

# Fundamentos de sistemas de medición por coordenadas no cartesianas

Modalidad presencial

## DIRIGIDO A:

Personas usuarias de sistemas de medición por coordenadas no cartesianas (SMCNC) entre los que se incluyen brazos de medición articulados, láser trackers, sistemas ópticos sin contacto como escáneres de mano, de luz estructurada y los escáneres laser terrestres, tomógrafos de rayos X.

## OBJETIVOS:

Este curso tiene como finalidad proporcionar a las personas que participan un entendimiento sólido de los fundamentos básicos de los SMCNC, con énfasis en el modelo matemático que sustenta su operación y la estimación de incertidumbre al utilizar estos equipos. Al finalizar, los usuarios estarán capacitados para:

- Comprender cómo operan sus equipos a partir del modelo matemático que describe su funcionamiento, incluyendo qué parámetros son susceptibles de ser compensados para mejorar la exactitud.
- Garantizar la trazabilidad de las mediciones mediante la estimación de incertidumbres en la medición con los equipos y con la verificación de estos.
- Identificar los ajustes posibles en los instrumentos, comunicarlos al fabricante o implementar técnicas reversibles que reduzcan los errores de estos y por lo tanto se reduzca la incertidumbre en sus resultados de medición.
- El participante podrá saber si los instrumentos son adecuados para las tolerancias dimensionales y geométricas requeridas, tomando en cuenta los errores máximos permisibles especificados por el fabricante y la incertidumbre estimada a partir de dichos errores.

## DESCRIPCIÓN:

Este curso ofrece una capacitación integral sobre los SMCNC, abarcando varios equipos de última generación utilizados en la metrología dimensional con y sin contacto. Para los objetivos de este curso, un SMCNC es cualquier sistema de medición de puntos 3D (X, Y, Z) que no base su funcionamiento en un sistema de coordenadas cartesiano ortogonal como el de una Máquina de Medición por Coordenadas (CMM).

## PRECIO P/PERSONA PARTICIPANTE:

\$10,800.00 más el 16% de IVA.  
(Diez mil ochocientos pesos 00/100 M. N.).

## DURACIÓN Y HORARIO:

Curso de 24 horas.  
3 sesiones de 8 horas cada una, en horario de 09:00 a 17:00 horas (Hora oficial zona centro):  
[https://www.cenam.mx/hora\\_oficial/default2.aspx](https://www.cenam.mx/hora_oficial/default2.aspx)). Incluida 1 hora de comida y 2 recesos por sesión.

## PERSONAS INSTRUCTORAS:

Personal de la Dirección de Dimensional.

# Fundamentos de sistemas de medición por coordenadas no cartesianas

Las personas que participan aprenderán tanto los principios teóricos como las aplicaciones prácticas de los siguientes equipos:

## • **Brazos de Medición por Coordenadas Articulados (ACMM):**

Equipos portátiles que permiten realizar mediciones de alta precisión con y sin contacto en entornos de trabajo dinámicos, proporcionando flexibilidad para mediciones en piezas de gran tamaño o de geometrías complejas.

## • **Láser Trackers (LT):**

Dispositivos altamente precisos que permiten medir puntos por contacto a larga distancia, utilizando tecnología láser para realizar mediciones tridimensionales en tiempo real. Se emplean principalmente en la industria aeroespacial y en aplicaciones de gran escala.

## • **Equipos de Medición sin Contacto:**

### ○ **Sistemas estéreo con un par de cámaras:**

Utiliza dos cámaras para capturar imágenes y calcular las coordenadas de los puntos mediante triangulación, lo que permite realizar mediciones precisas sin o con contacto físico con la pieza.

### ○ **Medición por luz estructurada:**

Emplea patrones de luz proyectados sobre la pieza para capturar su forma 3D con una precisión notable, sin la necesidad de contacto directo. Para ello utiliza una o más cámaras y un proyector.

### ○ **Fotogrametría:**

Técnica que utiliza imágenes fotográficas de alta resolución para obtener las coordenadas 3D de la superficie de un objeto, ideal para aplicaciones en las que el contacto con la pieza no es posible o se debe evitar.

