

## MOLINOS DE BOLAS

DESDE LA MOLIENDA  
NANOMÉTRICA HASTA LA  
SÍNTESIS MECANOQUÍMICA



RETSCH lanza al mercado el primer molino mezclador que alcanza granulometrías finales a escala nanométrica.

**Molino mezclador MM 500**

[www.retsch.es/mm500](http://www.retsch.es/mm500)



**Estimados lectores, clientes y socios comerciales:**

Los molinos de bolas son los instrumentos más efectivos y versátiles para la trituración de muestras. La enorme selección en herramientas en diferentes materiales y volúmenes, así como los diferentes mecanismos de esfuerzo aplicados al proceso de trituración, hacen de estos molinos la primera opción para una amplia gama de aplicaciones – desde la producción de nanopartículas hasta la síntesis mecanoquímica.

**RETSCH ofrece la selección de molinos de bolas más amplia a nivel mundial.** En las páginas siguientes no solo presentamos información sobre los diferentes modelos y sus diferentes aplicaciones, sino también recomendaciones para el trabajo práctico, p. ej. cuál es la cantidad correcta de bolas y cuáles son los pasos a seguir para alcanzar una granulometría determinada.

El molino mezclador MM 500 es el miembro más nuevo de la familia de molinos de bolas RETSCH. En este modelo se combinan de forma única el manejo confortable de un molino mezclador clásico con el alto rendimiento de la energía de un molino planetario de bolas. Con su frecuencia de 35 Hz, el MM 500 genera suficiente energía para la producción de nanopartículas – algo que no es posible con ningún otro molino mezclador del mercado.

Les deseamos una lectura amena.

Cordialmente,

Dr. Jürgen Pankratz  
Director Verder Scientific

**PREMIUM QUALITY**



**MADE IN GERMANY**

# Contenido MOLINOS DE BOLAS



**UN MOLINO PERFECTO PARA CADA APLICACIÓN**  
04 – 05



**TECNOLOGÍA DE MOLINOS DE BOLAS REDEFINIDA**  
**MOLINO MEZCLADOR MM 500**  
06 – 09



**MOLIENDA BAJO CERO**  
**CRYOMILL**  
10 – 11



**DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD Y DEL TAMAÑO CORRECTO DE LAS BOLAS PARA UNA MOLIENDA PERFECTA**  
12 – 13



**EL MULTITALENTO PARA PEQUEÑAS CANTIDADES DE MUESTRA - MOLINO MEZCLADOR MM 400**  
14 – 17



**LOS CLÁSICOS PARA LA MOLIENDA FINA**  
**MOLINOS PLANETARIOS DE BOLAS**  
18 – 19



**MÁS RAPIDO – MÁS FINO – MÁS FRÍO**  
**MOLINO DE BOLAS DE ALTA ENERGÍA Emax**  
20 – 21



**ESTRUCTURA CRISTALINA INTACTA**  
**MOLINO XRD McCrone**  
22



**PARA GRANDES CANTIDADES**  
**MOLINO DE TAMBOR TM 300**  
23

En [www.retsch.com/downloads](http://www.retsch.com/downloads) podrá ver el WEBINARIO "USEFUL TIPS FOR EFFICIENT GRINDING PROCESSES IN LABORATORY BALL MILLS" o descargar el informe blanco referente al tema.

# LA MECANOQUÍMICA EN MOLINOS DE BOLAS

En armonía con la creciente importancia que han venido experimentando la sostenibilidad y la química verde, la mecanoquímica ofrece reacciones rápidas sin el uso de disolventes. Los sistemas de producción en masa frecuentemente se exceden en la implementación de reacciones basadas en disolventes, ya que estas facilitan la gestión del proceso de producción. Ante esto, la mecanoquímica puede convertirse en un futuro en una alternativa clave para el desarrollo de procesos sostenibles.

En química se suelen clasificar las reacciones según el tipo de energía requerida para que estas se produzcan. La más conocida es la reacción térmica (calor), seguida por la reacción electroquímica (electricidad) y por la fotoquímica (luz/ondas ópticas). Un tipo de reacción muy poco conocida es la mecanoquímica, en la cual la energía necesaria es suministrada al sistema de reacción por esfuerzos de impacto y fricción (fuerza de cizallamiento). En el siglo 21 creció el nivel de conciencia sobre las reacciones químicas y sus efectos en el medio ambiente, de forma que los químicos empezaron a reducir e incluso eliminar el uso de disolventes. Esto permitió que la mecanoquímica ganara importancia en ciertas áreas de la química orgánica y rápidamente quedó claro que aquellas reacciones tales como los acoplamientos C-C, oxidaciones, reducciones o reacciones pericíclicas podían ser transferidas a los molinos de bolas. A diferencia de los morteros antiguamente empleados, los molinos de bolas brindan la posibilidad de controlar de forma precisa las condiciones de la reacción, suministrar diferentes tipos de energía a la misma y emplear recipientes herméticos. **Los molinos que típicamente se emplean para esta aplicación son los molinos planetarios de bolas y los molinos mezcladores con recipientes de 2 ml a 500 ml.** El tamaño de las bolas es de vital importancia, ya que son estas las que inician la reacción y tienen que crear nuevas superficies reactivas arrastrando los eductos de las superficies que ya han reaccionado. Si las bolas son muy pequeñas, la energía generada será muy baja y estas tenderán a aglomerarse. Si las bolas son muy grandes, se iniciarán las reacciones pero se producirá un número bajo

de colisiones y el educto no será arrastrado lo suficiente de la superficie activada, llevando a una velocidad de reacción baja. Por lo tanto, el diámetro más apropiado para las bolas es de 5 a 15 mm. El material de los recipientes y de las bolas también es de vital importancia para la reacción mecanoquímica. El material, p. ej. óxido de circonio o acero inoxidable, debe ser resistente a las reacciones químicas, pero al mismo tiempo lo suficientemente estable como para no desgastarse por la fricción.

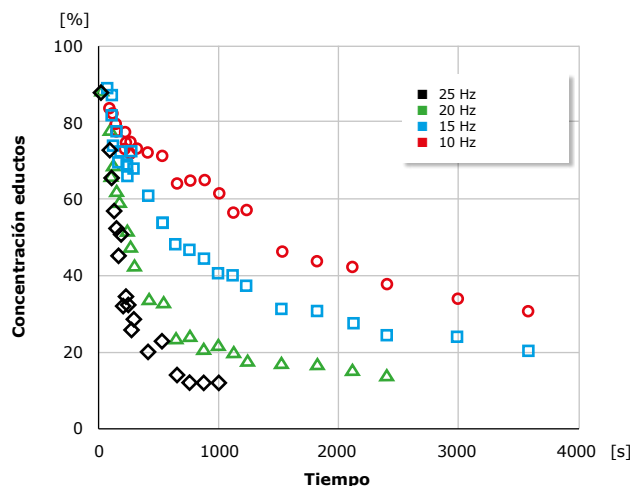
## ¿CÓMO FUNCIONA LA MECANOQUÍMICA?

En la mecanoquímica, el tipo de energía suministrada a la reacción pareciera jugar un papel muy importante. En los molinos planetarios de bolas dominan las fuerzas de cizallamiento, y en los molinos mezcladores las de choque. Además de seleccionar los molinos más apropiados para las diferentes reacciones químicas, los químicos han tenido que reevaluar los parámetros de las reacciones clásicas como la concentración de los eductos o la temperatura, ya que en los sistemas libres de disolventes estos afectan de forma diferente la reacción. El grupo de James Stuart [1] ha descrito a este respecto efectos interesantes, entre otros, que en los molinos mezcladores la temperatura no afecta la velocidad de la reacción, mientras que la frecuencia sí (figura 1).

[1] Ma, X., Yuan, W., Bell, S. E., & James, S. L. (2014). Better understanding of mechanochemical reactions: Raman monitoring reveals surprisingly simple 'pseudo-fluid' model for a ball milling reaction. *Chemical Communications*, 50(13), 1585-1587.

Fig. 1: Velocidad de reacción en el molino mezclador MM 400, representada como eductos que no reaccionaron en función del tiempo y a diferentes frecuencias entre 10 y 25 Hz (diferente suministro de energía).

A mayor frecuencia, mayor velocidad de reacción y mayor rendimiento.






Autor: Dr. Sven Grätz, investigador postdoctoral asociado en la Facultad de Química y Bioquímica de la Universidad del Ruhr en Bochum, profesor de química inorgánica I, grupo de trabajo del Prof. Borchardt.






