

Clave de la Propuesta	PPI- - -		
Puntos a considerar	Si	No	Observaciones/Comentarios
¿Se incluyen los datos de la <b>Portada</b> (licenciatura, título, modalidad, versión, declaratoria, firmas, etc.)?			
¿La extensión del <b>Título</b> es adecuada y sin abreviaturas?			
¿El <b>Título</b> refleja de forma clara lo que se trabajará en el proyecto?			
¿La <b>Introducción</b> describe en forma concisa el área de aplicación del proyecto?			
¿Los <b>Antecedentes</b> sitúan el proyecto propuesto respecto a otros trabajos?			
¿La <b>Justificación</b> describe la razón, relevancia o necesidad que origina el proyecto?			
¿El <b>Objetivo General</b> es claro y tiene relación directa con el proyecto a realizar?			
¿Los <b>Objetivos Particulares</b> se engloban en el objetivo general?			
¿La secuencia de actividades que se presenta en la <b>Metodología</b> es congruente con los objetivos y permite que se alcancen éstos?			
¿La <b>Descripción Técnica</b> presenta las especificaciones generales y particulares (materiales, dimensiones, normas, etc.), así como la explicación funcional de cada uno de los bloques del sistema a desarrollar?			
¿La <b>Normatividad</b> mencionada da un marco a la propuesta?			
¿El <b>Cronograma de Actividades</b> señala con claridad las tareas a realizar para alcanzar los objetivos del proyecto?			
¿El proyecto es realizable en el tiempo propuesto?			
¿Se encuentran indicados los <b>Entregables</b> dentro de la propuesta? ¿Se incluye explícitamente la entrega del <b>Reporte Final</b> ?			
¿Se incluyeron las <b>Referencias Bibliográficas</b> y estas cumplen con el formato solicitado?			
¿La <b>Terminología</b> específica del proyecto, que no es del conocimiento general en Ingeniería Mecánica, está claramente explicada?			
¿Se indican instalaciones, equipos y materiales que se requieren para realizar el proyecto?			
¿La propuesta tiene una redacción clara y sin faltas ortográficas?			
¿El enfoque del trabajo corresponde a un proyecto de Ingeniería Mecánica?			
Observaciones			
Estado de la propuesta		Comité de Estudios de Ingeniería Mecánica	
( ) Autorizada      ( ) Revisada      ( ) No autorizada			

**Universidad Autónoma Metropolitana.**

**Unidad Azcapotzalco.**

**División de Ciencias Básicas e Ingeniería.**

**Licenciatura:** Ingeniería Mecánica.

Caracterización de un aislante topológico elástico cuasi-unidimensional.

**Modalidad:** Proyecto de Investigación.

**Versión:** Segunda.

**Trimestre Lectivo:** 24P.

**Datos de los alumnos:**

Nombre completo: Juan Pablo García Otamendi.

Matrícula: 2173075826

Correo electrónico: al2173075826@azc.uam.mx

Firma:



Nombre completo: Ismael Hernández Vite.

Matrícula: 2163073981

Correo electrónico: al2163073981@azc.uam.mx

Firma:



**Datos de los asesores:**

Nivel académico y nombre completo: Dra. María Gabriela Báez Juárez

Categoría: Titular

Departamento de adscripción: Ciencias Básicas.

Teléfono: 5553189000; ext: 2364

Correo electrónico: gbaez@azc.uam.mx

Firma:

Nivel académico y nombre completo: Dr. Enrique Flores Olmedo

Categoría: Asociado

Departamento de adscripción: Ciencias Básicas.

Teléfono: 5553189000; ext: 2365

Correo electrónico: efo@azc.uam.mx

Firma:

Fecha: 19/09/24

Declaratoria.

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Juan Pablo García Otamendi

Ismael Hernández Vite

Dra. María Gabriela Báez Juárez

Dr. Enrique Flores Olmedo

## 1. Introducción.

Los materiales poseen propiedades físicas únicas, y conocerlas es fundamental para seleccionar aquellos con las características adecuadas para cada aplicación. Estas propiedades influyen en la respuesta de un material a estímulos como la conductividad, la resistencia o la temperatura entre muchas otras [1].