## • **Escáneres Láser Terrestres (TLS):**

Equipos que capturan grandes volúmenes de datos en 3D sin contacto, proporcionando nubes de puntos detalladas de estructuras complejas, como edificios, puentes o entornos industriales, y son ampliamente utilizados en aplicaciones de ingeniería civil, arquitectura, etc.

## • **Breve Descripción de Otros SMCNC:**

Además de los equipos mencionados, se ofrecerá una visión general de otros SMCNC utilizados en diversas industrias, permitiendo a los participantes conocer las opciones disponibles para diferentes aplicaciones de medición. Se destaca el uso de tomografía computarizada de rayos X o tomógrafos de rayos X para metrología dimensional, los laser radar y los iGPS.

# Fundamentos de sistemas de medición por coordenadas no cartesianas

## CONTENIDO:

### 1. Introducción

- Breve Introducción
- Descripción de equipos abarcados en el curso
- Selección de equipo de acuerdo con la incertidumbre requerida
  - Tolerancia vs Incertidumbre
  - Máximo Error Permisible (MPE)
- **Práctica 1: Clasificación y selección de SMCNC**

Objetivo: Identificar el sistema de medición adecuado según requerimientos metrológicos.

Actividad: Se entregan 3-4 casos industriales (aeroespacial, automotriz, civil, laboratorio).

Para cada caso, la persona que participa tendrá: Tolerancias dimensionales y geométricas.

Seleccionar el SMCNC más adecuado.

Justificar la selección considerando exactitud, incertidumbre, volumen de medición y trazabilidad.

Producto: Tabla comparativa y justificación técnica.

### 2. Brazos de Medición por Coordenadas Articulados (ACMM)

- Introducción e historia
- Principales fuentes de error
- Modelo cinemático para medición con ACMM
- Modelos para calibración
- Verificación de ACMM bajo las normas:
  - ASME B89.4.22-2004
  - ISO 10360-12:2016
- Estimación de incertidumbre en las mediciones con ACMM.
- **Práctica 2. Modelo cinemático de un ACMM**

Objetivo: Comprender el modelo matemático de medición.

Actividad: Construcción del modelo cinemático directo de un ACMM de 6 o 7 ejes usando:

Parámetros DH (Denavit-Hartenberg).

Cálculo de coordenadas XYZ a partir de ángulos articulares.

Herramientas: MATLAB / Octave / Excel avanzado.

Producto: Script o hoja de cálculo funcional.

### • **Práctica 3. Estimación de incertidumbre en la medición con ACMM**

Objetivo: Estimar la incertidumbre en la medición de una posición de un barreno con ACMM

Actividad: Definir los factores a tomar en cuenta en la estimación de incertidumbre

Uso de hoja de cálculo con los factores de influencia

Herramientas: Hoja de cálculo en Excel con los factores de influencia

Producto: Medición de posición de barreno con su estimación de incertidumbre

# Fundamentos de sistemas de medición por coordenadas no cartesianas

### 3. Laser Trackers (LT)

- Principio de funcionamiento
- Principales fuentes de error
- Modelo cinemático para medición con LT
- Verificación bajo las normas:
  - ASME B89.4.19-2006
  - ISO 10360-10:2016
- Estimación de incertidumbre en las mediciones con LT
- Práctica 4. Medición de puntos y distancias con técnicas reversibles

Objetivo: Reducir errores en las mediciones con LT

Actividad: Medición de puntos 3D utilizando el promedio front face (FB)/back fase (BF)

Medición de la distancia entre 2 puntos utilizando solo el rango del LT y con técnica reversible de 4 posiciones del LT en combinación con FB/BF

Herramientas: Laser tracker y puntos de referencia con distancia conocida

Producto: Medición de posiciones y distancias utilizando técnicas reversibles con el LT

#### • Práctica 5. Estimación de incertidumbre en la medición con LT

Objetivo: Estimar la incertidumbre en la medición de la distancia entre 2 puntos

Actividad: Definir los factores a tomar en cuenta en la estimación de incertidumbre

