

¡Sensacionales
2.000 rpm!
Refrigeración
líquida

MOLINOS DE BOLAS DE ALTO RENDIMIENTO

TRITURACIÓN Y MEDICIÓN DE PARTÍCULAS
EN EL RANGO NANOMETRICO

$10^{-9}m$

$10^{-6}m$

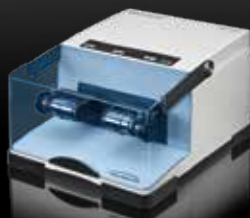
$10^{-3}m$



MOLINO DE BOLAS DE ALTA
ENERGÍA E_{max}



MOLINO PLANETARIO DE
BOLAS PM 100



MOLINO MEZCLADOR
MM 400



CRYOMILL



MOLINO PLANETARIO DE
BOLAS PM 400



Estimados lectores, clientes y socios comerciales:

"Nano" es un concepto muy conocido hoy en día; de hecho los productos que contienen nanopartículas se han convertido en productos de uso cotidiano. Estas partículas ultrafinas son agregadas a muchos protectores solares, textiles, medicamentos y lacas con el fin de cambiar y mejorar determinadas propiedades del producto.

Siguiendo el auge experimentado por la investigación en este campo, ahora RETSCH ofrece soluciones que satisfacen las necesidades de los investigadores. **El E_{max} es un nuevo molino de bolas de alta energía, cuyo diseño revolucionario permite obtener nanopartículas en una fracción del tiempo requerido por molinos similares.** Su velocidad de hasta 2.000 rpm es una prestación absolutamente sensacional para un molino de bolas. En esta edición de "la muestra" ustedes podrán leer cómo en el E_{max} se ha logrado la **combinación de un aporte de energía máximo al proceso de trituración con un innovador sistema de refrigeración por agua** para obtener un molino capaz de obtener granulometrías nanométricas en régimen de operación continua y sin necesidad de pausas de enfriamiento.

Igualmente mostramos que la reducción del tamaño de grano hasta el rango nanométrico también es posible con los molinos planetarios de bolas de RETSCH. En esta edición no sólo presentamos molinos de bolas y molinos mezcladores, sino también **aplicaciones típicas que requieren una gran cantidad de energía como la aleación mecánica y la molienda coloidal.**

Les deseamos una lectura amena.

Cordialmente,

Dr. Juergen Pankratz
Gerente, VERDER SCIENTIFIC

CONTENIDO

MOLINO DE BOLAS DE ALTA ENERGÍA E_{max} – LA REVOLUCIÓN EN MOLIENDA FINA

PÁGINA 04



Una nueva dimensión en la molienda de alto rendimiento: 2.000 rpm que garantizan granulometrías finísimas en tiempo muy corto, en combinación con un sistema de refrigeración altamente efectivo.

MOLINOS PLANETARIOS DE BOLAS – LOS CLÁSICOS PARA MOLIENDA FINA

PÁGINA 08



Por su principio de funcionamiento, los molinos planetarios de bolas permiten realizar moliendas de gran intensidad y obtener granulometrías submicrónicas – condiciones ideales para la molienda coloidal y la aleación mecánica.

ALEACIÓN MECÁNICA

PÁGINA 10

Los molinos de bolas de alto rendimiento y los molinos planetarios de bolas aportan la energía cinética necesaria para realizar aleaciones mecánicas. El PM 400 MA de RETSCH es un modelo especialmente diseñado para este tipo de aplicación.

MOLIENDA COLOIDAL PARA LA PRODUCCIÓN DE NANOPARTÍCULAS

PÁGINA 12

Para la reducción de partículas pequeñas a un tamaño todavía menor aplicando fuerzas mecánicas, se requieren molinos que confieran una gran cantidad de energía al proceso de trituración, como los molinos planetarios de bolas o el E_{max} de RETSCH. Otro aspecto igualmente importante es la selección del juego de molienda y de las bolas apropiadas.

MOLINO MEZCLADOR MM 400 – EL MULTITALENTO PARA PEQUEÑAS CANTIDADES

PÁGINA 14



Si se trata de homogeneizar rápida y efectivamente pequeñas cantidades de muestra, los molinos mezcladores son la mejor opción.

CRYOMILL – MOLIENDA A BAJA TEMPERATURA

PÁGINA 16



Para aplicaciones en las que a temperatura ambiente es imposible triturar. Apropiado para materiales tenaces y elásticos, así como para muestras con compuestos muy volátiles.

APLICACIONES CON MOLINOS DE BOLAS Y MOLINOS MEZCLADORES

PÁGINA 18

Los molinos de bolas y los molinos mezcladores de RETSCH son apropiados para procesar una gran variedad de materiales. Con su amplia gama de accesorios se adaptan de forma óptima a los requisitos de las aplicaciones individuales.

PARTÍCULAS PEQUEÑAS, EFECTO GRANDE: REDUCCIÓN A GRANULOMETRÍAS NANOMÉTRICAS

La nanotecnología es uno de los campos científicos más innovadores de los tiempos modernos que ha revolucionado a su vez otros campos, tales como el de las ciencias de materiales, farmacología, alimentos, pigmentos o tecnología de semiconductores. La nanotecnología trabaja con partículas dentro del rango de la nanoescala, es decir entre 1 y 100 nm, que al tener un área de superficie mucho mayor que su volumen presentan propiedades inesperadas ("funcionalidades inducidas por el tamaño"). Estas partículas de tamaño ínfimo son, por ejemplo, más duras y más difíciles de romper que las más grandes. Gracias a la nanotecnología, muchos de los fenómenos de la naturaleza pueden implementarse en productos comercializados, por ejemplo el efecto loto, tan común en textiles recubiertos de nanopartículas, que impide que el agua y el sucio se puedan adherir a su superficie.

N A N A N O

Pero, ¿cómo se producen las nanopartículas? En principio, existen dos estrategias. En las técnicas ascendentes o "bottom-up", estas se sintetizan a partir de unidades de construcción más pequeñas como átomos o moléculas. **En las técnicas descendentes o "top-down" se lleva a cabo una reducción de partículas de tamaño másico hasta límites nanométricos empleando, por ejemplo, molinos de laboratorio.** Debido a su alta relación superficie/volumen, las nanopartículas presentan cargas electrostáticas superficiales que hacen que se atraigan entre sí.

Las nanopartículas pueden obtenerse por molienda coloidal. Durante este proceso son dispersadas en un líquido, lo cual neutraliza su carga superficial. Dependiendo del material de la muestra, puede usarse agua o un alcohol

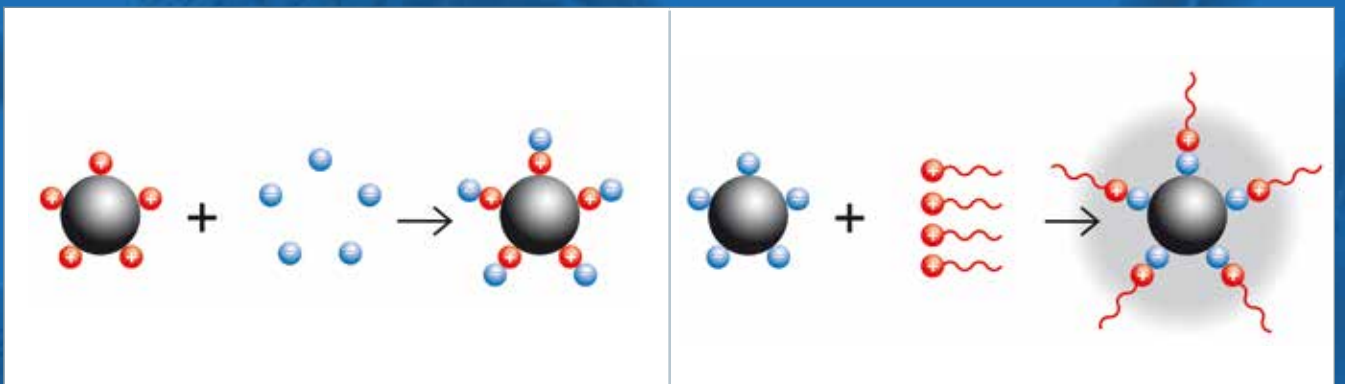
como dispersante. En algunos casos sólo es posible neutralizar las cargas superficiales mediante la adición de tampones como fosfato de sodio (estabilización electrostática) o de moléculas de cadena larga y sin carga como el ácido diaminopimélico (estabilización estérica).

Con sus **molinos planetarios de bolas y el molino de alta energía E_{max}**, RETSCH demuestra que dispone de molinos apropiados y el know how requerido para la nanomolienda. Los criterios importantes para este tipo de molienda son:

- material del juego de molienda
- tamaño de las bolas
- relación bola/muestra/dispersante
- tiempo de molienda
- energía aportada al proceso de trituración

La gran ventaja del E_{max} frente a otros molinos es su innovador sistema de refrigeración que disipa la mayor parte del calor liberado por la fricción durante el proceso de molienda.

Los recipientes de molienda "comfort" que se usan con los molinos planetarios de bolas son idóneos para realizar moliendas coloidales. Estos tienen una junta tórica que los hace completamente herméticos impidiendo cualquier escape de líquido, incluso si se forma presión en su interior. Están dotados además de bordes para agarre fácil que hacen más cómodo el manejo y transporte. Asimismo, pueden equiparse con un dispositivo de cierre de seguridad especial que garantiza un uso seguro. Los recipientes de molienda del E_{max} llevan un dispositivo de cierre de seguridad integrado.



