



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Biomecánica

Laboratorio

Programa Académico
Plan de Estudios
Fecha de elaboración
Versión del Documento

Ing. Biomédica
2020
30/06/2025
1.0



Dra. Martha Patricia Patiño Fierro
Rectora

Mtra. Ana Lisette Valenzuela Molina
**Encargada del Despacho de la Secretaría
General Académica**

Mtro. José Antonio Romero Montaña
Secretario General Administrativo

Lic. Jorge Omar Herrera Gutiérrez
**Encargado de Despacho de Secretario
General de Planeación**

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	4
IDENTIFICACIÓN	6
<i>Carga Horaria del alumno</i>	<i>6</i>
<i>Consignación del Documento</i>	<i>6</i>
MATRIZ DE CORRESPONDENCIA	7
NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS	8
<i>Reglamento general del laboratorio</i>	<i>8</i>
<i>Reglamento de uniforme</i>	<i>8</i>
<i>Uso adecuado del equipo y materiales.....</i>	<i>8</i>
<i>Manejo y disposición de residuos peligrosos.....</i>	<i>8</i>
<i>Procedimientos en caso de emergencia</i>	<i>8</i>
RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA....	9
PRÁCTICAS.....	12
FUENTES DE INFORMACIÓN	17
NORMAS TÉCNICAS APLICABLES.....	29
ANEXOS	30

INTRODUCCIÓN

Como parte de las herramientas esenciales para la formación académica de los estudiantes de la Universidad Estatal de Sonora, se definen manuales de práctica de laboratorio como elemento en el cual se define la estructura normativa de cada práctica y/o laboratorio, además de representar una guía para la aplicación práctica del conocimiento y el desarrollo de las competencias clave en su área de estudio. Su diseño se encuentra alineado con el modelo educativo institucional, el cual privilegia el aprendizaje basado en competencias, el aprendizaje activo y la conexión con escenarios reales.

Con el propósito de fortalecer la autonomía de los estudiantes, su pensamiento crítico y sus habilidades para la resolución de problemas, las prácticas de laboratorio integran estrategias didácticas como el aprendizaje basado en proyectos, el trabajo colaborativo, la experimentación guiada y el uso de tecnologías educativas. De esta manera, se promueve un proceso de enseñanza-aprendizaje dinámico, en el que los estudiantes no solo adquieren conocimientos teóricos, sino que también desarrollan habilidades prácticas y reflexivas para su desempeño profesional.

Propósito del manual

Este manual de prácticas de laboratorio tiene como propósito establecer la estructura normativa y metodológica para el desarrollo de actividades prácticas en la asignatura de Biomecánica, proporcionando una guía para la aplicación práctica del conocimiento teórico sobre principios mecánicos del sistema musculoesquelético, termo-fluidos del sistema cardiovascular, y mecánica de fluidos y ondas en sistemas auditivo y respiratorio.

Justificación de su uso en el programa académico

La asignatura de Biomecánica es fundamental en la formación del Ingeniero Biomédico, ya que proporciona las bases para comprender los principios físicos que gobiernan el funcionamiento del cuerpo humano. Las prácticas de laboratorio permiten al estudiante aplicar los conocimientos teóricos en situaciones reales y simuladas, desarrollando habilidades prácticas esenciales para su desempeño profesional en el diseño de prótesis, análisis de movimiento y desarrollo de dispositivos biomédicos.

Competencias a desarrollar

Competencias blandas:

- Trabajo en equipo: Capacidad para colaborar efectivamente en equipos multidisciplinarios
- Organización: Habilidad para planificar y estructurar actividades de laboratorio
- Resolución de problemas: Capacidad para identificar y solucionar problemas biomecánicos

Competencias disciplinares:

- Conocimiento de principios mecánicos del sistema musculoesquelético
- Comprensión de termo-fluidos en el sistema cardiovascular
- Aplicación de mecánica de fluidos y ondas en sistemas auditivo y respiratorio

Competencias profesionales:

- Análisis biomecánico para diseño de prótesis musculoesqueléticas
- Evaluación de dispositivos médicos cardiovasculares
- Desarrollo de soluciones para implantes auditivos y ventiladores mecánicos

IDENTIFICACIÓN

Nombre de la Asignatura		Biomecánica	
Clave	071CE076	Créditos	7
Asignaturas Antecedentes	051CP082	Plan de Estudios	2020

Área de Competencia	Competencia del curso
Específicas o Especializantes	Analizar modelos de movimiento físico matemáticos del cuerpo humano, así como de la dinámica de sus fluidos y señales eléctricas para sugerir soluciones biomédicas que logren un mejor desempeño, respetando la normativa vigente del sector salud.

Carga Horaria de la asignatura

Horas Supervisadas			Horas Independientes	Total de Horas
Aula	Laboratorio	Plataforma		
2	3	0	2	7

Consignación del Documento

Unidad Académica	Unidad Académica Hermosillo
Fecha de elaboración	30/06/2025
Responsables del diseño	Andres Monreal Hernandez
Validación	
Recepción	Coordinación de Procesos Educativos

MATRIZ DE CORRESPONDENCIA

Señalar la relación de cada práctica con las competencias del perfil de egreso

PRÁCTICA	PERFIL DE EGRESO
Práctica 1: Análisis de principios mecánicos del sistema musculoesquelético	Generar propuestas de diseño de prótesis o sistemas biomecánicos y así contribuir con la sociedad
Práctica 2: Modelado muscular de Hill y mecánica del hueso	Diseñar e implementar sistemas integrales y autónomos con tecnología de vanguardia
Práctica 3: Análisis de fracturas y luxaciones	Detectar las áreas de oportunidad para mejorar las condiciones de vida del ser humano
Práctica 4: Propiedades de fluidos en el sistema cardiovascular	Conocer equipos médicos y su aplicación para el entorno de la prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de la salud
Práctica 5: Flujo pulsátil y propagación del pulso	Dar soluciones de forma innovadora y creativa respecto a los problemas que enfrenta el sector salud
Práctica 6: Mecánica de fluidos del corazón y válvulas	Diseñar propuestas eficientes para disminuir las necesidades de las instituciones del sector salud
Práctica 7: Sistema respiratorio y volúmenes torácicos	Implementar metodologías de diseño biomédico
Práctica 8: Propiedades del sonido y sistema auditivo	Diseñar ambientes virtuales para el monitoreo de las señales eléctricas que monitorean el estado de salud del ser humano

NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS

Reglamento general del laboratorio

Texto

Reglamento de uniforme

Texto

Uso adecuado del equipo y materiales

Texto

Manejo y disposición de residuos peligrosos

Texto

Procedimientos en caso de emergencia

Texto

RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA

Elemento de Competencia al que pertenece la práctica	Elemento de Competencia I Identificar los principios mecánicos que gobiernan al sistema musculoesquelético, con el objetivo de sugerir mejoras y soluciones en los campos de prótesis musculoesqueléticas y rehabilitación, fomentando la organización y trabajo en equipo respetando la normativa vigente del sector salud.
--	--

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 1	Análisis de principios mecánicos del sistema musculoesquelético	Identificar y aplicar principios de mecánica clásica al análisis del movimiento humano mediante trabajo colaborativo para fundamentar el diseño de dispositivos de rehabilitación con responsabilidad profesional
Práctica No. 2	Modelado muscular de Hill y mecánica del hueso	Modelar matemáticamente el comportamiento muscular y óseo utilizando principios biomecánicos para predecir respuestas fisiológicas con enfoque de trabajo en equipo
Práctica No. 3	Análisis de fracturas y luxaciones	Analizar mecanismos de lesión musculoesquelética aplicando principios mecánicos para proponer estrategias de prevención y tratamiento con organización grupal

RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA

Elemento de Competencia al que pertenece la práctica	Elemento de Competencia II Conocer los principios de termo-fluidos que gobiernan el sistema cardiovascular, con el objetivo de sugerir mejoras y soluciones en los campos de prótesis valvulares cardíacas y vasculares, bajo el esquema de organización y responsabilidad.
---	---

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 4	Propiedades de fluidos en el sistema cardiovascular	Caracterizar propiedades reológicas de fluidos biológicos aplicando principios de mecánica de fluidos para optimizar diseños cardiovasculares con responsabilidad profesional
Práctica No. 5	Flujo pulsátil y propagación del pulso	Analizar fenómenos de flujo pulsátil en arterias utilizando teorías de ondas para mejorar dispositivos cardiovasculares mediante organización colaborativa
Práctica No. 6	Mecánica de fluidos del corazón y válvulas	Evaluar la dinámica de fluidos en cavidades cardíacas y válvulas para proponer mejoras en prótesis valvulares con enfoque de responsabilidad ética

RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA

Elemento de Competencia al que pertenece la práctica	Elemento de Competencia III Asociar los principios de mecánica de fluidos y mecánica de ondas con los elementos del sistema auditivo periférico y respiratorio con el objetivo de sugerir mejoras y soluciones en los campos de implantes auditivos y ventiladores mecánicos.
--	---

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 7	Sistema respiratorio y volúmenes torácicos	Aplicar principios de mecánica de fluidos al análisis del sistema respiratorio para optimizar ventiladores mecánicos mediante trabajo colaborativo y resolución de problemas
Práctica No. 8	Propiedades del sonido y sistema auditivo	Relacionar propiedades de ondas sonoras con la función auditiva para mejorar implantes auditivos a través de trabajo en equipo y metodologías de resolución de problemas



PRÁCTICAS

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	ANÁLISIS DE PRINCIPIOS MECÁNICOS DEL SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Identificar y aplicar principios de mecánica clásica al análisis del movimiento humano mediante trabajo colaborativo para fundamentar el diseño de dispositivos de rehabilitación con responsabilidad profesional.

FUNDAMENTO TEÓRICO
El sistema musculoesquelético funciona como un sistema de palancas complejas donde los huesos actúan como palancas, las articulaciones como fulcros y los músculos proporcionan las fuerzas motrices. Los principios de estática y dinámica permiten analizar las fuerzas internas y externas que actúan durante el movimiento humano, fundamentales para el diseño de prótesis y dispositivos de rehabilitación.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
• Plataforma de fuerza • Sensores de movimiento (acelerómetros y giroscopios) • Software de análisis biomecánico • Modelo anatómico del sistema musculoesquelético • Goniómetros digitales • Bandas elásticas calibradas • Computadora con software especializado

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Preparación del sujeto de prueba • Colocación de marcadores reflectantes en puntos anatómicos clave • Calibración de sensores de movimiento • Establecimiento de sistema de coordenadas de referencia Medición de fuerzas estáticas • Análisis de posturas en equilibrio • Medición de fuerzas de reacción del suelo • Cálculo de momentos articulares Análisis dinámico • Registro de movimientos básicos (flexión, extensión, abducción) • Análisis cinemático del movimiento • Cálculo de aceleraciones y fuerzas dinámicas Procesamiento de datos • Filtrado de señales • Cálculo de variables biomecánicas • Interpretación de resultados

RESULTADOS ESPERADOS

Comprensión de principios mecánicos aplicados al cuerpo humano
Habilidad para medir y analizar fuerzas biomecánicas
Capacidad de interpretar datos biomecánicos para aplicaciones clínicas

