MATRIZ RECONSTRUIDA Y ANEXO TÉCNICO

REGISTRADOR PENDULAR ARTESANAL DE VIBRACIONES HORIZONTALES

Prototipo didáctico de un eje, inspirado en el principio de inercia de un sismógrafo

COAR SAN MARTÍN • FÍSICA • 3.º DE SECUNDARIA

IDENTIFICACIÓN	DATOS
Actividad	Diseño y construcción de un instrumento de medición - DMpA 29
Equipo	Quinto movimiento
Sección	3.º A
Fecha de la matriz original	12/11/2026
Fecha de esta revisión	14/11/2026

Integrantes

- Moisés Cabrera Casas
- Darwin Diego Aspajo Ceopa
- Dasha Romina Campos Medina
- Kiara Alarcón Carrasco
- Yurisa Hatsumi Abad Muños (verificar la escritura del apellido con la lista oficial)

ESTADO REAL DEL PROYECTO

Esta entrega corrige la propuesta y define un diseño y un protocolo verificables. No acredita que el prototipo esté construido ni que haya superado ensayos. Los resultados, la resolución efectiva y la incertidumbre quedan pendientes de medición.

Documento editable para revisión del equipo y del docente

Control de cambios y alcance técnico

Esta versión conserva el propósito escolar original: construir un instrumento artesanal, económico y de un eje que permita observar y comparar vibraciones horizontales. Se corrigen las partes que impedían interpretar una lectura como medición.

Decisión de reconstrucción	Justificación
Se mantiene el péndulo y la masa inercial.	Es el principio central del proyecto y es físicamente pertinente.
El estilete se fija a la masa, no al soporte.	La señal debe representar el movimiento relativo entre la masa y la estructura.
La tarjeta de registro se fija a la estructura móvil.	La masa y la tarjeta deben tener movimientos relativos medibles.
Se elimina el avance de papel por rodillos en la versión básica.	No existía accionamiento ni control de velocidad. El objetivo escolar puede cumplirse midiendo el ancho de la traza, sin afirmar que se obtiene un sismograma temporal.
Se añade un carro de calibración con manivela y biela.	Permite establecer una carrera de referencia y mantener una frecuencia de excitación aproximadamente constante.
Se reemplaza la incertidumbre fija de ±0,5 mm por una incertidumbre a calcular.	No hay datos que justifiquen ese valor. Se estimará tras las repeticiones y el análisis de lectura.
Se amplía de 3 ensayos en un nivel a 5 ensayos en cada uno de los 3 niveles.	Permite evaluar la repetibilidad en todo el intervalo de trabajo.

LÍMITE DEL ALCANCE

El instrumento propuesto registra el desplazamiento relativo pico a pico en un único eje. No produce una serie temporal completa, no mide la magnitud de un terremoto, no determina epicentros y no sirve para alertas sísmicas. Para generar un sismograma sería necesario añadir un avance de papel de velocidad conocida y una referencia temporal sincronizada.

Cómo interpretar el estado de la información

Etiqueta	Significado en este documento
Definido	Decisión de diseño o procedimiento ya especificado en esta versión.
Propuesto	Parámetro recomendado que debe comprobarse con el prototipo y el docente.
Pendiente de validar	No puede declararse cierto hasta realizar mediciones.
Resultado experimental	Dato obtenido realmente durante un ensayo y registrado en la ficha; nunca se completa por anticipado.

Matriz corregida

1. Título del proyecto

Registrador pendular artesanal de vibraciones horizontales: prototipo didáctico de un eje, inspirado en el principio de inercia de un sismógrafo, para comparar desplazamientos relativos.

2. Problema o necesidad

Las vibraciones horizontales pueden originarse por el tránsito de vehículos, actividades humanas y movimientos sísmicos. Para estudiarlas en el aula se necesita un dispositivo sencillo que permita observar la respuesta de una masa inercial respecto de una estructura móvil y comparar esa respuesta con desplazamientos de referencia conocidos.

El diseño original no definía con precisión la conexión entre el marcador y la masa, ni controlaba la frecuencia del movimiento aplicado. Además, proponía rodillos sin un mecanismo de accionamiento. Por ello, antes de construir el instrumento se delimita su función a medir el ancho de una traza de desplazamiento relativo en un solo eje.

