



ANALIZADOR DE CATALIZADORES

BELCAT II

**Acceda a la caracterización de catalizadores más avanzada con el BELCAT II. El rendimiento de los catalizadores sólidos se define por las propiedades específicas de la superficie, pues factores como la naturaleza y la distribución de los puntos activos, la acidez, la basicidad, el comportamiento redox, la estructura electrónica y la morfología de la superficie desempeñan un papel fundamental en la determinación de la actividad catalítica, la selectividad y la estabilidad.**

El BELCAT II ofrece un análisis preciso de las tasas de dispersión de metales, las áreas superficiales de los metales y el tamaño medio de partículas en soportes catalíticos de metales preciosos, lo que ayuda a los investigadores a mejorar el rendimiento del catalizador y reducir los costes. Además de proporcionar mediciones del área superficial específica (BET) y la cinética de adsorción, el BELCAT II determina la capacidad de adsorción mediante el análisis de la curva de ruptura. Estos datos son esenciales para desarrollar materiales adsorbentes innovadores. Al ser un analizador integral de catalizadores, todas las funciones se combinan en un solo dispositivo, ofreciendo así una gran aplicabilidad y personalización para respaldar distintos objetivos de investigación y desarrollo.



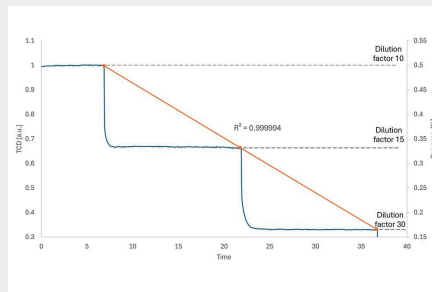
ANALIZADOR MULTIFUNCIÓN, TOTALMENTE AUTOMÁTICO Y TODO EN UNO

## ¿POR QUÉ EL BELCAT II?

Descubra las excelentes capacidades del instrumento BELCAT II. A continuación, presentamos una lista de sus prestaciones principales, diseñadas para proporcionar un análisis de catalizadores integral y fiable, a la vez que ofrecen versatilidad para adaptarse a diversos requisitos de investigación y desarrollo.

### Diseño multifunción de la dosificación de gas

El colector de gas multilínea integrado conecta a la vez hasta ocho gases diferentes, incluidos dos tipos de gas corrosivo, que se distribuyen internamente por todo el sistema. Este diseño inteligente permite hacer una mezcla controlada por software y generar con precisión mezclas de gases personalizadas directamente en la unidad. Estas mezclas se pueden utilizar durante el pretratamiento de las muestras, el análisis, las operaciones del circuito de impulsos y la calibración automatizada. Al no haber necesidad de gases premezclados y minimizarse el uso de tuberías externas, el sistema mejora la eficacia del flujo de trabajo, reduce los costes operativos y disminuye significativamente el riesgo de fugas.



### BELCAT II (multifunción)

### Dispositivo alternativo (una sola función)

Gases de preparación

1: He. 2: N<sub>2</sub>. 3: Ar. 4: H<sub>2</sub>

5 líneas de gas – 1: He, 2: N<sub>2</sub>, 3: O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>, 4: H<sub>2</sub>/Ar, 5: CO/He

Gases de análisis (circuito)

5: CO. 6: O<sub>2</sub>. 7: N<sub>2</sub>O. 8: NH<sub>3</sub>

5 líneas de gas – 1: H<sub>2</sub>, 2: CO, 3: NH<sub>3</sub>/He, 4: O<sub>2</sub>, 5: N<sub>2</sub>O

Gases portadores

1: He. 2: N<sub>2</sub>. 3: Ar

3 líneas de gas – 1: He, 2: N<sub>2</sub>, 3: Ar

Total

Se requieren 8 líneas de gas para preparar las mismas mezclas de gas

Se requieren 5 líneas de gas



## Control superior de la temperatura

Calentamiento y refrigeración rápidos con un horno compacto y dividido diseñado para ofrecer un alto rendimiento. La velocidad de calentamiento llega hasta los 110 °C/min entre 50 y 500 °C, o a los 80 °C/min entre 50 y 1000 °C, con una temperatura máxima de funcionamiento de 1100 °C. El sistema de refrigeración integrado por ventilador reduce los tiempos de respuesta, bajando la temperatura de 400 a 50 °C en tan solo 30 minutos. De este modo se mejora el procesamiento de muestras y se minimiza el tiempo de inactividad. Para aplicaciones subambientales avanzadas, la unidad criogénica opcional CATCryo II ofrece una refrigeración excepcional de hasta -120 °C. Establece nuevos estándares en gestión térmica con una refrigeración de 800 a 30 °C en tan solo 10 minutos, lo que abre nuevas posibilidades en la investigación de la adsorción, la caracterización de materiales y los experimentos con control de precisión.