ANÁLISIS DE RESULTADOS

¿Cómo se relacionan las fuerzas musculares con el movimiento articular?
¿Qué factores influyen en la eficiencia mecánica del movimiento?
¿Cómo pueden aplicarse estos principios al diseño de prótesis?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes deben comprender la importancia de los principios mecánicos en el análisis del movimiento humano y su aplicación en el desarrollo de tecnologías de rehabilitación y prótesis.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Investigar casos reales de aplicaciones biomecánicas en prótesis
Elaborar propuesta de mejora para un dispositivo biomecánico existente
Analizar biomecánica de deportistas de alto rendimiento

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Aplicación correcta de principios mecánicos 30% Manejo adecuado de equipos de laboratorio 25% Análisis e interpretación de resultados 25% Trabajo en equipo y organización 20%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Rúbrica de análisis biomecánico Lista de cotejo para uso de equipos especializados Rúbrica de trabajo colaborativo
Formatos de reporte de prácticas	Formato estándar de reporte de práctica biomecánica Plantilla de análisis de datos experimentales Formato de conclusiones y aplicaciones clínicas

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	MODELADO MUSCULAR DE HILL Y MECÁNICA DEL HUESO
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Modelar matemáticamente el comportamiento muscular y óseo utilizando principios biomecánicos para predecir respuestas fisiológicas con enfoque de trabajo en equipo.

FUNDAMENTO TEÓRICO
El modelo de Hill describe el comportamiento mecánico del músculo como un sistema de elementos contráctiles, elásticos en serie y en paralelo. La mecánica del hueso se basa en principios de mecánica de materiales, considerando propiedades como módulo de elasticidad, resistencia a la compresión y fatiga.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
• Dinamómetro isocinético • Muestras de hueso (sintéticas o ex-vivo) • Máquina de ensayos universales • Electromiografía (EMG) • Software de modelado (MATLAB/Simulink) • Extensómetros (strain gauges) • Materiales para modelos físicos

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Caracterización muscular • Medición de fuerzas isométricas máximas • Determinación de relaciones fuerza-velocidad • Análisis de activación muscular mediante EMG Modelado del músculo • Implementación del modelo de Hill • Ajuste de parámetros del modelo • Validación con datos experimentales Análisis mecánico del hueso • Ensayos de compresión y flexión • Medición de propiedades mecánicas • Análisis de modos de falla Integración de modelos • Simulación del sistema musculoesquelético • Predicción de respuestas bajo diferentes cargas • Optimización de parámetros

RESULTADOS ESPERADOS
Modelo funcional del comportamiento muscular Caracterización de propiedades mecánicas del hueso Capacidad predictiva del modelo integrado

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ¿Cómo se comparan los resultados experimentales con el modelo de Hill?
- ¿Qué factores afectan las propiedades mecánicas del hueso?
- ¿Cómo puede optimizarse el modelo para diferentes condiciones patológicas?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes deben comprender la importancia del modelado matemático en la predicción del comportamiento biomecánico y su aplicación en el diseño de dispositivos de rehabilitación.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

- Implementar el modelo de Hill en software de simulación
- Comparar propiedades óseas entre diferentes especies
- Investigar modelos alternativos de comportamiento muscular

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Implementación correcta del modelo de Hill 35% Caracterización experimental precisa 30% Análisis comparativo modelo-experimento 25% Documentación técnica y presentación 10%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Rúbrica de modelado matemático Lista de cotejo para ensayos mecánicos Rúbrica de análisis de validación
Formatos de reporte de prácticas	Formato de caracterización de materiales biológicos Plantilla de validación de modelos matemáticos Formato de propuestas de optimización

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	ANÁLISIS DE FRACTURAS Y LUXACIONES
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Analizar mecanismos de lesión musculoesquelética aplicando principios mecánicos para proponer estrategias de prevención y tratamiento con organización grupal.

FUNDAMENTO TEÓRICO
Las fracturas y luxaciones ocurren cuando las fuerzas aplicadas exceden la resistencia mecánica de huesos y ligamentos. El análisis de estos mecanismos requiere comprensión de conceptos como concentración de esfuerzos, fatiga de materiales y criterios de falla.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
- Modelos óseos con diferentes tipos de fracturas - Simuladores de articulaciones - Cámaras de alta velocidad - Dispositivos de aplicación de cargas controladas - Software de análisis de imágenes - Materiales para simulación de tejidos blandos

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Clasificación de lesiones - Identificación de tipos de fracturas - Análisis de patrones de luxaciones - Correlación con mecanismos de lesión Simulación experimental - Recreación de condiciones de carga - Registro de procesos de falla - Análisis de propagación de fracturas Análisis biomecánico - Cálculo de esfuerzos y deformaciones - Identificación de factores de riesgo - Evaluación de estrategias protectivas

RESULTADOS ESPERADOS
Comprensión de mecanismos de lesión Habilidad para analizar patrones de fractura Capacidad para proponer medidas preventivas

ANÁLISIS DE RESULTADOS
¿Qué patrones de fractura se observan según el tipo de carga aplicada? ¿Cómo influye la velocidad de carga en el mecanismo de falla? ¿Qué estrategias pueden reducir el riesgo de lesiones deportivas?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes deben desarrollar criterio clínico para identificar mecanismos de lesión y proponer estrategias de prevención basadas en principios biomecánicos.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Analizar casos clínicos reales de fracturas complejas
Diseñar protocolo de prevención para actividad deportiva específica
Investigar biomateriales para implantes de fijación

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Clasificación correcta de lesiones 30% Análisis biomecánico de mecanismos 25% Propuestas de prevención viables 25% Organización grupal y comunicación 20%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Lista de cotejo para clasificación de fracturas Rúbrica de análisis de mecanismos de lesión Rúbrica de propuestas preventivas
Formatos de reporte de prácticas	Formato de análisis de casos de lesiones Plantilla de evaluación de riesgos biomecánicos Formato de protocolos de prevención

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	PROPIEDADES DE FLUIDOS EN EL SISTEMA CARDIOVASCULAR
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Caracterizar propiedades reológicas de fluidos biológicos aplicando principios de mecánica de fluidos para optimizar diseños cardiovasculares con responsabilidad profesional.