PREGUNTA TÉCNICA

¿En qué medida un registrador pendular artesanal, calibrado bajo condiciones constantes de excitación, permite estimar y comparar el desplazamiento pico a pico de una plataforma móvil en un único eje?

3. Objetivo

Diseñar, construir y calibrar un prototipo pendular artesanal de un eje que registre el desplazamiento relativo de una masa inercial sobre una tarjeta graduada y permita comparar su lectura con desplazamientos horizontales de referencia de 5 mm, 10 mm y 15 mm, aplicados bajo un período de excitación controlado.

Objetivos específicos

- Construir una estructura rígida y estable que se desplace junto con la plataforma de ensayo.
- Fijar un estilete ligero a la masa pendular y una tarjeta graduada a la estructura móvil.
- Establecer un mecanismo de excitación con carrera ajustable y período de trabajo medible.
- Obtener cinco lecturas por cada uno de los tres desplazamientos de referencia.
- Construir una curva de calibración y evaluar la repetibilidad y la incertidumbre de las lecturas.

4. Fundamento físico

Principio de inercia. Cuando la estructura se desplaza horizontalmente, la masa suspendida tiende a conservar su estado de movimiento. Por ello, la posición de la masa respecto de la estructura cambia. El estilete unido a la masa deja una traza sobre la tarjeta fijada a la estructura. La señal es el desplazamiento relativo entre ambos elementos, no una copia automática del desplazamiento del suelo.

Péndulo simple. Para oscilaciones pequeñas (ángulos menores que aproximadamente 15°), el período ideal se aproxima mediante:

$$T_n = 2\pi \sqrt{(L_eff / g)}$$

L_eff es la distancia desde el punto de suspensión hasta el centro de masa del conjunto suspendido; $g \approx 9{,}81$ m/s². Para una longitud efectiva propuesta de 0,35 m, $T_n \approx 1{,}19$ s y $f_n \approx 0{,}84$ Hz. La longitud real debe medirse después del montaje.

Respuesta dinámica. La respuesta de la masa depende también de la frecuencia de excitación y del amortiguamiento. En un modelo lineal simplificado, el desplazamiento relativo $z = x_m - x_\beta$ satisface:

$$\ddot{z} + 2\zeta\omega_n \dot{z} + \omega_n^2 z = -\ddot{x}_\beta$$

x_β es el desplazamiento de la base; ω_n es la frecuencia angular natural; ζ representa el amortiguamiento. Esta relación explica por qué una misma amplitud de plataforma puede producir trazas distintas si cambia el período de excitación. Por eso la calibración solo será válida para las condiciones controladas que se documenten.

Con $L_eff = 0{,}35$ m se propone un período de ensayo $T_e = 0{,}50$ s ($f_e = 2{,}0$ Hz) como punto de partida. No se asume que sea óptimo: se comprobará en pruebas preliminares que el sistema no presente resonancia, golpes ni pérdida de contacto. La frecuencia natural y la respuesta real pueden variar por la masa del estilete, el rozamiento y la construcción.

5. Magnitud, lectura y unidad

Se distinguen dos magnitudes para no confundir el movimiento aplicado con la respuesta del instrumento:

Símbolo	Definición	Unidad
Dref	Desplazamiento pico a pico real de la plataforma de ensayo: xmáx − xmín.	mm
Dreg	Ancho pico a pico de la traza del estilete sobre la tarjeta: ymáx − ymín.	mm
Destimado	Desplazamiento de referencia estimado usando la ecuación o tabla de calibración.	mm

Dreg no debe suponerse igual a Dref. La calibración determinará la relación experimental entre ambas magnitudes. La gráfica tendrá Dref en el eje X y Dreg en el eje Y. Si los datos justifican un ajuste lineal, se utilizará Dreg = a + b·Dref. Para estimar un desplazamiento desconocido se despejará Destimado = (Dreg − a)/b. Si los datos no son aproximadamente lineales, no se forzará una recta: se restringirá el intervalo o se usará una tabla de interpolación, explicando la decisión.