## Medidas de seguridad excepcionales

Dispone de una puerta de seguridad con bloqueo automático, protección contra sobrecalentamiento, apagado automático, alarmas integradas y detección opcional de gases para el más elevado nivel de seguridad operativa. El colector de zeolita incluido, para eliminar la humedad en los experimentos de reducción a temperatura programada (TPR), elimina la necesidad de aplicar nitrógeno líquido.

## Diseño con celda de muestra triple

Su moderno diseño garantiza un precalentamiento eficiente del gas y maximiza el rendimiento en flujos de trabajo exigentes. El diseño cilíndrico del tubo facilita el manejo y mejora la seguridad al no presentar tensión y ser menos propenso a roturas.



## Diseño modular con capacidad de ampliación

Su diseño innovador permite ampliar el instrumento a demanda directamente en las instalaciones. Su estructura ampliable facilita la integración de una unidad de dosificación de vapor, un módulo externo de mezclado de gases y una unidad criogénica opcional para estudios de adsorción mejorados y una refrigeración acelerada.



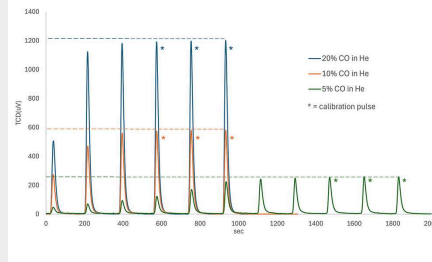
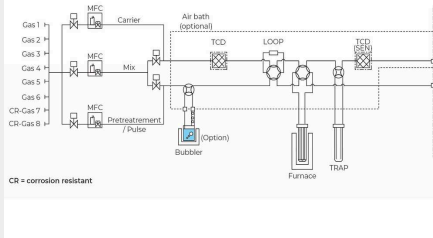
## Configuración versátil de las condiciones de medición

El modo de medición secuencial permite combinar de manera impecable métodos termoquímicos con pasos de ensayos de catalizadores en un solo flujo de trabajo.



## Diseño pequeño y compacto del instrumento

Su diseño compacto y eficiente (500 mm de ancho x 500 mm de profundidad) encaja fácilmente en cualquier laboratorio.



## Diseño pensando en la precisión

Instrumento especializado, diseñado específicamente para analizar la quimisorción por impulsos y los métodos de temperatura programada, con un volumen muerto reducido para conseguir una precisión excepcional. Equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) de alto rendimiento con control de temperatura y circuitos avanzados, la relación entre señal y ruido de este dispositivo es inigualable en las mediciones más sensibles.

## Quimisorción por impulsos con total confianza

Con volumen calibrado y sensores específicos de presión y temperatura, cada dosis supera las expectativas. El sistema integrado de mezcla de gases genera mezclas de gases personalizadas a demanda, sin necesidad de circuitos de inyección adicionales y garantizando unos flujos de trabajo fluidos y eficientes.

ANALIZADOR DE CATALIZADORES BELCAT II

**OPCIONES**



Unidad de dosificación de vapor

Formado por un termostato de aire, un borbotador, un calentador y un condensador. El condensador elimina el exceso de vapor. El proceso de dos etapas garantiza una dosificación precisa del vapor a concentraciones estables.

Unidad externa de mezclado de gases

Permite mezclar tres o más gases. Se pueden instalar hasta seis líneas en una unidad. Admite gases corrosivos.

Horno eléctrico de baja temperatura / CATCryo II

Al pulverizar nitrógeno líquido, la temperatura de la muestra se puede controlar continuamente a partir  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se mejora la capacidad de refrigeración gracias a su estructura interna óptima y se reduce drásticamente el consumo de nitrógeno líquido.

Analizador online de gas / BELMASS II

El espectrómetro de masas cuadrupolar sistematizado BELMASS II se puede conectar al

BELCAT II. Se pueden medir varios componentes de gases con alta precisión cuantitativa mientras está conectado al software BELCAT II. Ideal para experimentos exigentes, como las reacciones catalíticas.

## Sistema de medición AIRGUARD

Los materiales funcionales pueden reaccionar a la humedad y al oxígeno del aire, provocando cambios estructurales y posiblemente generando gases corrosivos. La nueva solución AIRGUARD, desarrollada por Microtrac, permite manipular muestras de forma segura sin que entren en contacto con el aire.