Neutralización de partículas cargadas mediante la adición de una sustancia tamponante (estabilización electrostática, izq.) o de moléculas de cadena larga (estabilización estérica, der.)

E_{max}

LA REVOLUCIÓN EN MOLIENDA FINA

2.000 rpm
velocidad máx.
Refrigeración
líquida

El E_{max} es un molino de bolas completamente nuevo, específicamente diseñado para moliendas de gran intensidad. Con una sensacional velocidad de 2.000 rpm que no ha sido alcanzada hasta ahora por ningún otro molino de bolas del mercado y unos recipientes de molienda de forma especial, su aporte de energía para la trituración es extremadamente alto. Este molino combina de forma extraordinaria los mecanismos de impacto y fricción con el movimiento circular de los recipientes de molienda, lo cual permite obtener partículas ultrafinas en tiempos extremadamente cortos. Su novedoso sistema de refrigeración por agua absorbe la energía calorífica excedente, de manera que la muestra no se recalienta, ni siquiera con tiempos de molienda largos.

El molino de sobremesa E_{max} es, por lo tanto, ideal para trabajar en régimen de operación continua. Como no se requieren pausas de enfriamiento, la duración de la molienda es mucho más corta en el E_{max} que en los molinos planetarios de bolas convencionales. El enorme aporte de energía a 2.000 rpm en combinación con la refrigeración por agua garantiza condiciones perfectas para la aleación mecánica y moliendas nanométricas.



Fig. 1: El E_{max} dispone de 2 puestos de molienda

E_{max}

Video del E_{max} en
www.retsch.es/emax

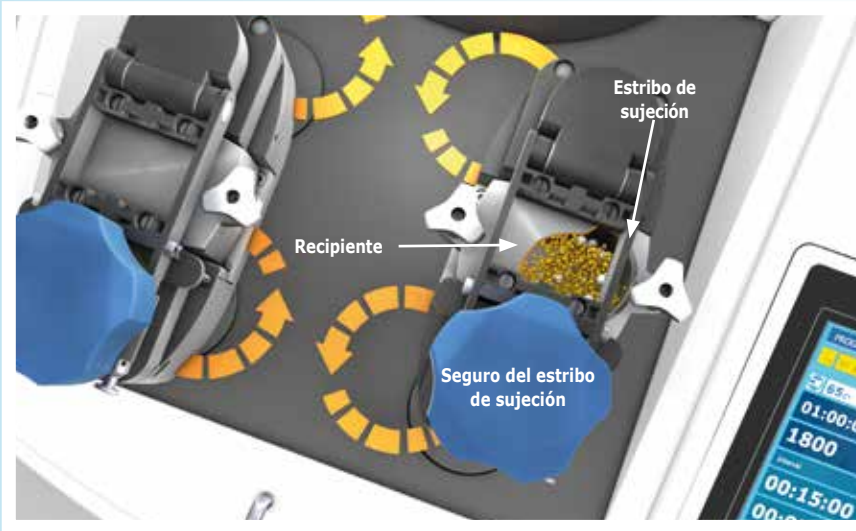


Fig. 2: Las bases de soporte donde van colocados los recipientes de molienda están fijadas cada una a dos discos que rotan en la misma dirección. De esta manera los recipientes siguen una órbita circular sin cambiar su orientación. El accionamiento excéntrico cuádruple garantiza un movimiento sincronizado opuesto y preciso de los recipientes. Las fuerzas de masa son compensadas por pesas integradas.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El Emax combina de forma novedosa y eficaz mecanismos de trituración de diferentes molinos – impacto a alta frecuencia (molino mezclador) y fricción intensa (molino de discos vibratorios) – con los movimientos circulares controlados de los recipientes de molienda (molino planetario de bolas). El resultado es una molienda con una eficacia hasta ahora no alcanzada. La forma ovalada y el movimiento de los recipientes juegan un papel muy importante en el proceso. Las bases de soporte donde van colocados los recipientes de molienda están fijadas cada una a dos discos que rotan en la misma dirección. De esta manera los recipientes siguen una órbita circular sin cambiar su orientación. Debido a la interacción entre la geometría del recipiente y la mecánica del movimiento, se produce por un lado una fuerte fricción entre las bolas, la muestra y las paredes del recipiente, y por el otro una gran aceleración que hace que las bolas colisionen fuertemente con las concavidades del recipiente pulverizando la muestra. El resultado es una mezcla mucho mejor de las partículas y granulometrías finales mucho más finas con una distribución granulométrica más estrecha que aquellas hasta ahora obtenidas con molinos de bolas convencionales.

HIGHLIGHTS

- ❖ Molienda más rápida y más fina que con cualquier otro molino de bolas
- ❖ Velocidad máx. de 2.000 rpm para una pulverización extremadamente rápida de la muestra
- ❖ Innovador sistema de refrigeración por agua para una operación continua sin pausas de enfriamiento
- ❖ Excelente homogeneización de la muestra con una distribución granulométrica estrecha gracias al novedoso diseño de los recipientes de molienda
- ❖ Accionamiento de diseño patentado
- ❖ Recipientes de molienda con cierre de seguridad integrado
- ❖ Recipientes y bolas en una amplia selección de materiales para una molienda sin contaminaciones

Fig. 3: Gracias a la geometría especial del recipiente de molienda se obtiene una mezcla mucho mejor de la muestra.



Datos técnicos



www.retsch.es/emax	
Aplicaciones:	trituration, homogeneización, nanomolienda, aleación mecánica, molienda coloidal
Granulometría inicial*:	<5 mm
Granulometría final*:	<80 nm
Vol. de muestra*:	máx. 2 x 45 ml
Puestos de molienda:	2
Vol. recipientes de molienda:	50 ml / 125 ml
Velocidad:	300 – 2.000 rpm
Refrigeración con control de temperatura:	refrigeración por agua, controlada (conexión a recirculador de refrigeración o grifo de agua pos.)
Recipientes de molienda:	con cierre de seguridad integrado y tapa con válvula opcional
Material juegos de molienda:	acero inoxidable, carburo de tungsteno, óxido de circonio
SOPs memorizables:	10
Medidas (A x H x F):	625 x 525 x 645 mm
*Según el material de la muestra y la configuración/ajuste del aparato	

MAYOR RAPIDEZ – MAYOR FINURA – E_{max}

Comparación de la granulometría final y el tiempo de molienda

Las granulometrías finales a escala nanométrica sólo pueden alcanzarse con una molienda por vía húmeda (ver consejos para la molienda coloidal, pág.12). En esta técnica se emplea una gran cantidad de bolas de molienda de \varnothing 0,1 - 3 mm para generar una gran fricción. **La energía generada por la fricción se ve intensificada en el E_{max} aún más por la velocidad de 2.000 rpm que este alcanza.** En el E_{max} la energía liberada durante el proceso de molienda es aprovechada por completo gracias a su novedoso sistema de refrigeración por agua, único en el mundo, que elimina rápidamente el calor generado por la fricción. Sin un sistema de refrigeración efectivo, tanto la muestra como el molino se calentarían mucho. En molinos planetarios de bolas similares, es necesario hacer pausas durante el proceso de molienda (aprox. 60 % del tiempo total) para que no se recalienten demasiado ni la muestra ni el molino. El E_{max} , por el contrario, gracias a su sistema eficiente de refrigeración por agua, puede trabajar en régimen de operación continua.

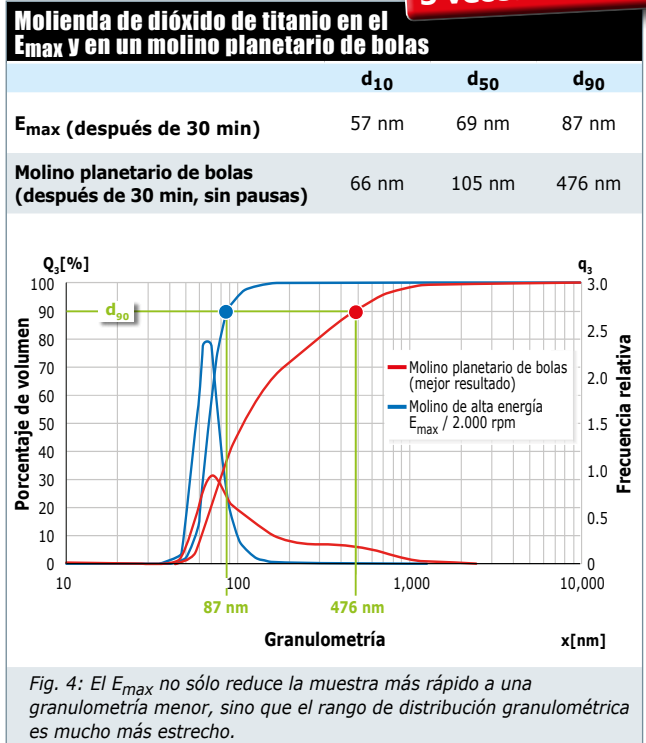
En un ensayo realizado, se molió una muestra de dióxido de titanio en un molino planetario de bolas de alto rendimiento y en el E_{max} (recipientes de molienda de óxido de circonio de 50 ml, 110 g de bolas de óxido de circonio de \varnothing 0,1 mm, 10 g de muestra y 15 ml de fosfato de sodio al 1%).