6. Diseño y funcionamiento del instrumento

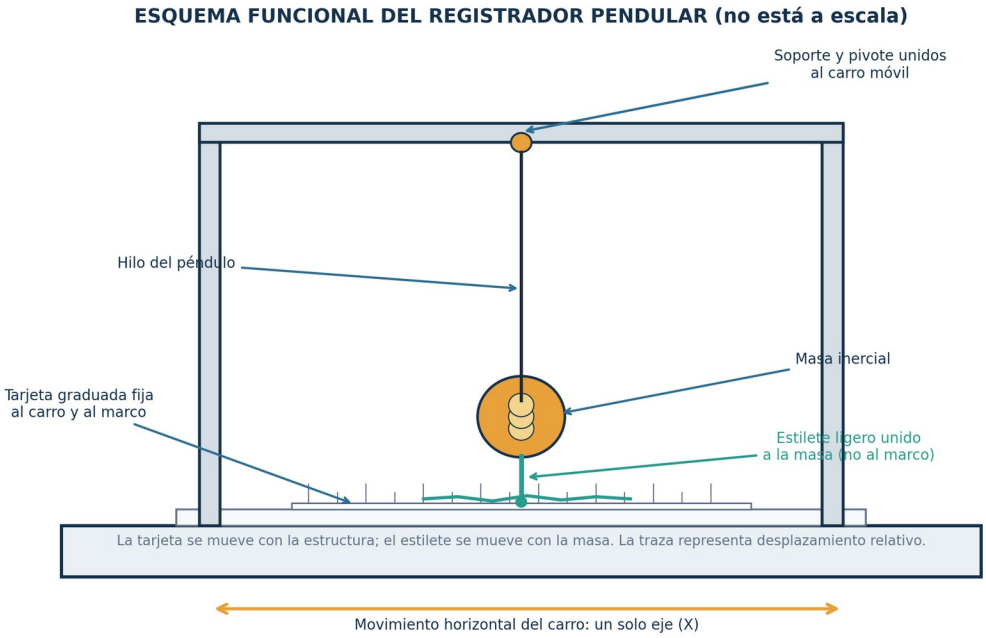


Figura 1. Esquema funcional propuesto. Las piezas deben construirse y alinearse según este principio; el dibujo no está a escala.

Reglas de montaje que no deben cambiarse

- El punto de suspensión y el marco se fijan al carro móvil de ensayo.
- La tarjeta de registro y su escala se fijan al mismo carro, sin deslizarse respecto del marco.
- El estilete se fija al conjunto de la masa pendular; nunca al soporte fijo del marco.
- El contacto del estilete con el papel será apenas suficiente para dejar una línea, sin presionar ni frenar el péndulo.
- El movimiento se limita a un solo eje horizontal. El dispositivo no mide simultáneamente los ejes norte-sur y este-oeste.
- La tarjeta no avanza durante el ensayo básico; el ancho de la traza permite comparar extremos, pero no recuperar el orden temporal de cada oscilación.

Dimensiones iniciales de referencia

Componente	Dimensión propuesta	Condición
Base de la estructura	Aprox. 25 cm × 20 cm	Ajustar al tamaño de materiales disponibles; debe quedar rígida.
Altura del marco	Aprox. 45 cm desde la base hasta el pivote	Con $L_{e}ff$ = 35 cm, deja espacio bajo la masa; comprobar que la masa y el estilete no golpeen la base.
Longitud efectiva del péndulo	0,35 m (35 cm)	Medir desde el pivote hasta el centro de masa; registrar el valor real.
Tarjeta de registro	Aprox. 15 cm × 5 cm	Fijada a la base móvil; incluir escala milimetrada.
Eje de lectura	Horizontal, X	Marcar el sentido positivo y evitar torsión del marco.

7. Rango, resolución e incertidumbre

Característica	Propuesta corregida	Estado
Rango de referencia	5 a 15 mm pico a pico de desplazamiento de la plataforma.	Propuesto; verificar con la carrera real del carro.
Puntos de calibración	5 mm, 10 mm y 15 mm nominales; registrar siempre el Dref medido.	Propuesto.
División de escala	Tarjeta graduada cada 1 mm.	Es la graduación de lectura, no demuestra resolución del instrumento.
Resolución efectiva	Se determinará mediante pruebas de lectura y cambios distinguibles entre entradas.	Pendiente de validar.
Incertidumbre	Se calculará con dispersión de repeticiones, lectura de la escala y medición de referencia.	No se asigna ±0,5 mm por adelantado.