# UN MOLINO PERFECTO PARA CADA APLICACIÓN

RETSCH cuenta con la mayor selección de molinos de bolas a nivel mundial, lo que permite ofrecerle a los usuarios una enorme flexibilidad. Esta selección incluye molinos mezcladores, molinos planetarios de bolas, molinos de bolas de alto rendimiento, molinos XRD y molinos de tambor. Los molinos mezcladores han sido concebidos para moliendas en seco, en húmedo y criogénicas, así como para la homogeneización de pequeños volúmenes de muestra. Los molinos planetarios de bolas cumplen con todos los requisitos para la molienda rápida y reproducible a escala nanométrica y la

aleación mecánica. El molino de bolas de alta energía Emax produce en tiempo cortísimo granulometrías finales a escala nanométrica, siendo además ideal para moliendas coloidales y aplicaciones mecanoquímicas. El molino XRD conserva la estructura cristalina de muestras que serán analizadas por difracción de rayos X. El molino de tambor TM 300 puede usarse como molino de bolas o de barras para la molienda fina de sólidos por efectos de choque y fricción. Da igual para qué aplicación, **RETSCH cuenta con el molino apropiado para sus necesidades.**

LA MAYOR SELECCIÓN DE MOLINOS DE BOLAS DEL MUNDO	Molino mezclador MM 200	Molino mezclador MM 400	Molino mezclador MM 500
			
Carga máx. inicial	2 x 10 ml	2 x 20 ml	2 x 45 ml
Materiales disponibles para las herramientas de molienda	6	6	4
Molienda en seco	✓	✓	✓
Molienda en húmedo	-	●	✓
Molienda criogénica	-	✓	✓
Molienda nanométrica	-	-	✓
Bead Beating	✓	✓	-
Procesos mecanoquímicos	-	✓	✓
Refrigeración continua (a 5 °C, por agua)	-	-	-
Refrigeración continua (a -196 °C, con N <sub>2</sub> líquido)	-	-	-
Molienda de alto impacto (con 1 bola grande)	✓	✓	✓
Tiempo requerido para nanomolienda	-	-	corto
Molienda a largo plazo (continua)	-	-	✓ ✓
Molienda cuidadosa con aporte bajo de energía	-	-	-
Conservación de la estructura cristalina	●	●	●
Recipientes resistentes a la presión < 5 bar	-	●	✓
Recipientes con cierre de seguridad integrado	-	-	✓
Posibilidad de abrir los recipientes mientras están fijados al molino	-	-	✓
Leyenda: ✓ apropiado   - no apropiado   ● poco apropiado		ver página 14	ver página 6

- ✓ **MOLIENDA EN SECO**
- ✓ **MOLIENDA EN HÚMEDO**
- ✓ **MOLIENDA CRIOGÉNICA**
- ✓ **MOLIENDA NANOMÉTRICA**
- ✓ **BEAD BEATING**
- ✓ **MECANOQUÍMICA**
- ✓ **MEZCLA**

CryoMill	Molinos planetarios de bolas PM 100/200/400	Molino de bolas de alta energía Emax	Molino XRD McCrone	Molino de tambor TM 300
				
1 x 20 ml	1 x 220 ml / 2 x 50 ml / 4 x 220 ml	2 x 45 ml	1 x 4 ml	1 x 20 l
4	7	3	3	2
✓	✓	✓	✓	✓
✓	✓	✓	✓	✓
✓	●	-	-	-
-	✓	✓	-	-
-	-	-	-	-
-	✓	✓	-	-
-	-	✓	-	-
✓	-	-	-	-
✓	-	-	-	-
-	moderado	muy corto	-	-
-	✓	✓	✓	✓
-	-	✓	✓	✓
-	✓	-	✓	✓
●	-	-	✓	-
●	●	✓	-	-
-	-	✓	-	-
-	-	-	-	-
ver página 10	ver página 18	ver página 20	ver página 22	ver página 23

# TECNOLOGÍA DE MOLINOS DE BOLAS REDEFINIDA

# MOLINO MEZCLADOR MM 500

NUEVO

- ✓ **MOLIENDA EN SECO**
- ✓ **MOLIENDA EN HÚMEDO**
- ✓ **MOLIENDA CRIOGÉNICA**
- ✓ **MOLIENDA NANOMÉTRICA**
- ✓ **MECANOQUÍMICA**
- ✓ **MEZCLA**

## EL RENDIMIENTO DE UN MOLINO PLANETARIO DE BOLAS CON EL CONFORT DE UN MOLINO MEZCLADOR

Con el nuevo molino mezclador MM 500, RETSCH ha creado la combinación perfecta entre un molino mezclador clásico y un molino planetario de bolas. Gracias a su frecuencia de vibración de 35 Hz, el MM 500 es el primer molino mezclador del mercado cuyo aporte de energía al proceso de molienda es suficiente para alcanzar granulometrías a escala nanométrica sin pausas de enfriamiento.

Para las moliendas de larga duración en las que se requiere un alto aporte de energía para alcanzar granulometrías  $<1 \mu\text{m}$  – necesarias p. ej. para la aleación mecánica o determinadas reacciones químicas

– los molinos planetarios de bolas habían sido hasta ahora la primera opción. A pesar de la cantidad de ventajas que ofrecen para este tipo de aplicación, su desventaja principal es que deben hacerse pausas de enfriamiento durante el proceso. Además, su manejo no es tan fácil como el de los molinos mezcladores. El MM 500 de RETSCH ha cerrado ahora este nicho del mercado. Con recipientes de hasta 125 ml y la posibilidad de realizar moliendas de hasta 99 horas de duración, este molino es una verdadera alternativa a los molinos planetarios de bolas por su baja generación de calor y su manejo más confortable.

## IMPACTO O FRICCIÓN – DEPENDIENDO DE LAS BOLAS

En el MM 500 el usuario puede determinar el mecanismo de esfuerzo aplicado al proceso en base al número y el tamaño de las bolas. Al emplear una bola grande y pesada, el efecto de choque se verá intensificado: en este **modo de alto impacto** la bola golpea con su gran masa las paredes cóncavas del recipiente de molienda. Este mecanismo es ideal para pulverizar rápidamente muestras que no tienen que alcanzar granulometrías mínimas. Este es también el mecanismo a elegir cuando se tienen muestras de gran granulometría inicial, ya que en estos casos la bola debe ser tres veces mayor que la partícula más grande de la muestra. Y – no en última instancia – el empleo de solo una bola se traduce en un manejo muy fácil. Solo es posible trabajar con el modo de alto

impacto en molinos mezcladores, y en el MM 500 el efecto de este se ve intensificado por la alta frecuencia de vibración del molino (35 Hz / 2100 rpm).

Si se desea aplicar otro mecanismo de esfuerzo, pueden colocarse varias bolas de diámetro pequeño en el recipiente de molienda y se producirá un efecto de fricción intenso entre las bolas, las paredes del recipiente y la muestra. Este **modo de alta fricción** produce granulometrías muy finas, es típico de los molinos planetarios de bolas, y es muy efectivo para pulverizar muestras fibrosas. En el molino mezclador el mecanismo de fricción desprende mucho menos calor que en los molinos planetarios de bolas debido al movimiento horizontal de los recipientes de molienda.

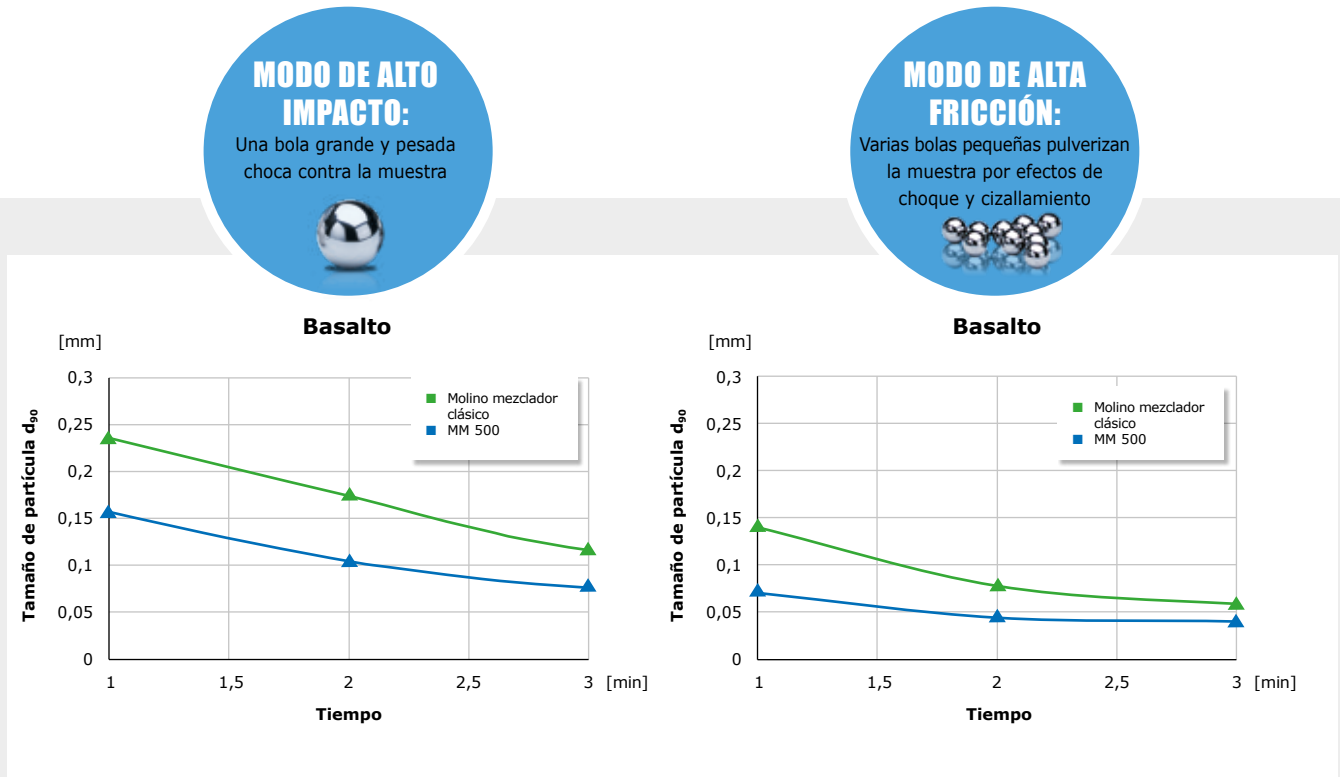


Fig. 1: Molienda de basalto en un molino mezclador clásico y en el MM 500 aplicando diferentes mecanismos de trituración.

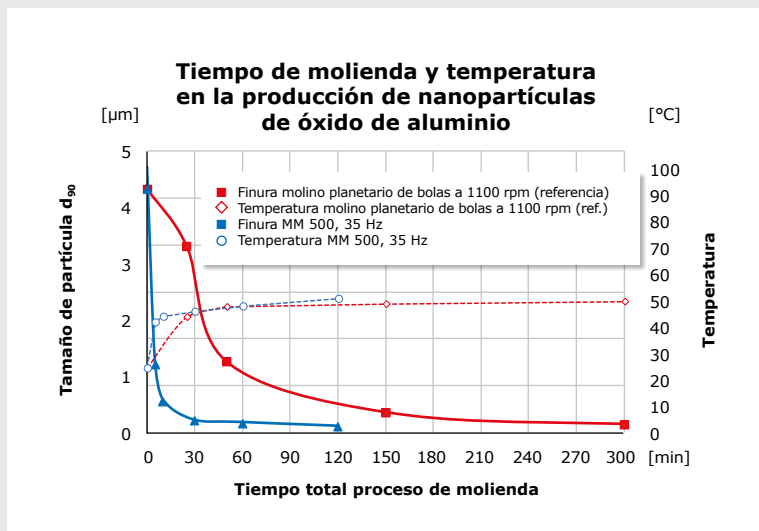
Izquierda: Modo de alto impacto con una sola bola grande y pesada. El MM 500 con su frecuencia de 35 Hz aportó mayor energía al proceso, permitiendo obtener granulometrías 1,5 veces más finas que las del molino mezclador con sus 30 Hz. El modo de alto impacto proporcionó resultados similares con un recipiente de 80 ml; mas no con uno de 125 ml. En este último la bola tenía demasiado espacio para moverse y no chocó contra la muestra con la frecuencia suficiente.

Derecha: El modo de alta fricción con varias bolas permitió obtener granulometrías más finas – y con recipientes en 3 volúmenes diferentes! Aquí también la frecuencia de 35 Hz resultó ser más efectiva que la de 30 Hz.

## MOLIENDA NANOMÉTRICA SIN PAUSAS DE ENFRIAMIENTO

Gracias a su gran velocidad para la molienda en seco, en húmedo y criogénica de materiales duros y frágiles o elásticos, el MM 500 satisface todas las exigencias que se le puedan hacer a un molino mezclador clásico. El MM 500 ofrece claras ventajas frente a otros modelos, ya que puede emplearse para tareas de trituración que hasta ahora los molinos mezcladores clásicos no habían podido realizar. Entre estas pueden mencionarse la molienda coloidal de muestras a granulometrías <100 nm, así como la aleación mecánica y procesos mecanoquímicos.

En moliendas de larga duración – necesarias para alcanzar granulometrías finales a escala nanométrica – el MM 500 se caracteriza por su claro ahorro de tiempo, ya que no es necesario interrumpir el proceso con pausas de enfriamiento. Esto constituye una ventaja significativa frente a los molinos de bolas de alta energía, en los que el calor generado durante el proceso hace que deban detenerse regularmente para su enfriamiento.



La figura 2 muestra las curvas del tamaño de partícula y temperatura durante una molienda en húmedo. El MM 500 estuvo trabajando sin pausa, por lo que el tiempo total del proceso es igual al tiempo neto de molienda. El MM 500 alcanzó una granulometría de 0,14 µm en un tiempo total de 2 horas (tiempo neto sin interrupciones), mientras que el molino planetario de referencia necesitó 5 horas en total (1 hora de tiempo neto de molienda más las pausas de enfriamiento) para alcanzar una granulometría de 0,18 µm.



Fig. 3: Los innovadores recipientes Screw-Lock son muy fáciles de usar y pueden fijarse al molino en cuestión de segundos. Estos pueden mantenerse fijados al molino y abrirse para tomar una fracción de la muestra o ver el avance del proceso de molienda.

## CONFORT OPERACIONAL 2.0

El MM 500 ofrece máximo confort operacional. Este cuenta con una gran pantalla táctil de 4,3 pulgadas a través de la cual el usuario puede programar y guardar hasta 12 rutinas (SOPs). Los procesos de molienda de más de 8 horas pueden ejecutarse mediante ciclos de programa: p. ej. el usuario puede combinar dos juegos de parámetros y repetirlos hasta 99 veces, aumentando el tiempo total de la molienda a 99 horas. En el MM 500 pueden guardarse hasta 4 ciclos de programa de esta forma.

Asimismo, con la nueva app opcional de RETSCH el usuario puede controlar el molino, crear rutinas de aplicación, acceder a la base de datos de RETSCH con protocolos de aplicaciones o contactar directamente al servicio técnico de RETSCH desde un teléfono inteligente o una tablet.

## EJEMPLO: MOLIENDA CRIOGÉNICA DE GOMA



GRANULOMETRÍA INICIAL 8 MM



GRANULOMETRÍA FINAL 0,7 MM

En la molienda criogénica la muestra es frágilizada con nitrógeno líquido para mejorar sus propiedades de fractura. A una frecuencia de 30 Hz, el MM 500 alcanza granulometrías finales mucho más finas que un molino mezclador clásico. Otra ventaja del MM 500 son sus recipientes de molienda más grandes.

Ejemplo: Molienda criogénica de granulado de goma en el MM 500 (granulometría inicial de 8 mm). Después de 8 minutos a 30 Hz y con pausas de enfriamiento cada 2 minutos, el MM 500 alcanzó una granulometría de 0,7 mm, es decir 40% más fina que del molino mezclador clásico.



## NUEVOS RECIPIENTES SCREW-LOCK PERMITEN APROVECHAR TODO EL VOLUMEN

Gracias al diseño con llave roscada (Screw-Lock) de los recipientes del MM 500, el usuario puede aprovechar el volumen completo del recipiente (fig.

4). No como en los recipientes de los molinos mezcladores clásicos (fig. 5), donde es muy difícil llenar el 60% del espacio con bolas + muestra + líquido

para la realización de moliendas en húmedo. Los recipientes del MM 500 son también mucho más fáciles de llenar con muestras fibrosas.



4 Recipiente Screw-Lock del MM 500



5 Recipiente estándar del MM 400

4 **TAPA PLANA, 0% VOLUMEN; 100% VOLUMEN EN RECIPIENTE**  
 → Llenado con "suficiente" muestra ✓  
 → 60% bolas para molienda en húmedo + muestra + líquido ✓

5 **33% VOLUMEN EN LA TAPA; 67% VOLUMEN EN EL RECIPIENTE;**  
 → La muestra fibrosa rebosa  
 → 60% bolas para molienda en húmedo + muestra + líquido **x no es posible**



Fig. 6: Los recipientes Screw-Lock se ofrecen en cuatro materiales diferentes.

### RECIPIENTES SCREW-LOCK

Volumen [ml]	Acero inoxidable	Acero templado	Óxido de circonio	Carburo de tungsteno
50	✓	✓	✓	✓
80	✓	✓	✓	✓
125	✓	✓	✓	

### A PRIMERA VISTA



El nuevo MM 500 es la combinación perfecta de un molino mezclador clásico con un molino planetario de bolas. Este molino proporciona resultados excelentes en pocos minutos, sin dejar de ser lo suficientemente potente y robusto para realizar moliendas de larga duración a escala nanométrica o aleaciones mecánicas. Otra ventaja importante es su manejo fácil y seguro.

MOLIENDA BAJO CERO

# CRYOMILL

- ✓ MOLIENDA CRIOGÉNICA
- ✓ MOLIENDA EN SECO
- ✓ MOLIENDA EN HÚMEDO
- ✓ BEAD BEATING
- ✓ MEZCLA

No todos los materiales se dejan triturar a temperatura ambiente. Cuando se tienen materiales dúctiles y elásticos o con componentes volátiles, la única técnica que permite alcanzar las granulometrías requ-

ridas para su posterior análisis es la molienda criogénica. Al enfriar la muestra con nitrógeno líquido a  $-196^{\circ}\text{C}$  esta se fragiliza partiéndose más fácilmente. Además, la refrigeración antes y durante el proceso de

molienda conserva las sustancias volátiles y se evita la reducción térmica de la muestra. Con el CryoMill de RETSCH este tipo de muestras puede pulverizarse de forma segura y eficiente.

## SISTEMA AUTOFILL QUE GARANTIZA LA SEGURIDAD DEL USUARIO

El CryoMill es un molino completamente seguro, ya que en ningún momento el usuario entra en contacto con el nitrógeno líquido. El sistema de llenado automático de nitrógeno líquido "Autofill" cuenta con un sensor de temperatura que permite dosificar siempre la cantidad exacta para mantener la temperatura constantemente a -196 °C. Este sistema de refrigeración automático garantiza que el proceso de

molienda solo comience cuando la muestra está completamente congelada – de esa manera se reduce el consumo de N<sub>2</sub> líquido y se garantizan resultados reproducibles. Con una frecuencia de vibración máxima de 30 Hz, el CryoMill pulveriza de forma muy efectiva y en cuestión de pocos minutos una gran variedad de materiales.

En este molino pueden programarse libremente el tiempo de enfriamiento previo, así como el tiempo de molienda y las pausas, lo que permite una adaptación óptima del proceso a las propiedades de la muestra. Durante la fase de enfriamiento previo y los intervalos, el recipiente se mueve con una frecuencia de 5 Hz para que la bola se mantenga en movimiento y no se congele con la muestra húmeda.

### EJEMPLOS DE APLICACIÓN CRYOMILL

Muestra	Tamaño recipiente	Tamaño bola(s)	Material	Cantidad de muestra	Tiempo de molienda	Granulom. final
<b>Goma</b>	50 ml	1x25 mm	acero inoxidable	6 g	2 min	< 400 µm
<b>Textiles</b>	50 ml	1x25 mm	acero inoxidable	2 g	4 min	< 500 µm
<b>Cabellos</b>	25 ml	6x10 mm	acero inoxidable	1 g	4 min	< 200 µm
<b>PET granulado</b>	50 ml	1x25 mm	acero inoxidable	3 g	4 min	< 300 µm

### EJEMPLO: MOLIENDA CRIOGÉNICA DE PVC

El ftalato de dietilo (DEHP) es un plastificante muy empleado en la producción de policloruro de vinilo (PVC). El PVC se emplea p. ej. en recubrimientos de cables eléctricos o en pisos de vinilo. En juguetes infantiles, por el contrario, está prohibido el uso de PVC por estar clasificado como cancerígeno. Por lo tanto, muchos productos que pudieran contener DEHP u otros plastificantes problemáticos deben ser analizados dentro del marco de controles de calidad. Antes del análisis hay que preparar la muestra, proceso que se realizará en una o dos etapas, dependiendo de su tamaño. Si la muestra es muy grande, puede ser necesario cortarla antes.

Los trozos de PVC de gran tamaño pueden reducirse previamente en el molino de corte SM 300 con un rotor de 6 discos o un rotor de corte paralelo y un tamiz de fondo de 6 mm. El granulado obtenido puede entonces pulverizarse en el CryoMill. La combinación más apropiada para triturar 6 g de material consiste en un recipiente de acero de 50 ml y una bola de acero de 25 mm. Después del enfriamiento previo, la muestra es reducida en 9 x 3 min a una granulometría final de  $d_{90} = 200 \mu\text{m}$ .



1 MUESTRA DE PVC



2 TRITURACIÓN PREVIA EN EL MOLINO DE CORTE SM 300



3 PULVERIZACIÓN A 200 µm EN EL CRYOMILL

# DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD Y DEL TAMAÑO CORRECTO DE LAS BOLAS PARA UNA MOLIENDA ÓPTIMA

Antes de moler una muestra en un molino de bolas, es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones para garantizar una molienda perfecta. En primer lugar debe determinarse cuál es la granulometría de la muestra alimentada (granulometría máxima) y cuál es la granulometría final que debe alcanzarse. En base a esto se decidirá sobre el mecanismo de molienda y si el proceso habrá de realizarse en una o varias etapas.

## MOLIENDA EN SECO

Este método se basa en esfuerzos de impacto y fricción y se emplea para obtener **granulometrías medias desde unos pocos milímetros hasta un rango micrométrico de dos dígitos**. Para poder ejercer el mecanismo de esfuerzo por impacto, las bolas necesitan suficiente espacio para moverse dentro del recipiente. Por lo tanto, el volumen deberá repartirse de la siguiente manera: **1/3 bolas, 1/3 muestra, 1/3 espacio libre**. El espacio libre se necesita tanto para el movimiento de las bolas como para una posible expansión de la muestra.

Caso especial: Molienda en seco de materiales fibrosos

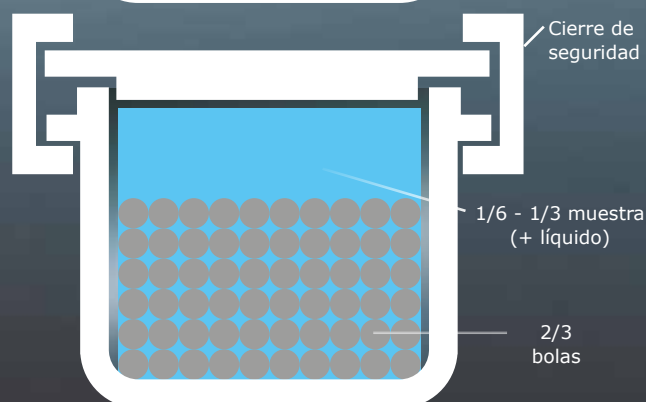
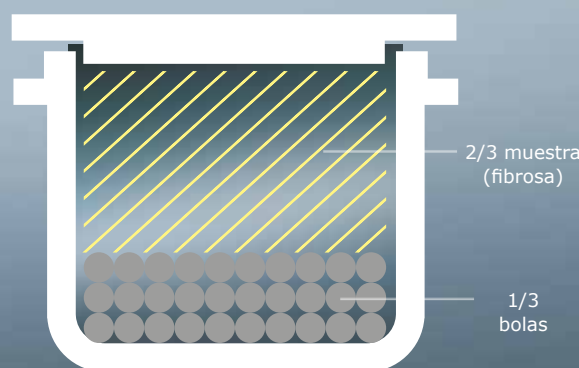
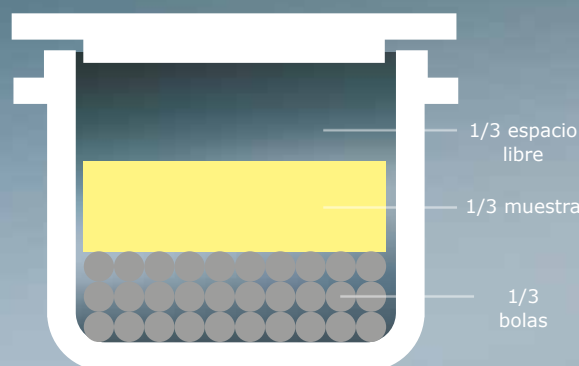
Las muestras fibrosas tienden a reducir su volumen durante el proceso de molienda. Por ello se recomienda llenar 1/3 del recipiente con bolas y el resto hasta el tope con muestra. Durante la molienda puede ser necesario agregar más material para que 1/3 del volumen del recipiente se mantenga siempre lleno con la muestra.

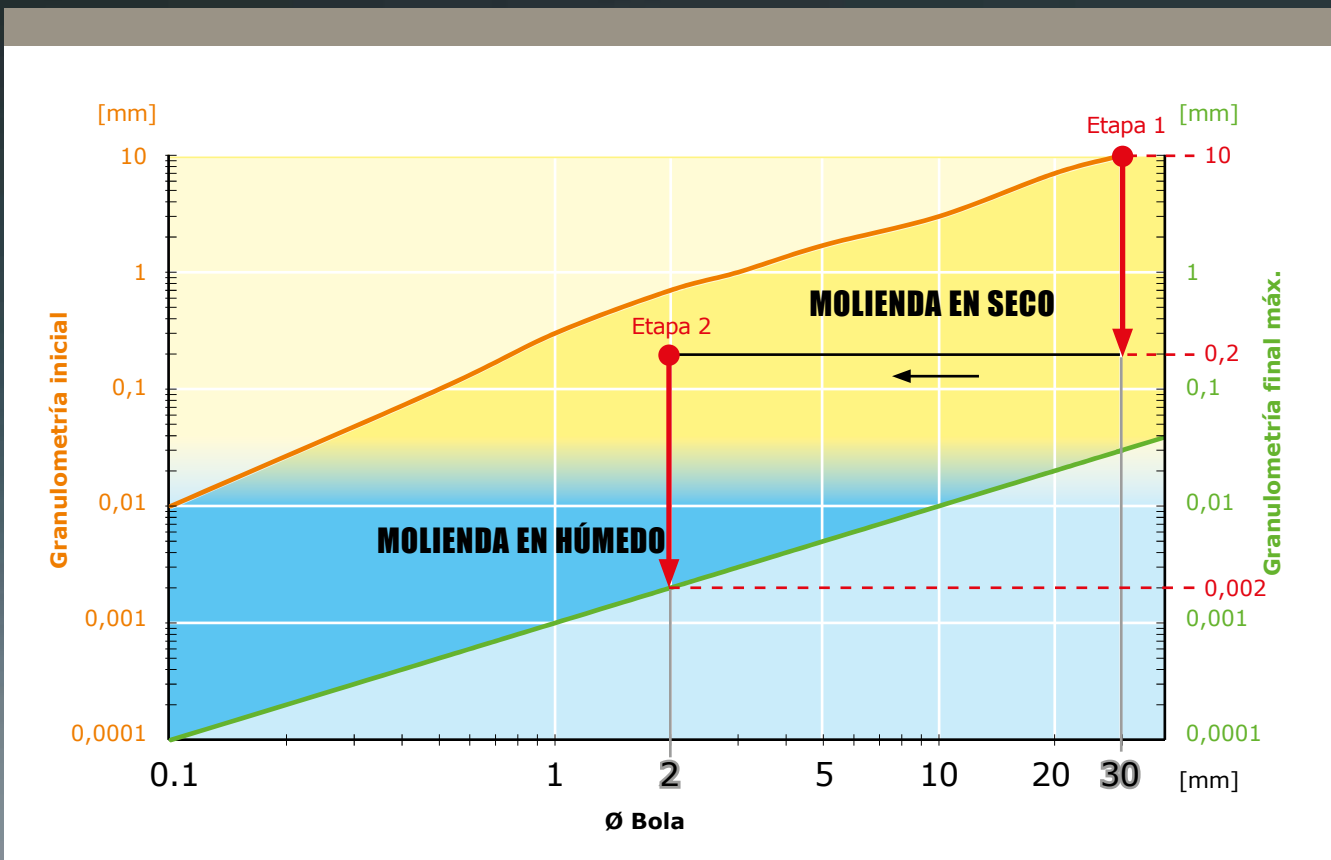
## MOLIENDA EN HÚMEDO

La molienda en húmedo es una molienda de alta energía, basada sobre todo en efectos de fricción, que se emplea para la obtención de granulometrías mínimas. Como aquí las bolas no deben salir despedidas dentro del recipiente por el movimiento y el rendimiento de la molienda aumenta mientras mayor es la superficie molidora, el volumen ocupado por las bolas dentro del recipiente debe aumentarse a un 60%. Para este tipo de molienda – que desprende una enorme cantidad de energía y dura por lo general varias horas – lo mejor es usar herramientas en materiales cerámicos como el  $ZrO_2$  oder  $Si_3N_4$ , por ser los más resistentes al desgaste.

Dependiendo de las propiedades de expansión de la muestra, el volumen ocupado por esta dentro del recipiente variará entre 1/3 y un 1/6. Finalmente se agregará tanto líquido como sea necesario hasta que la mezcla tenga una viscosidad como de aceite de motor. De ser necesario, se deberá agregar líquido a la muestra durante la molienda.

La elección del líquido dispersante se hace en función de las propiedades físicas de la muestra. Los materiales con propiedades más bien polares, como los minerales, se muelen en agua, etanol o isopropanol. Los materiales no polares (compuestos orgánicos) se muelen mejor en disolventes no polares como el éter de petróleo o el heptano.





### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO CORRECTO DE LAS BOLAS

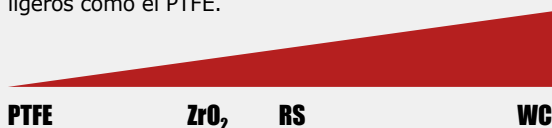
En el ensayo del ejemplo la tarea es triturar una muestra con una granulometría inicial de 10 mm. Siguiendo la regla de que **el tamaño de la bola debe ser 3 veces mayor que la partícula más grande**, ha de emplearse una bola de 30 mm. Con bolas de este tamaño puede obtenerse una granulometría final de unos 30 µm. Dependiendo de las propiedades del material, la molienda puede hacerse por vía seca o húmeda. Para alcanzar granulometrías inferiores a los 30 µm (en el ejemplo 2 µm), el proceso debe realizarse en dos etapas. Primero se muele la muestra por vía seca con una bola de Ø 30 mm hasta que alcanza una granulometría de 200 µm. Después se muele por vía húmeda con bolas de 2 mm hasta alcanzar los 2 µm.

En [www.retsch.com/ball-charge](http://www.retsch.com/ball-charge) encontrará una guía del número de bolas recomendado para cada uno de los molinos de bolas RETSCH.

## MÁS CONSEJOS & TRUCOS

#### CORRELACIÓN ENTRE DENSIDAD Y APORTE DE ENERGÍA

La cantidad de energía que la bola aporta al proceso de molienda varía en función de su densidad. Los materiales muy densos como el carburo de tungsteno (WC) liberan mucha más energía que los materiales ligeros como el PTFE.



#### ELECCIÓN APROPIADA DE RECIPIENTES Y BOLAS

Para reducir a un mínimo la abrasión y el desgaste, seleccione siempre recipientes y bolas del mismo material. Nunca mezcle bolas de tamaños diferentes.



# EL MULTITALENTO PARA PEQUEÑAS CANTIDADES

# MOLINO MEZCLADOR

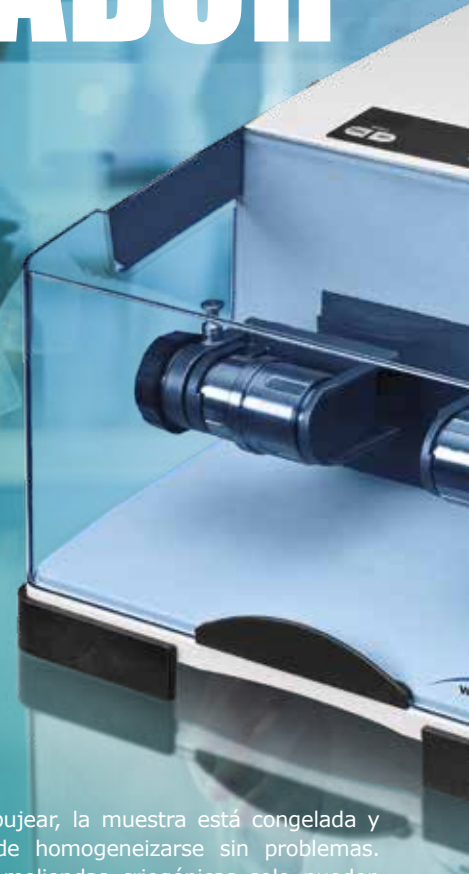
# MM 400

- ✓ **MOLIENDA EN SECO**
- ✓ **MOLIENDA EN HÚMEDO**
- ✓ **MOLIENDA CRIOGÉNICA**
- ✓ **BEAD BEATING**
- ✓ **MEZCLA**

El molino mezclador MM 400 y el modelo básico MM 200 son multitalentos probados cuando se trata de triturar, mezclar y homogeneizar cantidades pequeñas de hasta 2 x 20 ml de muestra. La selección de materiales que estos molinos pueden procesar es enorme e incluye menas, huesos, tejidos, cabellos, plantas, madera, suelos, plásticos, minerales, fármacos y sustancias químicas, solo por mencionar algunos. El MM 400 pulveriza materiales duros y frágiles como piedras

en cuestión de pocos minutos alcanzando granulometrías de hasta 100 µm y menos. Para pulverizaciones rápidas se emplea por lo general una bola grande (modo de alto impacto). Los materiales tenaces como el plástico tienen que enfriarse antes con nitrógeno líquido para mejorar sus propiedades de fractura. Para ello se colocan las bolas y la muestra en el recipiente herméticamente cerrado, y este se sumerge en un baño de nitrógeno líquido. Cuando el nitrógeno deja de

burbujear, la muestra está congelada y puede homogeneizarse sin problemas. Las moliendas criogénicas solo pueden realizarse con herramientas de acero. El MM 400 es además un molino ideal para preparar muestras fibrosas como cabello o plantas. Para esta aplicación deben emplearse varias bolas pequeñas con el fin de generar suficiente fricción. El MM 200, el MM 400 y el MM 500 tienen el mismo principio de funcionamiento.



## EJEMPLOS DE APLICACIÓN MM 400

Muestra	Tamaño recipiente	Tamaño bola(s)	Material	Cantidad muestra	Tiempo molienda	Granulom. final
Suelos	35 ml	10 x 10 mm	óxido de circonio	10 g	7 min	< 20 µm
Madera	50 ml	4 x 15 mm	acero inoxidable	4 g	4 min	< 200 µm
Cápsulas c. relleno líquido	50 ml	1 x 25 mm	acero inoxidable; CryoKit	5 unid.	1 min	< 300 µm
Óxido de cromo	25 ml	1 x 15 mm	carburo de tungsteno	15 g	4 min	< 80 µm
Cemento	35 ml	1 x 20 mm	óxido de circonio	15 g	30 s	< 500 µm
Vidrio	25 ml	4 x 12 mm	carburo de tungsteno	10 g	4 min	< 50 µm
Extrudado epoxi	50 ml	1 x 25 mm	acero inoxidable; CryoKit	5 g	12 min	< 200 µm
Diente	25 ml	1 x 15 mm	óxido de circonio	1 unid.	3 min	< 100 µm
Cabellos	25 ml	6 x 10 mm	acero inoxidable	1 g	3 min	< 100 µm



**CÁPSULAS CON RELLENO  
LÍQUIDO (MOLIENDA  
CRIOGÉNICA)**



**GRANULOMETRÍA FINAL  
< 300 µm**



**CABELLOS**



**GRANULOMETRÍA FINAL  
< 100 µm**

## GRAN VERSATILIDAD GRACIAS A UNA AMPLIA GAMA DE ACCESORIOS

La gran variedad de tamaños y materiales en que se ofrecen los recipientes y bolas de los molinos mezcladores los convierte en aparatos muy versátiles. En acero inoxidable se ofrecen recipientes con volúmenes desde 1,5 hasta 25 ml para el MM 200, y de hasta 50 ml para el MM 400, permitiendo una adaptación flexible a la cantidad de muestra (ver páginas 12 - 13). El carburo de tungsteno, el óxido de circonio y el ágata se emplean en aquellos casos en que se requiere preparar muestras neutras para el análisis. Para garantizar que la molienda sea eficiente, es necesario que las herramientas de molienda sean de un material más duro que el de la muestra (ver tabla).



### MATERIALES DE LAS HERRAMIENTAS DE MOLIENDA DEL MM 400

Material	Densidad	Dureza	Resist. a la abrasión	Aplicación
<b>Acero templado / acero inoxidable</b>	7,6-7,7 g/cm <sup>3</sup>	≤ 245-250 HB	media	Para muestras semiduras, duras y frágiles.
<b>Carburo de tungsteno</b>	14,8 g/cm <sup>3</sup>	93,6 HRA	alta	Para muestras muy duras y frágiles.
<b>Ágata</b>	2,65 g/cm <sup>3</sup>	6,5-7 Mohs	baja	Para muestras blandas a semiduras y pastosas. El ágata es un producto natural de alta pureza que tiene una densidad baja, siendo muy apropiada para moliendas cuidadosas con poca liberación de energía.
<b>Óxido de circonio</b>	6,05 g/cm <sup>3</sup>	1250 HV	alta	Para muestras semiduras, duras y fibrosas. Este material se usa para la molienda libre de metales pesados, molienda ultrafina y cuando la muestra no debe decolorarse.



## SOLUCIONES PARA APLICACIONES BIOLÓGICAS

### RECIPIENTES, FRASCOS Y TUBOS PARA EL MM 400

	<b>Ruptura celular de ADN/ARN/proteínas/metabolitos</b>	<b>Molienda criogénica de muestras blandas</b> (tejidos, plantas, pellets celulares, insectos)	<b>Molienda en seco o húmedo de muestras blandas</b> (tejidos, insectos)	<b>Molienda en seco de muestras duras</b> (arena de cuarzo)	<b>Extracción de pesticidas en alimentos/plantas</b> (QuEChERS)	<b>Mezcla de polvo y cera para la producción de pellets para el análisis por FRX</b>
<b>Tubos "safe-lock" de 1,5 o 2 ml</b> máx. 2 x 10						
<b>Tubos "safe-lock" de 5 ml</b> máx. 2 x 5						
<b>Frascos de boca ancha de 30 ml</b> máx. 2 x 4						
<b>Tubos de centrifuga cónicos de 50 ml</b> máx. 2 x 4						

#### ➔ RUPTURA CELULAR DE LEVADURAS, MICROALGAS Y BACTERIAS (BEAD BEATING)

Un método empleado para la obtención de ADN, ARN, proteínas y metabolitos es la ruptura celular mediante la aplicación de fuerzas de cizallamiento generadas por bolas pequeñas de vidrio y cerámica. Las bolitas se mezclan bien con la suspensión celular mediante agitación, por ejemplo en el molino mezclador MM 400. Como para el aislamiento de ADN y ARN se requiere menos de 1 ml de material celular, se emplean tubos de 1,5 y 2 ml. Para la extracción de proteínas y metabolitos se requieren cantidades mayores de suspensión celular, por lo que se usan recipiente de 50 ml desechables. Dependiendo del tipo de células, el llenado del recipiente con bolitas (50 - 80%) o suspensión celular (por lo general 50%) puede variar, al igual que el tiempo requerido (de 30 s a varios minutos).

#### ➔ MOLIENDA CRIOGÉNICA DE TEJIDOS, PELLETS CELULARES, PLANTAS, INSECTOS

La forma más efectiva de moler muestras fibrosas o tenaces como plantas, uñas y tejidos aplicando la criogenia es fragilizando la muestra con nitrógeno líquido antes o durante el proceso de molienda. A diferencia de la técnica de colisión de bolas (bead beating), este método es apropiado para la ruptura de organelos celulares como las células de levadura. Otra ventaja de la molienda criogénica es su baja temperatura, que evita p. ej. la reducción térmica de proteínas. Al sumergir la muestra en nitrógeno líquido se paralizan todas las actividades celulares y se reducen las reacciones secundarias durante el proceso de molienda.

#### ➔ MOLIENDA DE MUESTRAS BLANDAS (TEJIDOS, INSECTOS) O DURAS (ARENA DE CUARZO)

Los tejidos frescos y los insectos pueden homogeneizarse de manera muy efectiva en una solución tampón. Se recomienda emplear bolas con un diámetro entre 5 y 20 mm. Estas generarán suficiente energía para el proceso sin ocupar el espacio de la solución tampón, garantizando una mezcla efectiva. Para los tubos de centrifuga de 50 ml se usan 4 bolas de 20 mm, ya que otros diámetros o cantidades pueden dañar los tubos. Con muestras secas se recomienda emplear bolas con un Ø 5 - 10 mm, sin líquido. Hay muestras cuyo volumen se reduce drásticamente durante la homogeneización, como los insectos. En este caso debe llenarse el recipiente hasta el tope durante el proceso. En los frascos de boca ancha de 30 ml pueden usarse bolas con un Ø máximo de 10 mm. Con esta combinación es posible reducir muestras duras como arena de cuarzo a granulometrías de 100 µm en 2 minutos.

#### ➔ MEZCLA DE MUESTRAS O EXTRACCIÓN DE PESTICIDAS EN ALIMENTOS Y PIENSOS

Los tubos de centrifuga de 50 ml son ideales para mezclar polvos y suspensiones. Para la producción de pellets estables para el análisis por fluorescencia de rayos X se mezcla una muestra en polvo con cera (p. ej. 8 g/muestra + 2 g/cera), se llenan los tubos y se agitan por 1 min a 30 Hz en el MM 400. La homogeneización de la muestra para la extracción de pesticidas con el método QuEChERS puede igualmente realizarse en el MM 400. Primero se hace una mezcla salina en los tubos y luego se realiza la extracción (10 ml acetonitrilo + mezcla salina + 10 g de muestra se agitan por 1-3 min a 30 Hz).

# LOS CLÁSICOS PARA LA MOLIENDA FINA

# MOLINOS PLANETARIOS DE BOLAS

Los molinos planetarios de bolas satisfacen todos los requisitos para una reducción rápida y reproducible de muestras a granulometrías analíticas. Estos se emplean para tareas exigentes en el laboratorio que van desde la preparación de muestras hasta la molienda coloidal o el desarrollo de materiales nuevos. Pueden pulverizar y mezclar materiales blandos, semiduros, duros y extremadamente duros, frágiles o fibrosos, alcanzando sin problemas granulometrías finales de unos pocos micrómetros. En la molienda por vía húmeda pueden incluso alcanzar gra-

nulometrías nanométricas. Su aporte de energía no solo permite usarlos para aplicaciones clásicas, sino también para aplicaciones más exigentes como la aleación mecánica. Una gran ventaja que ofrecen es la posibilidad de procesar hasta 4 x 220 ml en una sola operación. Los diferentes modelos permiten una adaptación óptima a cada tarea de trituración — desde la molienda cuidadosa de muestras termosensibles hasta aplicaciones mecanoquímicas en las que se requiere un gran aporte de energía.

- ✓ **MOLIENDA EN SECO**
- ✓ **MOLIENDA EN HÚMEDO**
- ✓ **MOLIENDA NANOMÉTRICA**
- ✓ **MECANOQUÍMICA**
- ✓ **MEZCLA**



Fig. 1: El PM 100 y PM 200 son modelos de sobremesa con uno y dos puestos de molienda, respectivamente. El PM 400 es un modelo de piso con dos o cuatro puestos de molienda en el que se pueden procesar hasta 8 muestras simultáneamente apilando los recipientes.

## 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. Con cada giro de la rueda principal, los recipientes rotan 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). La gran energía liberada es necesaria para la producción de granulometrías ultrafinas.

### Ejemplo: Molienda nanométrica de titanato de bario

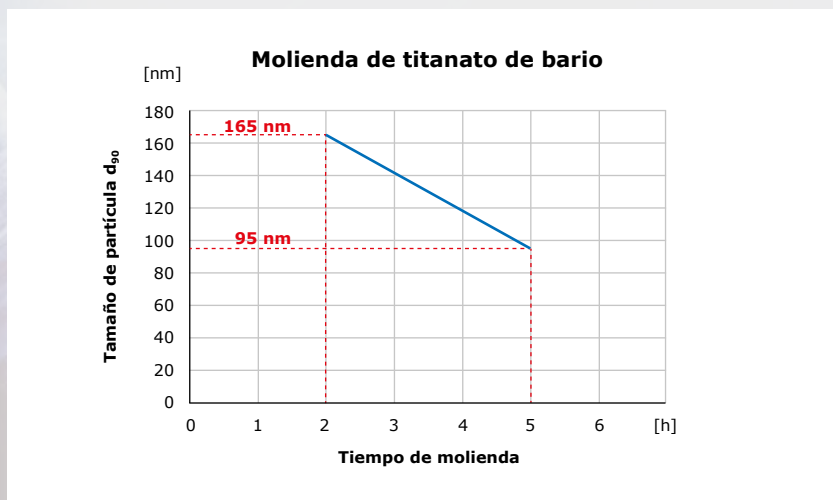


Fig. 2: Resultados de la molienda de 11 g de titanato de bario a 500 rpm en el PM 100. Después de 2 horas de molienda en 260 ml de heptano con bolas de 0,5 mm, el valor d<sub>90</sub> de la distribución granulométrica es de 165 nm. Al alargar el tiempo de molienda a 5 horas, el parámetro d<sub>90</sub> baja a 95 nm.

### Aleación mecánica

Una aplicación típica con tiempos de molienda largos es la aleación mecánica. Aquí se emplean bolas de gran tamaño que aportan grandes cantidades de energía al proceso. El molino PM 400 MA ha sido especialmente diseñado para la aleación mecánica y puede procesar grandes volúmenes de muestra. Ejemplo: 4 x 270 g de níquel en polvo se mezclan con 30 g de polvo cerámico por 90 min a 400 rpm. Para ello se emplean recipientes de 500 ml de acero inoxidable, cada uno con 400 bolas de Ø 10 mm del mismo material (relación muestra/bolas 1:5).



## AMPLIA GAMA DE ACCESORIOS

La línea de recipientes "comfort" ha sido especialmente diseñada para condiciones de operación extremas como ensayos de larga duración, moliendas por vía húmeda, esfuerzos mecánicos grandes a velocidades máximas y aleaciones mecánicas.

La gran selección de materiales y tamaños (12 - 50 ml) le permite al usuario realizar preparaciones neutras para el análisis, independientemente del tipo de aplicación. Todos los recipientes "comfort" llevan una junta tórica que impide el escape de polvos y gases. 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 en el exterior de la cámara de guantes 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. Con el sistema opcional GrindControl puede monitorearse la presión y la temperatura dentro del recipiente de molienda.

### EJEMPLOS DE APLICACIÓN MOLINOS PLANETARIOS DE BOLAS

Muestra	Modelo	Tamaño recipiente	Tamaño bola(s)	Material	Cantidad por recipiente	Tiempo molienda	Granulom. final
Lodos de clarificación	PM 100	125 ml	7x20 mm	acero inoxidable	25 g	10 min	< 400 µm
Heno	PM 100	500 ml	25x20 mm	ágata	50 g	60 min	< 100 µm
Lapislázuli	PM 200	50 ml	20x10 mm	óxido de circonio	20 g	2 min	< 90 µm
Carburo de silicio	PM 400	500 ml	60x15 mm	óxido de circonio	400 g	20 min	< 70 µm
Carbón activado	PM 100 CM	250 ml	15x20 mm	acero inoxidable	40 g	15 min	< 45 µm

# MÁS RAPIDO – MÁS FINO – MÁS FRÍO

# MOLINO DE BOLAS DE ALTA ENERGÍA EMAX

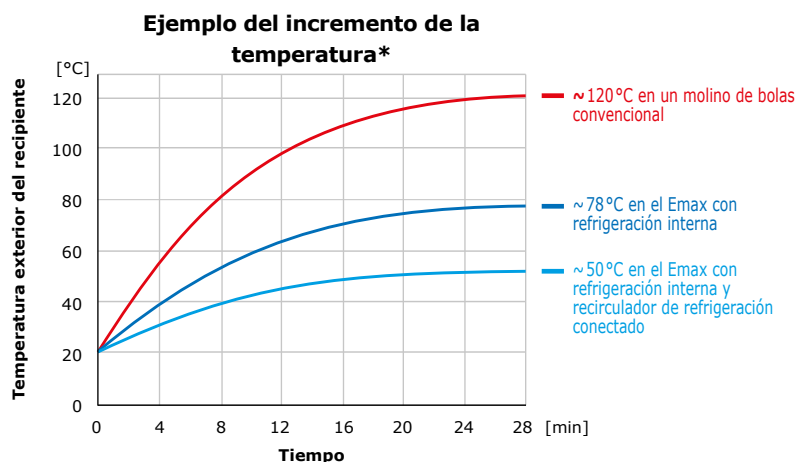


- ✓ **MOLIENDA EN SECO**
- ✓ **MOLIENDA EN HÚMEDO**
- ✓ **MOLIENDA NANOMÉTRICA**
- ✓ **MECANOQUÍMICA**
- ✓ **MEZCLA**

Dentro de la selección de molinos de bolas de RETSCH, el molino de alto rendimiento Emax convence al ser la solución perfecta para la producción de nanopartículas en una fracción del tiempo que necesitan los molinos de bolas convencionales. El Emax es en muchos aspectos un molino extraordinario: su velocidad máxima de 2000 rpm, el diseño especial de los recipientes de molienda y el innovador sistema de refrigeración por agua lo convierten en un instrumento de trituración ultraeficiente y poderoso, ideal para aplicaciones en el área de investigación.

## SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ALTA EFICIENCIA

El mayor reto en el desarrollo de un molino de bolas de alta energía es el control de la temperatura, ya que las altas energías generadas durante el proceso de trituración derivan en una formación extrema de calor. Este problema se resolvió en el Emax con un innovador sistema interno de refrigeración por agua que enfría los recipientes de molienda a través de la base de soporte. Un sistema tal es mucho más efectivo que, por ejemplo, un ventilador, al ser el agua mejor conductora que el aire. Por lo tanto, el Emax no requiere las pausas de enfriamiento imprescindibles en los molinos de bolas convencionales cuando se realizan moliendas de larga duración, incluso a bajas velocidades. Simultáneamente al sistema interno de refrigeración, el molino puede conectarse a un recirculador de refrigeración (chiller) o al grifo de agua para reducir aún más la temperatura.



\*Estos valores pueden variar en función del material de la muestra, configuración del aparato y temperatura exterior.

Fig. 1: El efecto del sistema de refrigeración integrado del Emax puede intensificarse conectando un recirculador de refrigeración.

## AHORRO DE TIEMPO CONSIDERABLE

El alto aporte de energía de este molino es requisito indispensable para la obtención de nanopartículas o procesos mecanoquímicos. Al usarlo a la velocidad máxima de 2000 rpm en procesos de molienda continuos, se obtiene un ahorro de tiempo considerable en comparación con otros molinos de bolas.

A continuación se muestra un ejemplo de aplicación del área de investigación farmacéutica que nos ilustra claramente cómo el Emax abre un mundo de nuevas posibilidades para la molienda de sustancias termolábiles.

En esta aplicación se pulverizó un derivado de cortizona por 5 min en el Emax sin sobrepasar la temperatura crítica de 45 °C, obteniéndose una granulometría <300 nm. El molino de bolas convencional necesitó 30 min de tiempo neto + 2,5 h por las pausas de enfriamiento.



Sistema de refrigeración por agua integrado

## TEMPERATURA BAJO CONTROL

El software del Emax permite al usuario configurar una temperatura mínima y una máxima dentro de las cuales se realiza el proceso de molienda. Cuando el recipiente alcanza la temperatura máxima definida, el proceso se interrumpe automáticamente y solo se reinicia cuando la temperatura del recipiente baja hasta llegar al límite inferior definido. Esta forma de controlar la temperatura es ideal para la preparación de muestras termosensibles.

La preparación de polisacáridos es una aplicación para la que esta prestación es ideal. La temperatura máxima recomendada para este proceso es de 80 °C. En un molino de bolas convencional, los intervalos óptimos de trituración y enfriamiento solo pueden determinarse por ensayo y error, lo que al final puede llevar a la degeneración de la muestra o a procesos innecesariamente largos. En cambio, con el Emax pueden implementarse ciclos variables de trituración y enfriamiento dentro de los límites de temperatura definidos por el usuario. De esta manera el proceso completo se ejecuta de forma reproducible y en tiempo muy corto.

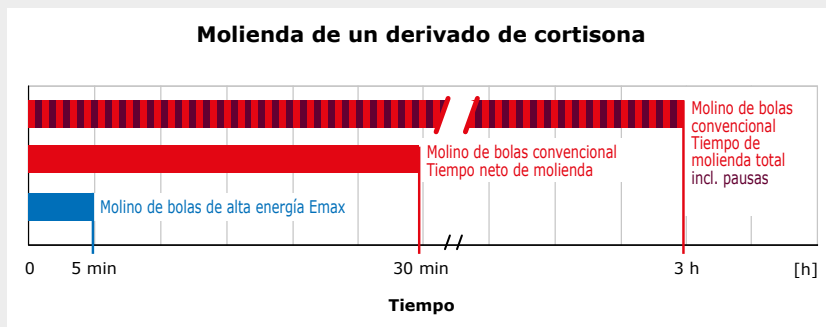


Fig. 2: El ahorro de tiempo al moler un derivado de cortisona en el Emax, en comparación con un molino de bolas convencional, fue de casi 3 horas.

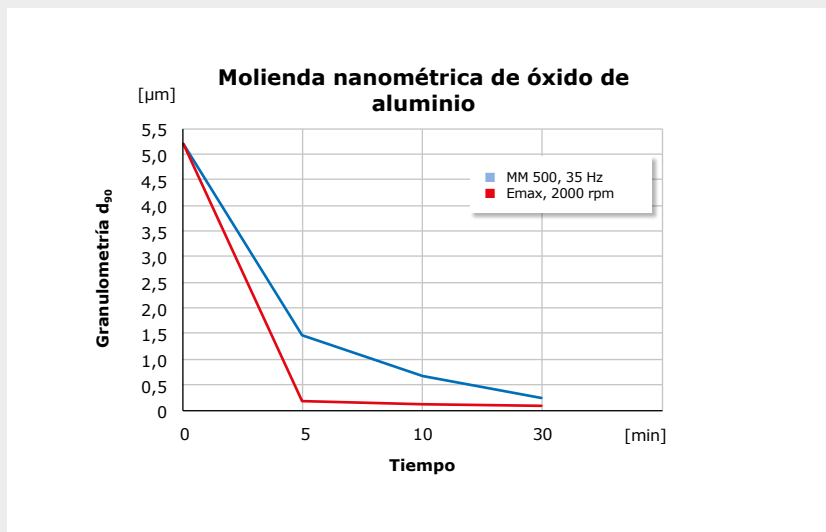


Fig. 3: Molienda nanométrica de óxido de aluminio en el molino mezclador MM 500 y en el molino de bolas de alto rendimiento Emax.