Uso de hoja de cálculo con los factores de influencia

Herramientas: Hoja de cálculo en Excel con los factores de influencia

Producto: Medición de la distancia entre los puntos con su estimación de incertidumbre

### 4. Equipos de Medición sin Contacto

- Generalidades
- Equipos de medición con un par de cámaras estereoscópicas y equipos de medición óptica por luz estructurada (EOLE):
  - ¿Qué son y qué pueden hacer?
  - Componentes de un sistema estéreo y de un EOLE
  - Calibración de un sistema estéreo y de un EOLE
  - El modelo "Pin Hole" o colineal
  - Parámetros que se calibran en un sistema estéreo y un EOLE
  - Ejemplo práctico de calibración y medición
  - Factores que afectan la exactitud de un sistema estéreo y de un EOLE
  - Codificación utilizando luz estructurada
  - Parámetros de calibración
  - Efecto de la luz y otros factores

# Fundamentos de sistemas de medición por coordenadas no cartesianas

- **Verificación de un sistema estéreo y de un EOLE utilizando las normas:**

- VDI/VDE 2634 Partes 1, 2 y 3 2002-2008
- ISO 10360-13:2021

- **Equipos de medición por fotogrametría**

- **Principio de trabajo de la fotogrametría**

- **Calibración de un sistema con el software PhotoModeler**

- **Medición utilizando una cámara de celular y el software PhotoModeler**

- **Practica 6: Calibración de cámaras**

Objetivo: Encontrar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de una cámara para la medición por triangulación.

Actividad: Uso de tablero de ajedrez para estimar los parámetros de calibración de una cámara (Parámetros intrínsecos, extrínsecos y de distorsión radial y tangencial)

Evaluación del error de re-proyección

Herramientas: Par de cámaras estéreo y MATLAB o Python

Producto: Parámetros para estimar la posición en 3D de un punto.

- **Practica 7: Fotogrametría con Photomodeler**

Objetivo: Medir la distancia entre dos puntos tomando fotografías con un celular

Actividad: Captura de imágenes con cámara de celular.

Calibración del sistema.

Producto: Medición de la distancia entre dos puntos y su comparación contra su referencia

## 5. Escáneres Láser Terrestres (TLS)

- **Principio de funcionamiento**

- **Principales fuentes de error**

- **Modelo cinemático para medición con TLS**

- **Verificación bajo la norma:**

- ASTM E3125-17:2025

## 6. Descripción Breve de Otros SMCNC

- **Tomógrafos de rayos X**

- **iGPS**

- **Laser Radar**

## REQUISITOS:

- La persona que participa deberá tener un nivel de estudios mínimo de técnica superior, haber tomado algún curso de metrología y estimación de incertidumbres, o bien, tener experiencia relacionada al tema.

# Fundamentos de sistemas de medición por coordenadas no cartesianas

- Deberá contar con laptop o cualquier dispositivo electrónico que permita visualizar el material del curso. Cada participante es responsable de imprimir el material, si así lo requiere.
- Es necesaria la inmersión total en el curso, debiendo permanecer el tiempo programado.

**INCLUYE:**

- Material del curso en formato electrónico.
- Constancia electrónica de participación y/o aprobación.
- Servicio de cafetería (o colación).
- Transporte Querétaro – CENAM – Querétaro:
- [www.cenam.mx/visitante/transportecursos.aspx](http://www.cenam.mx/visitante/transportecursos.aspx)

**NO INCLUYE:**

Servicio de comedor

**SEDE:**

Instalaciones del Centro Nacional de Metrología:

<http://www.cenam.mx/localizacion.aspx>

**MAYORES INFORMES:**

Teléfono: +52 (442) 2110500 ext. 3013, 3005.

Correo electrónico: [educontinua@cenam.mx](mailto:educontinua@cenam.mx)

**CUPO  
LIMITADO**

**INSCRIPCIÓN Y FORMAS DE PAGO:**

[www.cenam.mx/cursos/](http://www.cenam.mx/cursos/)