La física del estado sólido ha demostrado que la conductividad eléctrica depende de la estructura de bandas electrónicas del espectro de energías de un material. En los conductores, las bandas de valencia y de conducción se superponen, permitiendo el libre flujo de electrones. En los semiconductores, existe una pequeña brecha de energía que los electrones pueden superar con suficiente energía, permitiendo la conducción. Por otro lado, en los aislantes, la brecha de energía es lo suficientemente grande como para evitar el movimiento de electrones, impidiendo la conducción eléctrica [2].

De manera similar, los aislantes de ondas mecánicas dependen de una estructura geométrica en la que las vibraciones (similar a los electrones en un material) se encuentran en una “brecha prohibida” del correspondiente espectro de frecuencias vibracionales que impide su propagación en dicho estado de frecuencias. Esta brecha de frecuencias se diseña a través de la geometría y estructura interna del sistema elástico dificultando la transmisión o propagación de las vibraciones.

En los aislantes topológicos del estado sólido, también hay una brecha de energía entre la banda conductora y la banda de valencia. No obstante, debido al acoplamiento spin-órbita de los electrones, se genera un efecto parecido al campo magnético del efecto Hall cuántico entero y solo es posible establecer estados de borde, de orilla o también llamados de superficie. Esto significa que solo puede haber corrientes eléctricas en la superficie de un sistema, pero no en su interior. En estos casos, se presentan dos corrientes, una para espín arriba y otra para espín abajo, es decir, un aislante topológico es un material que es un conductor en la superficie y un aislante en el interior [3].

Sin embargo, para integrar estos materiales en futuras tecnologías, es crucial confirmar experimentalmente sus propiedades topológicas. Esto ya se ha hecho con ondas electromagnéticas [5]. Esta fenomenología de ondas clásicas debe tener su analogía con ondas clásicas de otra naturaleza como son las ondas mecánicas o las térmicas, haciendo los diseños apropiados según las leyes que rigen a estas, para generar los estados de borde.

Por lo anterior, en este trabajo se realizará la caracterización experimental de una estructura elástica cuasi-unidimensional previamente diseñada en el proyecto terminal de Ing. Física de la entonces estudiante Flores Muñoz Elizabeth. Se someterá a pruebas mediante espectroscopia acústica resonante (Acoustic Resonance Spectroscopy “ARS”), la cual nos permitirá medir las resonancias elásticas de la barra cuando es sometida a excitación torsional. Se fabricará la estructura con propiedades de aislante topológico para vibraciones torsionales, su estudio experimental y caracterización elástica nos permitirá validar los resultados teóricos y explorar su potencial en posibles aplicaciones tecnológicas.

## 2. Antecedentes.

En 2016, se otorgó el Premio Nobel de Física a David J. Thouless, F. Duncan M. Haldane y J. Michael Kosterlitz por sus descubrimientos teóricos sobre transiciones de fase topológicas y fases topológicas de la materia. Esto dio pie a la creación de aislantes topológicos, promoviendo la exploración de sus propiedades electrónicas y estructurales [4].

El descubrimiento del  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$ , el primer aislante topológico magnético intrínseco con propiedades antiferromagnéticas, ha abierto nuevas posibilidades para aplicaciones avanzadas como la computación cuántica. Este material promete un alto rendimiento en dispositivos y aplicaciones tecnológicas. La validación y caracterización experimental de los aislantes topológicos son esenciales para confirmar las propiedades teóricas y explorar su viabilidad en aplicaciones prácticas [5].

En 2018 Jianfei Yin, Massimo Ruzzene, Jihong Wen de la Universidad de Tecnología de Defensa, la escuela de ingeniería aeroespacial de Atlanta Georgia, diseñaron un cristal fonónico elástico compuesto por una viga de aluminio con secciones transversales dispuestas periódicamente para estudiar la inversión masiva de bandas espectrales de energía debido al cambio de fases topológicas. Como ya se ha mencionado, estas transiciones de fase también tienen su analogía en los cristales fonónicos y los metamateriales acústicos y elásticos, en general. Estas estructuras se estudian para manipular ondas elásticas o también llamadas vibraciones, en sus distintas polaridades. Las propiedades de particular interés incluyen la existencia de estados de borde protegidos topológicamente que podrían ser beneficiosos para una variedad de aplicaciones, incluyendo la recolección y almacenamiento de energía mecánica y el control de la propagación, direccionamiento y localización inteligente de las vibraciones. El análisis realizado en la referencia [6] es importante debido a que proporciona las bases para entender las pruebas que se proponen llevar a cabo en este proyecto.

