

# LEYBOLD®

## APARATO DE RAYOS X FUNDAMENTAL Y PROFESIONAL



PARA LA FÍSICA, BIOLOGÍA, MEDICINA,  
QUÍMICA, MINERALOGÍA  
Y CIENCIA DE MATERIALES

# LEYBOLD®

## EL SISTEMA



## CONCEPTO MODULAR PARA LA FÍSICA, BIOLOGÍA, MEDICINA, QUÍMICA, MINERALOGÍA Y CIENCIA DE MATERIALES

El aparato de rayos X de LEYBOLD establece nuevos estándares en resolución e intensidad en el campo de la educación a nivel mundial. No solo es impresionante la alta resolución del espectro de Bragg, sino también la nueva alta resolución del sensor de imagen de rayos X, el fiable detector de energía de rayos X y el tubo de oro.

La estructura modular del sistema permite tanto una introducción de bajo costo (EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES) y aplicaciones avanzadas (EXPERIMENTOS PROFESIONALES) para varios temas de distintas pruebas.

# VARIAS OPCIONES DE EXPERIMENTOS EN ESCUELAS, COLEGIOS Y UNIVERSIDADES

## FUNDAMENTOS BÁSICOS

- Radiografía
- Fotografía de rayos X
- Ionización y dosimetría
- Atenuación de los haces de rayos X

## CRISTALOGRAFÍA

- Bragg: Determinación las constantes reticulares de monocristales
- Laue: Investigando la estructura reticular de monocristales
- Debye-Scherrer: Determinación de los espacios planos de red de muestras de polvo cristalino

## APLICACIONES

- Radiología
- Mineralogía
- Protección de la radiación
- Análisis de fluorescencia de rayos X
- Análisis de material no destructivo
- Ensayo no destructivo
- Tomografía computarizada en 3D



Reconstrucción 3D de una rana irradiada con el software de tomografía computado de LEYBOLD.

## FÍSICA ATÓMICA

- Bragg: Difracción de haces de rayos X sobre un monocristal
- Investigación de los espectros de energía de un tubo de rayos X
- Duane-Hunt: Determinación de  $h$  a partir de la longitud de onda umbral
- Absorción dependiente de la energía, bordes K y L
- Ley de Moseley y determinación de las constantes de Rydberg
- Estructura fina de los espectros de rayos X
- Fluorescencia de rayos X
- Efecto de Compton en la radiación de rayos X

## EXISTE UN AMPLIO RANGO DE APLICACIONES.

Dependiendo del enfoque, encontrará la descripción general a través del campo especializado o del tema.

### ÁMBITO DE APLICACIÓN

	FÍSICA (PÁGINA 10)	BIOLOGÍA (PÁGINA 12)	MEDICINA (PÁGINA 14)	FOLLETOS MINERALOGÍA (PÁGINA 16)	CIENCIA DE MATERIALES (PÁGINA 18)
Ionización y dosimetría (página 20)	x		x		
Radiación y radiografía (página 22)	x	x	x		x
Reflexión de Bragg (página 24)	x		x	x	
Diagramas de Laue (página 26)	x			x	
Espectros de energía de rayos X y fluorescencia (página 28)	x	x		x	x
Tomografía computarizada (páginas 8 + 30)	x	x	x		x

# PARA CADA REQUERIMIENTO Y CADA PRESUPUESTO

El sistema de rayos X de LEYBOLD tiene una estructura modular y permite la configuración individual de los dispositivos separados, para que usted solo compre lo que realmente necesite.

Además del equipo básico, puede escoger sus accesorios para experimentos básicos (EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES) o aplicaciones avanzadas (EXPERIMENTOS PROFESIONALES) dependiendo de los requerimientos del experimento.



## EQUIPO BÁSICO

### APARATO DE RAYOS X

El aparato de rayos X está disponible en dos variantes, como un aparato básico o completo con un tubo de Mo, un goniómetro y un monocristal NaCl. Si desea utilizar otros tubos, el aparato básico de rayos X viene a ser la solución más flexible.

Independientemente de esto, puede ampliar el aparato de rayos X con una gaveta para sus accesorios.

### GONIÓMETRO

No importa si uno esté interesado en el espectro de Bragg, el espectro de energía de rayos X o la tomografía computarizada, ya que estará satisfecho con la precisión y alta resolución del goniómetro.



### TUBOS

Además del tubo de Mo, hay otros tubos que son más apropiados para determinadas áreas de aplicación, por ejemplo, el tubo de Cu para los diagramas de Debye-Scherrer, el tubo de Ag para fluorescencia de rayos X debido a su alta energía de línea K, W o tubos de Au para radiación y tomografía computarizada debido a su alta intensidad.



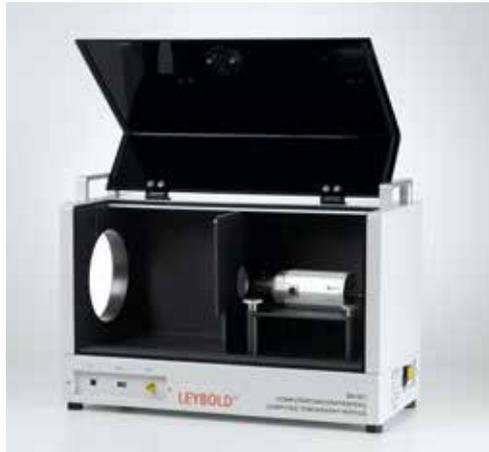
## DETECTOR DE ENERGÍA DE RAYOS X

El detector de energía de rayos X expone el espectro de rayos X de energía dispersiva con el sistema CASSY. Se pueden distinguir claramente varios elementos químicos y también se puede determinar su fracción de masa por su característica radiación de rayos X utilizando el espectro de energía de rayos X. Esto también confirma el efecto Compton.

# EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES

## MÓDULO DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

El aparato de rayos X tiene una pantalla fluorescente instalada en la parte lateral, en donde los rayos se pueden visualizar directamente. El módulo de tomografía computarizada captura esta imagen de rayos X visible y el software suministrado controla la rotación del objeto en aparato de rayos X de 360° y lleva a cabo la retro-proyección de la imagen de rayos X para reconstrucción 3D en tiempo real.



## ESPECTRO DE BRAGG

Con el aparato completo con un tubo de Mo, tiene todo lo que lo necesita para capturar su primer espectro de Bragg. Otros monocristales disponibles y/o tubos de rayos X ofrecen múltiples variaciones posibles.

# EXPERIMENTOS PROFESIONALES

## TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA PRO

Si la resolución del módulo de tomografía computarizada es insuficiente, el sensor de imagen de rayos X proporciona la solución con su resolución de megapíxeles y su escala de grises de 12 bits. Con esto, las resoluciones voxel de hasta 50  $\mu\text{m}$  de longitud de borde son posibles. El sensor de imagen de rayos X también proporciona una solución confortable y rápida para los diagramas de Laue.



## ACCESORIO HD

El accesorio HD consiste de un colimador de alta resolución y soporte de tubo con contador con espacios estrechos y un nuevo software, en donde la resolución angular del goniómetro se incrementa a 0.01°. El espectro de Bragg, con una resolución 4 veces mayor, es posible con este accesorio.

## TUBO DE ORO

El tubo de oro es el tubo de Leybold con la intensidad más alta. Es particularmente apropiado para la captura de imágenes de rayos X, diagramas de Laue o tomogramas computarizados. Además del tubo de tungsteno, es también el único tubo cuyo espectro de Bragg consiste de líneas L.

# TECNOLOGÍA PIONERA



**PANTALLA GRANDE  
OPERACIÓN INTUITIVA  
UN BOTÓN  
UNA FUNCIÓN**

Todos los parámetros de rayos X se pueden establecer manualmente. Para cada función hay un botón al alcance inmediato de la mano y un botón de control integrado para cambiar el parámetro seleccionado. Se muestra las configuraciones de la corriente en una pantalla digital grande y claramente visible. De hecho, la configuración del aparato de rayos X se puede realizar en paralelo usando una PC conectada.

**VISTA DEL TUBO  
SIN OBSTÁCULOS**

El tubo de rayos X es la pieza central de todo aparato de rayos X. Este se sitúa detrás de un gran panel de vidrio de plomo a la vista para que se observe mientras esté en funcionamiento. Cuanto más alta la corriente del ánodo, con mayor intensidad, se ilumina el cátodo.

**GAVETA  
OPCIONAL**

La amplia gaveta incorporada con forma de aparato garantiza un orden. Con esto puede almacenar de manera segura hasta dos tubos más y varios accesorios incluyendo cristales, filtros y juegos de muestras.

## PANTALLA FLUORESCENTE INTEGRADA

La gran pantalla luminiscente para experimentos de radiación ya está integrada en el aparato básico de rayos X.

## ESPECTRO DE BRAGG EN CALIDAD DE ALTA DEFINICIÓN

Con el accesorio de alta definición, gracias a su estrecho espacio y al goniómetro de alta resolución, es posible obtener espectros con una resolución 4 veces mayor. Como resultado, no solo las líneas son 4 veces más nítidas, sino que el contraste entre la línea nítida y el continuo amplio aumenta en consecuencia.

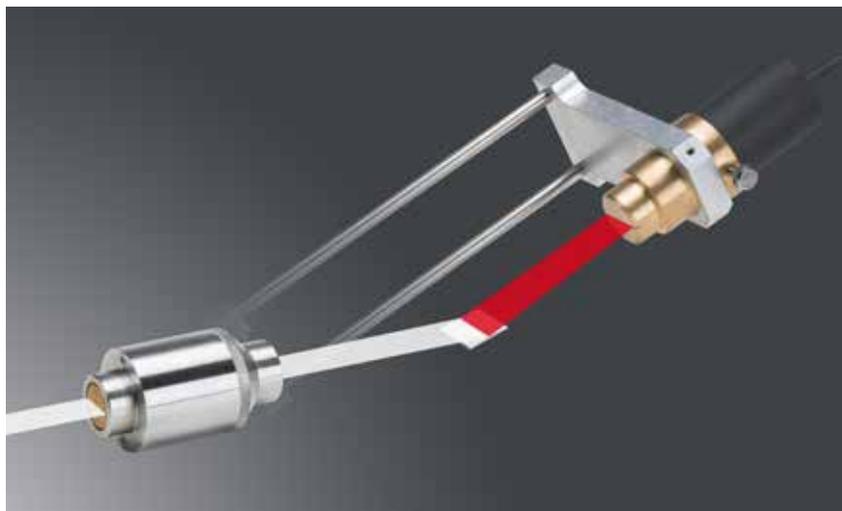
## LA GRAN VARIEDAD DE TUBOS

Los tubos de rayos X de LEYBOLD están disponibles con los materiales ánodos: cobre, acero, plata, molibdeno, tungsteno y oro. De esta manera, siempre podrá utilizar el tubo que le sea más apropiado para la aplicación en particular.