Pasados apenas 30 minutos, en el E_{max} el 90% de la muestra ya había alcanzado una granulometría de unos 87 nm. En este tiempo (sin pausas) la muestra no pudo ser triturada hasta el rango de la nanoescala en el molino planetario de bolas más potente, ya que se alcanzó sólo una granulometría final de 476 nm. Esto quiere decir que la granulometría final alcanzada por el E_{max} fue 5 veces más fina que la del molino planetario de bolas (fig. 4).

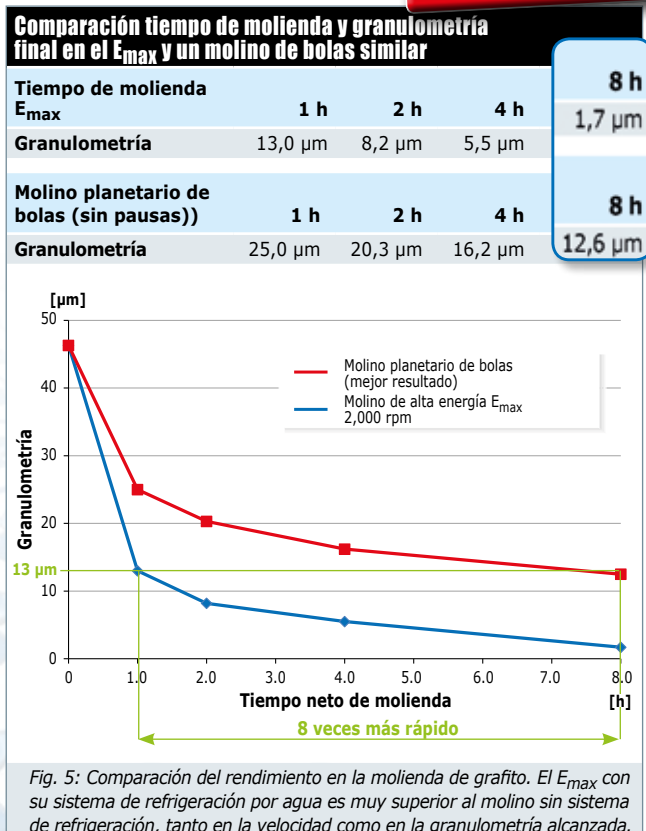
Comparación del tiempo de molienda

La superioridad del E_{max} puede apreciarse más claramente al comparar el tiempo de molienda de ambos molinos. La figura 5 nos muestra el resultado obtenido al moler grafito a 2.000 rpm en el E_{max} (recipientes de molienda de óxido de circonio de 50 ml, 110 g de bolas de óxido de circonio de \varnothing 1 mm, 5 g de muestra y 13 ml de isopropanol) y en el molino planetario de bolas más potente. Al ser el grafito un lubricante, para molerlo se requiere un aporte de energía especialmente alto. **Después de 1 hora de molienda, ya el 90% de la muestra había alcanzado en el E_{max} una granulometría de 13 μ m, valor que el molino planetario alcanzó recién después de 8 horas (sin pausas).** El rendimiento superior del E_{max} también se aprecia claramente si nos fijamos en la granulometría alcanzada después de 8 horas de tiempo de molienda neto: en el E_{max} el valor de d_{90} es de 1,7 μ m, mientras que en el otro molino es de 12,6 μ m. Es decir, 7 veces más fina.

**Dióxido de titanio:
5 veces más fino**



**Grafito:
8 veces más rápido
7 veces más fino**



SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ALTAMENTE EFICIENTE

El recipiente de molienda es enfriado en el E_{max} por un **sistema de refrigeración interno**. Para reducir todavía más la temperatura, este molino puede conectarse a un recirculador de refrigeración o al grifo de agua. La figura 6 muestra el circuito de refrigeración del E_{max} . El enfriamiento del recipiente se realiza a través de la base de soporte. **Al ser el agua mejor conductora del calor que el aire, esta refrigeración es muy efectiva.** El software del E_{max} permite realizar la molienda manteniendo un rango de temperatura determinado, para lo cual se define una temperatura mínima y una máxima. Si la temperatura máxima es sobrepasada, el molino interrumpe automáti-

camente el proceso continuándolo sólo cuando se ha llegado de nuevo a la temperatura mínima.

Sobre todo para muestras termosensibles o muestras que son molidas en isopropanol, como la de la figura 7, el tipo de refrigeración puede ser crucial. El isopropanol se evapora a 82 °C, haciendo que suba mucho la presión en el recipiente. Al mantener la temperatura por debajo de ese valor, se reduce la presión en el recipiente y por lo tanto el esfuerzo ejercido sobre las juntas. Además, el recipiente puede abrirse más fácilmente una vez finalizado el proceso de molienda.

Circuito de refrigeración del E_{max}

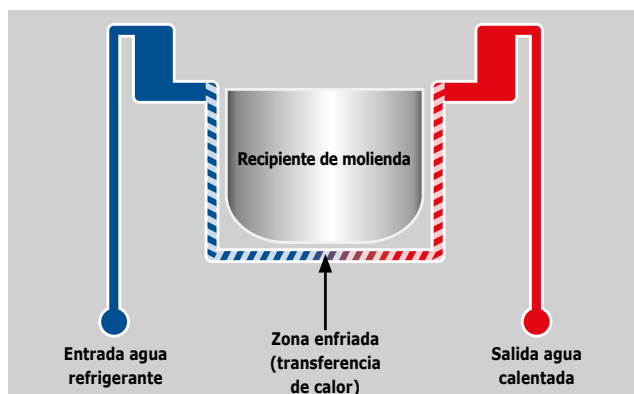


Fig. 6: En el E_{max} la refrigeración se realiza a través de la base de soporte.

Molienda en húmedo de grafito en el E_{max}

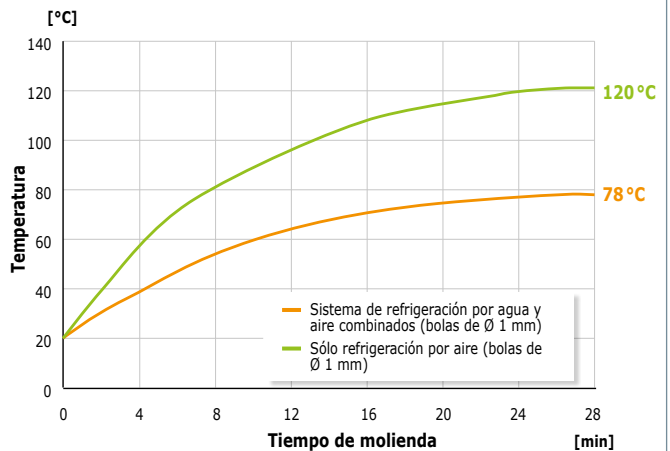


Fig. 7: En la molienda de grafito en isopropanol (recipiente de 50 ml con bolas de Ø 1 mm, 5 g de muestra) la temperatura de calentamiento del recipiente pudo limitarse a 78 °C gracias a la refrigeración por agua. Sin esta refrigeración la temperatura llegó a los 120 °C.

MÁXIMA SEGURIDAD

Al diseñar el E_{max} se puso especial atención en que ofreciera máxima seguridad operacional. La posición del recipiente es vigilada automáticamente. Si este no se encuentra correctamente colocado, el molino no puede ponerse en marcha. En este molino **no se requieren contrapesos** para

el recipiente de molienda: cualquier desbalanceo que se produzca en el recipiente es controlado, y si es muy fuerte, el molino se detiene automáticamente indicando el tiempo restante de molienda. Una vez solucionada la falla, puede continuarse con el proceso.

Conclusión

El E_{max} abre las puertas a una nueva dimensión en la molienda de alta energía. En este aparato se han combinado de forma extraordinaria los mecanismos de impacto y fricción con una velocidad de 2.000 rpm, siendo el resultado la producción de partículas ultrafinas en tiempo extremadamente corto. Gracias al innovador sistema de refrigeración por agua, el aporte de energía para la trituration es en el E_{max} mucho mayor que en otros molinos de bolas convencionales, sin que este se recaliente. El sistema de refrigeración por agua permite además reducir significativamente el tiempo de molienda en comparación con molinos de bolas sin sistema de refrigeración, ya que en estos es necesario realizar pausas. Los ejemplos muestran claramente que el E_{max} alcanza las granulometrías buscadas en una fracción del tiempo necesitado por el otro molino.

LOS CLÁSICOS PARA LA MOLIENDA FINA

MOLINOS PLANETARIOS DE BOLAS

Los molinos planetarios de bolas RETSCH se usan en todas aquellas aplicaciones con altas exigencias de rapidez, granulometría final, pureza y reproducibilidad. Estos molinos mezclan y trituran materiales blandos, semiduros, duros y extremadamente duros, frágiles o fibrosos, alcanzando sin problemas granulometrías finales a escala micrométrica. En la molienda por vía húmeda pueden alcanzar incluso granulometrías nanométricas. Además de realizar tareas clásicas de trituración, estos molinos cumplen con todas las exigencias técnicas del proceso de molienda coloidal y tienen el rendimiento energético necesario para efectuar aleaciones mecánicas.