CORRECCIÓN METROLÓGICA

Una regla con divisiones de 1 mm no garantiza que el dispositivo tenga resolución efectiva de 1 mm. Tampoco se puede declarar una incertidumbre de ±0,5 mm sin datos y sin considerar todas las fuentes relevantes.

8. Materiales, recursos y responsabilidades

Material o recurso	Cantidad orientativa	Uso y observación
Cartón grueso reutilizado	2–3 piezas	Base, laterales y elementos del carro; reforzar uniones.
Palitos de madera o listones ligeros	4–6	Refuerzo del marco y guías; comprobar que no se doblen.
Hilo resistente no elástico	1 tramo de aprox. 45 cm	Dejar longitud para nudos y ajuste; L_{eff} se mide del pivote al centro de masa.
Arandelas pequeñas y recipiente/tapa	Según masa necesaria	Masa inercial; asegurar todas las piezas para evitar desprendimientos.
Estilete ligero con punta de grafito	1	Fijado al soporte de la masa. Evitar un marcador pesado.
Tarjeta o papel milimetrado	Varias hojas	Superficie de registro fijada al carro.
Regla milimetrada	1	Medir Dref y Dreg; registrar la división mínima.
Cinta adhesiva y pegamento escolar	Según necesidad	Fijaciones; evitar adhesivos calientes sin supervisión.
Tijeras y lápiz	1 de cada uno	Corte y marcado con supervisión.
Disco de cartón rígido, eje y pasador	1 conjunto	Manivela excéntrica del banco de calibración.
Biela ligera y dos guías paralelas	1 y 2	Transmitir el movimiento y mantener un solo eje.
Cronómetro o metrónomo	1; teléfono opcional	Controlar la cadencia de giro; no es obligatorio usar internet.

Responsabilidades del equipo

Integrante	Responsabilidad revisada	Evidencia de participación
Moisés Cabrera Casas	Coordinación del montaje, control del procedimiento y consolidación de resultados.	Bitácora y tabla maestra de ensayos.
Darwin Diego Aspajo Ceopa	Construcción y refuerzo de la estructura, carro y guías.	Fotos del marco, carro y prueba de estabilidad.
Dasha Romina Campos Medina	Montaje del péndulo, medición de longitud efectiva y fijación segura de la masa.	Registro de L_{eff} y foto de la suspensión.
Kiara Alarcón Carrasco	Instalación del estilete y preparación de la tarjeta graduada.	Prueba de traza, ancho de línea y alineación.
Yurisa Hatsumi Abad Muños	Inventario, seguridad, control de tiempo y organización de datos.	Lista de seguridad y hojas de medición.

Nota sobre nombres: se conservaron los nombres del PDF original. Antes de presentar, confirmar la escritura exacta de tildes y apellidos con la lista oficial del aula.

9. Pasos de construcción

1. Cortar una base rígida y dos soportes laterales. Reforzar las esquinas y la traviesa superior para reducir flexión.
2. Fijar el marco a una plataforma deslizante (carro). El marco, el pivote y la tarjeta de registro deben moverse juntos.
3. Instalar dos guías paralelas para que el carro se desplace en un solo eje, sin girar ni inclinarse.
4. Construir el péndulo con hilo no elástico y un recipiente pequeño que contenga las arandelas. Asegurar la masa; medir $L_e$ff desde el pivote hasta el centro de masa.
5. Fijar un estilete ligero a la masa. Su punta debe tocar apenas la tarjeta graduada, que se encuentra fijada a la plataforma móvil.
6. Comprobar el movimiento libre del péndulo sin que el estilete roce con fuerza. Si la línea es demasiado ancha o el péndulo se frena, reducir el contacto.
7. Construir el banco de calibración con manivela, pasador excéntrico, biela y carro guiado. Preparar posiciones de carrera cercanas a 5, 10 y 15 mm pico a pico.
8. Medir la carrera real del carro en cada posición antes de calibrar. No usar solo el valor nominal del agujero o del radio.
9. Ensayar primero sin movimiento y luego con la manivela. Verificar que el marco no se deforme, la masa no choque y el estilete no pierda contacto.
10. Registrar las dimensiones reales, fotografías y cambios efectuados. No sustituir datos medidos por medidas de diseño.

Registro dimensional del prototipo

Completar con medidas reales antes de iniciar la calibración. Las dimensiones de referencia del documento no sustituyen estas mediciones.

Parámetro	Valor medido	Observaciones
Longitud efectiva $L_e$ff	_____ m	Desde el pivote hasta el centro de masa.
Masa suspendida	_____ g	Incluye recipiente, arandelas y estilete.
Altura libre de la masa	_____ cm	Debe evitar el contacto con la base.
Separación entre guías	_____ cm	Comprobar que el carro no se incline.
Longitud de la biela	_____ cm	Mantenerla igual durante la serie.
Carrera real para nivel 5 mm	_____ mm	Medir entre extremos del carro.
Carrera real para nivel 10 mm	_____ mm	Medir entre extremos del carro.
Carrera real para nivel 15 mm	_____ mm	Medir entre extremos del carro.

10. Calibración y validación

La calibración compara la lectura Dreg del instrumento con el desplazamiento de referencia Dref aplicado al carro. Para que la comparación tenga sentido, se mantienen constantes la longitud del péndulo, la masa, el estilete, el contacto, la alineación y el período de movimiento.

Variables experimentales

Tipo	Variable	Cómo se controla o mide
Independiente	Dref: desplazamiento pico a pico de la plataforma.	Ajustar carrera del carro y medirla con regla antes de cada serie.
Dependiente	Dreg: ancho pico a pico de la traza.	Medir los extremos de la traza con la misma regla y criterio.
Controlada	Período de excitación Te.	Objetivo inicial 0,50 s por vuelta (120 rpm); verificar 20 vueltas en aproximadamente 10 s.
Controlada	Longitud efectiva $L_e$ff.	Mantener sin cambios; medir una vez y revisar después de cualquier ajuste.
Controlada	Masa, estilete y presión de contacto.	No cambiarlos durante la serie; registrar cualquier modificación.
Controlada	Número de ciclos por ensayo.	Aplicar 20 vueltas completas de manivela por ensayo.
Controlada	Alineación del carro.	Usar las mismas guías, sin torsión ni juego lateral apreciable.

Banco de calibración propuesto

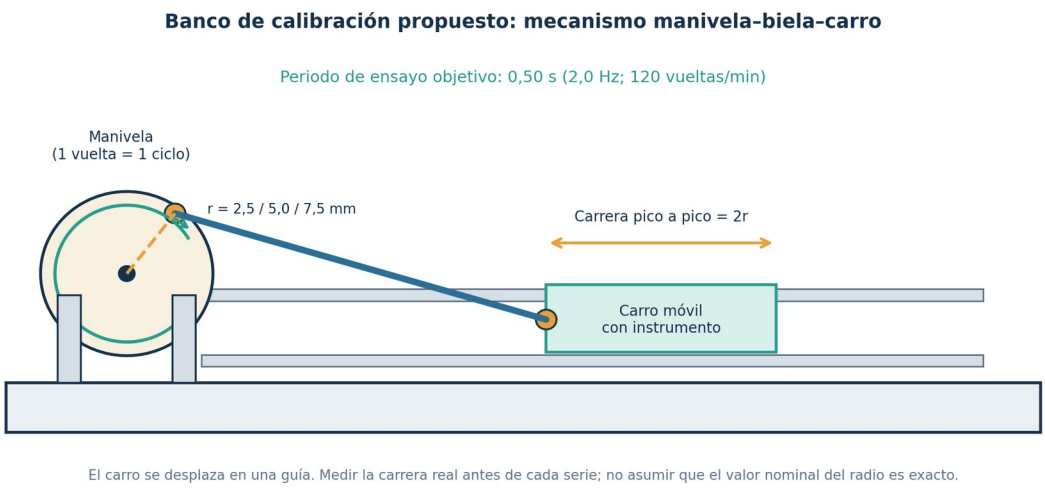


Figura 2. Esquema conceptual del mecanismo manivela–biela–carro; se debe comprobar la carrera real y la regularidad del giro.

La carrera ideal de un mecanismo manivela–biela es aproximadamente 2r, donde r es la excentricidad. Sin embargo, la carrera efectiva se medirá directamente con una regla. El período objetivo de 0,50 s es una condición inicial de trabajo, no una propiedad ya demostrada del prototipo. Si el giro no se mantiene estable, no se aceptará esa serie como calibración válida.

Protocolo de ensayo

1. Medir y anotar $L_e$ff. Calcular $T_n = 2\pi\sqrt{(L_e ff/g)}$. Para $L_e$ff ≈ 0,35 m se espera T_n ≈ 1,19 s como valor teórico ideal.
2. Ajustar el banco a un período objetivo Te = 0,50 s (2,0 Hz). Comprobar el giro durante 20 vueltas; el tiempo objetivo es 10,0 s. Aceptar para la serie solo si queda dentro de 9,5–10,5 s.
3. Medir la carrera pico a pico real Dref del carro en la primera posición. Ajustarla cerca de 5 mm; anotar el valor medido, no redondearlo al nominal.
4. Colocar tarjeta nueva o zona limpia, centrar el péndulo y comprobar la línea de reposo. Ejecutar 20 vueltas a la cadencia establecida.
5. Retirar la tarjeta sin deformarla y medir el ancho de traza Dreg. Registrar observaciones sobre grosor de línea, pérdida de contacto o golpes.
6. Repetir cinco veces la misma condición, volviendo a la posición inicial y comprobando el período en cada ensayo.
7. Repetir el procedimiento para las carreras cercanas a 10 mm y 15 mm, con cinco ensayos por condición: 15 ensayos válidos en total.
8. Realizar una prueba de control sin movimiento para identificar la anchura de línea de reposo y el efecto de vibraciones ambientales.
9. Construir la gráfica Dref (X) frente a Dreg (Y), calcular promedios y dispersión y evaluar si un ajuste lineal es razonable.
10. Si la respuesta depende claramente del período, cambia la masa, cambia $L_e$ff o se reajusta el contacto, repetir la calibración.

REGLA DE VALIDEZ

Si una prueba no mantiene el período dentro de la tolerancia, si el carro golpea topes, si el estilete se separa del papel o si la estructura se deforma, marcarla como ensayo inválido y repetirla. No borrar el registro: anotar por qué se descartó.

Lista de comprobación antes de cada ensayo

Comprobación	Sí / No	Observación
Marco fijo al carro y uniones firmes.	_____	_____
Masa y arandelas aseguradas.	_____	_____
Estilete toca la tarjeta sin presionar en exceso.	_____	_____
Tarjeta graduada fija, limpia y en posición inicial.	_____	_____
Carrera Dref medida y registrada.	_____	_____
Período comprobado en 20 vueltas.	_____	_____
No hay golpes, torsión ni pérdida de contacto.	_____	_____

Ficha de registro de datos

Completar una fila por ensayo válido. Registrar los valores que realmente se midan. Usar punto o coma decimal de forma consistente en toda la tabla.

Nivel nominal	Ensayo	Dref medido	Te medido	Dreg leído	Observaciones
≈5 mm	1	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈5 mm	2	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈5 mm	3	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈5 mm	4	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈5 mm	5	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈10 mm	1	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈10 mm	2	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈10 mm	3	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈10 mm	4	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈10 mm	5	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈15 mm	1	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈15 mm	2	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈15 mm	3	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈15 mm	4	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____
≈15 mm	5	_____ mm	_____ s	_____ mm	_____

Tratamiento de datos

Cálculo	Expresión	Uso
Promedio de lecturas	$Dreg_prom = (\Sigma Dreg_i)/n$	Promedio de 5 ensayos para cada nivel.
Desviación estándar muestral	$s = \sqrt{[\Sigma(Dreg_i - Dreg_prom)^2/(n-1)]}$	Describe la dispersión y la repetibilidad.
Error de lectura respecto al ajuste	$e_i = Dreg_i - (a + b \cdot Dref_i)$	Evalúa cuánto se aparta cada dato de la curva.
Estimación de entrada	$Destimado = (Dreg - a)/b$	Solo usar dentro del rango y las condiciones calibradas.

Si se usa una sola lectura como resultado, no sustituir la dispersión de las repeticiones por la incertidumbre de la escala. Si se informa el promedio, la componente estadística de la media puede estimarse como s/√n. También se debe considerar la lectura de la escala, la medición de Dref y el grosor/definición de la traza. Combinar las componentes solo cuando se hayan estimado y explicado; no asignar valores arbitrarios.

La incertidumbre expandida puede expresarse como $U = k \cdot u_{(c)}$, indicando el factor k y cómo fue elegido. Para un trabajo escolar, el equipo debe explicar qué componentes incluyó y evitar afirmar un nivel de confianza que el cálculo no justifica. La guía NIST TN 1297 distingue fuentes estadísticas y no estadísticas y recomienda documentar cómo se evaluó cada componente.

Criterios para aceptar la calibración

- Las tres condiciones producen trazas distinguibles y medibles.
- La respuesta media aumenta al aumentar Dref; si no ocurre, investigar fricción, geometría y control de frecuencia.
- La dispersión de cada nivel se informa y se compara; no se ocultan ensayos inválidos.
- La curva o tabla de calibración se limita al intervalo ensayado y a la configuración usada.
- La resolución efectiva y la incertidumbre se declaran solo después de calcularlas con los datos.

11. Dificultades, riesgos y seguridad

Riesgo o dificultad	Causa posible	Prevención o respuesta	Gravedad
Desprendimiento de la masa	Hilo o recipiente mal fijado.	Asegurar arandelas y nudos; probar con el equipo inmóvil antes de moverlo; mantener manos y rostro fuera de la trayectoria.	Alta
Caída o vuelco del marco	Base estrecha o uniones débiles.	Reforzar esquinas, mantener el centro de masa dentro de la base y fijar el instrumento al carro.	Alta
Golpe del carro o biela	Guías desalineadas o topes bruscos.	Revisar uniones; girar lentamente al inicio; no poner dedos en articulaciones.	Media-alta
Cortes al preparar piezas	Uso de tijeras o puntas.	Cortar sobre superficie estable y con supervisión docente.	Media
Fricción excesiva del estilete	Punta presionada sobre papel.	Reducir el contacto hasta que marque sin frenar la masa; registrar el tipo de punta.	Alta para la medición
Lecturas inconsistentes	Cambio del período, longitud, contacto o alineación.	Mantener constantes las condiciones y repetir la calibración después de un ajuste.	Alta para la medición
Piezas pequeñas sueltas	Arandelas o pasadores sin fijar.	Contener la masa en un recipiente y asegurar los pasadores; recoger piezas tras cada prueba.	Media

No usar corriente de la red domiciliaria. La versión descrita funciona con movimiento manual y no necesita motor eléctrico. Si posteriormente se incorpora un motor, usar únicamente una fuente de baja tensión apropiada y con autorización y supervisión del docente.

12. Resultado esperado y demostración del funcionamiento

Se espera obtener una traza medible cuyo ancho cambie de manera sistemática al modificar el desplazamiento de referencia de la plataforma. La demostración consistirá en presentar el instrumento construido, las fotografías del montaje, los 15 registros de calibración, la tabla de promedios y dispersiones, la curva de calibración y el cálculo de incertidumbre.

NO ESCRIBIR COMO RESULTADO

Dref nominal = 10 mm solo identifica una condición de ensayo. No es una lectura del instrumento ni un resultado validado. La incertidumbre de Dref y la lectura Dreg deben calcularse después de medir y repetir los ensayos.

Formato para presentar un resultado real

Dato	Formato que debe completarse después del experimento
Condición de referencia	Dref = (_____ ± _____) mm
Lectura de la traza	Dreg = (_____ ± _____) mm
Desplazamiento estimado por calibración	Destimado = (_____ ± _____) mm
Condiciones de validez	L_{eff} = _____ m; Te = _____ s; masa = _____; n = _____

Limitaciones que deben declararse

- El instrumento mide un solo eje horizontal y no capta todas las componentes del movimiento.
- El registro básico es espacial y no temporal; no genera un sismograma con eje de tiempo.
- La calibración solo es válida para el rango, período, longitud, masa, contacto y estructura ensayados.
- No está diseñado para monitoreo sísmico oficial, medición de magnitud o alertas de terremotos.