La pulverización de óxido de aluminio es otro ejemplo que nos muestra el funcionamiento eficiente del Emax. La misma muestra fue igualmente preparada en el MM 500, un molino en el que los procesos de molienda se realizan también sin pausas de enfriamiento. El enorme aporte de energía del Emax a 2000 rpm – que solo es posible gracias a su efectivo sistema de refrigeración por agua – permitió obtener granulometrías de 0,18 µm después de solo 5 minutos.

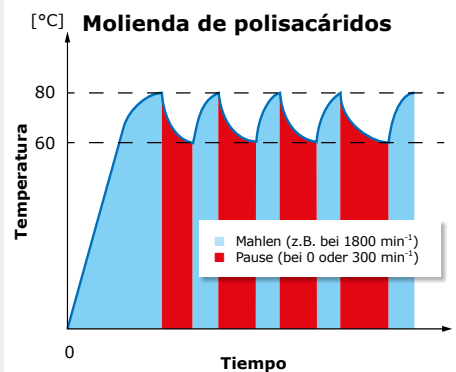


Fig. 4: Molienda de polisacáridos dentro de un margen de temperatura definido entre 60 °C y 80 °C. El Emax determina automáticamente cuándo hacer las pausas de enfriamiento.

# ESTRUCTURA CRISTALINA INTACTA MOLINO XRD MCCRONE

**James Utley, asistente de investigación en el Instituto de Geociencias de la Universidad de Liverpool, nos explica por qué el molino XRD McCrone es perfecto para preparar muestras que serán analizadas por difracción de rayos X.**

El análisis por difracción de rayos X fue descubierto hace más de 100 años y ayuda a encontrar respuestas a preguntas tan interesantes como: ¿pueden los minerales de arcilla revelar algo sobre las características climáticas en las diferentes eras de la Tierra? o ¿hasta qué punto se ve afectada la actividad sísmica de las fallas tectónicas por el tipo de minerales que las conforman?

Con la difracción de rayos X es posible medir las estructuras de materiales cristalinos: algunos minerales son más fuertes y resisten mejor los cambios de temperatura que otros. Una estructura cristalina puede compararse con una trepadora de parque infantil en la que la distancia entre las barras es la característica que la diferencia de las demás. Si un bulldozer se fuera contra la trepadora, la doblaría y cambiaría su estructura de tal manera que sería muy difícil identificarla de nuevo. Por lo tanto, lo que se debe hacer es:

- **PRODUCIR UN POLVO MUY FINO Y BIEN MEZCLADO, CON UNA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA ESTRECHA**
- **EVITAR GRANDES FUERZAS DE IMPACTO Y ALTAS TEMPERATURAS**

Aquí es cuando entra en juego el molino XRD McCrone, ya que es el único molino que cumple con todos los criterios para preparar fiablemente muestras que van a ser sometidas al análisis XRD.



El juego de molienda consiste en 48 piezas cilíndricas con un tamaño de 12x12 mm, cuyo material se selecciona en función del tipo de aplicación, y puede ser óxido de circonio, corindón o ágata. Muchos cilindros pequeños ofrecen más superficie de contacto que p. ej. bolas del mismo tamaño. Las filas de cilindros se deslizan en el plano horizontal ejerciendo un efecto de fricción entre ellas, pero al mismo tiempo chocan unas con otras debido al movimiento oscilatorio circular del molino.

A la muestra se le agrega un líquido de molienda o lubricante, que por lo general es agua destilada; pero puede ser alcohol si la muestra es soluble en agua. Al agregar el líquido se obtiene una suspensión que le da mucho más efectividad al proceso, ya que las partículas pueden circular por el recipiente manteniéndose además refrigeradas.

El molino XRD McCrone cumple con todos los requisitos para la difracción de rayos X de minerales. Con este molino se obtiene un polvo fino de estrecha distribución granulométrica manteniendo la estructura cristalina de la muestra, al no producirse fuerzas grandes de impacto ni altas temperaturas.

# PARA GRANDES CANTIDADES

# MOLINO DE TAMBOR TM 300

Si bien los molinos de bolas se ofrecen en una gran cantidad de modelos diferentes, la cantidad máxima de muestra que alguno pudiera procesar es de 880 ml, que en realidad viene a ser poco. Por eso RETSCH desarrolló su molino de tambor TM 300, un modelo que puede procesar hasta 20 litros de muestra en una sola operación.

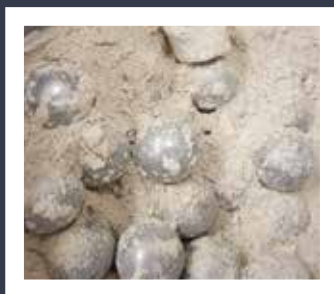
Empleando el módulo correspondiente, este aparato puede usarse como molino de bolas o de barras. Los recipientes de molienda en forma de tambor se ofrecen en tamaños que van desde 5 hasta 43,4 litros. El TM 300 puede usarse para preparar muestras tanto en seco como en húmedo, alcanzando granulometrías hasta los 20 µm, según el tipo de muestra.

La muestra normalmente ya ha sido previamente triturada y se trasvasa al tambor equipado con bolas o barras, donde es sometida a fuerzas externas. Con una velocidad variable y bastante baja entre 15 y 80 rpm, el TM 300 es el único molino de bolas en el que es posible combinar bolas de diferentes tamaños.

La tapa del tambor cuenta con dispositivos de fijación a presión que no solo la dejan bien asegurada, sino que también permiten su extracción rápida facilitando el acceso al interior. En el tambor de 21,7 litros pueden colocarse hasta 20 kg en bolas de Ø 20 mm. Las bolas de 5 mm, 10 mm o 30 mm también se emplean con frecuencia. Para que el proceso de molienda sea efectivo, se requiere una cantidad suficiente de bolas o barras. Gracias al dispositivo de fijación a presión, la tapa puede quitarse fácilmente. Este molino dispone igualmente de una cámara sólida de aislamiento acústico.



## EJEMPLO: HONGOS SECOS



140 g de hongos secos se redujeron a una granulometría de 100 µm en 90 min, a una velocidad de 60 rpm. Para ello se emplearon 10 kg de bolas de acero de 20 mm.

### EJEMPLOS DE APLICACIÓN MOLINO DE TAMBOR TM 300

Muestra	Tamaño tambor	Tamaño bola(s)	Material	Cantidad de muestra	Tiempo molienda	Granulom. final
Escorias de titanio	21,5 l	20 mm (20 kg) + 10 mm (13 kg)	acero inoxidable	4,4 l	12 h	< 30 µm
Fibras de celulosa	21,5 l	30 mm (20 kg) + 40 mm (11 kg)	acero inoxidable	12 l	15 h	< 50 µm

# RETSCH marca pautas – desde hace 100 años

RETSCH es el líder mundial en soluciones para la preparación de muestras para análisis y caracterización de sólidos. Con una experiencia de más de 100 años, RETSCH desarrolla innovadores aparatos de trituración y tamizadoras analíticas que convencen por su alto rendimiento, facilidad de uso, seguridad y larga vida útil.

## ¡Suscríbase a nuestro boletín electrónico!

Así obtendrá de 3 a 4 veces al año información exclusiva sobre seminarios/webinarios, aplicaciones y productos nuevos.

Suscríbase ya:



[www.retsch.com/newsletter](http://www.retsch.com/newsletter)

La suscripción puede cancelarse en cualquier momento.



Retech GmbH | Retech-Allee 1-5 | D-42781 Haan | Teléfono: +49(0)2104/2333-100 | Telefax: +49(0)2104/2333-199 | [info@retsches](mailto:info@retsches) | [www.retsches](http://www.retsches)

**VERDER**  
scientific

RETSCH forma parte de la División Científica del Grupo Verder que marca pautas en el desarrollo y la producción de aparatos de laboratorio y análisis. Estos instrumentos se emplean para la preparación de muestras y el análisis de sólidos en las áreas de control de calidad, investigación y desarrollo.



ANÁLISIS ELEMENTAL

Eltra GmbH  
[www.eltra.es](http://www.eltra.es)



ENSAYOS DE DUREZA

Qness GmbH  
[www.qness.com](http://www.qness.com)



MOLIENDA Y TAMIZADO

Retech GmbH  
[www.retsches](http://www.retsches)



TRATAMIENTO TÉRMICO

Carbolite Gero Ltd.  
Carbolite Gero GmbH & Co. KG

[www.carbolite-gero.com](http://www.carbolite-gero.com)



MATERIALOGRAFÍA

ATM GmbH  
[www.atm-m.es](http://www.atm-m.es)



CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS

Retech Technology GmbH  
[www.retsch-technology.es](http://www.retsch-technology.es)