## Evaluación del rendimiento de separación de gases mixtos

Para aplicaciones DAC, CCUS y CCS, el sistema permite medir la curva de ruptura con múltiples componentes gaseosos, como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, que pueden analizarse con sensores detectores específicos que ofrecen una alta estabilidad y repetibilidad.

Opciones: Sondas de

- CO<sub>2</sub>Sondas de
- CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O

ANALIZADOR DE CATALIZADORES BELCAT II

**APLICACIONES TÍPICAS**



*Catalizadores*



*materiales para baterías*



*cemento*

- | materiales para baterías
- | CCUS
- | carbono
- | zeolita

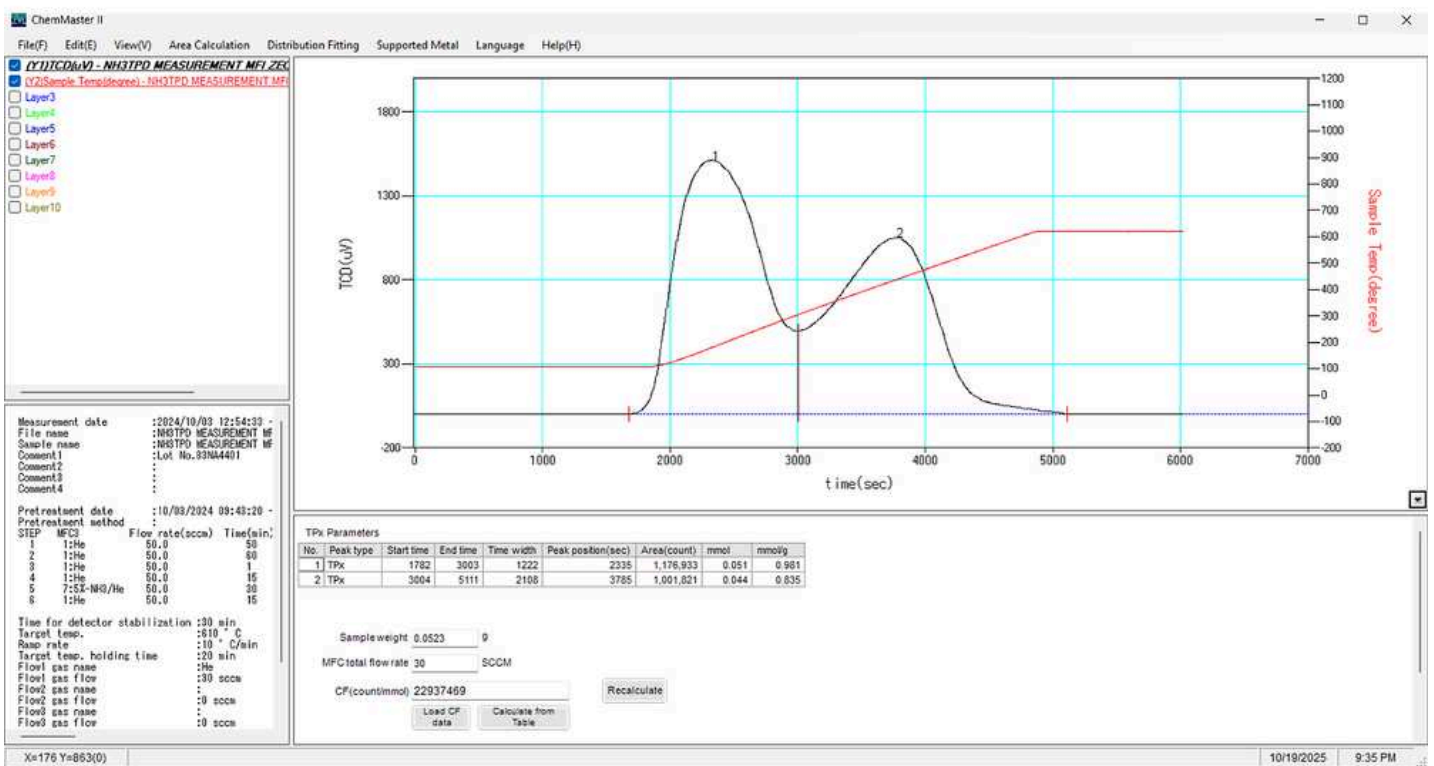
- | cemento
- | cerámica
- | Pila de combustible
- | gas separation

- | MOF / PCP
- | petrochemistry

... ¡y muchos más!