## REEMPLAZO SENCILLO Y SEGURO DE TUBOS

Reemplazar un tubo de rayos X es como cambiar un foco de luz, excepto que el primero no está atornillado.

A comparación del foco de luz, un tubo de rayos X simplemente requiere una conexión de alto voltaje, que acelera los electrones hacia el ánodo.



## PROTECCIÓN Y SEGURIDAD ANTE LA RADIACIÓN

El aparato de rayos X de LEYBOLD se ha verificado por el Instituto Federal Técnico y Físico (PTB, por sus siglas en alemán) y aprobado por la Oficina Federal Alemana de Protección Radiológica (BfS, por sus siglas en alemán) de acuerdo con las especificaciones de la corriente de Röntgenverordnung (normativa alemana de rayos X).

Las puertas se cierran automáticamente y se monitorean mediante dos circuitos de seguridad independientes. Estos circuitos de seguridad se verifican independientemente antes de encender el alto voltaje.

Asimismo, luego de apagar el alto voltaje, el seguro de las puertas se abre automáticamente cuando el alto voltaje se haya caído y no pueda ocurrir más radiación de rayos X.

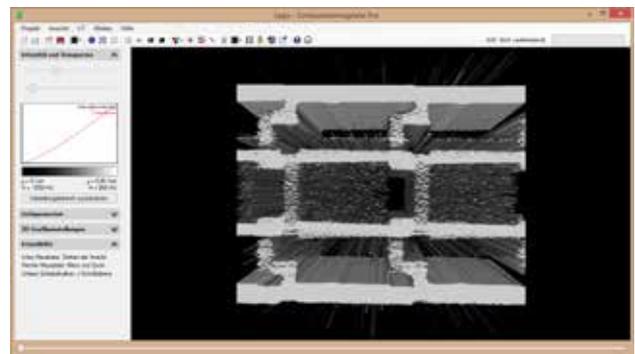
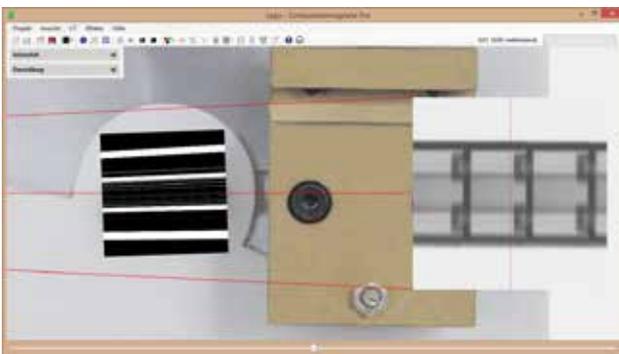
Este control de seguridad de procesamiento automático permite un funcionamiento sencillo y seguro con solo pulsar un botón.

# TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Se controla el aparato de rayos X en pasos angulares seleccionables para capturar así las imágenes de rayos X. Se visualiza el proceso de retroproyección en tiempo real sea en dos o tres dimensiones durante la captura. Ambas imágenes seccionales y en 3D de los objetos inacabados en 3D están disponibles con todas las herramientas de visualización (rotación, zoom, efectos de transparencia, intersecciones, visualización estereoscópica, iluminación similar al modelo de rastreo de rayos de Heidelberg). Con cada paso angular adicional, el proceso de retroproyección avanza hasta completar el objeto 3D. Este procedimiento y el objeto terminado se pueden observar estereoscópicamente con un par de gafas 3D de color rojo y cian.

A pesar de la baja energía de rayos X de un aparato de rayos X escolar de 35 keV, se pueden capturar tomografías computarizadas de diversos objetos con buena resolución y analizarlas cualitativa y cuantitativamente. La atención se centra en la preparación didáctica del proceso de la captura y el análisis.

Al seleccionar el sensor de imagen, puede elegir entre la variante FUNDAMENTAL y PROFESIONAL. La variante FUNDAMENTAL convence con su estructura simple didáctica: La imagen de rayos X es visible en la pantalla fluorescente, se captura mediante una cámara y se transmite a una PC. Con la solución PROFESIONAL, se genera esta imagen intermedia en el sensor y se digitaliza con una resolución más alta.



Visualización de la retroproyección mientras se captura una tomografía computarizada de piezas de LEGO en 2D y 3D. Cada retroproyección en forma de cono termina en el punto focal del tubo de rayos X.

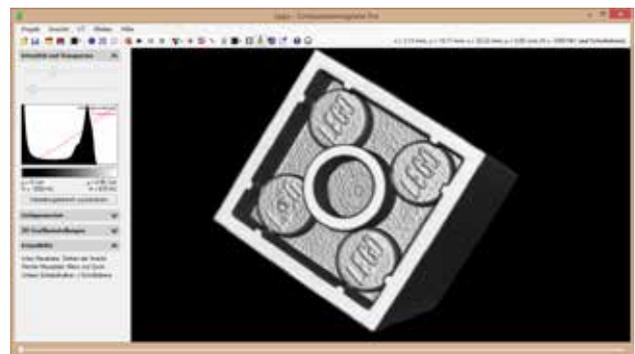
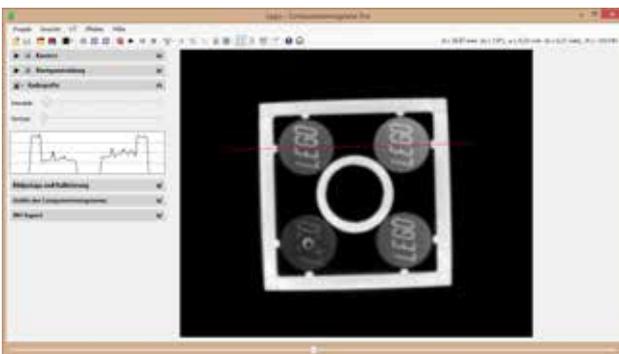
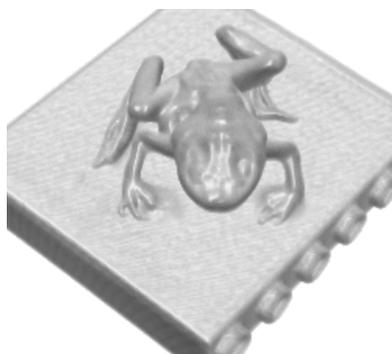


Imagen seccional de una conexión de enchufe LEGO y vista 3D de esta conexión de enchufe LEGO luego de adicionar retroproyecciones de 360°. Las letras de LEGO tiene una profundidad de alrededor de 100  $\mu\text{m}$ .

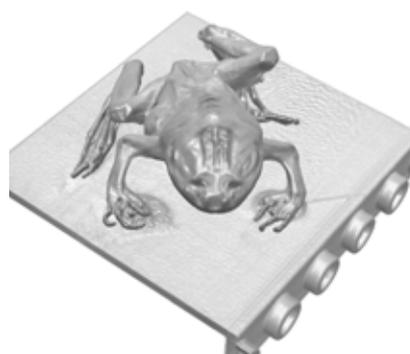
Por favor, visite también nuestra página web de tomografías computarizadas [WWW.LD-DIDACTIC.DE/CT](http://WWW.LD-DIDACTIC.DE/CT)

El práctico adaptador LEGO permite la simple detección de los más diversos objetos. Aquí se puede observar a una rana rotando en frente del sensor de imagen de rayos X de alta resolución.



## COMPARACIÓN DE LA RESOLUCIÓN

Tomografía computarizada de la misma rana capturada, una vez con el módulo de tomografía computarizada y una vez con el sensor de imagen de rayos X del paquete Computed Tomography Pro.



### MÓDULO DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

### TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA PRO

Grupo objetivo	Escuela / Colegio	Colegio / Universidad
Imagen de rayos X	Se puede observar en la pantalla fluorescente	No se puede observar en el sensor de imagen
Sensor de imagen	Cámara sensible a la luz	Sensor de imagen CMOS
Resolución	640 píxeles x 480 píxeles	1024 píxeles x 1000 píxeles
Profundidad de bits (escala de grises)	8 Bits	12 Bits
Sensibilidad	alta	Muy alta (incluido para los diagramas de Laue)
Resolución máx. del tamaño	approx. 8 cm x 8 cm x 8 cm	approx. 4 cm x 4 cm x 4 cm
Resolución máx. del objeto	approx. 0.3 mm	approx. 0.05 mm
Conexión a PC	USB	USB
Patente de utilidad	DE202008006100U1	

EXPERIMENTOS  
FUNDAMENTALES

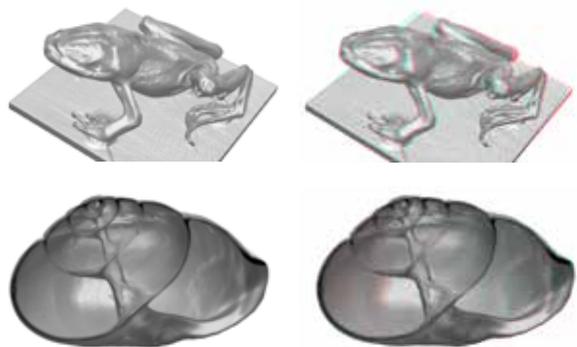
EXPERIMENTOS  
PROFESIONALES

# FÍSICA

## RESUMEN DEL TEMA



Para una tomografía computarizada, varios objetos se pueden agregar a un adaptador LEGO.