Registro de problemas corregidos y verificaciones pendientes

Hallazgo de auditoría	Decisión aplicada en esta versión	Estado
No se identificaba claramente la unión marcador-masa.	El estilete se fija explícitamente a la masa; la tarjeta se fija al carro móvil. Se incorpora esquema funcional.	Corregido en el documento; montaje físico pendiente.
Los rodillos no tenían accionamiento ni control de velocidad.	Se retiran de la versión básica y se reemplazan por una tarjeta fija. Se delimita que no habrá eje temporal.	Corregido en el alcance.
No se controlaba la frecuencia de excitación.	Se incorpora banco manivela-biela-carro y período objetivo de 0,50 s, con verificación de 20 ciclos.	Diseño propuesto; verificar en construcción.
La fórmula del péndulo no se vinculaba con las decisiones de diseño.	Se define longitud efectiva y se calcula período natural estimado; se incluye dependencia de la respuesta con la frecuencia.	Corregido en la fundamentación; validar L real.
La resolución de 1 mm se afirmaba sin pruebas.	Se conserva una escala de 1 mm, pero la resolución efectiva queda pendiente de validación.	Corregido.
La incertidumbre de ±0,5 mm no estaba justificada.	Se elimina la cifra predeterminada y se incorpora un esquema para estimarla.	Corregido; cálculo pendiente de datos.
Solo se repetía la condición de 10 mm tres veces.	Se proponen cinco ensayos para cada uno de los tres niveles.	Corregido en el protocolo.
La seguridad era incompleta.	Se añade matriz de riesgos personales y de medición.	Corregido en el documento; aplicar en taller.
No había bibliografía.	Se añaden fuentes de USGS, OpenStax y NIST.	Corregido.
El modelo de Tinkercad no pudo comprobarse desde el PDF.	Se conserva como recurso previo, pero no se afirma que el modelo editable esté actualizado.	Pendiente de revisión manual.

Verificaciones que todavía deben ejecutarse físicamente

- Confirmar que el estilete deja una traza continua sin frenar perceptiblemente el péndulo.
- Medir L_{eff} real y comprobar que la masa puede oscilar sin tocar el marco.
- Comprobar que el carro se desplaza en un solo eje y que la manivela produce carrera repetible.
- Verificar que el período de 0,50 s puede mantenerse durante 20 vueltas dentro de la tolerancia indicada.
- Completar las 15 pruebas de calibración y calcular el ajuste y su incertidumbre.
- Revisar el modelo Tinkercad y actualizarlo para que coincida con el dispositivo real.
- Confirmar la disponibilidad de los materiales añadidos y ajustar el inventario si alguno no existe.

Evaluación final de esta reconstrucción

Dimensión del documento y del diseño	Evaluación tras la reconstrucción
Coherencia entre objetivo y magnitud	Mejorada: distingue referencia, traza y estimación.
Fundamento físico	Mejorado: incluye respuesta dinámica y limitaciones de aplicación.
Diseño mecánico	Mejorado en el plano: define el camino de la señal; no probado físicamente.
Metodología	Mejorada: variables, frecuencia, 3 niveles y 5 repeticiones por nivel.
Metrología	Mejorada: no inventa resolución o incertidumbre; establece cómo obtenerlas.
Seguridad y documentación	Mejoradas: riesgos, fuentes y registro de cambios añadidos.

DICTAMEN ACTUALIZADO

La propuesta documental ahora es más sólida y reproducible. El instrumento físico aún no está validado: la conclusión final depende de construirlo y comprobar su respuesta con datos.

Fuentes y referencias técnicas

Las fuentes siguientes se emplearon para verificar el principio de inercia, el comportamiento del péndulo simple y los criterios de repetibilidad e incertidumbre. Las decisiones específicas del prototipo (dimensiones, rango y período de trabajo) son propuestas de diseño del equipo y deben validarse experimentalmente.

U.S. Geological Survey (USGS). Seismometers, seismographs, seismograms - what's the difference? How do they work? Consultar fuente

U.S. Geological Survey (USGS). Seismographs - Keeping Track of Earthquakes. Consultar fuente

OpenStax. University Physics Volume 1, Section 15.4: Pendulums. Consultar fuente

Taylor, B. N., & Kuyatt, C. E. (1994). NIST. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, Technical Note 1297. Consultar fuente

National Institute of Standards and Technology (NIST). TN 1297, Section 7: Reporting Uncertainty. Consultar fuente

Recurso previo del equipo

La matriz original incluye un enlace a un diseño de Tinkercad. Debe revisarse manualmente para comprobar que el archivo sigue accesible y actualizarlo según el esquema de esta versión. No se declara aquí que el modelo editable haya sido modificado ni verificado.

Abrir modelo Tinkercad indicado en la matriz original

COPIA DEL ORIGINAL

El PDF original se conserva sin cambios y debe guardarse junto a esta versión revisada como respaldo documental. Esta entrega no sobrescribe ni altera el archivo enviado por el equipo.