ANALIZADOR DE CATALIZADORES BELCAT II  
**EJEMPLOS DE MEDICIÓN**

Resultado de la medición por TPD de NH<sub>3</sub> en zeolita de tipo MFI



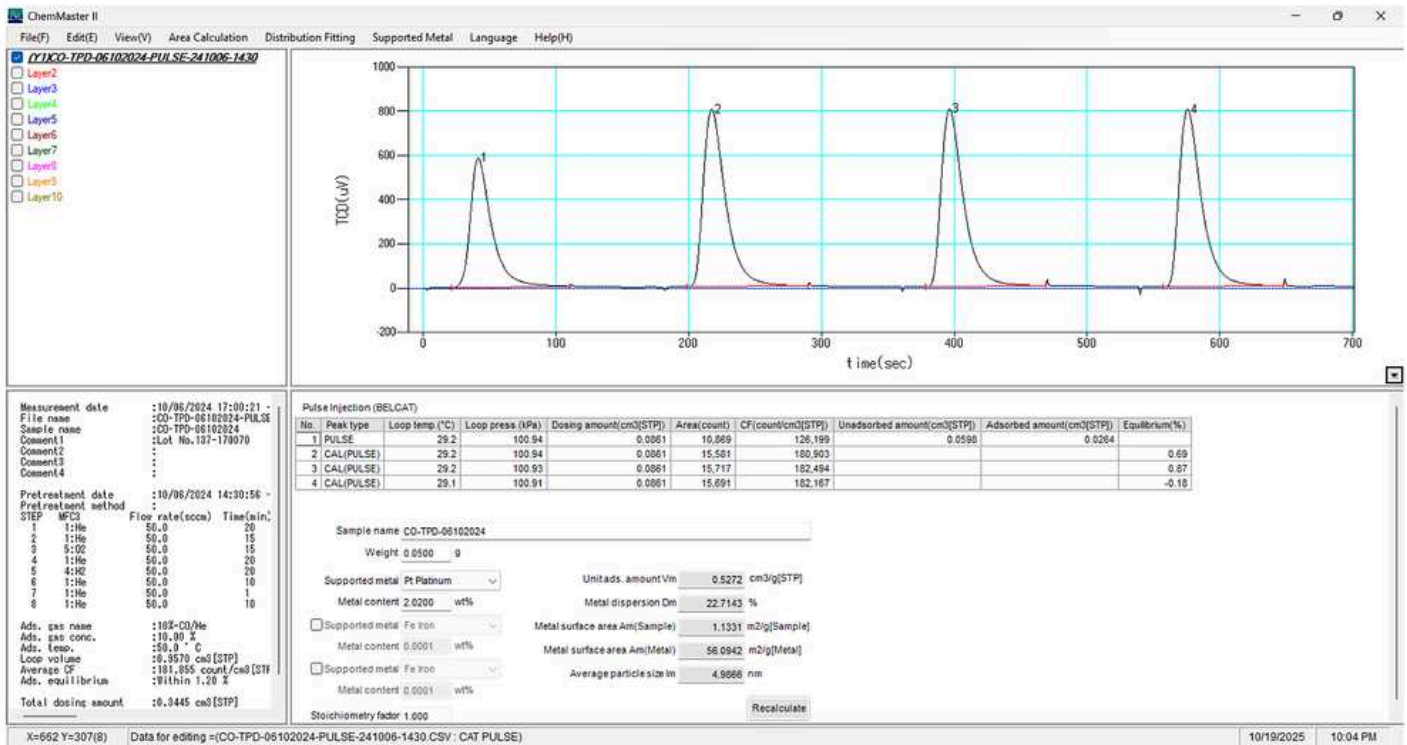
Cantidad de desorción: 0,835 mmol/g (2 = valor pico de H); temperatura pico: 440 °C.