En mayo del 2024 en la Universidad Autónoma Metropolitana se presentó un Proyecto de Investigación que lleva por nombre “Diseño de una estructura elástica cuasi-unidimensional con propiedades de aislante topológico”. En su estudio, se diseñó numéricamente un material cuasi-unidimensional para ondas elásticas, utilizando el método de elemento finito y COMSOL Multiphysics. Los resultados confirmaron la viabilidad del diseño y la presencia de estados de borde y transiciones topológicas, destacando la necesidad de validar experimentalmente la barra diseñada. Este proyecto se tomará como guía para la caracterización del aislante topológico [7].

## 3. Justificación.

La caracterización del modelo propuesto es crucial para validar las propiedades de aislante topológico predichas en el diseño numérico. Aunque este diseño muestra viabilidad teórica, la validación práctica es necesaria para confirmar la existencia de los estados de borde y transiciones topológicas. Esto permitirá una comprensión más detallada de las propiedades físicas del material y su relación con la estructura del modelo, además de mejorar la percepción de la conductividad en estos sistemas. Así, facilitará el desarrollo de nuevas tecnologías, desarrolladas y asimiladas en la UAM-Azcapotzalco para contribuir a nivel nacional a la fabricación de nuevos materiales inteligentes basadas en las propiedades ondulatorias elásticas

de materiales topológicos. Algunas de las posibles aplicaciones pueden ser en sensores, sistemas de control de vibraciones, almacenamiento de energía o tecnologías de aislamiento.

#### 4. Objetivos.

Objetivo general:

Construir y caracterizar una estructura elástica cuasi-unidimensional de aluminio 1100, fabricada según diseño numérico previo, con propiedades de aislante topológico para vibraciones torsionales.

Objetivos particulares:

Manufacturar la barra cuasi-unidimensional propuesta.

Implementar la técnica experimental de caracterización elástica por espectroscopia acústica resonante (Acoustic Resonance Spectroscopy "ARS") para caracterizar elásticamente el sistema.

Analizar los resultados experimentales para identificar el intervalo de frecuencias en el que el sistema actúa como aislante topológico.

Examinar los patrones estacionarios y el espectro de frecuencias característico de la estructura.

Verificar las propiedades de aislante topológico del sistema mediante la comparación con los resultados numéricos.

#### 5. Metodología.

Investigación bibliográfica previamente para caracterizar y entender el proceso de caracterización elástica y como está permite determinar los distintos módulos elásticos del material en distintos intervalos de la frecuencia de ondas elásticas de distintas polarizaciones.

Búsqueda de literatura relacionada con estructuras elásticas con propiedades de aislante topológico.

Se fabricará la estructura diseñada con propiedades de aislante topológico elástico a partir de una barra de aluminio 1100 de sección transversal circular en CAD según el diseño propuesto [7].

Tabla 1. Parámetros geométricos de la estructura para fabricar en aluminio 1100.

Parámetro	Valor	Descripción
L	3.28 in	longitud de la barra de radio r
C1, C2	0.24 in	distancia entre los cilindros
L1	1.40 in	Altura del cilindro
r	0.12 in	Radio de la barra
R	0.25 in	Radio de los cilindros
$\rho$	0.0979 lb/in <sup>3</sup>	Densidad
$\nu$	0.33	Coefficiente de Poisson
E	70 GPa	Modulo de Young

Una vez teniendo el diseño en CAD con las medidas especificadas se construirá el prototipo de la barra como se muestra en la figura 1.

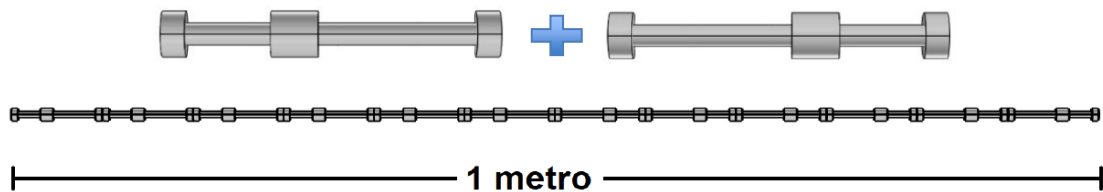


Figura 1. Configuración de la barra de aluminio.