HIGHLIGHTS

- Molienda potente y rápida hasta el rango submicrónico
- Energía y velocidad regulables que garantizan resultados reproducibles
- Para ensayos de larga duración y operación continua
- Para molienda en seco y en húmedo
- Juegos de molienda en 6 materiales y 7 tamaños diferentes

SELECCIÓN DE MODELOS Y AMPLIA GAMA DE ACCESORIOS

RETSCH ofrece una amplia selección de molinos planetarios de bolas. **El PM 100, el PM 100 CM y el PM 200 son unidades de sobremesa con uno y dos puestos de molienda.** El PM 100 CM trabaja en modo centrífugo, es decir que la relación de velocidad entre la rueda central y los recipientes de molienda es de 1:-1. La trituración se realiza de forma más suave y con menos desgaste. **El PM 400 es una unidad vertical con dos o cuatro puestos de molienda,** en la que apilando dos recipientes pueden triturarse hasta 8 muestras simultáneamente. El PM 400 se ofrece igualmente en la versión "MA", con relaciones de velocidad de 1:-2,5 / 1:-3 y un aporte de energía particularmente alto que lo hace apropiado para alear materiales mecánicamente.

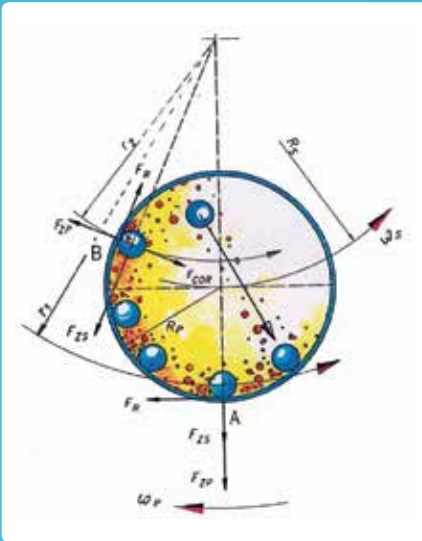
Para la molienda coloidal se recomienda emplear los recipientes con el dispositivo de cierre especial. Este los mantiene completamente herméticos tanto en el interior como el exterior de las cámaras de guantes (gloveboxes) garantizando una manipulación y transporte seguros.

Para la molienda en condiciones inertes se ofrece una **tapa con válvula especial** que permite **inyectar gases** como el argón o el nitrógeno en el interior del recipiente de molienda.

La **línea de recipientes "confort"** ha sido especialmente diseñada para condiciones de operación extremas como ensayos de larga duración, moliendas por vía húmeda, grandes esfuerzos mecánicos y velocidades máximas, así como para aleaciones mecánicas. La **amplia selección de materiales y tamaños (12 ml - 500 ml),** también en lo que respecta a las bolas de molienda, permite preparar muestras neutras para el análisis y adaptadas al tipo de aplicación. Todos los recipientes "confort" llevan una junta tórica que impide el escape de polvo y gases.



EL PRINCIPIO PLANETARIO



En los molinos planetarios de bolas, cada recipiente de molienda representa un "planeta". Estos se encuentran sobre una plataforma redonda o rueda principal. Cuando la rueda principal gira, cada recipiente rota sobre su propio eje pero en dirección contraria a la de la rueda. Esto hace que en su interior se formen fuerzas centrífugas y de Coriolis produciéndose una enorme aceleración de las bolas de molienda (ver fig. 1).

El resultado es la liberación de una gran cantidad de energía para la trituración que permite alcanzar

granulometrías finísimas. La enorme aceleración de las bolas al desplazarse de una pared a otra hace que colisionen con gran fuerza contra la muestra generando un efecto adicional de fricción que aumenta el rendimiento de la trituración. Para las moliendas coloidales y la mayoría de las aplicaciones, la relación de velocidad entre la rueda principal y los recipientes de molienda es de 1:-2. Para aplicaciones en las que se necesita aplicar mayor energía para la trituración se pueden emplear molinos planetarios con otras relaciones o bien un molino de alta energía como el E_{max}.

Fig. 1: Las fuerzas centrífuga y de Coriolis que se forman en los molinos planetarios de bolas permiten alcanzar granulometrías nanométricas.

GRANULOMETRÍAS FINALES A ESCALA NANOMÉTRICA

La figura 2 nos muestra el resultado de la trituración de óxido de aluminio (Al₂O₃) a 650 rpm en el PM 1 con bolas de Ø 1 mm y agua. Después de 1 hora el 50% de la muestra había alcanzado una granulometría de 200 nm; y después de

4 horas, de 100 nm. En un segundo ensayo se trituró primero el material por 1 h con bolas de Ø 1 mm, y después por 3 h con bolas de Ø 0,1 mm (ver fig. 3). Aquí el 50% de la muestra alcanzó una granulometría de 76 nm. Los

resultados demuestran que los molinos planetarios de bolas pueden reducir partículas hasta el rango nanométrico. La elección del tamaño adecuado de bola juega un papel primordial para la obtención de estas granulometrías.

Molienda coloidal de óxido de aluminio en el PM 100

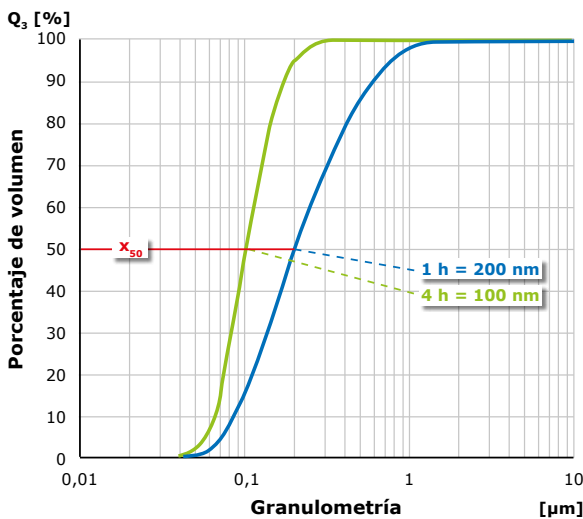


Fig. 2: Molienda de alúmina en agua con bolas de Ø 1mm, después de 1 h (azul) y después de 4 h (verde).

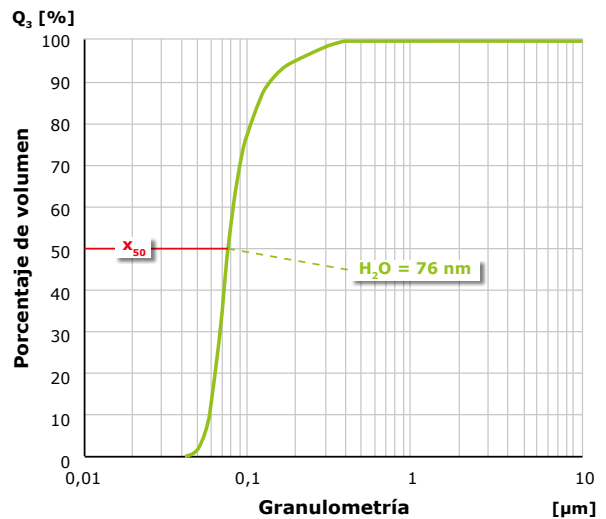


Fig. 3: Molienda de alúmina en agua con bolas de Ø 1mm por 1 h, y luego con bolas de Ø 0,1 mm por 3 h.

Conclusión

Los molinos planetarios de bolas son idóneos para aquellos procesos de mezcla y molienda usuales en los que se requiere una gran cantidad de energía para reducir el material. En estos se pueden realizar moliendas por vía seca y húmeda, pudiéndose alcanzar en la última incluso granulometrías nanométricas dependiendo del tipo de muestra. Gracias a la variedad de modelos y a la amplia gama de accesorios, la familia de molinos PM de RETSCH es de uso universal.

ALEACIÓN MECÁNICA



Molino de bolas de alta energía Emax



Molino planetario de bolas PM 400

Todo el mundo conoce aleaciones tales como la amalgama, que se usa en odontología, o el acero inoxidable. El método clásico para producir amalgamas consiste en fundir sus componentes a temperaturas muy altas con lo cual se mezclan. No obstante, cuando se necesitan sólo cantidades pequeñas o cuando los componentes no se pueden unir por fusión, el método de aleación mecánica es una alternativa. Para esta aplicación se emplean molinos de bolas en los cuales se liberan grandes cantidades de energía por efectos de impacto y fricción. El mecanismo de esfuerzo por impacto también se aprovecha en mecanoquímica, p. ej. para producir reacciones químicas sin el uso de disolventes.

¿QUÉ SUCEDE DURANTE EL PROCESO DE ALEACIÓN MECÁNICA?

Las primeras aleaciones se hicieron con bronce por el año 3.300 a.C. Hoy en día existe una gran variedad de aleaciones muy diversas que se caracterizan por las propiedades mejoradas obtenidas en el material. Algunos componentes se mezclan al ser fundidos y quedan unidos después debido a la formación de cristales de elementos compuestos. Cuando se obtienen nuevas propiedades mecánicas en el material, p. ej. mayor dureza, es porque algunos átomos del elemento aleado se han intercalado durante el proceso de fusión en la estructura reticular cristalina del elemento base. En este caso, debido al diámetro diferente de los átomos, se produce una distorsión de la estructura en los cristales de elementos compuestos, los planos de deslizamiento se ven afectados y el metal adquiere mayor dureza, pero también mayor fragilidad.

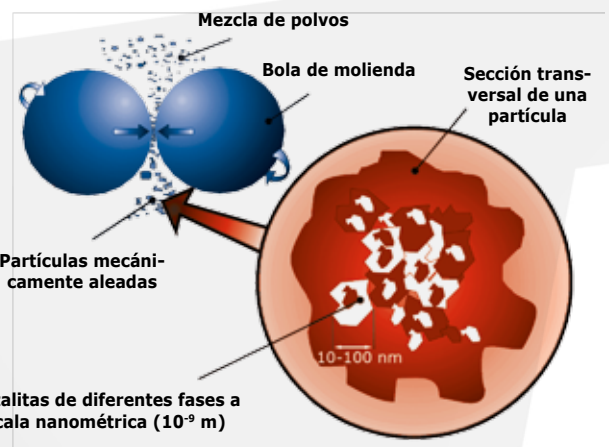


Fig. 1: Principio de la aleación mecánica

ALEACIÓN MECÁNICA EN MOLINOS DE BOLAS

Pero, ¿qué hacer si los componentes no se dejan alear mediante el método de fusión? ¿O si las temperaturas de fusión son tan diferentes que un componente ya se ha evaporado mientras el otro no ha terminado de fundirse? A finales de los años 60 se empezaron a producir de forma mecánica las primeras aleaciones de níquel/acero con el fin de obtener materiales extremadamente resistentes a los choques térmicos. Este método de aleación consiste en unir los componentes iniciales en forma de polvo

mediante procesos cinéticos intensos (fig. 1). Para esta tarea se requiere un **enorme aporte de energía** como el que suministran los **molinos planetarios de bolas y el Emax** con sus grandes esfuerzos de impacto. En la aleación mecánica, las partículas son deformadas plásticamente y soldadas por la interacción con las bolas. El molino planetario de bolas PM 400 MA con su relación de velocidad de 1:-3 aporta una energía de impacto especialmente alta siendo ideal para aleaciones mecánicas.

MECANOQUÍMICA

Al principio del proceso de aleación mecánica se producen partículas grandes cuya estructura reticular cristalina comienza a mostrar defectos como dislocaciones, vacancias y tensiones, los cuales conllevan a un aumento de la velocidad de difusión de sus átomos. Dicho aumento de la velocidad de difusión conlleva a su vez a un aumento de su fragilidad, favoreciendo la formación de fisuras y su posterior fractura. La temperatura generada por la fricción en el recipiente de molienda es otro factor que favorece el aumento de la difusión.

Con un modelo de cálculo pudo demostrarse que en un molino planetario de bolas se alcanzan picos de temperatura de 700 – 1800 K y picos de presión de miles de atmósferas [1]. El proceso de soldadura y fractura se realiza de forma continua evolucionando hasta obtenerse una homogeneización completa de los componentes, lo cual puede suceder después de algunos minutos o bien varias horas. En las partículas de polvo se forman diminutas áreas cristalinas de componentes adyacentes llamadas "nanocristalitas" (fig. 2 y 3).

Los mecanismos de esfuerzo con que trabaja el molino planetario de bolas son óptimos para aplicaciones de mecanoquímica. **El mecanismo de esfuerzo por impacto libera la energía de activación necesaria para las reacciones químicas.** Este mecanismo permite trabajar, sin necesidad de agregar disolventes, con reacciones químicas complejas para las cuales estos se necesitarían normalmente. Los tipos de reacciones son muy diversos y abarcan desde halogenaciones oxidativas y reacción de Diels-Alder, hasta la formación de enaminas, síntesis de glucósidos o simplemente reacciones regioselectivas. La mecanoquímica puede usarse p. ej. para la deshalogenación de desperdicios (deshalogenación por reacción mecanoquímica), la cual sería difícilmente posible mediante métodos convencionales.

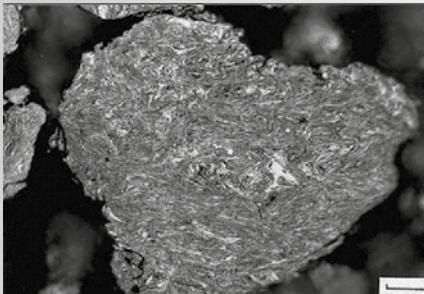


Fig. 2: Imagen de microscopio óptico de la superficie pulida de una partícula de hierro-tantalio-cobre (FeTaCu) después de haber sido sometida por 5 h a un proceso de aleación mecánica.

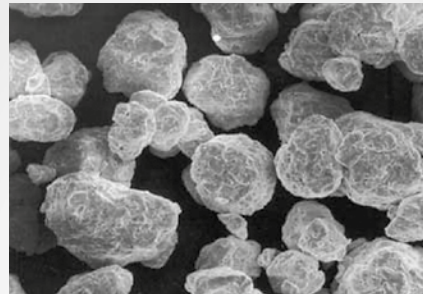
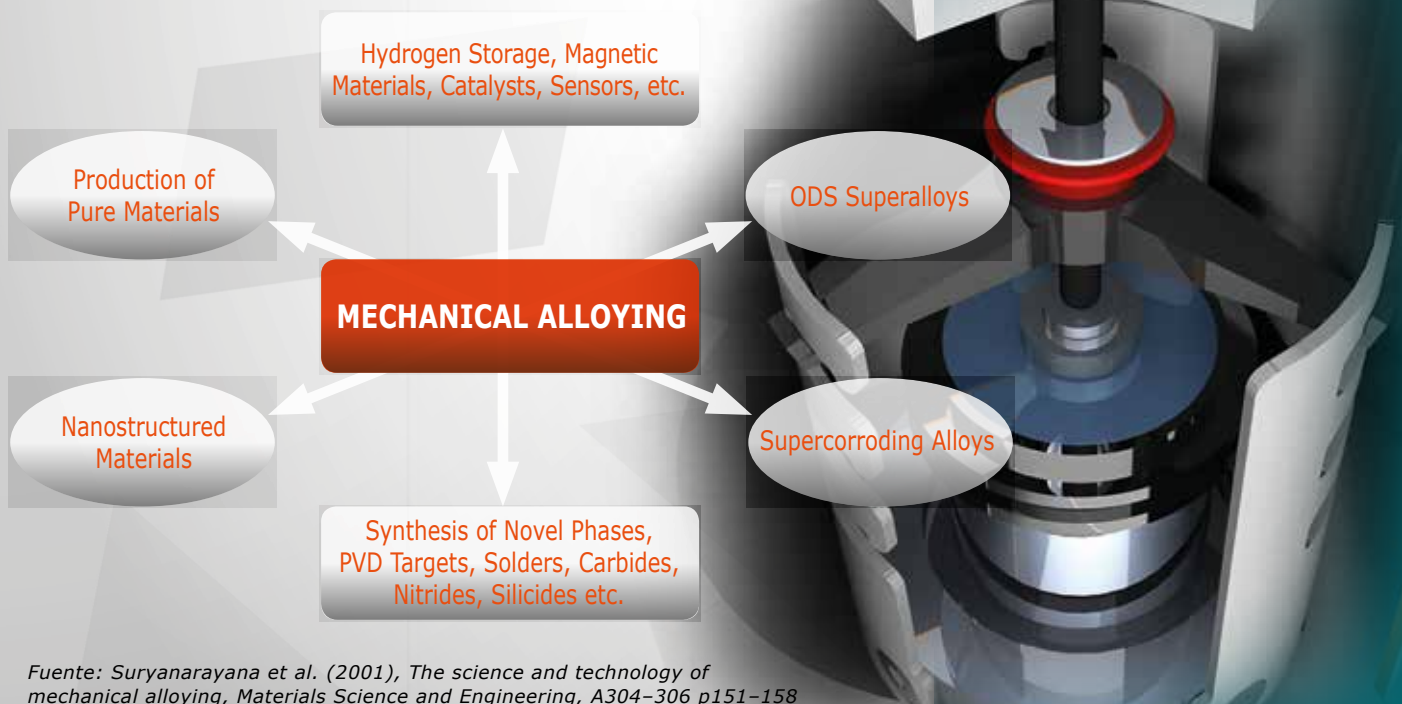


Fig. 3: Imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM) de una partícula de hierro-tantalio-cobre (FeTaCu) después de haber sido sometida por 20 h a un proceso de aleación mecánica.

De esta manera es posible producir aleaciones que por diversas razones no pueden obtenerse mediante el método clásico de aleación por fusión. El usuario tiene la posibilidad de mezclar los componentes en la relación que quiera. Los molinos planetarios de bolas de RETSCH suministran la energía necesaria para realizar aleaciones mecánicas. Para pro-

ducir reacciones bajo atmósfera de gas protector pueden usarse los recipientes "comfort" de la serie PM con sus dispositivos de cierre de seguridad y tapa con válvula especial. Estos permiten trabajar en condiciones inertes. El molino de alta energía E_{max} cumple asimismo con los requisitos necesarios para realizar aleaciones mecánicas.

[1]Urakaev FK (2000), Powder Technology 200, 107, 93



Fuente: Suryanarayana et al. (2001), The science and technology of mechanical alloying, Materials Science and Engineering, A304-306 p151-158

PRODUCCIÓN DE NANOPARTÍCULAS POR MOLIENDA COLOIDAL

Las moliendas coloidales, también conocidas como nanomoliendas, por lo general se llevan a cabo por vía húmeda. Para la reducción de partículas pequeñas a un tamaño todavía menor aplicando fuerzas mecánicas, se requieren molinos que confieran una gran cantidad de energía al proceso de trituración, como los molinos planetarios de bolas o el E_{max} de RETSCH. Otro aspecto igualmente importante para la nanomolienda es la selección del juego de molienda y de las bolas apropiadas.

TRITURACIÓN PREVIA

Dependiendo de la granulometría de la muestra original y de la granulometría final que se quiera alcanzar, puede ser necesario realizar una trituración previa de la muestra. En las moliendas por vía seca con bolas de Ø >3 mm, normalmente la muestra ocupa un tercio del recipiente de molienda y las bolas otro tercio. El material triturado se emplea después para la molienda coloidal.



Recipiente "comfort" para la serie PM, con dispositivo de cierre de seguridad y tapa con válvula especial

CONSEJOS PARA LA MOLIENDA COLOIDAL

Los molinos planetarios de bolas y el nuevo E_{max} de RETSCH son molinos de bolas de diferente tipo que aportan la energía necesaria para realizar moliendas coloidales hasta el rango nanométrico.

Para esta aplicación lo mejor es emplear recipientes y bolas de un material resistente al desgaste, como el circonio. El **60% del volumen del recipiente deberá llenarse con bolas de Ø 0,1 – 3mm** para asegurar que haya un gran número de puntos de fricción. La muestra en sí ocupa un tercio del volumen del recipiente. Para obtener una **consistencia pastosa** de la muestra, se recomienda agregar un dispersante (p. ej. agua, isopropanol o una solución tamponante). De esta manera estarán dadas las condiciones óptimas para la molienda coloidal.

CONSISTENCIA

Si una muestra tiende a aumentar de volumen por la humedad, debe controlarse la consistencia de la mezcla de muestra-bolas durante el proceso de molienda. De ser necesario, puede agregarse un dispersante para diluirla más. Si de

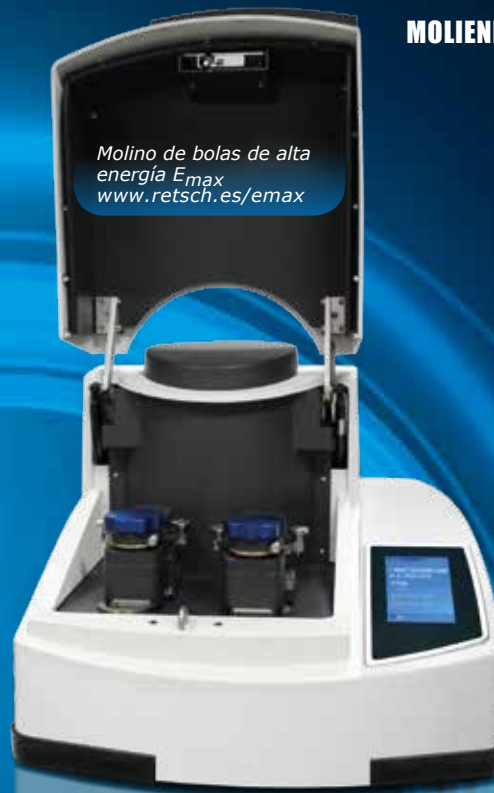
Si se desean alcanzar granulometrías muy finas, se recomienda realizar una segunda molienda con bolas de 0,1 – 0,5 mm, especialmente si en la primera molienda se emplearon bolas de 2 – 3 mm (el tamaño de las bolas debe ser 3 veces mayor que el del material). Para separar las bolas del material molido, se hace pasar la mezcla de muestra-bolas a través de un tamiz con fondo colector (la abertura de malla debe ser 20 a 50% más pequeña que el tamaño de las bolas). Para la segunda molienda se llenará de nuevo sólo el 60% del recipiente con las bolas más pequeñas. La suspensión obtenida en la primera molienda es mezclada cuidadosamente por las bolas hasta obtener una consistencia pastosa.

antemano se sabe que la muestra se hincha mucho, se recomienda diluirla bastante antes de la molienda, p. ej. mezclando la mitad de la cantidad de muestra con el mismo volumen de dispersante.

EXTRACCIÓN DEL RECIPIENTE DE MOLIENDA

Se ha de tener mucho cuidado al extraer el recipiente una vez finalizada la molienda, ya que puede tener una temperatura de más de 150 °C debido al calor liberado por la fricción. Además, su interior puede estar bajo presión. Para garantizar la extracción segura, se recomienda emplear el recipiente "comfort" con dispositivo de cierre de seguridad. Una vez extraído el recipiente, déjelo enfriar. Los recipientes

de molienda del E_{max} ya vienen con dispositivo de seguridad integrado, y no se calientan tanto como los de los molinos de bolas usuales debido a su efectivo sistema de refrigeración por agua. RETSCH ofrece para la serie PM y para el E_{max} tapas especiales con válvula que permiten trabajar bajo atmósfera de gas protector.



Elección juego de molienda:
Tamaño y material del recipiente y las bolas, bolas 3 veces mayores que la partícula más gruesa

Relleno recipiente de molienda:
60% bolas, 30% muestra, adición de un dispersante hasta obtener una consistencia pastosa

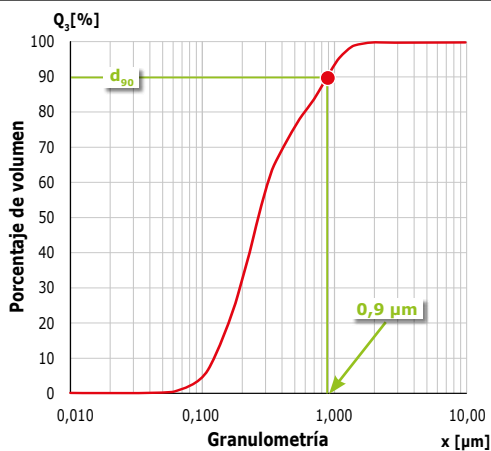
Dispersantes:
p. ej. isopropanol, etanol, gasolina blanca, fosfato de sodio, ácido diaminopimélico

Proceso de molienda

Determinación granulométrica

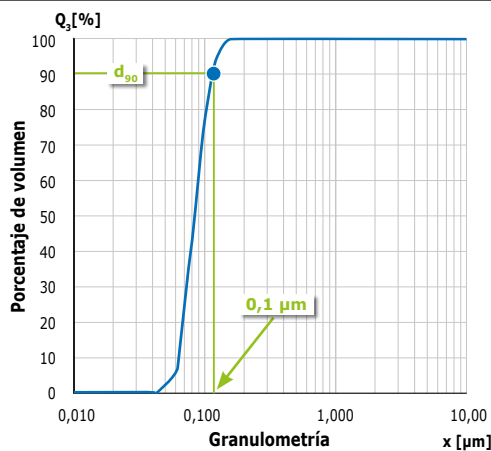
Fase de enfriamiento:
Abrir el recipiente de molienda sólo cuando haya alcanzado la temperatura ambiente

Molienda de rocas (parecidas al granito) en el PM 100



Se llenó un recipiente de molienda de óxido de circonio con 30 ml de bolas de circonio de Ø 2 mm. Se agregaron 21 g de muestra (corresponde a un tercio del volumen del recipiente), se mezcló todo con 15 ml de agua obteniéndose una consistencia pastosa. Después de 2 h a 550 rpm en el PM, el 90% de la muestra alcanzó una granulometría de unos 0,9 μm (valor d₉₀).

Molienda de alúmina en el E_{max}



Una suspensión de 20% m/m de óxido de aluminio en fosfato de sodio al 0,5% fue reducida a granulometría fina en el E_{max}. La muestra original tenía una granulometría de 1,2 μm (d₉₀). Se llenó un recipiente de 50 ml con 30 g de suspensión y 110 g de bolas de Ø 0,1 mm, y se trituró a 2.000 rpm por 30 min. El valor de d₉₀ alcanzó 0,11 μm.

MOLINO MEZCLADOR MM 400

EL MULTITALENTO PARA CANTIDADES PEQUEÑAS

Molienda –
Mezcla –
Ruptura
celular

HIGHLIGHTS

- Molienda, mezcla y homogeneización reproducible y eficiente en segundos
- Molienda de hasta 20 muestras simultáneamente a una frecuencia máx. de 30 Hz
- Recipientes enroscables para la molienda en húmedo y criogénica
- Memoria para 9 SOPs
- Recipientes de 1,5 ml – 50 ml, adaptador para tubos desechables
- Kit criogénico para enfriar los recipientes de molienda a -196 °C

Bien se trate de muestras de tejido o huesos, cabellos, pastillas, madera, plásticos, minerales o sustancias químicas – tanto el molino mezclador MM 400 como su versión básica, el MM 200, son multitalentos comprobados para la molienda, mezcla y homogeneización de cantidades pequeñas de muestra. Estos alcanzan granulometrías finales de hasta 5 µm siendo capaces de procesar muestras duras, semiduras, frágiles y blandas, elásticas o fibrosas de forma rápida y fiable.