Resultado de la medición por TPD de NH<sub>3</sub> en zeolita de tipo MFI



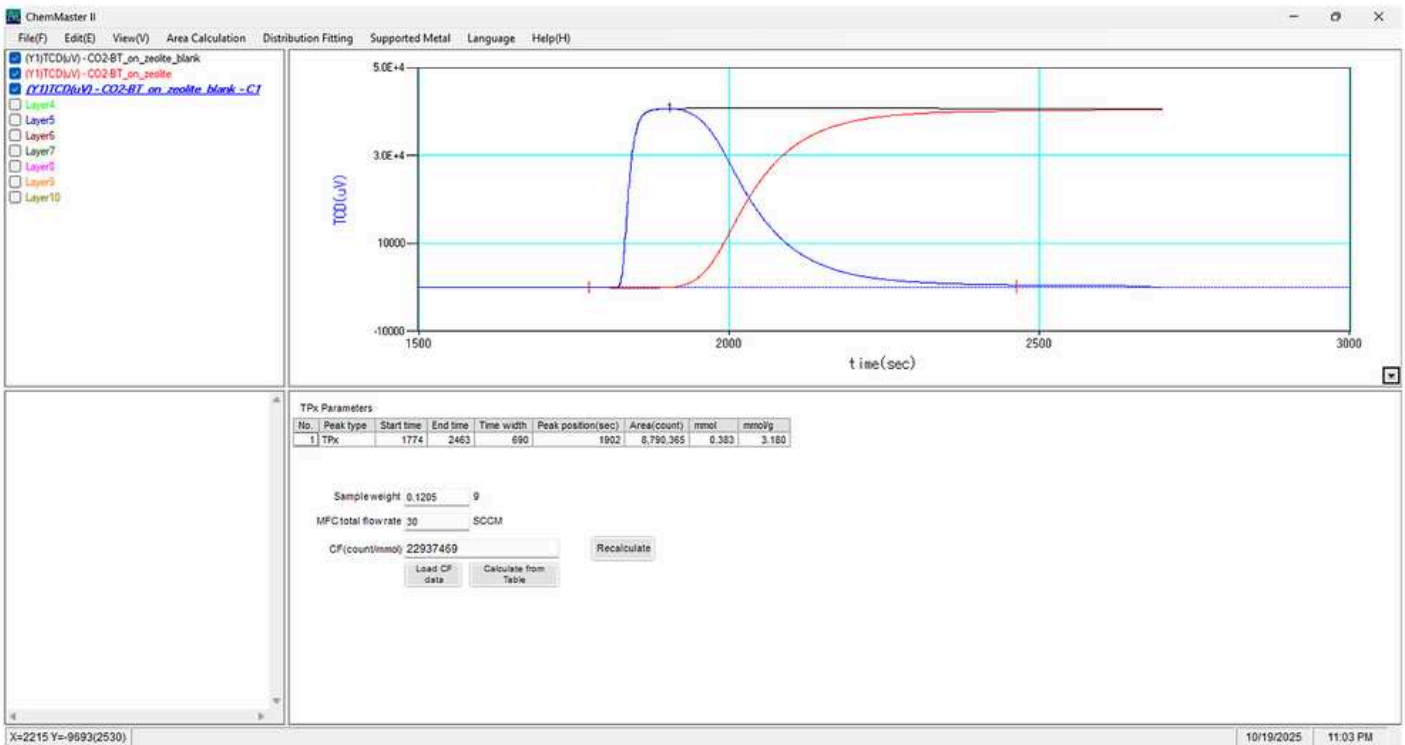
Conversión práctica de datos basados en el tiempo a perfiles dependientes de la temperatura

Tasa de dispersión del metal Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por impulsos de CO



Cantidad de desorción: 0,527 cm<sup>3</sup>/g; tasa de dispersión del metal: 22,7 %; área superficial del metal: 1,13 m<sup>2</sup>/g; tamaño de partículas de metal: 4,99 nm. Corrección totalmente automatizada de los valores de partida e integración de impulsos para una evaluación de datos sencilla.

## Medición de la curva de ruptura de adsorción de CO<sub>2</sub>



Cantidad de CO<sub>2</sub> adsorbida: 3,18 mmol/g. Medición en blanco (curva negra), experimento de la curva de ruptura de adsorción (curva roja) y diferencias calculadas como cantidad adsorbida (curva azul). La combinación con el BELMASS II permite analizar la curva de ruptura de múltiples componentes.

ANALIZADOR DE CATALIZADORES BELCAT II

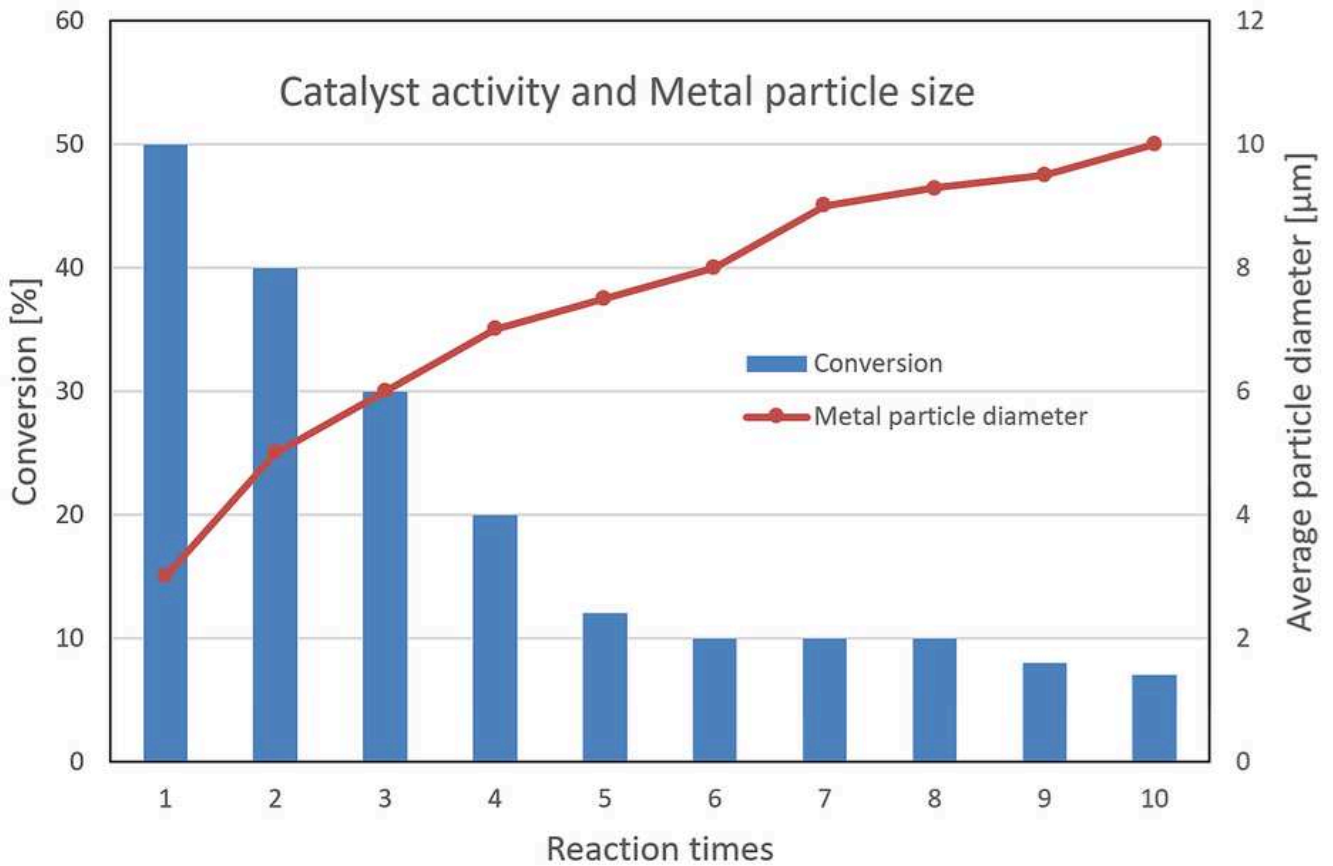
**SOFTWARE**

El software intuitivo tiene infinidad de potentes prestaciones que mejoran la productividad del operador. La avanzada plataforma del BELCAT II, perfeccionada a lo largo de muchos años, permite ejecutar mediciones complejas de manera sencilla, al tiempo que garantiza unos resultados fiables y reproducibles con toda una serie de funciones sofisticadas.

- | Software de medición de fácil manejo
- | Ajuste automático del punto cero
- | Modo de medición secuencial
- | Alta fiabilidad con calibración multipunto programable
- | Software de análisis de la forma de onda
- | Software de vinculación a BELMASS II (opcional)
- | Función de análisis de quimisorción por impulsos



Vista de medición en el BELCAT II



Resultado de las mediciones secuenciales



Vista de deconvolución de la forma de onda



Vista de medición en el BELMASS II

## ANALIZADOR DE CATALIZADORES BELCAT II

### SOFTWARE SPECIFICATIONS

Función de medición de fácil manejo

Las pestañas específicas de los análisis estándar (TPR, TPD, TPO y BET) facilitan la programación y el control en tiempo real del estado de funcionamiento, los gráficos del TCD, la temperatura y los caudales.

Ajuste automático del punto cero del TCD

El ajuste automático del punto cero del TCD garantiza unas referencias uniformes para una comparación fiable de datos y mediciones continuas precisas con diferentes gases portadores.

## Modo de medición secuencial

El modo de medición secuencial automatiza la caracterización del catalizador haciendo una serie de mediciones independientes en un orden definido, lo que permite realizar un análisis sistemático sin intervención del usuario.

## Calibración automática multipunto de alta fiabilidad

La calibración automática multipunto se ejecuta después de las mediciones de TPD o TPR utilizando los controladores de flujo másico (MFC) del instrumento para generar diversas concentraciones de gas.

## Software de análisis de la forma de onda

El software de análisis permite obtener una fácil evaluación de los datos con el cálculo automático del área pico, la superposición del espectro para su comparación, la deconvolución de la forma de onda para separar los picos y las herramientas de análisis adicionales para un procesamiento de lo más práctico.

ANALIZADOR DE CATALIZADORES BELCAT II

## **CONCEPTOS BÁSICOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE CATALIZADORES**

### **Medición de impulsos**

La tasa de dispersión del metal es un parámetro crítico en los catalizadores heterogéneos. Hace referencia a la proporción de átomos metálicos expuestos en la superficie de un catalizador, en relación con el número total de átomos metálicos presentes (a menudo expresado en porcentaje). La dispersión metálica se puede calcular mediante quimisorción por impulsos utilizando gases como CO o H<sub>2</sub>, que se pueden adsorber por quimisorción en la superficie metálica de manera selectiva. Esto se consigue inyectando continuamente una cantidad específica de gas en la muestra hasta alcanzar la saturación. La medición por impulsos determina la cantidad absorbida por quimisorción, tomando como referencia los picos saturados. La diferencia en las áreas de los picos entre el estado saturado y el insaturado indica la cantidad adsorbida. La tasa de dispersión metálica es fundamental para evaluar, optimizar y comprender el rendimiento y la durabilidad de los catalizadores metálicos.

### **Medición de desorción a temperatura programada (TPD)**

Este método sirve para examinar las características de adsorción química en superficies sólidas, y suele representarse en un espectro con la temperatura indicada como coordenada «x» y la concentración de gas desorbido como coordenada «y». Al aumentar la temperatura de la muestra de manera progresiva y detectar el gas desorbido, es posible determinar la

cantidad e intensidad de los puntos de adsorción energéticamente distintos. Normalmente, la TPD de  $\text{NH}_3$  se utiliza para evaluar los puntos ácidos de los catalizadores sólido-ácido, mientras que la TPD de  $\text{CO}_2$  suele emplearse para evaluar los puntos básicos de los catalizadores sólido-básico. Además, la TPD de  $\text{CO}$  y normalmente la TPD de  $\text{H}_2$  se aplican para caracterizar los centros metálicos activos.

## **Oxidación a TP (TPO)/reducción a TP (TPR) y reacción a TP (TPX)**

La TPR, TPO, TPX y TPSR (reacciones en la superficie) son técnicas eficaces para analizar la reactividad de los catalizadores sólidos. Estos métodos implican un aumento gradual de la temperatura de la muestra mientras se controla el consumo de reactivos o la formación de productos, que suelen representarse en una gráfica con la temperatura en el eje «x» y la intensidad de la señal en el eje «y». Este planteamiento permite observar continuamente el comportamiento redox y la dinámica de la reacción, revelando propiedades fundamentales como la temperatura de reducción, el potencial de oxidación y los pasos de la reacción. En concreto, la TPSR permite investigar directamente las reacciones en la superficie en mezclas de gases reactivos, lo que aporta información sobre los mecanismos de reacción y los tipos intermedios. Las aplicaciones habituales de estas técnicas incluyen las reacciones de oxidación/hidrogenación, la química de desplazamiento y los procesos de reformado.

### **Técnicas a temperatura programada**

- | Reducción a temperatura programada (TPR): caracterización de la reducibilidad y la interacción de los óxidos metálicos y los soportes catalíticos en rampas de temperatura con gases reductores.
- | Oxidación a temperatura programada (TPO): evaluación de los estados de oxidación, sedimentación de coque y reactividad mediante la exposición programada a gases oxidantes.
- | Reacción a temperatura programada (TPX): estudio de reacciones catalíticas en programas de temperatura variables para simular las condiciones de funcionamiento.
- | Reacciones en la superficie a temperatura programada (TPSR): permite llevar un control preciso de las reacciones catalíticas en la superficie en función de la temperatura, lo que aporta información valiosa sobre los mecanismos de reacción, la actividad del catalizador y la selectividad mediante el análisis integrado de gases en tiempo real.