FUNDAMENTO TEÓRICO
La sangre presenta comportamiento no-newtoniano, con viscosidad dependiente de la velocidad de deformación. Las propiedades reológicas incluyen viscosidad aparente, tixotropía y viscoelasticidad, fundamentales para el diseño de dispositivos cardiovasculares.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
• Reómetro rotacional • Fluidos simuladores de sangre • Circuito de flujo pulsátil • Sensores de presión y flujo • Tubos de diferentes diámetros • Bomba peristáltica programable

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Caracterización reológica • Medición de viscosidad vs. tasa de deformación • Análisis de comportamiento tixotrópico • Determinación de propiedades viscoelásticas Flujo en conductos • Análisis de perfiles de velocidad • Medición de pérdidas de presión • Efecto del número de Reynolds Simulación cardiovascular • Implementación de flujo pulsátil • Análisis de ondas de presión • Caracterización de impedancia vascular

RESULTADOS ESPERADOS
Comprensión de propiedades reológicas de la sangre Habilidad para analizar flujo cardiovascular Capacidad para optimizar dispositivos de circulación

ANÁLISIS DE RESULTADOS
¿Cómo afecta la viscosidad aparente al flujo en capilares? ¿Qué diferencias se observan entre flujo newtoniano y no-newtoniano? ¿Cómo pueden aplicarse estos resultados al diseño de bombas cardíacas?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes deben comprender las características únicas de los fluidos biológicos y su impacto en el diseño de dispositivos cardiovasculares.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Comparar propiedades reológicas de diferentes fluidos simuladores
Investigar efectos de patologías en las propiedades de la sangre
Diseñar experimento para medir viscosidad in-vivo

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Caracterización reológica precisa 35% Análisis de flujo en conductos 30% Aplicación a dispositivos cardiovasculares 25% Responsabilidad profesional y ética 10%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Lista de cotejo para uso de reómetro Rúbrica de análisis de propiedades de fluidos Rúbrica de aplicaciones en diseño biomédico
Formatos de reporte de prácticas	Formato de caracterización reológica Plantilla de análisis de flujo pulsátil Formato de optimización de dispositivos

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	FLUJO PULSÁTIL Y PROPAGACIÓN DEL PULSO
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Analizar fenómenos de flujo pulsátil en arterias utilizando teorías de ondas para mejorar dispositivos cardiovasculares mediante organización colaborativa.

FUNDAMENTO TEÓRICO
El flujo arterial es inherentemente pulsátil debido a la acción cardíaca. La propagación de ondas de presión en arterias elásticas se describe mediante la ecuación de Moens-Korteweg y teorías de líneas de transmisión.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
• Modelo arterial elástico • Generador de pulsos cardíacos • Sensores de presión de alta frecuencia • Ultrasonido Doppler • Osciloscopio digital • Software de análisis espectral

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Generación de flujo pulsátil • Configuración del simulador cardíaco • Ajuste de parámetros hemodinámicos • Calibración de sensores Medición de ondas de pulso • Registro simultáneo en múltiples puntos • Análisis de velocidad de propagación • Determinación de impedancia característica Análisis espectral • Descomposición en armónicos • Análisis de reflexiones • Cálculo de índices de rigidez arterial

RESULTADOS ESPERADOS
Comprensión de la dinámica de flujo pulsátil Habilidad para medir velocidad de onda de pulso Capacidad para interpretar parámetros hemodinámicos

ANÁLISIS DE RESULTADOS
¿Cómo se relaciona la rigidez arterial con la velocidad de onda de pulso? ¿Qué efecto tienen las reflexiones en la forma de onda? ¿Cómo pueden utilizarse estos parámetros en diagnóstico clínico?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes deben comprender la importancia de la dinámica pulsátil en la función cardiovascular y su aplicación en diagnóstico y tratamiento.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Simular condiciones patológicas (aterosclerosis, hipertensión)
Investigar métodos no invasivos de medición de rigidez arterial
Analizar efectos del envejecimiento en propiedades arteriales

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Configuración correcta del sistema pulsátil 30% Medición precisa de parámetros hemodinámicos 30% Interpretación de resultados clínicos 25% Organización colaborativa efectiva 15%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Lista de cotejo para configuración de equipos Rúbrica de análisis espectral de ondas Rúbrica de interpretación clínica
Formatos de reporte de prácticas	Formato de análisis de ondas de pulso Plantilla de cálculo de índices vasculares Formato de correlación clínica

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	MECÁNICA DE FLUIDOS DEL CORAZÓN Y VÁLVULAS
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Evaluar la dinámica de fluidos en cavidades cardíacas y válvulas para proponer mejoras en prótesis valvulares con enfoque de responsabilidad ética.

FUNDAMENTO TEÓRICO
La función cardíaca involucra complejos patrones de flujo durante las fases de llenado y eyección. Las válvulas cardíacas actúan como válvulas unidireccionales cuyo diseño afecta significativamente la eficiencia hemodinámica.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
• Simulador de corazón transparente • Prótesis valvulares de diferentes tipos • Fluido de trabajo con partículas trazadoras • Cámaras de alta velocidad • Láser Doppler velocimetría • Transductores de presión intracavitarios

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Simulación del ciclo cardíaco • Programación de fases sistólica y diastólica • Ajuste de presiones y volúmenes • Configuración de válvulas Visualización de flujos • Técnicas de velocimetría por partículas • Análisis de vórtices intracavitarios • Caracterización de regurgitación Evaluación de prótesis • Comparación de diferentes diseños • Medición de gradientes de presión • Análisis de durabilidad