Implementar el método de espectroscopia acústica resonante (ARS). La espectroscopia acústica resonante es una técnica utilizada para estudiar las propiedades mecánicas y estructurales de los materiales. Se basa en la medición de las resonancias elásticas que ocurren cuando un material es sometido a una excitación.

La barra estructurada, de una sola pieza se someterá a pruebas de ARS. La técnica consiste en enviar una onda mecánica armónica, de frecuencia  $f$ , a una estructura elástica y medir la respuesta de ésta, en términos también de frecuencia y amplitud.

Se hará una comparación de los datos numéricos con los resultados experimentales.

## 6. Normatividad.

Normas de las propiedades mecánicas del aluminio:

- NMX-W-047-SCFI-2013 Aluminio y sus aleaciones-Propiedades mecánicas-Ensayo de resistencia a la tensión. Establece el método de prueba a la tensión para determinar las propiedades mecánicas en el aluminio y sus aleaciones, en cualquier forma física, exceptuando las de papel, polvos y sintetizados, a la temperatura ambiente y a baja velocidad de deformación.

- NMX-W-162-SCFI-2013 Aluminio y sus aleaciones- Determinación del tamaño de grano promedio. Esta norma mexicana establece el método para la determinación del tamaño de grano promedio por el método de comparación y el procedimiento de intercepción en el aluminio y sus aleaciones, en cualquier forma física, siempre y cuando su estructura presenta aspectos similares a los de las estructuras metálicas que se observan en las cartas de comparación.
- ASTM B308. Especificación estándar para aleaciones de aluminio y sus aleaciones en perfiles estructurales. Establece propiedades mecánicas como, límite elástico, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión.

7. Cronograma de actividades.

UEA para la que se solicita autorización:

- Proyecto de Integración de Ingeniería Mecánica I.

	Actividades del trimestre 24-O	Semanas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Consultar bibliografías	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Recopilar información de las dimensiones y tolerancias de la barra			x	x	x							
3	Dibujar el prototipo en CAD					x	x						
4	Construir el prototipo							x	x	x			
5	Implementar el método ARS									x	x	x	x



	Actividades del trimestre 25-I	Semanas											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	Realizar pruebas preliminares del prototipo	x	x	x									
7	Recopilar datos experimentales				x	x	x						
8	Analizar resultados							x	x				
9	Verificar resultados									x	x	x	
10	Realizar y entregar el reporte final	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

## 8. Entregables.

Reporte final del proyecto de integración.

## 9. Referencias bibliográficas.

- [1] BSDI, 2021, Transformamos tus ideas en realidad, Qué son las propiedades de los materiales y cuales son?, de <https://bsdi.es/que-son-las-propiedades-de-los-materiales-y-cuales-son/>
- [2] Rami Arieli, "The laser adventure", Universidad de Murcia España, Chapter 6.3 Diode lasers, de <https://www.um.es/LEQ/laser/Ch-6/F6s3p3.htm#:~:text=Las%20bandas%20de%20energ%C3%ADa%20en,pueden%20moverse%20por%20el%20semiconductor.>
- [3] Victor Knapp Perez, 2019, Instituto de Ciencias Nucleares UNAM, Aislantes Topológicos, de [https://bigbang.nucleares.unam.mx/~jimenez/FAMC/Trabajo1\\_2019/KnappPerezV\\_AislantesTopologicos.pdf](https://bigbang.nucleares.unam.mx/~jimenez/FAMC/Trabajo1_2019/KnappPerezV_AislantesTopologicos.pdf)

- [4] Osvaldo de Melo, 2016, EFECTO HALL CUANTICO Y AISLANTES TOPOLOGICOS, Revista Cubana de Fisica, vol, 33, n 2º, págs 150-155 <https://researchs.uam.elogim.com/c/p347yv/viewer/pdf/mvbbk52rez>
- [5] 2019, campusa Noticias de la Universidad del PAis Vasco, Descubierto el primer Aislante Topologico Magnetico Intrinseco, de <https://www.ehu.eus/es/-/aurkitua-lehen-berezko-isolatzaille-topologiko-magnetikoa>
- [6] Jianfei Yin, Massimo Ruzzene, Jihong Wen, Dialong Yu, Li Cai y Linfeng Yue, 2018, Band transition and topological interface modes in 1D elastic phononic crystals, Scientific Reports
- [7] Flores Muñoz Elizabeth, 2024, “Diseño de una estructura elástica cuasi-unidimensional con propiedades de aislante topológico”, proyecto de investigación, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

#### 10. Terminología.

Cuasi-unidimensional: A pesar de que la celda unitaria está diseñada en tres dimensiones, el sistema se considera cuasi-unidimensional, pues el patrón periódico únicamente se presenta en una dimensión.

Estados de borde: Se refiere a un material cuando conduce vibraciones únicamente en la superficie.

Transiciones topológicas: Son cambios en la estructura topológica de un sistema que ocurren cuando se cruzan ciertos puntos críticos. Estos cambios pueden afectar las propiedades físicas del sistema como la capacidad para conducir vibraciones.

#### 11. Infraestructura.

El proyecto se realizará dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, en el edificio G planta baja: “Laboratorio de Sistemas Dinámicos”

Se construirá el prototipo en el taller de Ingeniería Mecánica.

#### 12. Asesoría complementaria

No se requiere asesoría complementaria.

#### 13. Publicación o difusión de resultados.

No se realizará publicación o difusión de resultados.

Comentario del CEIM		Acción realizada en la PPI	
0	Incluir correctamente la división.	0	Se corrigió en la portada. "División de Ciencias Básicas e Ingeniería".
0	No mencionar el tipo de asociado "C" y "D".	0	Se eliminaron elementos.
2	Definir en el texto que son los aislantes topológicos.	2	Se define al final del párrafo: "es decir, un aislante topológico es un material que es un conductor en la superficie y un aislante en el interior".
2	Describir el uso de ARS, incluir el acrónimo, e incluir palabras en el lenguaje de origen.	2	Se agrega al texto describiendo el método de ARS: "Se someterá a pruebas mediante espectroscopia acústica resonante (Acoustic Resonance Spectroscopy "ARS"), la cual nos permitirá medir las resonancias elásticas de la barra cuando es sometida a excitación torsional."
2	Definir de qué tipo de aislante se trata.	2	Se especifica el tipo de material a caracterizar "aislante topológico para vibraciones torsionales".
2	Colocar el punto después de la referencia. Revisar todo el documento.	2	Se revisó el documento y se corrigió la posición del punto final en los párrafos correspondientes.
3	Describir "estados de borde" y "transiciones topológicas" en terminología.	3	Se describe en Terminología.
3	¿Cual sería una posible aplicación?	4	Se agregaron al texto las posibles aplicaciones: "Algunas de las posibles aplicaciones pueden ser en sensores, sistema de control de vibraciones, almacenamiento de energía o tecnologías de aislamiento."
3	Definir que es cuasi-unidimensional.	3	Se describe en Terminología.
3	Texto tachado.	4	Se eliminó parte del texto: "en el proyecto de investigación de Flores Muñoz Elizabeth."
4	Cambiar el verbo "Aprender" por "Implementar".	4	Se cambió el verbo.

4	Homogeneizar el idioma.	4	Se agregó al texto la definición completa de ARS.
4	Parece texto perdido	4	Se eliminó el texto "CAD" ya que se menciona en el siguiente párrafo.
4	La figura incluida no ayuda a entender el alcance del proceso de fabricación de la geometría.	5	Se agregó una imagen más clara de las secciones que constituyen la barra.
4	Cambiar "imágen" por "figura".	5	Se realizó el cambio.
4	Cambiar el verbo "Comprender" por "Implementar".	4	Se cambió el verbo.
5	Mayúsculas en cada palabra.	5	Se agregaron las mayúsculas al inicio de cada palabra.
5	Los verbos en el cronograma deben estar en infinitivo.	6	Se conjugaron los verbos en infinitivo.
6	Cambiar el verbo "Aprender" por "Implementar".		Se cambió el verbo.
6	No usar viñetas cuando no hay una lista de conceptos.	7	Se eliminaron las viñetas en el documento que no se usaban en un listado de conceptos.
6	No se respeta la sangría francesa. Faltan espacios en las referencias.	6	Se agregó sangría francesa para las referencias.