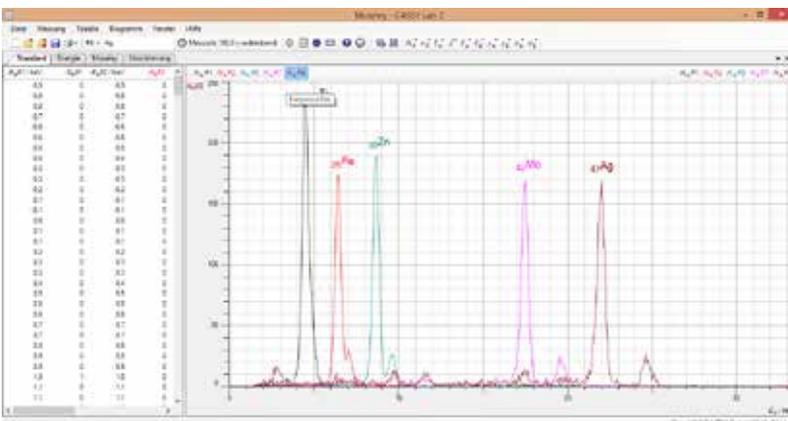


Tomografías computarizadas de alta resolución de una rana y un caparazón de caracol. Imagen 3D también estereoscópica para lentes rojo y cian (derecha).



El algoritmo de la tomografía computarizada visto en acción:

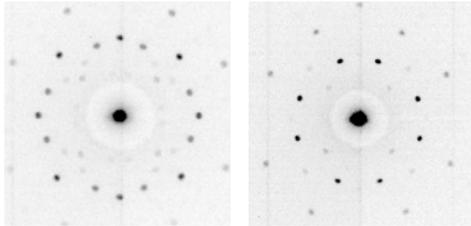
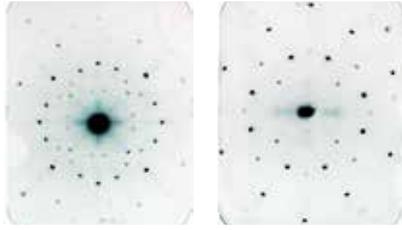
Las imágenes muestran la misma imagen seccional de una pieza LEGO luego de la retroproyección de ángulos de 1, 4, 15, 45, 90 y 360.



Dependiendo de su número atómico, los elementos químicos muestran varias líneas fluorescentes que se pueden identificar.

TEMAS	EXPERIMENTOS	EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES	EXPERIMENTOS PROFESIONALES
Ionización y Dosimetría (cf. página 20)	Detección y efecto de radiación de rayos X	x	
	Determinación del ratio de la dosis (dosimetría de rayos X)	x	
	Blindaje de la radiación de los rayos X	x	
Radiación y Radiografía (cf. página 22)	Ennegrecimiento de películas mediante radiación de rayos X	x	
	Principios básicos de imágenes digitales por rayos X	x	x
	Determinación de los coeficientes de atenuación	x	x
	Potencia de la resolución de una imagen de rayos X	x	x
	Efecto del alto voltaje sobre el contraste y la intensidad de la imagen de rayos X	x	x
	Impacto del endurecimiento del haz de radiación de rayos X en la imagen de rayos X		x

Diagramas de Laue de NaCl y LiF en películas de rayos X (tiempo de exposición de 100 min.).



Diagramas digitales de Laue de NaCl y LiF (tiempo de exposición de 1 min.).



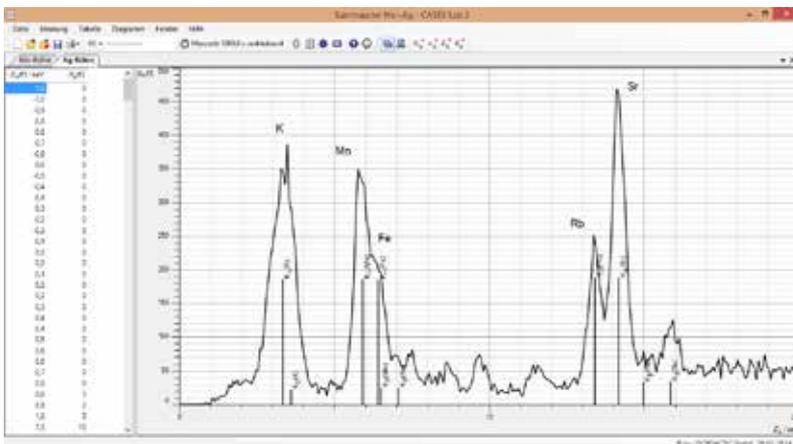
Espectro de Au con monocristal LiF mostrado con ángulos similares. El espectro rojo se capture usando un accesorio HD.

TEMAS	EXPERIMENTOS	EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES	EXPERIMENTOS PROFESIONALES
Reflexión de Bragg (cf. página 24)	Difracción en varios monocristales (espectro de bremsstrahlung)	x	x
	Comparación de espectro de varios materiales anódicos	x	x
	Efecto de un filtro en el espectro de energía de un tubo de rayos X (resistencia a la radiación de rayos X)	x	x
	Análisis de estructura fina de materiales anódicos		x
	Ley de Moseley + Constantes de Rydberg (mediante bordes K)	x	
	Ley de Duane-Hunt	x	
Diagramas de Laue (cf. página 26)	Investigación de la estructura reticular de sustancias con una película de rayos X	x	
	Diagramas de Debye-Scherrer	x	
	Investigación rápida de redes cristalinas mediante diagramas digitales de Laue		x
	Análisis de diagramas digitales de Laue		x
Espectro de energía de rayos X (cf. página 28)	Comparación del espectro de energía de varios materiales anódicos	x	
	Fluorescencia líneas K y L de los metales	x	
	Investigación no destructiva de la composición química de los objetos (análisis de fluorescencia de rayos X)	x	
	Ley de Moseley + Constantes de Rydberg (análisis de fluorescencia de rayos X)	x	
	Efecto Compton	x	
Tomografía computarizada (cf. páginas 8 y 30)	Captura y visualización del escaneo de tomografía computarizada	x	x
	Desarrollo de la reconstrucción de imágenes seccionales en 3D y 2D para la tomografía computarizada.	x	x
	Visualización del algoritmo de una tomografía computarizada	x	x
	Potencia de la resolución de un escaneo de tomografía computarizada	x	x
	Resistencia a la radiación y otros artefactos	x	x
	Medición de absorción de coeficientes	x	x
	Impacto de la resistencia del haz de radiación de rayos X en la tomografía computarizada		x

# BIOLOGÍA

## RESUMEN DEL TEMA

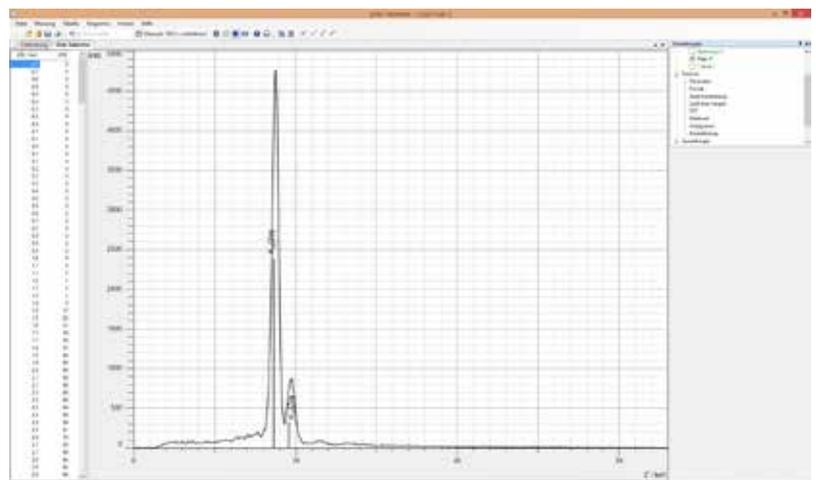
TEMAS	EXPERIMENTOS	EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES	EXPERIMENTOS PROFESIONALES
<b>Radiación y Radiografía</b> (cf. página 22)	Captura de imágenes de rayos X de plantas y animales	x	x
	Potencia de la resolución de una imagen de rayos X	x	x
<b>Espectro de energía de rayos X</b> (cf. página 28)	Análisis de fluorescencia de rayos X en el análisis ambiental	x	
	Detección de elementos químicos en los alimentos	x	
<b>Tomografía computarizada</b> (cf. página 8 y 30)	Captura y visualización de un escaneo de tomografía computarizada	x	x
	Desarrollo de la reconstrucción de imágenes seccionales en 3D y 2D para la tomografía computarizada.	x	x
	Visualización del algoritmo de una tomografía computarizada	x	x
	Potencia de la resolución de un escaneo de tomografía computarizada	x	x



Análisis de fluorescencia de rayos X de las cenizas en la chimenea. A lo largo de su vida, la madera de haya no solo se ha enriquecido con potasio y manganeso, sino también con cantidades considerables de rubidio y estroncio.



Análisis de fluorescencia de rayos X de suplementos dietéticos, en este caso, tabletas de zinc.



Para una tomografía computarizada, varios objetos se pueden agregar a un adaptador LEGO.

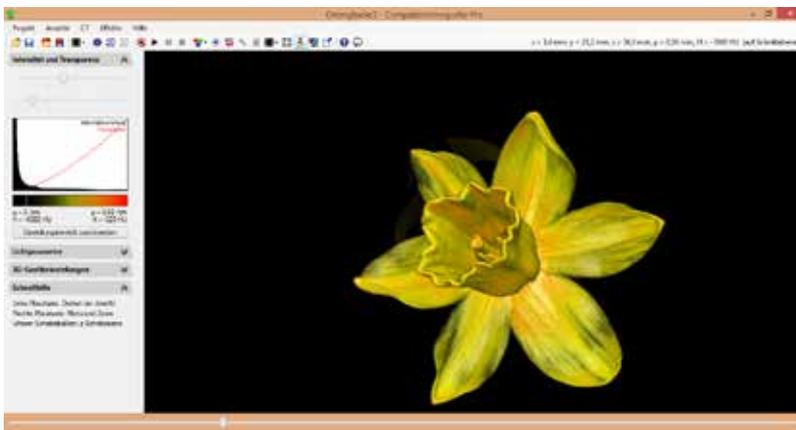
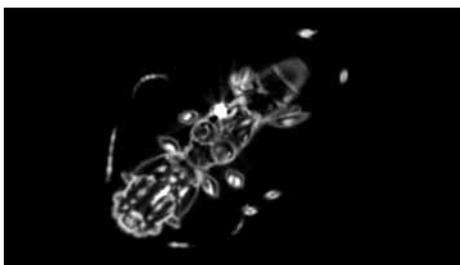
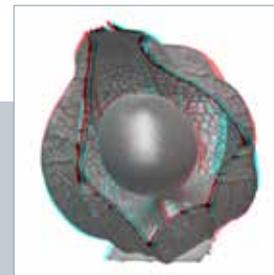
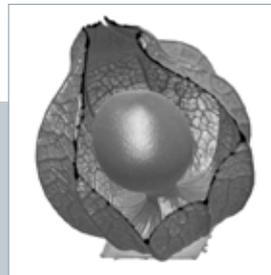
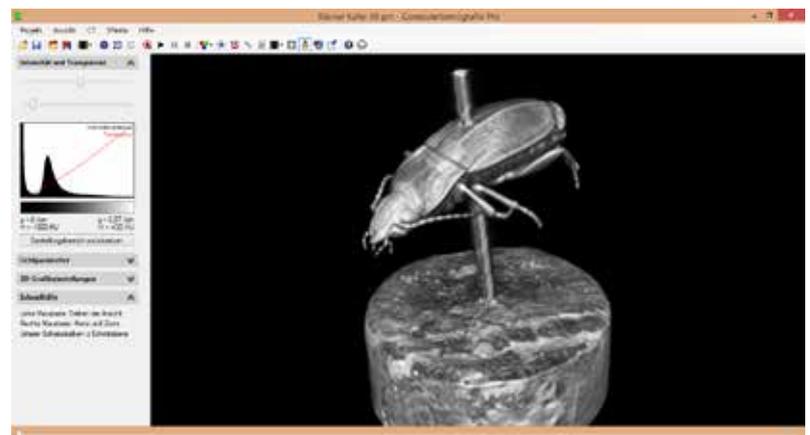


Imagen 3D del tomograma computarizado de un narciso.

La visualización 3D del phylaxis (izquierda). Se crea solamente la impresión correcta espacial en la imagen estereoscópica con lentes rojo y cian (derecha).



La imagen 3D del tomograma computarizado de un escarabajo seco sobre un corcho. El grosor del exoesqueleto del escarabajo se puede medir en la imagen seccional. Su grosor es alrededor de 100  $\mu\text{m}$ .



# MEDICINA

## RESUMEN DEL TEMA

TEMAS	EXPERIMENTOS	EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES	EXPERIMENTOS PROFESIONALES
<b>Ionización y Dosimetría</b> (cf. página 20)	Detección y efecto de radiación de rayos X	x	
	Determinación del ratio de la dosis (dosimetría de rayos X)	x	
	Blindaje de la radiación de los rayos X	x	
<b>Radiación y Radiografía</b> (cf. página 22)	Ennegrecimiento de películas mediante radiación de rayos X	x	
	Principios básicos de imágenes digitales por rayos X		x
	Captura de imágenes de rayos X de plantas y animales	x	x
	Determinación de los coeficientes de atenuación		x
	Uso de agentes de contraste en modelo de vaso sanguíneo	x	
	Medición y orientación de los objetos (implante) en la imagen de rayos X	x	x
	Potencia de la resolución de una imagen de rayos X	x	x
	Efecto de alto voltaje y corriente en el contraste y en la intensidad de la imagen de rayos X	x	x
	Impacto de la resistencia del haz de radiación de rayos X en la imagen de rayos X		x
<b>Reflexión de Bragg</b> (cf. página 24)	Efecto de un filtro en el espectro de energía de un tubo de rayos X (resistencia a la radiación de rayos X)		x
<b>Tomografía computarizada</b> (cf. página 8 y 30)	Captura y visualización de un escaneo de tomografía computarizada	x	x
	Desarrollo de la reconstrucción de imágenes seccionales en 3D y 2D para la tomografía computarizada.	x	x
	Visualización del algoritmo de una tomografía computarizada	x	x
	Potencia de la resolución de un escaneo de tomografía computarizada	x	x
	Resistencia a la radiación y otros artefactos	x	x
	Determinación de las unidades Hounsfield	x	x
	Impacto de la resistencia del haz de radiación de rayos X en la tomografía computarizada.		x

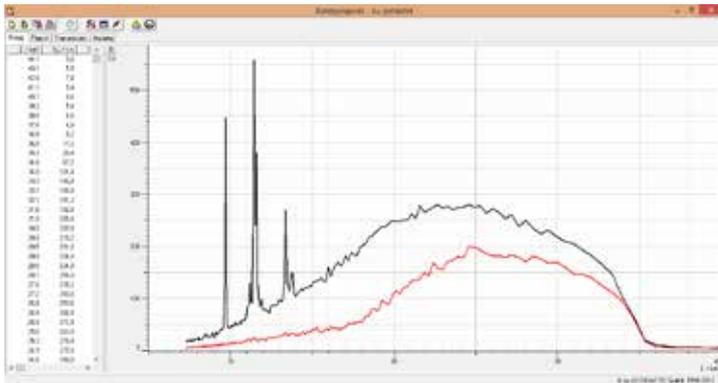


Se demuestra el efecto del agente de contraste con el modelo de vasos sanguíneos.

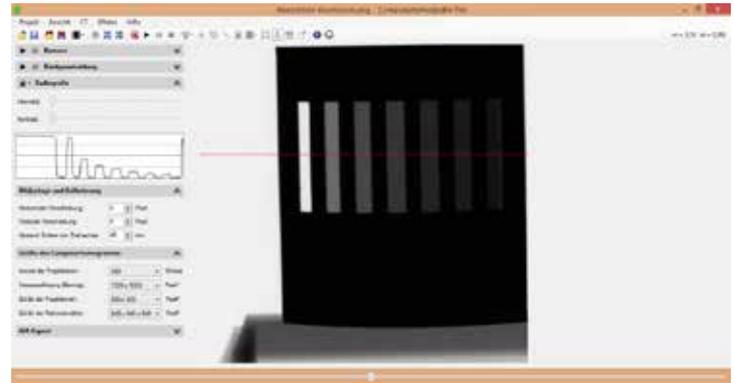


Se puede localizar y medir la uña en el modelo de implante a través de imágenes de rayos X de lados diferentes.

Para una tomografía computarizada, varios objetos se pueden agregar a un adaptador LEGO.



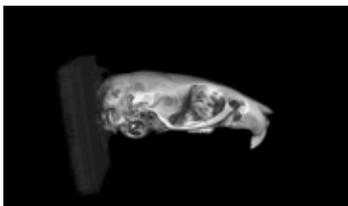
Dos espectros de rayos X del mismo tubo de oro. La curva negra muestra la radiación de rayos X sin filtrar. Para la curva roja, se introdujo 1 mm de aluminio en el saliente de la viga. La porción de alta energía (resistencia) de la radiación de rayos X supera significativamente al filtro.



Placas de aluminio de varios tamaños generan densidades diferentes en la imagen de rayos X. Se comprueba la ley de atenuación exponencial por las proporciones.



Las dos imágenes de rayos X de la izquierda capturaron la pierna de un pollo, la primera con radiación suave de rayos X y la segunda con radiación fuerte en el cual este último muestra un contraste más alto en el área del hueso. Exposición de rayos X de un hueso fracturado (derecha).



Visualización 3D del tomograma computarizado de un cráneo de ratón. En la imagen seccional, se puede medir la estructura ósea de la nariz de menos 100  $\mu\text{m}$ .

El algoritmo de una tomografía computarizada en acción: Cada imagen muestra la misma imagen seccional de una pieza de LEGO luego de la retroproyección de 1, 4, 15, 45, 90 y 360 ángulos.



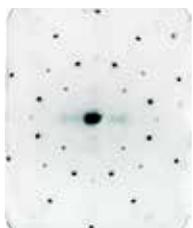
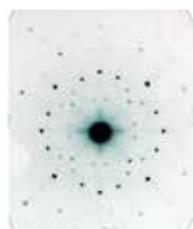
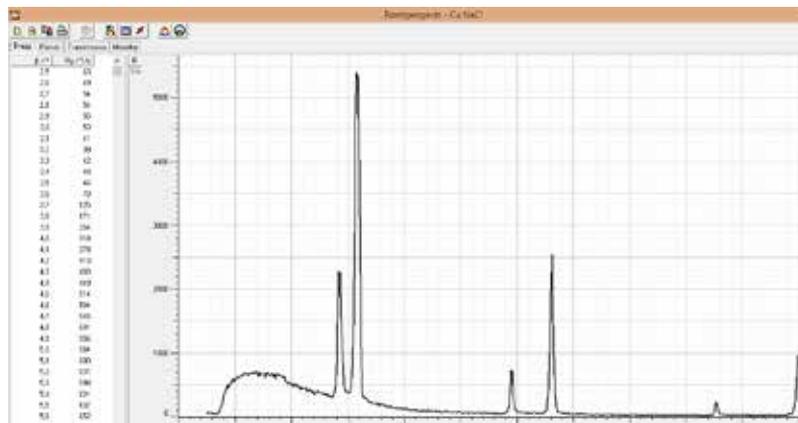
# QUÍMICA / MINERALOGÍA

## RESUMEN DEL TEMA

TEMAS	EXPERIMENTOS	EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES	EXPERIMENTOS PROFESIONALES
Reflexión de Bragg (cf. página 24)	Difracción en varios monocristales (espectro de bremsstrahlung)	x	
	Comparación de espectro de varios materiales anódicos	x	
Diagramas de Laue (cf. página 26)	Investigación de la estructura reticular de sustancias con una película de rayos X	x	
	Diagramas de Debye-Scherrer	x	
	Investigación rápida de redes cristalinas mediante diagramas digitales de Laue		x
	Análisis de diagramas digitales de Laue		x
Espectro de energía de rayos X (cf. página 28)	Análisis de fluorescencia de rayos X en el análisis ambiental	x	
	Detección de elementos químicos en los alimentos	x	
	Comparación del espectro de energía de varios materiales anódicos	x	
	Fluorescencia de líneas K y L de los metales	x	
	Investigación no destructiva de la composición química de los objetos (análisis de fluorescencia de rayos X)	x	
	Análisis de rocas geológicas	x	
	Examinación del depósito mineral	x	



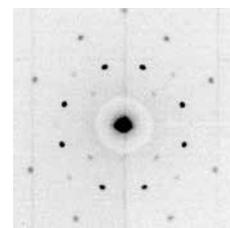
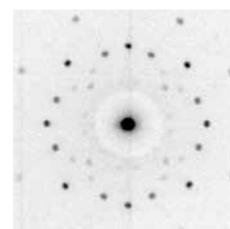
Espectro de Bragg de un tubo de Cu con un monocristal NaCl. Las líneas K se muestran hasta el tercer orden de difracción.



Diagramas de Laue de NaCl LiF en películas de rayos X (tiempo de exposición de 100 min.).

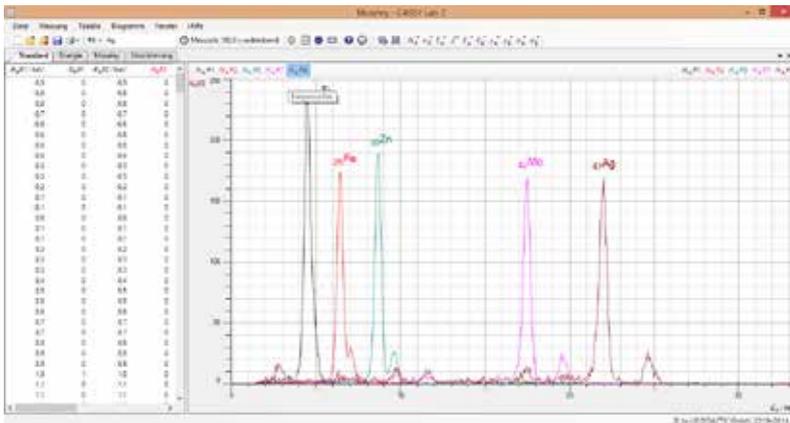


Exposición de Debye-Scherrer de NaCl en películas de rayos X (tiempo de exposición de 500 min.).



Diagramas digitales de Laue de NaCl y LiF ( tiempo de exposición de 1 min.).

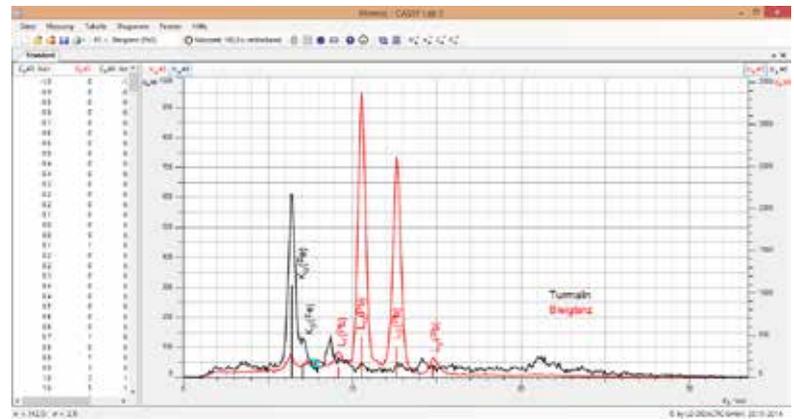
Varios objetos para un análisis de material no destructivo usando fluorescencia de rayos X.



Dependiendo de su número atómico, los elementos químicos muestran varias líneas fluorescentes que se pueden identificar.



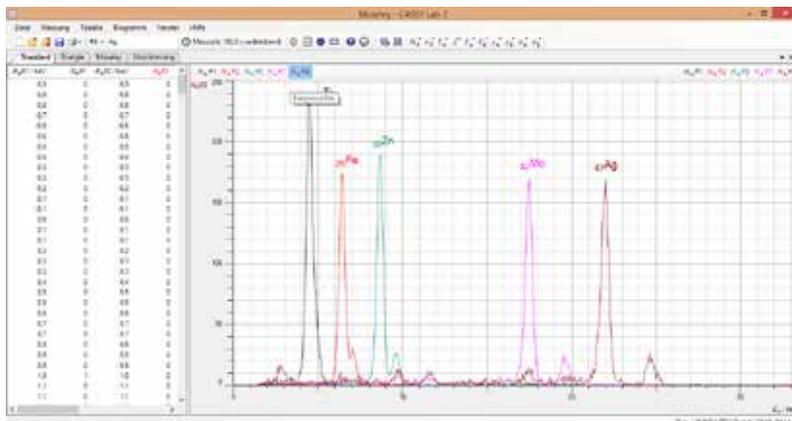
Espectro de fluorescencia de rayos X de los minerales turmalina y galenita, cuyos componentes hierro y plomo se visualizan inmediatamente a través de las líneas K y L capturadas.



# CIENCIA DE MATERIALES

## RESUMEN DEL TEMA

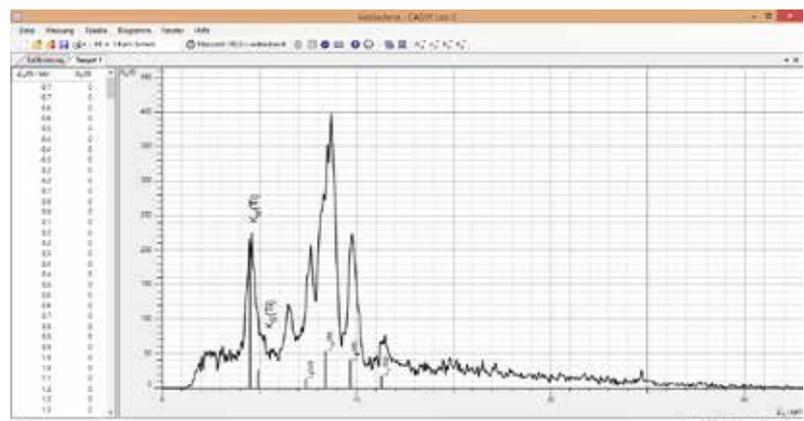
TEMAS	EXPERIMENTOS	EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES	EXPERIMENTOS PROFESIONALES
<b>Radiación y Radiografía</b> (cf. página 24)	Principios básicos de las imágenes de rayos X		x
	Control de calidad, punto de fractura, defectos de materiales en la imagen de rayos X	x	x
	Determinación de los coeficientes de atenuación		x
	Medición y orientación de los objetos (implante) en una imagen de rayos X	x	x
	Potencia de la resolución de una imagen de rayos X	x	x
	Efecto del alto voltaje y corriente en contraste e intensidad de la imagen de rayos X	x	x
<b>Espectro de energía de rayos X</b> (cf. página 28)	Fluorescencia de líneas K y L de los metales	x	
	Investigación no destructiva de la composición química de los objetos (análisis de fluorescencia de rayos X)	x	
	Examinación de plásticos coloridos	x	
<b>Tomografía computarizada</b> (cf. página 8 y 30)	Captura y visualización de un escaneo de tomografía computarizada	x	x
	Desarrollo de la reconstrucción de imágenes seccionales en 3D y 2D para la tomografía computarizada.	x	x
	Visualización del algoritmo de una tomografía computarizada	x	x
	Potencia de la resolución de un escaneo de tomografía computarizada	x	x



Dependiendo de su número atómico, los elementos químicos muestran varias líneas fluorescentes que se pueden identificar.

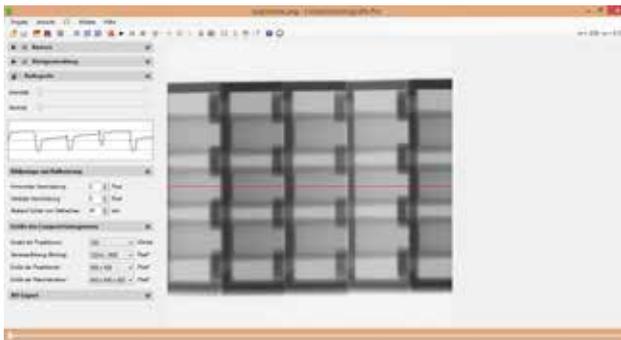
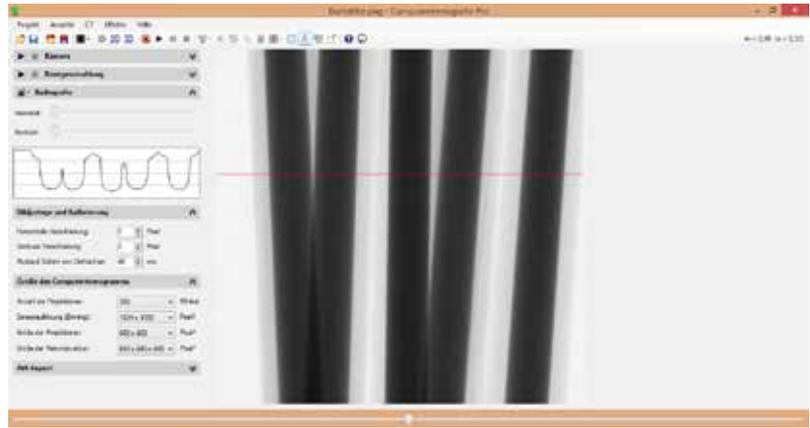


El dióxido de titanio tiñe muchos billetes de banco y puede detectarse rápidamente por las características líneas K del titanio.

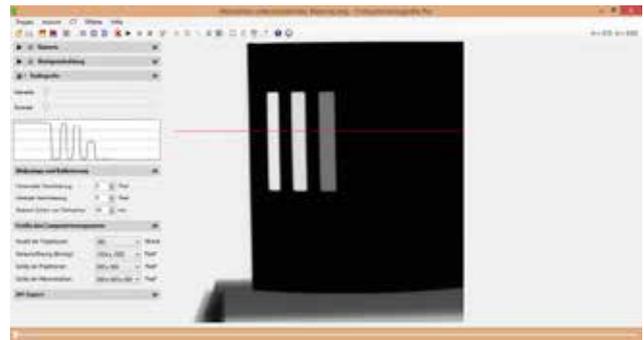




En los diferentes mínimos del perfil de la línea en la imagen de rayos X se puede ver que las minas de los lápices son multicolores. Los diferentes colorantes de las minas se absorben con diferentes concentraciones.



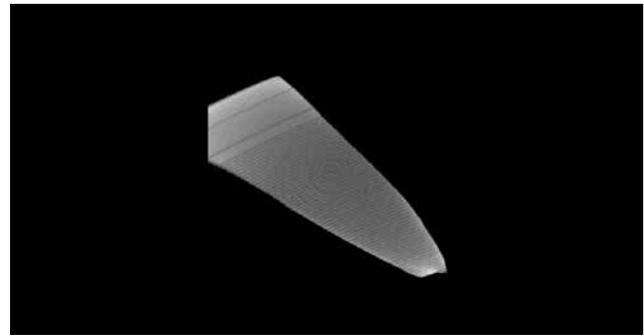
En la imagen de rayos X de las piezas Lego, no solo se pueden identificar distintos colorantes, sino también la evolución del espesor de material del cilindro cónico.



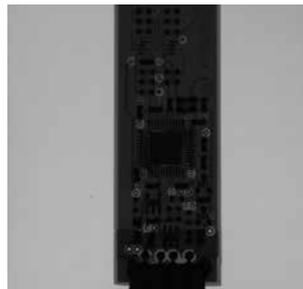
La imagen de rayos X de una muestra hecha de metales distintos del mismo grosor. Para metales con un número atómico mayor o coeficiente de atenuación  $\mu$ , no se podrá medir más la intensidad en la radioscopia (la derecha del perfil de línea).



Se pueden agregar varios objetos interesantes a un adaptador LEGO para una tomografía computarizada.



La potencia de la resolución es suficiente para medir las ranuras en la imagen seccional del fragmento de un disco de gramófono, aunque solo tiene una profundidad alrededor de 100  $\mu\text{m}$ .

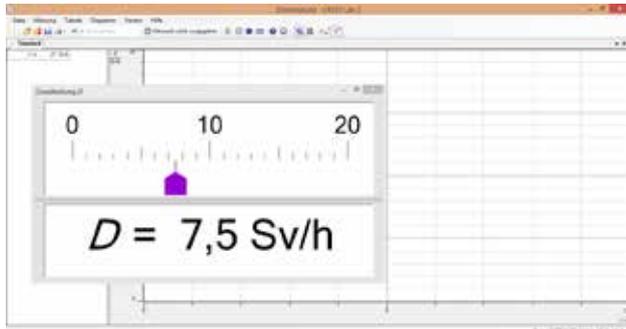


Estructura interna de una tarjeta de circuito en la imagen de rayos X.



Debido a las energías de rayos X relativamente bajas de hasta 35 kV, particularmente el plástico es lo más apropiado para tomografías computarizadas – esto es una pieza pequeña de un juguete para niños. Se pueden examinar y medir otros componentes formados en puntos inaccesibles.

# IONIZACIÓN Y DOSIMETRÍA



La radiación de rayos X ioniza átomos y moléculas en la materia irradiada. No hay diferencia al ser una película de rayos X o solamente aire.

El grado de ionización del aire a través de la corriente de ionización se mide en un condensador de placa. Esta corriente de ionización en nA se puede convertir directamente al ratio de dosis en Sv/h.



## EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES

### Equipamiento usual

554 800	Aparato de rayos X
554 861	Tubo de Mo de rayos X
554 840	Condensador de placa, rayos X
522 27	Suministro de alimentación, 450 V
532 14	Amplificador de electrómetro
577 02	Resistencia, 1 G Ohm
575 24	Cable blindado, BNC/4 mm
	Voltímetros



La radiación de rayos X ioniza aire entre ambas placas condensadoras. Si se aplica la tensión, una corriente de ionización fluye a través del condensador, el cual se mide y se amplifica.

EXPERIMENTOS	FÍSICA	MED
Detección y efecto de radiación de rayos X	x	x
Determinación del ratio de dosis (Dosimetría de rayos X)	x	x
Blindaje de radiación de rayos X	x	x

# RADIACIÓN Y RADIOGRAFÍA



Se puede colocar y medir el clavo en el modelo de implante mediante imágenes de rayos X de lados diferentes



Se demuestra el efecto de los agentes de contraste con el modelo de vaso sanguíneo.

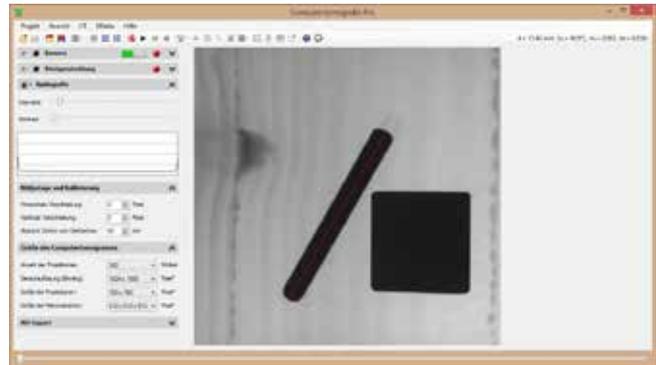
## EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES

### Equipamiento usual

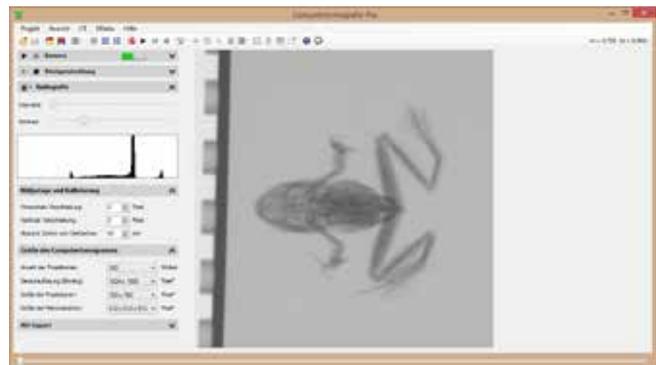
554 800	Aparato de rayos X
554 866	Tubo de Au de rayos X
554 821	Módulo de tomografía computarizada

\*Recomendado para evaluaciones cuantitativas

EXPERIMENTOS	FÍSICA	BIO	MED	MAT
Ennegrecimiento de películas mediante radiación de rayos X	x		x	
Principios básicos de imágenes de rayos X	x		x	x
Captura de imágenes de rayos X de plantas y animales		x	x	
Control de calidad, puntos de fractura, defectos de materiales en la imagen de rayos X				x
Uso de agentes de contraste en el modelo de vaso sanguíneo			x	
Medición y orientación de los objetos (implante) en la imagen de rayos X			x	x
Potencia de la resolución de una imagen de rayos X	x	x	x	x
Efecto de la alta tensión en contraste e intensidad de la imagen de rayos X	x		x	x



Se mide la imagen de rayos X directamente en la computadora. De esta manera, se puede determinar el tamaño del clavo en el modelo de implante.



Gracias al sensor de imagen de rayos X, la resolución de imagen y número de escalas de grises cumple con las expectativas más altas.

## EXPERIMENTOS PROFESIONALES

### Equipamiento usual

554 800	Aparato de rayos X
554 866	Tubo de Au de rayos X
554 828	Sensor de imagen de rayos X
554 829	Rieles de precisión del sensor de imagen de rayos X

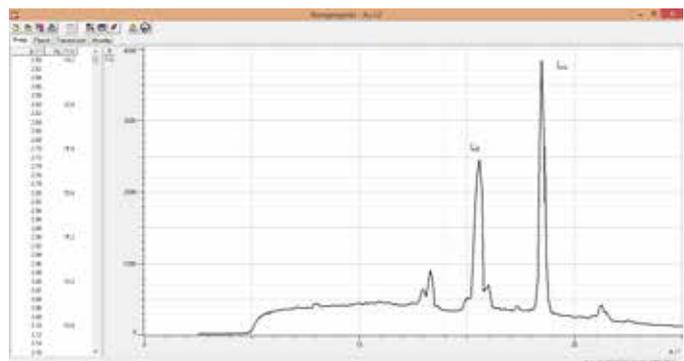
EXPERIMENTOS	FÍSICA	BIO	MED	IMAT
Ennegrecimiento de películas mediante radiación de rayos X	x		x	x
Principios básicos de imágenes de rayos X		x	x	
Control de calidad, punto de fractura, defectos de materiales en la imagen de rayos X				x
Determinación de coeficientes de atenuación	x		x	
Uso de agentes de contraste en el modelo de vaso sanguíneo			x	
Medición y orientación de los objetos (implante) en la imagen de rayos X			x	x
Potencia de la resolución de una imagen de rayos X	x	x	x	x
Efecto del alto voltaje en contraste e intensidad de la imagen de rayos X	x		x	x
Impacto de la resistencia del haz de radiación de rayos X en la imagen de rayos X	x		x	

# REFLEXIÓN DE BRAGG

Para el registro de un espectro de Bragg, se gira un monocristal en un haz de rayos de X colimado. El aparato de rayos X registra automáticamente la tasa de conteo para cada doble ángulo de incidencia detrás del monocristal.



## EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES



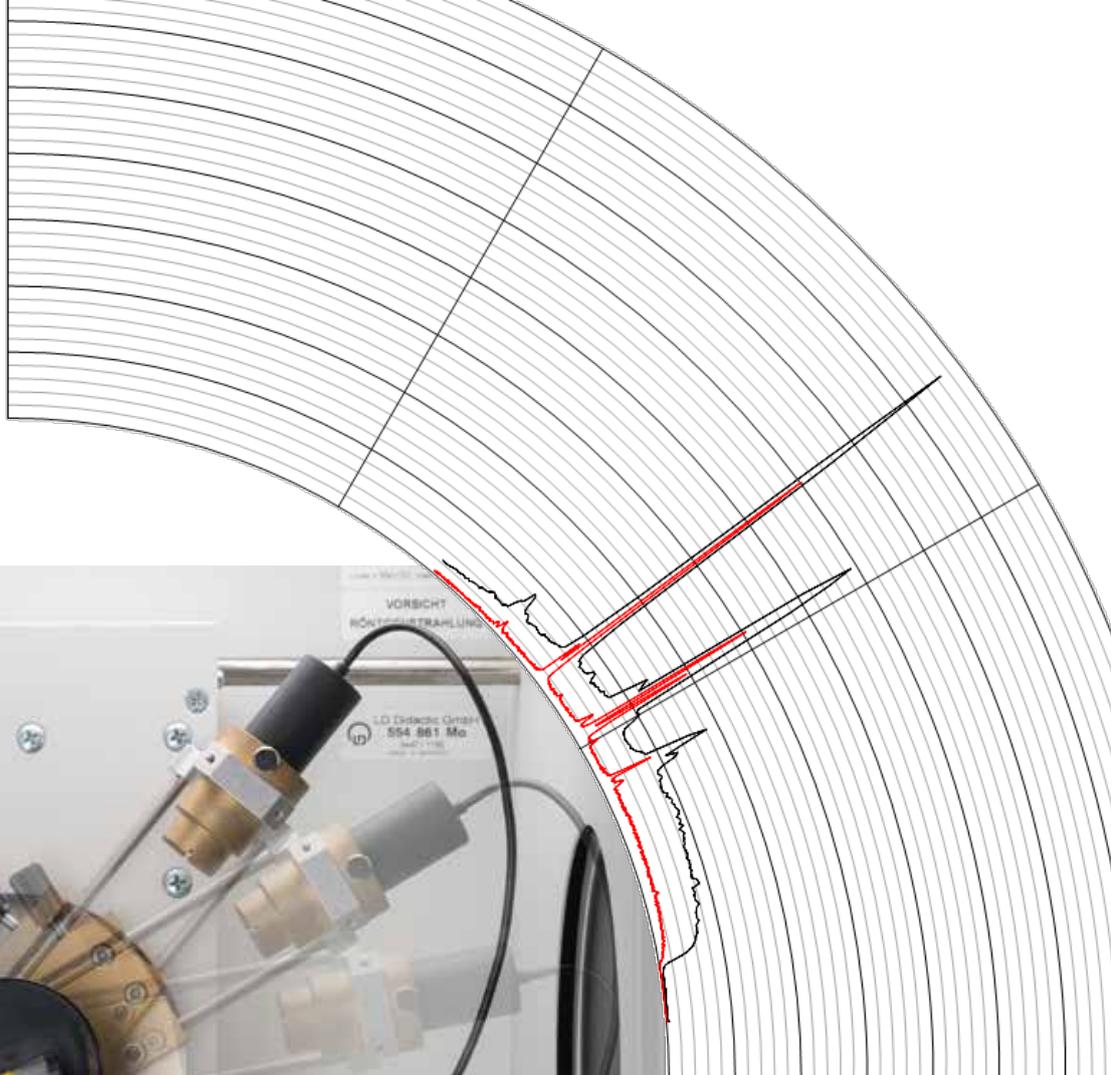
Espectro de Au con monocristal LiF en resolución normal.

### Equipamiento usual

554 801	Aparato de rayos X, Mo, completo
559 01	Tubo contador con ventanilla
554 77	Cristal LiF para la reflexión de Bragg

EXPERIMENTOS	FÍSICA	BIO	QUI/MIN	MED
Difracción de varios monocristales (espectro de bremsstrahlung)	x		x	
Comparación de espectros de varios materiales anódicos	x		x	
Efecto de un filtro en el espectro de energía de un tubo de rayos X (resistencia a la radiación de rayos X)	x			x
Ley de Moseley + Constantes de Rydberg (mediante bordes K)	x			
Ley de Duane-Hunt	x			

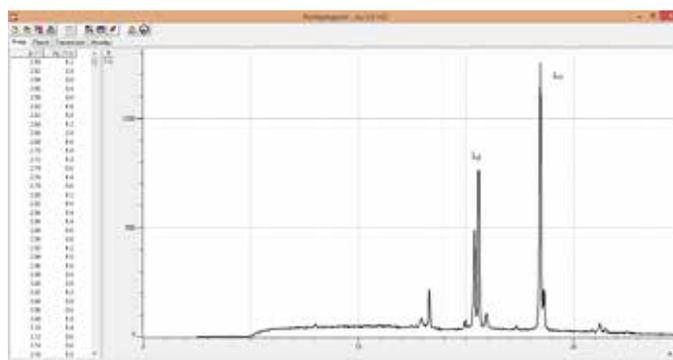
Espectro de Au con monocristal LiF mostrado con ángulos similares. Se capturó el espectro rojo usando el accesorio HD.



## EXPERIMENTOS PROFESIONALES

### Equipamiento usual

554 801	Aparato de rayos X, Mo, completo
559 01	Tubo contador con ventanilla
554 77	Cristal LiF para la reflexión de Bragg
554 835	Accesorio HD, rayos X



Espectro de Au con monocristales LiF de alta resolución. La división estructural de las líneas  $L_{\alpha}$ -y  $L_{\beta}$ -ya es visible en el primer orden.

EXPERIMENTOS	FÍSICA	BIO	QUÍMICA	MED
Difracción de varios monocristales (espectro de bremsstrahlung)	x	x		
Comparación de espectros de varios materiales anódicos	x	x		
Efecto de un filtro en el espectro de energía de un tubo de rayos X (resistencia a la radiación de rayos X)	x			x
Análisis de la estructura fina de materiales anódicos	x			

# DIAGRAMAS DE LAUE

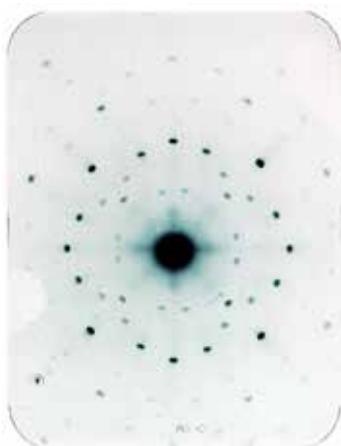
La estructura reticular espacial de las sustancias cristalinas se comprobó por primera vez mediante diagramas de Laue en 1912. Para ello, se introduce un cristal en un haz de rayos X colimado y se controlan sus reflejos discretos.

La intensidad de estos reflejos discretos es muy pequeña.

Si se utiliza una película de rayos X para exponer los reflejos, se requiere un tiempo de exposición de aproxi-

madamente una hora y los reflejos deben medirse manualmente, después del revelado de la película (EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES).

Cuando se utiliza el sensor de imagen de rayos X, no se necesita la película de rayos X y los reflejos pueden detectarse directamente en el ordenador después de un tiempo de exposición de aproximadamente un minuto y medirse con precisión con el ratón (EXPERIMENTOS PROFESIONALES).



Diagramas de Laue de NaCl en película de rayos X (tiempo de exposición de 100 min.).



Creación de un diagrama de Laue en una película de rayos X.

## EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES

### Equipamiento usual

554 800	Aparato de rayos X
554 861	Tubo de Mo de rayos X
554 838	Portapelículas de rayos X
554 895	Película de rayos X
554 87	Cristal LiF para diagramas de Laue
554 88	Cristal NaCl para diagramas de Laue

EXPERIMENTOS	FÍSICA	QUI/MIN
Investigación de la estructura reticular de sustancias con una película de rayos X	x	x
Diagramas de Debye-Scherrer	x	x



El sensor de imagen de rayos X es lo suficientemente sensible para exponer los reflejos discretos detrás de un cristal. El orden cero está protegido por una placa de metal.



Creación rápida del diagrama de Laue con sensor de imagen de rayos X.

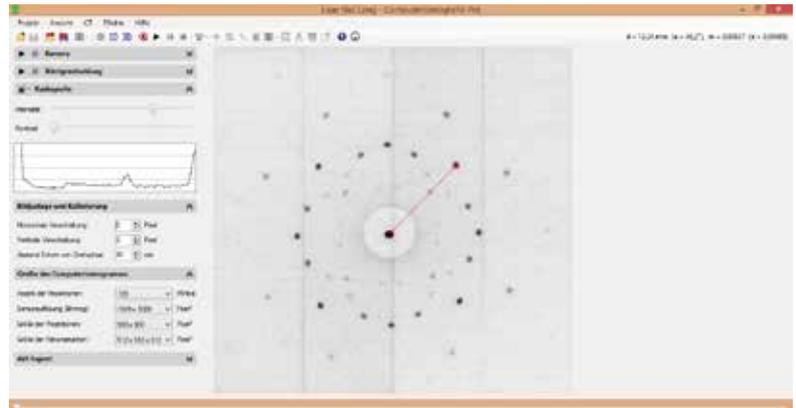


Diagrama digital de Laue de NaCl (tiempo de exposición de 1 min.) con medición de ángulo y distancias entre reflejos seleccionables. El orden cero estaba protegido por una placa de metal.

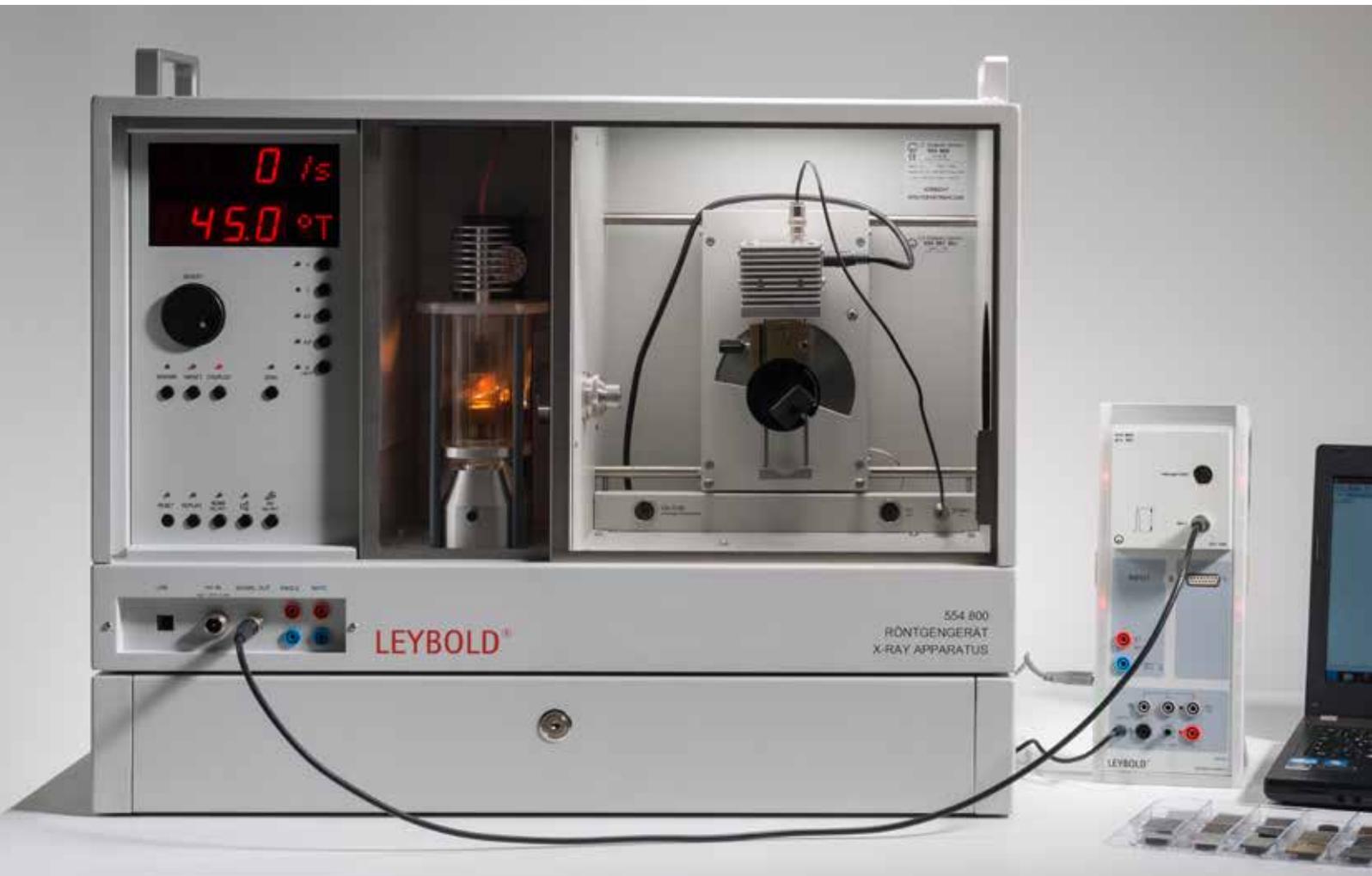
## EXPERIMENTOS PROFESIONALES

### Equipamiento usual

554 800	Aparato de rayos X
554 866	Tubo de rayos X, Au
554 828	Sensor de imagen de rayos X
554 829	Rieles de precisión para sensor de imagen de rayos X
554 8381	Colimador estenopeico con cristales Laue