RESULTADOS ESPERADOS
Comprensión de la mecánica de fluidos cardíaca Habilidad para evaluar función valvular Capacidad para optimizar diseños protésicos

ANÁLISIS DE RESULTADOS
¿Cómo afectan los diferentes tipos de válvulas al flujo intracavitario? ¿Qué patrones de vórtices se generan en condiciones normales y patológicas? ¿Cómo pueden minimizarse las pérdidas de energía en prótesis valvulares?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES
Los estudiantes deben desarrollar criterio para evaluar la eficiencia hemodinámica de diferentes

diseños valvulares y su impacto en la función cardíaca.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Comparar eficiencia hemodinámica de diferentes tipos de prótesis
Investigar nuevos materiales biocompatibles para válvulas
Analizar efectos a largo plazo de diferentes diseños protésicos

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Configuración del simulador cardíaco 25% Análisis de patrones de flujo 30% Evaluación comparativa de prótesis 30% Responsabilidad ética en diseño 15%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Lista de cotejo para operación del simulador Rúbrica de análisis de velocimetría Rúbrica de evaluación de dispositivos médicos
Formatos de reporte de prácticas	Formato de análisis hemodinámico Plantilla de evaluación de prótesis valvulares Formato de recomendaciones de diseño

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	SISTEMA RESPIRATORIO Y VOLÚMENES TORÁCICOS
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Aplicar principios de mecánica de fluidos al análisis del sistema respiratorio para optimizar ventiladores mecánicos mediante trabajo colaborativo y resolución de problemas.

FUNDAMENTO TEÓRICO
La ventilación pulmonar involucra mecanismos de flujo laminar y turbulento en vías aéreas ramificadas. La mecánica respiratoria incluye propiedades elásticas y resistivas del sistema tóraco-pulmonar.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
• Modelo pulmonar mecánico • Ventilador mecánico de laboratorio • Espirómetro digital • Sensores de presión transpulmonar • Neumotacógrafo • Software de análisis respiratorio

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Caracterización mecánica • Medición de compliance pulmonar • Determinación de resistencia de vías aéreas • Análisis de curvas presión-volumen Análisis de flujo • Caracterización de patrones de flujo • Medición de trabajo respiratorio • Optimización de parámetros ventilatorios Simulación patológica • Modelado de diferentes condiciones • Evaluación de estrategias ventilatorias • Análisis de modos de ventilación

RESULTADOS ESPERADOS
Comprensión de la mecánica respiratoria Habilidad para optimizar ventilación mecánica Capacidad para adaptar parámetros a diferentes condiciones

ANÁLISIS DE RESULTADOS
¿Cómo afectan las propiedades elásticas y resistivas al trabajo respiratorio? ¿Qué modos de ventilación son más eficientes para diferentes patologías? ¿Cómo pueden optimizarse los parámetros ventilatorios para minimizar el daño pulmonar?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES
Los estudiantes deben comprender la complejidad de la mecánica respiratoria y desarrollar criterio

para optimizar la ventilación mecánica según las necesidades del paciente.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Simular diferentes patologías respiratorias (EPOC, SDRA, fibrosis)
Investigar nuevas estrategias de ventilación protectora
Analizar algoritmos de weaning ventilatorio

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Caracterización mecánica del sistema respiratorio 30% Optimización de parámetros ventilatorios 30% Análisis de condiciones patológicas 25% Trabajo colaborativo y resolución de problemas 15%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Lista de cotejo para uso de ventilador mecánico Rúbrica de análisis de mecánica respiratoria Rúbrica de optimización de parámetros
Formatos de reporte de prácticas	Formato de caracterización pulmonar Plantilla de optimización ventilatoria Formato de protocolos de ventilación

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	PROPIEDADES DEL SONIDO Y SISTEMA AUDITIVO
COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA	Relacionar propiedades de ondas sonoras con la función auditiva para mejorar implantes auditivos a través de trabajo en equipo y metodologías de resolución de problemas.

FUNDAMENTO TEÓRICO
El sistema auditivo funciona como un transductor mecánico-neural complejo. La transmisión sonora involucra mecanismos de conducción aérea y ósea, resonancia en cavidades y transducción en células ciliadas.

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
• Plataformas de desarrollo (Arduino, Raspberry Pi, STM32) • Sensores biomédicos variados • Componentes electrónicos y PCB • Software de desarrollo integrado • Herramientas de diseño CAD • Impresora 3D para prototipos • Instrumentos de medición y validación • Materiales para encapsulado • Documentación de normas médicas

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
Análisis acústico • Caracterización de respuesta frecuencial • Medición de niveles de presión sonora • Análisis de distorsión armónica Simulación de transmisión • Modelado de conducción aérea • Análisis de función de transferencia • Evaluación de pérdidas de transmisión Optimización de implantes • Programación de procesadores • Análisis de estrategias de codificación • Evaluación de respuesta neural

RESULTADOS ESPERADOS
Comprensión de la acústica del sistema auditivo Habilidad para caracterizar pérdidas auditivas Capacidad para optimizar dispositivos auditivos

ANÁLISIS DE RESULTADOS
¿Cómo se modifica la función de transferencia del oído en diferentes tipos de pérdida auditiva? ¿Qué estrategias de codificación son más efectivas para diferentes frecuencias? ¿Cómo pueden personalizarse los implantes según el tipo de pérdida auditiva?

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Los estudiantes deben comprender la complejidad del sistema auditivo y desarrollar habilidades para optimizar dispositivos de rehabilitación auditiva.