## Medición de la curva de ruptura de adsorción

La curva de ruptura describe la concentración de un adsorbato que pasa por una columna de adsorción a lo largo del tiempo. Es una herramienta básica para comprender la forma en que el material adsorbente captura uno o más componentes de una mezcla de gases a su paso por la columna.

1. Fase inicial: el adsorbente captura eficazmente el adsorbible, manteniendo baja la concentración del adsorbible restante.
2. Punto de ruptura: la concentración de adsorbible en el efluente comienza a aumentar de manera significativa, lo que indica que el adsorbente se está saturando y su captura es menos eficaz.
3. Fase de equilibrio: la concentración de adsorbible en el efluente se iguala a la concentración del influente a medida que el adsorbente se satura por completo.

## Análisis del área superficial específica BET

El área superficial específica, definida como el área superficial total por unidad de masa seca de un sólido, es un parámetro relevante en la caracterización de catalizadores. Se puede determinar por el método BET al medir la cantidad de gas (p. ej., nitrógeno) desorbido después de enfriar la muestra a la temperatura del nitrógeno líquido bajo un flujo de gas adsorbible diluido con helio, para posteriormente volver a la temperatura ambiente. Este método no solo puede aplicarse a catalizadores sólidos, también a varias muestras en polvo, como los adsorbentes.

ANALIZADOR DE CATALIZADORES BELCAT II

**DATOS TÉCNICOS**

<b>Método de medición</b>	Método de flujo dinámico
<b>Detector</b>	Detector de conductividad térmica (TCD) de 4 elementos de tipo semidifusión
<b>Puertos de medición/pretratamiento</b>	1
<b>Gases utilizables</b>	He, Ar, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, etc.
<b>Conexiones de puerto de gas: total</b>	8
<b>Conexiones de puerto de gas: línea de gas portador</b>	3 de 8 (líneas no resistentes a la corrosión)
<b>Conexiones de puerto de gas: línea de mezcla</b>	8 de 8 (incluidas 2 líneas resistentes a la corrosión)
<b>Conexiones de puerto de gas: línea de pretratamiento/impulso</b>	8 de 8 (incluidas 2 líneas resistentes a la corrosión)
<b>Controlador de flujo másico: línea de gas portador</b>	F.S. de 100 sccm
<b>Controlador de flujo másico: línea de mezcla</b>	F.S. de 30 sccm
<b>Controlador de flujo másico: línea de pretratamiento/impulso</b>	F.S. de 100 sccm
<b>Horno eléctrico</b>	Temperatura máxima: 1200 °C (1100 °C para uso regular) Enfriamiento rápido: 30 min (400→50 °C) Enfriamiento criogénico: 10 min (800→30 °C) CATCryo II: hasta -120 °C Velocidad de calentamiento: 110 °C/min (50 a 500 °C) / 80 °C/min (50 a 1000 °C)
<b>Inyección de vapor (opcional)</b>	H <sub>2</sub> O, CH <sub>3</sub> OH, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, tolueno, benceno, etc.
<b>Dimensiones (ancho x alto x profundo), peso</b>	500 x 750 x 500 mm, 80 kg
<b>Requisito: gas</b>	Gas de medición: 0,1 MPa (presión manométrica) Aire comprimido: 0,45 a 0,55 MPa (presión manométrica); Unión: conexión Swagelok de 1/8"
<b>Requisito: fuente de alimentación</b>	Monofásica, CA 110/220 V
<b>Certificado CE</b>	Sí

<b>Vapor (opcional): rango de temperatura</b>	Frasco borboteador: Pyrex, 100 CC, 3 a 100 °C, control de temperatura mediante elemento Peltier
<b>CATCryo II (opcional): método de control de temperatura</b>	Pulverizador de LN <sub>2</sub> + calentador
<b>CATCryo II (opcional): rango de temperatura</b>	Rango de temperatura: -120 ~ 1200 °C (1100 °C para uso regular)
<b>CATCryo II (opcional): volumen del depósito de LN2</b>	10 L
<b>Unidad externa de mezcla de gases (opcional): puerto de gas</b>	1 ~ 3 (ampliable hasta un máximo de 3 controladores de flujo másico) Unión: conexión Swagelok de 1/8 pulgadas
<b>Unidad externa de mezcla de gases (opcional): controlador de flujo másico</b>	F.S.: 30 sccm (0,6 ~ 30 sccm (N <sub>2</sub> )) Solo controladores de flujo másico resistentes a la corrosión.

[www.microtrac.es/belcat-ii](http://www.microtrac.es/belcat-ii)