Molino mezclador
MM 400
www.retsch.es/mm

PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE PLANTAS

El ser humano ha encontrado las más diversas utilidades para las plantas, que aparte de servir como alimento se emplean por ejemplo para la producción de papel o de combustibles secundarios. En cuanto a su estructura celular, las plantas presentan componentes leñosos como la lignina, que las hace más fibrosas mientras más alto sea su contenido. Especialmente la lignina es una sustancia muy estable que puede causar problemas en forrajes o en la producción de bioetanol. Con el fin de conseguir mejoras específicamente en estos sectores, los

investigadores deben comprender exactamente cómo se produce este polímero en las plantas. Mientras más conocimiento se tenga acerca de cómo las plantas producen sus componentes, mayor será la posibilidad de manipular biotecnológicamente el contenido o la estructura de la lignina en la planta. Las plantas con lignina de estructura modificada presentan ventajas tanto para la producción ganadera, al ser más digeribles para el ganado, como para la industria papelera, al facilitar el blanqueado del papel (haciéndolo también más amigable con

el medio ambiente). En el área de investigación, por lo general sólo se dispone de pequeñas cantidades de materia vegetal para el análisis. Un molino que ha demostrado ser ideal para este tipo de aplicación es el MM 400. En un ensayo de laboratorio, se trituraron 6 plantas de *Arabidopsis thaliana* en el MM 400 hasta obtener una granulometría de 100 µm. Después de corto tiempo la muestra ya se había homogeneizado, es decir que no se encontraron componentes gruesos o fibras que pudieran causar interferencias en el análisis posterior.



6 plantas de *Arabidopsis thaliana* (aprox. 2 g)



Después de la trituración previa manual



Después de la molienda fina en el MM 400

Recipiente de molienda de 50 ml de acero inoxidable, 1 bola de Ø 25 mm de acero inoxidable, 30 Hz, 2 minutos



FUNCIONAMIENTO DE LOS MOLINOS MEZCLADORES

El recipiente de molienda se encuentra en posición horizontal y oscila describiendo un movimiento en arco. Las bolas dentro del recipiente se mueven por inercia chocando con gran energía contra las concavidades a ambos extremos. **En cuestión de segundos a unos pocos minutos se obtiene una muestra pulverizada y muy homogénea.** Al emplear muchas bolas pequeñas para la trituración se intensifica en el efecto de fricción siendo incluso posible realizar rupturas celulares.

GRAN VERSATILIDAD GRACIAS A LA AMPLIA GRAMA DE ACCESORIOS

Gracias a la **gran variedad de tamaños y materiales de los recipientes y bolas**, los molinos mezcladores son aparatos muy versátiles. Los recipientes en acero inoxidable se ofrecen en volúmenes desde 1,5 hasta 25 ml para el MM 200, y hasta 50 ml para el MM 400. Para aquellas aplicaciones en las que es importante obtener muestras neutras para el análisis, se ofrecen juegos de molienda en carburo de

tungsteno, óxido de circonio, ágata y teflón. Los recipientes del MM 400, al estar dotados de una junta y tapa enroscable, pueden usarse también para la **molienda en condiciones criogénicas** con el kit criogénico ofrecido por RETSCH, en el cual estos pueden enfriarse con nitrógeno líquido a -196 °C con el fin de fragilizar la muestra que encuentra en su interior. Los molinos mezcladores se emplean frecuen-

temente para la **ruptura celular y tisular previa a la extracción de ADN/ARN.** Para esta aplicación, RETSCH ofrece adaptadores con una capacidad de hasta 20 tubos. Los parámetros como la frecuencia y el tiempo de molienda pueden configurarse cómodamente a través de la pantalla. Memoria para 9 procedimientos de operación estándares que facilita las tareas de rutina.

Conclusión

Los molinos mezcladores MM 400 y MM 200 de RETSCH son dos unidades de sobremesa versátiles y compactas, especialmente diseñadas para trabajar con pequeñas cantidades de muestra. Estos aparatos mezclan y homogeneizan polvos y suspensiones en cuestión de segundos siendo óptimos para la ruptura celular.

CRYOMILL

MOLIENDA A BAJA TEMPERATURA

Cuando se tienen materiales tenaces-elásticos o muestras con componentes muy volátiles, la molienda criogénica constituye la única posibilidad de obtener las granulometrías requeridas para muchos análisis. El enfriamiento de estos materiales a -196 °C con nitrógeno líquido hace que se fragilicen mejorando sus propiedades de fractura y permitiendo alcanzar granulometrías finales de hasta $5\text{ }\mu\text{m}$. En el caso de los compuestos volátiles, estos se conservan en la muestra y pueden ser determinados cuantitativamente, además de que no se produce descomposición térmica.

HIGHLIGHTS

- Frecuencia de 30 Hz que garantiza una alta generación de energía y granulometrías de hasta $5\text{ }\mu\text{m}$
- Gran seguridad gracias al sistema de refrigeración integrado
- Poco consumo de nitrógeno líquido gracias al sistema de llenado Autofill
- Memoria para 9 SOPs
- También para moliendas a temperatura ambiente

Rápido –
Seguro –
Criogénico



CryoMill
www.retsch.es/cryomill

SEGURO Y VERSÁTIL



Una ventaja particular del CryoMill es su gran seguridad operacional, ya que **el usuario en ningún momento entra en contacto con el nitrógeno líquido**. La alimentación con nitrógeno líquido mediante el sistema de llenado integrado Autofill es controlada por un sensor de temperatura, de manera que el LN₂ siempre es dosificado exactamente en la cantidad

necesaria para mantener una temperatura constante de -196 °C. Gracias al sistema de refrigeración automático, la molienda comienza sólo cuando la muestra está completamente congelada. Esto **reduce el consumo y garantiza resultados reproducibles**. Con una frecuencia de vibración de 30 Hz, el CryoMill tritura de forma muy efectiva y en cuestión de pocos minutos una gran variedad de materiales. El mecanismo de esfuerzo predominante en el proceso de molienda es el impacto, y en segundo lugar la fricción, lo que permite alcanzar **granulometrías mucho más finas** que en molinos criogénicos similares. Cuando se liberan grandes cantidades de energía durante el proceso de molienda, este puede interrumpirse en momentos precisos para permitir la disipación del calor generado por la fricción dentro del recipiente. El molino también puede usarse sin la refrigeración con nitrógeno.



Gracias a la amplia gama de accesorios, el CryoMill es un molino muy versátil. Para la **alimentación con nitrógeno**, RETSCH ofrece un **tanque de 50 litros con válvula de seguridad**. Los recipientes de molienda vienen en tamaños de 5 a 50 ml y son enroscables para evitar el escape de la muestra. Para aquellas apli-

caciones en las que es importante obtener muestras neutras para el análisis, se ofrecen recipientes de 25 ml en óxido de circonio y teflón. La gama de accesorios también incluye bolas en diferentes tamaños y materiales, así como un **adaptador que hace posible el uso de hasta 6 tubos de 2 ml**.

Para permitir una adaptación óptima a los diferentes tipos de muestra, tanto la refrigeración como el tiempo y los intervalos de molienda son libremente programables. Durante la fase de enfriamiento previo, el recipiente se mueve con una frecuencia de 5 Hz, de manera que la bola de molienda se encuentra permanentemente en movimiento y no se congela con muestras húmedas. La memorización de hasta 9 programas de molienda (SOP) facilita las tareas de rutina. La pantalla cuenta con diodos luminosos que indican qué operación se está realizando en el momento.

Conclusión

El CryoMill de RETSCH ha demostrado ser el aparato perfecto para la molienda de muestras termosensibles con una temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura ambiente. Este molino alcanza granulometrías finales mucho más pequeñas que los molinos similares. Igualmente para la preparación de muestras que contienen compuestos volátiles, el CryoMill es el aparato ideal.

Molienda cuidadosa de PET



Las botellas de PET se usan como envases para bebidas por ser ligeras y estables. No obstante, el agua mineral y otras bebidas envasadas en botellas de PET pueden contener trazas de acetaldehído, un compuesto dañino para la salud. Esta sustancia afecta ya en cantidades ínfimas de 10 - 20 ppb de forma negativa el sabor del producto. Por tal razón, tanto los fabricantes de envases como las empresas de bebidas realizan controles de calidad cuantitativos durante la producción. Como el acetaldehído es un compuesto muy volátil, es necesario evitar que la muestra sea sometida a esfuerzos térmicos antes del análisis. **La molienda criogénica a -196 °C es el método ideal para reducir materiales elásticos de forma cuidadosa y reproducible**. Al enfriar la muestra a una temperatura tan baja se garantiza que no se produzcan pérdidas de acetaldehído por calentamiento durante el proceso de molienda. La molienda criogénica es una técnica ideal para preparar muestras que serán sometidas a controles cromatográficos de rutina en laboratorios de pruebas certificados.



La trituration previa del PET debe realizarse en un molino diseñado para materiales flexibles **como el molino de corte SM 300 de RETSCH**. Con este molino puede trituirse de forma adecuada el material hasta una granulometría de 5 mm sin someterlo a esfuerzos

térmicos. Esta granulometría puede reducirse en un segundo paso de molienda con el CryoMill a un tamaño inferior a 0,5 mm sin problema. El tiempo de molienda para una muestra de 6 g de preformas de PET previamente trituradas es de sólo 5 minutos.



Preformas de PET después de la **trituration previa en el SM 300** (centro) - a 1.200 rpm, tamiz de 6 mm, rotor de corte paralelo; y después de la **molienda fina en el CryoMill** (der.) - recipiente de 50 ml acero inox., 1 bola de Ø 25 mm acero inox., 30 Hz, 2 x 2 minutos con un minuto de pausa intermedia para enfriamiento.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Los innovadores molinos de bolas de RETSCH no sólo cumplen, sino que superan todos los requisitos para una molienda rápida y reproducible hasta el rango submicrónico. Estos pueden usarse tanto para la preparación de muestras de rutina como para aplicaciones más exigentes que abarcan desde la molienda coloidal hasta el desarrollo de materiales avanzados.



MOLINOS PLANETARIOS DE BOLAS

Tipo de muestra	Accesorios	Parámetros	Cantidad	Granulom. final
Catalizadores	Recipiente de molienda 250 ml óxido de circonio, 15 bolas Ø 20 mm óxido de circonio	450 rpm, 2 min	130 ml	<63 µm
Ceniza	Recipiente de molienda 500 ml carburo de tungsteno, 1100 g bolas Ø 1 mm óxido de circonio, 120 ml agua	600 rpm, 2 h	100 g	<1,3 µm
Cerámica	Recipiente de molienda 500 ml óxido de circonio, 25 bolas Ø 20 mm óxido de circonio, algunas gotas de isopropanol	280 rpm, 20 min	250 g	<20 µm
Lodos efluentes	Recipiente de molienda 500 ml acero inoxidable, 25 bolas Ø 20 mm acero inoxidable	500 rpm, 8 min	172 g	<110 µm
Minerales	Recipiente de molienda 500 ml óxido de circonio, molienda previa: 8 bolas Ø 30 mm óxido de circonio, molienda fina: 160 bolas Ø 30 mm óxido de circonio	400 rpm, 3 min y 20 min	150 g	<45 µm
Óxido de manganeso	Recipiente de molienda 250 ml óxido de circonio, 550 g bolas Ø 2 mm de óxido de circonio, 100 ml NaPO ₃ al 0,5%	4800 rpm, 2 h	40 g	<0,7 µm
Paja	Recipiente de molienda 500 ml óxido de circonio, 160 bolas Ø 10 mm óxido de circonio	400 rpm, 75 min	50 g	<50 µm
Polímeros semicristalinos	Recipiente de molienda 50 ml carburo de tungsteno, 110 g bolas Ø 2 mm óxido de circonio, 20 ml agua	530 rpm, 2 h	2 g	<0,6 µm
Superabsorbentes	Recipiente de molienda 500 ml óxido de circonio, 160 bolas Ø 10 mm óxido de circonio	280 rpm, 30 min	100 g	<50 µm



MOLINO DE BOLAS DE ALTA ENERGÍA E_{max}

Tipo de muestra	Accesorios	Parámetros	Cantidad	Granulom. final
Al ₂ O ₃	Recipiente de molienda 50 ml óxido de circonio, 110 g bolas Ø 0,1 mm óxido de circonio, en fosfato de sodio al 0,5%	2,000 rpm, 15 min	23 g suspensión de 20% m/m	<0,14 µm
Carbón	Recipiente de molienda 125 ml acero, 54 bolas Ø 10 mm acero inoxidable	1,500 rpm, 10 min	26 g	<17 µm
Cuarzo	Recipiente de molienda de 125 ml de acero inoxidable, 18 bolas Ø 15 mm acero inoxidable	1,000 rpm, 30 min	66 g	<16 µm
Grafito	Recipiente de molienda 50 ml de óxido de circonio, 110 g bolas Ø 1 mm óxido de circonio, 13 ml isopropanol	2,000 rpm, 8 h	5 g	<1,7 µm
Pigmento TiO ₂	Recipiente de molienda 50 ml óxido de circonio, 110 g bolas Ø 0,1 mm óxido de circonio, 15 ml fosfato de sodio al 1%	2,000 rpm, 30 min	10 g	<0,087 µm



Los molinos mezcladores de RETSCH son ideales para moler y homogeneizar una gran variedad de muestras. Da igual si se trata de materiales duros, semiduros, blandos, frágiles, elásticos o fibrosos, estos pueden triturarse en seco, en húmedo o bajo condiciones criogénicas.

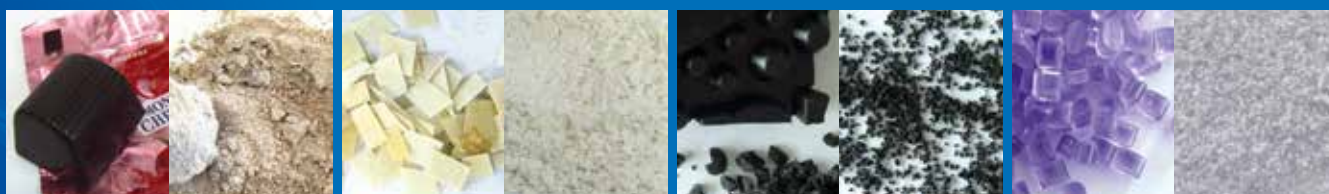
MOLINO MEZCLADOR MM 400

Tipo de muestra	Accesorios	Parámetros	Cantidad	Granulom. final
Aleaciones de cromo	Recipiente de molienda 25 ml carburo de tungsteno, 3 bolas Ø 20 mm carburo de tungsteno	30 Hz, 2 min	20 g	<250 µm
Insectos	Adaptador MM para 5 tubos de 2 ml PTFE, 0,5 g bolas de vidrio (Ø 0,75 - 1 mm)	30 Hz, 3 min	1-2 fragmentos	homogeneizada
Madera	Adaptador MM para 5 tubos de 2 ml PTFE, 3 bolas Ø 7 mm acero inox.	30 Hz, 3 min	1 trozo	<200 µm
Musgo	Recipiente de molienda 50 ml acero inoxidable, 3 bolas Ø 15 mm acero inoxidable	30 Hz, 3 min	1 g	<150 µm
Tabletas	Recipiente de molienda 50 ml acero, 6 bolas Ø 12 mm acero inoxidable	30 Hz, 5 min	15 g	<150 µm
Tejidos de rana	Recipiente de molienda 50 ml acero inox., 3 bolas Ø 12 mm acero inox., muestra y recipiente enfriados previamente en N ₂ líquido	30 Hz, 2 min	10 g	homogeneizada



CRYOMILL

Tipo de muestra	Accesorios	Parámetros	Cantidad	Granulom. final
Caucho	Recipiente de molienda 50 ml acero inoxidable, 1 bola Ø 25 mm acero inoxidable, 10 min enfriamiento previo	30 Hz, 2 min	4 g	<1 mm
Chocolate	Recipiente de molienda 50 ml acero inoxidable, 1 bola Ø 25 mm acero inoxidable, 10 min enfriamiento previo	30 Hz, 2 min	1 pedazo	<0,5 mm
Papel	Recipiente de molienda 50 ml acero inoxidable, 1 bola Ø 25 mm acero inoxidable, 6 min enfriamiento previo	25 Hz, 8 x 2 min, intervalo 30 seg	4 g	<400 µm
PET granulado	Recipiente de molienda 50 ml acero inoxidable, 1 bola Ø 25 mm acero inoxidable, 10 min enfriamiento previo	25 Hz, 8 x 4 min, intervalo 30 seg	10 g	<350 µm
Suela de zapato	Recipiente de molienda 50 ml acero inoxidable, 1 bola Ø 25 mm acero inoxidable, 10 min enfriamiento previo	30 Hz, 4 x 2 min, intervalo 1 min	6 g	<400 µm



RETSCH

MARCA PAUTAS

EN LA PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES SÓLIDOS

RETSCH es el líder mundial en soluciones para la trituración, homogeneización y determinación granulométrica de sólidos en controles de calidad.

TRITURACIÓN

- Trituradoras de mandíbulas
- Molinos de rotor
- Molinos de corte
- Molinos de cuchillas
- Molinos de discos
- Molinos de mortero
- Molinos mezcladores
- Molinos de bolas

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- Tamizadoras
- Tamices analíticos
- Software de evaluación
- Análisis del tamaño y la forma de las partículas mediante el método de procesamiento dinámico de imágenes (RETSCH TECHNOLOGY)

ASISTENCIA

- Divisores de muestras
- Alimentadores
- Secadora rápida
- Baños ultrasónicos
- Presas peletizadoras



VERDER
scientific

CARBOLITE ELTRA **Retsch** **Retsch**
TECHNOLOGY

Como parte del Grupo VERDER, la división VERDER SCIENTIFIC marca pautas en el desarrollo, producción y comercialización de aparatos de laboratorio y análisis. Estos instrumentos se usan en las áreas de control de calidad, investigación y desarrollo para la preparación de muestras y el análisis de sólidos.