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Investigar nuevas tecnologías en implantes cocleares
Analizar efectos del ruido ambiental en la percepción auditiva
Desarrollar algoritmos de procesamiento de señales auditivas

EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	Caracterización acústica del sistema 30% Análisis de pérdidas de transmisión 25% Optimización de dispositivos auditivos 30% Metodologías de resolución de problemas 15%
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	Lista de cotejo para mediciones acústicas Rúbrica de análisis de función auditiva Rúbrica de optimización de implantes
Formatos de reporte de prácticas	Formato de análisis audiológico Plantilla de caracterización de implantes Formato de estrategias de rehabilitación auditiva

FUENTES DE INFORMACIÓN

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). Wiley.

Robertson, G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2014). *Research methods in biomechanics* (2nd ed.). Human Kinetics.

Humphrey, J. D., & Delange, S. L. (2004). *An introduction to biomechanics: Solids and fluids, analysis and design*. Springer.

Fung, Y. C. (2013). *Biomechanics: Mechanical properties of living tissues* (2nd ed.). Springer.
Enderle, J. D., Blanchard, S. M., & Bronzino, J. D. (2012). *Introduction to biomedical engineering* (3rd ed.). Academic Press.

Nigg, B. M., & Herzog, W. (2007). *Biomechanics of the musculoskeletal system* (3rd ed.). Wiley.
Zamir, M. (2000). *Cardiovascular fluid dynamics*. Academic Press.

West, J. B. (2012). *Respiratory physiology: The essentials* (9th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

ISO 14155: Investigación clínica de dispositivos médicos para sujetos humanos

ISO 14971: Aplicación de la gestión de riesgos a los dispositivos médicos

IEC 60601-1: Equipos electromédicos - Requisitos generales para la seguridad básica

ASTM F2792: Terminología estándar para tecnologías de fabricación aditiva

ISO 10993: Evaluación biológica de dispositivos médicos

FDA 21 CFR 820: Sistemas de calidad para dispositivos médicos



ANEXOS

Anexo 1: Formatos y Plantillas

A1.1 - Lista de Verificación para Prácticas de Biomecánica

LISTA DE VERIFICACIÓN - PRÁCTICA DE BIOMECAÁNICA

ASPECTO A EVALUAR	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIONES
PREPARACIÓN			
Llegó puntual a la práctica	☐	☐	
Trajo bata de laboratorio	☐	☐	
Revisó procedimientos previamente	☐	☐	
EJECUCIÓN EXPERIMENTAL			
Calibró correctamente los equipos	☐	☐	
Siguió protocolos de seguridad	☐	☐	
Registró datos adecuadamente	☐	☐	
Utilizó software especializado	☐	☐	
ANÁLISIS DE DATOS			
Procesó datos correctamente	☐	☐	
Aplicó principios biomecánicos	☐	☐	
Interpretó resultados apropiadamente	☐	☐	
TRABAJO EN EQUIPO			
Participó activamente	☐	☐	
Comunicó efectivamente	☐	☐	
Apoyó a compañeros	☐	☐	

Evaluador: _____ **Fecha:** _____ **Calificación:** ____/10

A1.2 - Formato de Reporte de Práctica Biomecánica

REPORTE DE PRÁCTICA DE LABORATORIO - BIOMECAÁNICA

Datos Generales:

- Nombre de la práctica: _____
- Elemento de competencia: _____
- Fecha de realización: _____
- Integrantes del equipo: _____
- Facilitador: _____

Objetivos de la práctica:

1. _____
2. _____

3. _____

Marco Teórico:

Materiales y Equipos Utilizados:

- _____
- _____
- _____

Metodología Aplicada:

Resultados Obtenidos: *Incluir tablas, gráficas, imágenes según corresponda*

Variable	Valor Medido	Unidades	Observaciones
----------	--------------	----------	---------------

Análisis de Resultados:

Discusión: ¿Los resultados obtenidos corresponden con la teoría estudiada?

¿Qué factores pudieron haber afectado las mediciones?

¿Cómo se podrían aplicar estos resultados en el diseño biomédico?

Conclusiones:

Referencias Bibliográficas:

A1.3 - Plantilla de Datos Experimentales

REGISTRO DE DATOS BIOMECÁNICOS

Campo	Descripción	Ejemplo
ID_Sujeto	Identificador del participante	S001
Edad	Años del participante	22
Peso	Peso corporal (kg)	70.5
Altura	Estatura (cm)	175
Tipo_Movimiento	Actividad analizada	Flexión de rodilla
Angulo_Inicial	Posición inicial (grados)	0°
Angulo_Final	Posición final (grados)	90°
Fuerza_Max	Fuerza máxima registrada (N)	250.3
Tiempo_Ciclo	Duración del movimiento (s)	2.5
Observaciones	Comentarios adicionales	Movimiento fluido

Anexo 2: Procedimientos de Seguridad Específicos

A2.1 - Protocolo de Seguridad para Equipos Biomecánicos

PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD - EQUIPOS DE MEDICIÓN BIOMECÁNICA

Objetivo: Garantizar el uso seguro de equipos de medición de fuerzas, movimientos y señales biomecánicas.

Equipos aplicables:

- Plataformas de fuerza
- Sistemas de captura de movimiento
- Dinamómetros
- Electromiógrafos
- Goniómetros digitales

Procedimiento de seguridad:

1. **Antes del uso:**
 - Inspeccionar cables y conexiones
 - Verificar calibración vigente
 - Comprobar estabilidad de montajes
 - Revisar que el área esté libre de obstáculos
2. **Durante el uso:**

- Supervisar constantemente al participante
- No exceder límites de carga especificados
- Mantener comunicación constante con el sujeto
- Detener inmediatamente ante cualquier anomalía

3. Después del uso:

- Limpiar y desinfectar superficies de contacto
- Almacenar sensores en estuches protectivos
- Documentar cualquier incidente en bitácora
- Verificar que todos los equipos estén apagados

Límites de seguridad:

- Fuerzas máximas: No exceder 80% de la capacidad nominal
- Velocidades de movimiento: Máximo 2 m/s en pruebas dinámicas
- Tiempo de exposición: Máximo 30 minutos por sesión
- Participantes: Excluir personas con lesiones activas