EXPERIMENTOS	FÍSICA	QUÍMICA
Investigación rápida de redes cristalinas mediante diagramas de Laue digitales	x	x
Análisis de diagramas digitales de Laue	x	x

# ESPECTRO DE ENERGÍA DE RAYOS X

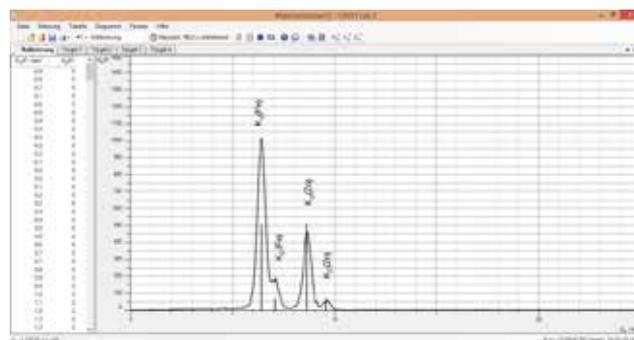


El detector de energía de rayos X captura el espectro de rayos X. De esta manera, se puede determinar fácilmente la energía que emite el tubo de rayos X.

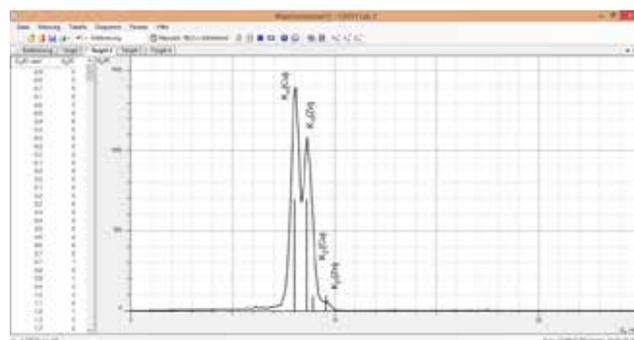
Un uso importante del espectro de energía de rayos X es el análisis de fluorescencia de rayos X para la examinación de material. Cuando se irradia la muestra a examinar con fotones de rayos X, se emiten las características líneas de rayos X, cuya energía depende del número atómico del elemento del material de muestra.

Si la muestra constituye un compuesto químico o una mezcla, su espectro de fluorescencia de rayos X es también más complejo. En una buena aproximación, el espectro de fluorescencia de rayos X de un componente químico son una superposición del espectro de sus componentes.

El haz de rayos X primario del tubo incide en el objetivo a examinar. Se mide el haz de rayos X característico de la muestra fluorescente bajo un ángulo de 90° y se registra con un CASSY como un espectro de fluorescencia de rayos X.



El espectro de fluorescencia de rayos X de una chapa de acero galvanizada.



El espectro de fluorescencia de rayos X muestra componentes de latón CuZn36. Al comparar las intensidades del cobre puro y zinc, se pueden determinar también las fracciones de masa (en este caso 64% Cu y 36% Zn).



## EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES

EXPERIMENTOS	FÍSICA	BIO	QUÍMICA	MAT
Análisis de fluorescencia de rayos X en el medioambiente		x	x	
Detección de elementos químicos en alimentos		x	x	
Comparación de espectro de energía de materiales anódicos	x		x	
Fluorescencia de líneas K y L de metales	x		x	x
Investigación no destructiva de la composición química de los objetos (análisis de fluorescencia de rayos X)	x		x	x
Ley de Moseley + Constantes de Rydberg (análisis de fluorescencia de rayos X)	x			
Efecto Compton	x			
Análisis de rocas geológicas			x	
Examinación del depósito de minerales			x	
Examinación de plásticos coloridos				x

### Equipamiento usual

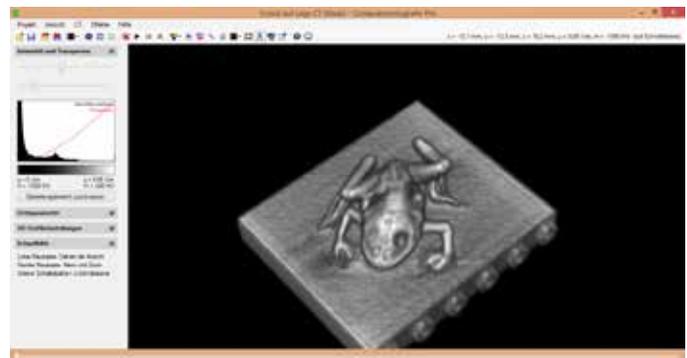
554 801	Aparato de rayos X, Mo, completo
559 938	Detector de energía de rayos X
554 844	Juego de muestras para fluorescencia de líneas K
554 846	Juego de muestras para fluorescencia de líneas L
554 848	Juego de aleaciones de muestras
501 02	Cable BNC, 1 m
524 058	MCA box Caja MCA
	CASSY

# TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

La cámara en el módulo de tomografía computarizada captura las imágenes, mientras que la pantalla fluorescente muestra las imágenes de rayos X.

Al seleccionar el sensor de imagen, tiene la opción de escoger entre la variante FUNDAMENTAL y la PROFESIONAL.

La variante FUNDAMENTAL convence con su configuración didáctica: La imagen de rayos X es visible en la pantalla fluorescente, se captura mediante una cámara y se transmite a la PC. En la solución PROFESIONAL, esta imagen intermedia se forma en el sensor y se digitaliza con una resolución mayor.



La rana tiene una longitud promedio de 3.5 cm y se ha reconstruido mediante el módulo de tomografía computarizada con una resolución de alrededor de 0.3 mm.

## EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES

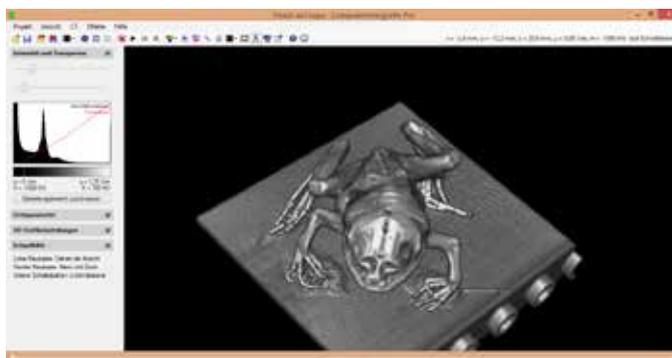
### Equipamiento usual

554 800	Aparato de rayos X
554 831	Goniómetro
554 866	Tubo de Au de rayos X
554 821	Módulo de tomografía computarizada
554 825	Adaptador LEGO

EXPERIMENTOS	FÍSICA	BIO	MED	MAT
Captura y visualización de un escaneo de tomografía computarizada	x	x	x	x
Desarrollo de la reconstrucción de imágenes seccionales en 3D y 2D para la tomografía computarizada	x	x	x	x
Visualización del algoritmo de una tomografía computarizada	x	x	x	x
Potencia de la resolución de un escaneo de tomografía computarizada	x	x	x	x
Resistencia a la radiación y otros artefactos	x		x	
Medición de los coeficientes de absorción	x			
Determinación de las unidades Hounsfield			x	

ras que la rana gira

Mientras la rana gira delante del sensor de imagen de rayos X, el software evalúa la tomografía computarizada en tiempo real.



La misma rana registrada por el sensor de imágenes de rayos X muestra en la vista 3D muchos más detalles gracias a la alta resolución de hasta 0,05 mm. Por supuesto, esto también se aplica a las imágenes seccionales 2D.

## EXPERIMENTOS PROFESIONALES

### Equipamiento usual

554 800	Aparato de rayos X
554 831	Goniómetro
554 866	Tubo de Au de rayos X
554 820P	Paquete Pro de tomografía computarizada

EXPERIMENTOS	FÍSICA	BIO	MED	MAT
Captura y visualización de un escaneo de tomografía computarizada	x	x	x	x
Desarrollo de la reconstrucción de imágenes seccionales en 3D y 2D para la tomografía computarizada	x	x	x	x
Visualización del algoritmo de una tomografía computarizada	x	x	x	x
Potencia de la resolución de un escaneo de tomografía computarizada	x	x	x	x
Resistencia a la radiación y otros artefactos	x		x	
Medición de los coeficientes de absorción	x			
Determinación de las unidades Hounsfield			x	
Impacto de la resistencia del haz de radiación de rayos X	x		x	

FÍSICA

QUÍMICA  
BIOLOGÍA

INGENIERÍA



# CONTACTO

121109 11.2023 LD  
Sujeto a modificaciones técnicas.

LD DIDACTIC GmbH  
Leyboldstrasse 1  
D-50354 Huerth  
Germany

Teléfono: +49 2233 604 0  
EMail: [info@ld-didactic.de](mailto:info@ld-didactic.de)

[WWW.LD-DIDACTIC.COM](http://WWW.LD-DIDACTIC.COM)  
[WWW.LEYBOLD-SHOP.COM](http://WWW.LEYBOLD-SHOP.COM)



BRANDS OF THE LD DIDACTIC GROUP

LEYBOLD® Feedback ELWE®  
TECHNIK