus.

TEST SIEVE RECORD CARD

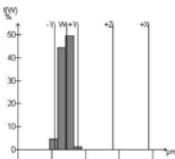
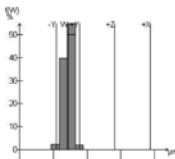
Datum der Messung	Nutzungs- dauer Sieb	Sichtprü- fung	Mittelwert der Maschenweite in Kettichtung +/-Y	Mittelwert der Maschenweite in Schussrichtung +/- Y	Standardab- weichung in Kettichtung σ_0	Standardab- weichung in Schussrich- tung σ_0	Dokumentenart unbekannt = 0 Werksbescheinigung = 1 Abnahmeprüfzeugnis = 2 Kalibrierungszertifikat = 3
Date of inspection	Time used	Visual survey	Average aperture size warp +/-Y	Average aperture size weft +/-Y	Standard deviation warp σ_0	Standard deviation weft σ_0	Type of certificate Unknown = 0 Compliance = 1 Inspection = 2 Calibration = 3
12.02.2013	new / neu	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	* C ☒ * NC ☐	1

ASTM E11 Inspection Certificate / Certificado de inspección



Messdokument * Measuring Document

Abnahmeprüfzeugnis nach EN 10204 3.1
Inspection Certificate according to EN 10204 3.1Vermessung $\leq 10\text{mm}$ mit vollautomatischem Bildverarbeitungssystem. Vermessung $> 10\text{mm}$ mit Messschieber
Measurement $\leq 10\text{mm}$ with fully automatic video imaging system. Measurement $> 10\text{mm}$ with Vernier

<p>Das für die Überprüfung der Siebweben eingesetzte Messmittel unterliegt der Messmittelüberwachung gemäß DIN ISO 9000 ff. Die Kalibrierung der Messmittel für Gewebe $\leq 10\text{mm}$ erfolgt mit von der "Physikalisch-Technische Bundesanstalt" (PTB) Braunschweig, unter dem Kalibrierzeichen 4101-PTB-04 kalibrierten Objekten. Damit ist eine Rückführung auf nationale Normale sichergestellt, mit denen die PTB die physikalischen Einheiten in Übereinstimmung mit dem internationalen Einheitensystem (SI) darstellt. Die Kalibrierung der Messmittel für Gewebe $> 10\text{mm}$ ist rückführbar auf 0116 DKD-K-25501 und 0131 DKD-K-25501</p>		<p>The measuring equipment used to examine the mesh is subject to periodical inspection according to DIN ISO 9000 ff. The calibration of measuring equipment for mesh $\leq 10\text{mm}$ is carried out using objects which are calibrated by the "Physikalisch-Technische Bundesanstalt" (PTB) Braunschweig, Germany, with the calibration No. 4101-PTB-04. Herewith is the traceability to national standards insured, with which the PTB presents the physical dimensions in accordance with the International Units System (SI). The calibration of measuring equipment for mesh $> 10\text{mm}$ is traceable to 0116 DKD-K-25501 and 0131 DKD-K-25501</p>	
Sieb Identification / Sieve Identification			
<p>Sieb Nr./Sieve No. : 13005243</p> <p>Durchmesser/diameter : 200 mm</p> <p>Draht/wire (d) : 32,0 μm</p> <p>Nennöffnungsweite/nominal aperture size (W): 45,0 μm</p>			
Toleranzen/Tolerances			
<p>w-y : 41,9 w+x : 66,9 σ : 7,1 d_{max} : 37,0 μm d_{nom} : 32,0 μm</p> <p>w+y : 48,1 d_{min} : 27,0 μm</p>			
Anzahl der gemessenen Öffnungen - Drahtdurchmesser/Number of measured apertures - wirediameter			
389 / 439			
<p>Legende / Glossary</p> <p>* C ☒ konform / conform</p> <p>* NC ☐ nicht konform / non conform</p>		<p>Ergebnis / Result</p> <p>Dieses Sieb ist / This sieve is</p> <p>* C ☒ * NC ☐</p> <p>mit der Norm / according to the standard</p> <p style="text-align: center;">ASTM E11-09</p>	
<p>KETTE / Warp * C ☒ * NC ☐</p> <p style="text-align: center;">Ergebnisse / Results</p>  <p style="text-align: right;">W_{max} : 47,1 μm</p> <p style="text-align: center;">$\bar{W}$: 44,6 μm</p> <p style="text-align: right;">Sigma-Test * NC ☐</p>		<p>SCHUSS / Weft * C ☒ * NC ☐</p> <p style="text-align: center;">Ergebnisse / Results</p>  <p style="text-align: right;">W_{max} : 47,4 μm</p> <p style="text-align: center;">$\bar{W}$: 44,8 μm</p> <p style="text-align: right;">Sigma-Test * NC ☐</p>	
<p>Kommentar / Comments</p> <hr/>			
<p>Dieses Abnahmeprüfzeugnis wurde automatisch erstellt und ist daher ohne Unterschrift gültig. This inspection certificate has been automatically produced and is therefore valid without signature</p>		<p>Der Werksachverständige / The factory-authorised inspector Holger Mersch Druckdatum/ Date of printing: 13.03.2013</p>	

Trazabilidad

El instrumento de medición empleado para inspeccionar el tejido del tamiz está sujeto a controles periódicos en conformidad con la norma DIN ISO 9000. La calibración de los instrumentos de medición para mallas ≤ 10 mm se realiza con instrumentos calibrados a su vez por el Instituto Federal de Física y Metrología alemán (Physikalisch-Technische-Bundesanstalt, PTB) en Braunschweig y que llevan el número 4101-PTB-04. De esta manera se garantiza la trazabilidad a estándares nacionales con unidades físicas homologadas por el PTB en base al sistema internacional de unidades (SI). La calibración de los instrumentos de medición para mallas > 10 mm es trazable a 0116 DKD-K-25501 y 0131 DKD-K-25501.

8.3. Parámetros del análisis por tamizado

El software EasySieve® ofrece la posibilidad de representar los resultados del tamizado en forma de diagramas y de calcular una gran variedad de parámetros.

Las siguientes características de la distribución granulométrica pueden calcularse con el EasySieve®:

$p_3(x_1, x_2)$	Fracciones $p_3(x_1, x_2)$ – porcentajes de volumen dentro de un rango determinado (x_1, x_2): $p_3(x_1, x_2) = Q_3(x_2) - Q_3(x_1)$ (indica el porcentaje de volumen en una fracción)
$Q_3(x)$	Distribución granulométrica acumulada $Q_3(x)$, en base al volumen: porcentaje de volumen de las partículas más pequeñas que x , en proporción al volumen total
$1 - Q_3(x)$	Distribución granulométrica acumulada de material retenido $1 - Q_3(x)$, en base al volumen:
$q_3(x)$	Frecuencia de distribución $q_3(x)$, en base al volumen: 1. Derivada de $Q_3(x)$ $q_3(x) = \frac{dQ_3(x)}{dx}$

En el tamizado, los porcentajes de volumen corresponden a los porcentajes de peso (ya que se realiza una pesada para determinar la masa).

Parámetros:

$Q_3(x)$	Valor Q_3 , con el cual se alcanza un valor x determinado
$x_1(Q_3)$	Valor x , con el cual se alcanza un valor Q_3 determinado
$SPAN_3$	Valor SPAN , en base al volumen: $Span_3 = \frac{x(Q_{3,3}) - x(Q_{3,1})}{x(Q_{3,2})}$ <p>Se calcula a partir de tres valores de $x(Q_3)$. El primer subíndice nos indica que éstos son los valores por volumen. En el programa ha sido omitido el primer subíndice. El valor SPAN indica la anchura de la distribución granulométrica.</p>
U_3	Irregularidad de grano , en relación al volumen: $U_3 = \frac{x_{60}}{x_{10}}$ <p>x_{10} : valor x, con $Q_3 = 10\%$ x_{60} : valor x, con $Q_3 = 60\%$</p>

Distribución exponencial RRSB:

n	Pendiente de la recta RRSB
d'	Valor de x en el que la recta tiene un valor de 0,632 = > Q₃(x)=0,632
Correlación	Correlación entre la recta RRSB y Q(x)

Los parámetros RRSB sólo podrán calcularse si los valores Q₃ de al menos 2 cortes se encuentran entre 5 % y 95 %.

Determinación indirecta de las superficies específicas S_v y S_m:

S _v	Superficie específica $S_v = \frac{\text{superficie de todas las partículas}}{\text{volumen de todas las partículas}}$
S _m	Superficie específica con una densidad específica dada $S_m = \frac{\text{superficie de todas las partículas}}{\text{masa de todas las partículas}}$ Si no se define del material para el tamizado, esta casilla estará deshabilitada.

X _{st}	Diámetro Sauter Si se transformaran todas las partículas de una carga determinada de material en un conjunto de partículas del mismo tamaño con una superficie total idéntica a la de las partículas de la carga inicial, entonces el diámetro de las partículas uniformes sería el diámetro de Sauter. $x_{st} = \frac{6}{S_v}$
Índice AFS	Índice de finura de grano AFS El índice AFS se emplea para clasificar arenas de moldeo o machos de fundición. Sólo puede calcularse si se emplean los tamices apropiados. No se usarán otras aberturas de malla que las contenidas en la serie AFS: 0,020 mm, 0,063 mm, 0,090 mm, 0,125 mm, 0,180 mm, 0,250 mm, 0,355 mm, 0,500 mm, 0,710 mm, 1 mm, 1,4 mm, 2 mm, 2,8 mm, 4 mm, 5,6 mm. En caso de usar sólo una parte, todos los tamices AFS especificados dentro de dicho rango (entre el de abertura más pequeña y el de abertura más grande) deberán estar incluidos.



Sede central:

RETSCH GmbH
RETSCH-Allee 1-5
42781 Haan · Alemania

Phone +49 (0) 21 04 / 23 33-100
Fax +49 (0) 21 04 / 23 33-199
E-Mail info@retsched.es
Web www.retsched.es

En nuestro sitio web www.retsched.es
encontrará una lista completa de
nuestros representantes y distribuidores.



part of **VERDER**
scientific