A2.2 - Plan de Emergencias Específico

PLAN DE RESPUESTA A EMERGENCIAS - LABORATORIO DE BIOMECÁNICA

1. Lesiones durante pruebas biomecánicas

- **Acción inmediata:** Detener equipos, evaluar lesión
- **Primeros auxilios:** Aplicar protocolos según tipo de lesión
- **Notificación:** Informar a facilitador y servicios médicos
- **Documentación:** Llenar reporte de incidente

2. Falla de equipos durante medición

- **Seguridad del participante:** Prioridad absoluta
- **Desenergización:** Desconectar equipos inmediatamente
- **Evaluación:** Revisar estado del participante
- **Reporte:** Documentar falla para mantenimiento

3. Contactos de emergencia específicos:

- Servicios médicos UES: (662) XXX-XXXX
- Mantenimiento de equipos: (662) XXX-XXXX
- Coordinador de laboratorio: (662) XXX-XXXX

Anexo 3: Ejercicios y Problemas de Apoyo

A3.1 - Caso de Estudio: Análisis de Prótesis de Rodilla

ESCENARIO: Un paciente amputado transfemoral requiere una prótesis de rodilla optimizada para sus actividades diarias que incluyen caminar, subir escaleras y levantarse de una silla.

DATOS DEL PACIENTE:

- Edad: 45 años
- Peso: 80 kg
- Altura: 1.75 m
- Nivel de actividad: Moderado a alto
- Profesión: Ingeniero (trabajo de oficina con desplazamientos)

DATOS BIOMECÁNICOS:

- Cadencia de marcha deseada: 110 pasos/min
- Longitud de paso: 0.7 m
- Momento máximo en rodilla durante marcha: 0.8 Nm/kg
- Rango de movimiento requerido: 0-120°

PROBLEMAS A RESOLVER:

1. **Análisis cinemático**
 - Calcular velocidades angulares requeridas
 - Determinar aceleraciones en diferentes fases de la marcha
 - Diseñar perfil de movimiento óptimo
2. **Análisis dinámico**
 - Calcular momentos articulares durante actividades
 - Determinar fuerzas de reacción en la interfaz prótesis-muñón
 - Evaluar potencia requerida para actuadores
3. **Selección de materiales**
 - Especificar materiales para diferentes componentes
 - Calcular factores de seguridad
 - Optimizar relación peso-resistencia

ENTREGABLES:

- Diseño conceptual de la prótesis
- Análisis biomecánico completo
- Especificaciones técnicas
- Plan de validación experimental

A3.2 - Ejercicio de Cálculo: Flujo Sanguíneo en Arterias

PROBLEMA: Analizar el flujo sanguíneo en una arteria carótida con las siguientes características:

DATOS:

- Diámetro interno: 6 mm
- Longitud analizada: 10 cm
- Presión sistólica: 120 mmHg
- Presión diastólica: 80 mmHg
- Frecuencia cardíaca: 70 latidos/min
- Viscosidad de la sangre: 4 mPa·s
- Densidad de la sangre: 1060 kg/m³

CALCULAR:

1. **Flujo promedio**
 - Fórmula: $Q = \pi \cdot r^2 \cdot \bar{v}$
 - Donde $\bar{v}$ es la velocidad promedio
2. **Número de Reynolds**
 - Fórmula: $Re = \rho \cdot v \cdot D / \mu$
 - Determinar si el flujo es laminar o turbulento
3. **Pérdida de presión**
 - Fórmula de Poiseuille: $\Delta P = 128 \cdot \mu \cdot L \cdot Q / (\pi \cdot D^4)$
 - Para flujo estacionario
4. **Velocidad de onda de pulso**
 - Fórmula de Moens-Korteweg: $c = \sqrt{E \cdot h / (\rho \cdot D)}$
 - Donde E es el módulo elástico de la pared arterial

SOLUCIÓN TÍPICA:

1. $Q \approx 5-15$ ml/s (depende de condiciones específicas)
2. $Re \approx 1000-3000$ (flujo laminar a transicional)
3. $\Delta P \approx 0.5-2$ mmHg
4. $c \approx 5-10$ m/s

A3.3 - Estudio de Caso: Optimización de Ventilador Mecánico

SITUACIÓN: Un ventilador mecánico debe optimizarse para un paciente con síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA).

PARÁMETROS DEL PACIENTE:

- Compliance pulmonar: 30 ml/cmH₂O (reducida)
- Resistencia de vías aéreas: 15 cmH₂O · s/L (elevada)
- Peso corporal: 70 kg
- Volumen tidal objetivo: 6 ml/kg (420 ml)

CONFIGURACIÓN INICIAL:

- Modo: Ventilación controlada por presión
- PEEP: 10 cmH₂O
- Presión pico: 30 cmH₂O
- Frecuencia respiratoria: 16 respiraciones/min
- FiO₂: 0.6

PROBLEMAS A ANALIZAR:

1. **Mecánica respiratoria**
 - Calcular constante de tiempo respiratoria ($\tau = R \times C$)
 - Determinar trabajo respiratorio
 - Evaluar riesgo de barotrauma
2. **Optimización de parámetros**

- Ajustar presión para alcanzar volumen tidal objetivo
- Optimizar PEEP para reclutamiento alveolar
- Calcular relación I:E óptima

3. Monitoreo de variables

- Presión meseta < 30 cmH₂O
- Driving pressure < 15 cmH₂O
- Compliance dinámica > 25 ml/cmH₂O

PREGUNTAS PARA ANÁLISIS:

- ¿Cómo afecta la compliance reducida a la distribución de presiones?
- ¿Qué estrategias pueden minimizar el riesgo de lesión pulmonar?
- ¿Cómo monitorear la respuesta del paciente a los cambios?

Anexo 4: Rúbricas de Evaluación Específicas

A4.1 - Rúbrica para Prácticas de Sistema Musculoesquelético

CRITERIO	EXCELENTE (10)	BUENO (8-9)	SATISFACTORIO (7)	INSUFICIENTE (6)
Análisis biomecánico	Aplica correctamente todos los principios mecánicos con interpretación avanzada	Aplica la mayoría de principios con buena interpretación	Aplica principios básicos con interpretación adecuada	Aplicación incorrecta o interpretación deficiente
Manejo de equipos	Dominio completo de equipos de medición biomecánica	Buen manejo con mínimas dificultades	Manejo adecuado con algunas dificultades	Dificultades significativas en el manejo
Procesamiento de datos	Procesamiento preciso con análisis estadístico avanzado	Procesamiento correcto con análisis adecuado	Procesamiento básico correcto	Errores en procesamiento o análisis
Aplicación clínica	Excelente conexión con aplicaciones protésicas y rehabilitación	Buena conexión con aplicaciones prácticas	Conexión básica con aplicaciones	Poca o nula conexión con aplicaciones

A4.2 - Rúbrica para Prácticas de Sistema Cardiovascular

CRITERIO	EXCELENTE (10)	BUENO (8-9)	SATISFACTORIO (7)	INSUFICIENTE (6)
Comprensión de fluidos	Dominio completo de principios reológicos y hemodinámicos	Buena comprensión con aplicación correcta	Comprensión básica adecuada	Comprensión deficiente o incorrecta
Análisis de flujo pulsátil	Análisis completo de ondas y propagación con interpretación experta	Análisis correcto con buena interpretación	Análisis básico correcto	Análisis incompleto o incorrecto
Diseño de dispositivos	Propuestas innovadoras y viables para dispositivos cardiovasculares	Propuestas viables con buen fundamento	Propuestas básicas factibles	Propuestas poco viables o sin fundamento

A4.3 - Rúbrica para Trabajo Colaborativo en Biomecánica

CRITERIO	EXCELENTE (10)	BUENO (8-9)	SATISFACTORIO (7)	INSUFICIENTE (6)
Organización del equipo	Excelente distribución de roles y coordinación eficiente	Buena organización con roles claros	Organización básica adecuada	Poca organización o roles confusos
Comunicación técnica	Comunicación clara y precisa de conceptos biomecánicos	Buena comunicación técnica	Comunicación adecuada	Comunicación deficiente o confusa
Resolución de problemas	Enfoque sistemático y creativo para resolver problemas complejos	Buen enfoque para resolución de problemas	Enfoque básico efectivo	Dificultades en resolución de problemas
Responsabilidad profesional	Demuestra alta responsabilidad ética y profesional	Buena responsabilidad profesional	Responsabilidad adecuada	Poca responsabilidad o compromiso

Anexo 5: Recursos Complementarios

A5.1 - Software Recomendado

Software de Análisis Biomecánico:

- **OpenSim:** Simulación musculoesquelética de código abierto
- **Visual3D:** Análisis de datos de captura de movimiento
- **MATLAB Biomechanics Toolbox:** Procesamiento de señales biomecánicas
- **AnyBody Modeling System:** Modelado del sistema musculoesquelético

Software de Mecánica de Fluidos:

- **ANSYS Fluent:** Dinámica de fluidos computacional
- **COMSOL Multiphysics:** Simulación multifísica
- **OpenFOAM:** CFD de código abierto
- **SimScale:** Simulación basada en la nube

Software de Análisis de Señales:

- **LabVIEW:** Adquisición y procesamiento de datos
- **Python (SciPy/NumPy):** Análisis científico
- **R Statistical Software:** Análisis estadístico
- **EEGLAB/MATLAB:** Procesamiento de señales biomédicas

A5.2 - Equipos Especializados del Laboratorio

Sistema de Captura de Movimiento:

- Cámaras infrarrojas de alta velocidad (120 fps)
- Marcadores reflectantes y activos

- Software de reconstrucción 3D
- Rango de captura: 3m × 3m × 2m

Plataforma de Fuerzas:

- Capacidad: 2000 N en cada eje
- Frecuencia de muestreo: 1000 Hz
- Precisión: $\pm 0.1\%$ del fondo de escala
- Dimensiones: 60 cm × 40 cm

Sistema de Electromiografía (EMG):

- 16 canales inalámbricos
- Ancho de banda: 20-500 Hz
- Resolución: 16 bits
- Electrodo de superficie y aguja

Dinamómetro Isocinético:

- Rango de velocidad: 0-500°/s
- Torque máximo: 500 Nm
- Articulaciones: rodilla, tobillo, hombro, codo
- Protocolos de evaluación predefinidos

A5.3 - Protocolos de Calibración

PROTOCOLO DE CALIBRACIÓN - PLATAFORMA DE FUERZAS

Frecuencia: Mensual o después de 1000 horas de uso

Procedimiento:

- 1. Verificación de cero:**
 - Plataforma sin carga durante 60 segundos
 - Verificar que todas las componentes sean < 0.1 N
- 2. Calibración de fuerzas verticales:**
 - Aplicar pesas conocidas (50, 100, 200, 500, 1000 N)
 - Registrar lecturas en 5 posiciones diferentes
 - Calcular error lineal (debe ser $< 0.5\%$)
- 3. Calibración de fuerzas horizontales:**
 - Usar sistema de poleas con pesas conocidas
 - Verificar en direcciones X e Y
 - Error máximo aceptable: $< 1\%$
- 4. Calibración de momentos:**
 - Aplicar fuerzas a distancias conocidas del centro
 - Verificar cálculo automático de momentos
 - Error máximo aceptable: $< 2\%$



UES

Universidad Estatal de Sonora
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu