

**LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
CONOCIMIENTO SOBRE EL EFECTO PIEZOELÉCTRICO EN LAS CLASES DE
FÍSICA DE LA ESCUELA SECUNDARIA**

Mavery Viviana Muñoz Ipus

2019146047

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de Física

Línea de Profundización: La Actividad Experimental en la Enseñanza de la Física

Bogotá D.C.

2023

**LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
CONOCIMIENTO SOBRE EL EFECTO PIEZOELÉCTRICO EN LAS CLASES DE
FÍSICA DE LA ESCUELA SECUNDARIA**

Mavery Viviana Muñoz Ipus

Trabajo de grado para optar al título de Licenciada en Física

Asesora del trabajo:

Doctora María Cristina Cifuentes Arcila

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Bogotá D.C

2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi profesora María Cristina por su invaluable guía y apoyo durante la realización de este trabajo.

CONTENIDO

1	EFECTO PIEZOELÉCTRICO	15
1.1	Los estudios sobre la piroelectricidad, un antecedente necesario para la piezoelectricidad	16
1.2	Los estudios experimentales de Jacques y Pierre Curie sobre la piezoelectricidad 18	
1.3	Estructura cristalina y simetría	26
1.3.1	Distribución de cargas en los materiales piezoeléctricos	29
1.4	Efecto Piezoeléctrico inverso	32
1.5	Materiales Piezoeléctricos	34
1.5.1	Sal de Rochelle.....	34
1.5.2	Cerámicas de Titanato de Circonato de Plomo (PZT)	36
2	LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO ESCOLAR.....	39
2.1	La actividad experimental como base empírica para la construcción de teoría. ...	40
2.2	La actividad experimental como proceso de intervención en el mundo natural ...	42
3	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	45
3.1	Materiales como recurso que posibilitan la realización de la actividad experimental.....	45
3.1.1	Fabricación de Cristales de Sal de Rochelle	46
3.1.2	Construcción de tapete piezoeléctrico de cerámicas PZT con visualizador... ..	49
3.2	Implementación de la Prueba Piloto.....	52
3.2.1	Sesión 1: Actividad introductoria. Algunos materiales pueden inducir una carga eléctrica cuando se les ejerce una tensión de compresión	53
3.2.2	Sesión 2: Actividad experimental con distintos materiales. Montaje análogo al de los hermanos Curie.....	55
3.2.3	Sesión 3: Actividad experimental con cerámicas PZT.....	59
4	REFLEXIÓN FINAL.....	62
5	BIBLIOGRAFÍA	66
6	ANEXOS	68

6.1	Anexo 1	68
6.2	Anexo 2	71
6.3	Anexo 3	77

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Cristal cortado en forma de paralelepípedo rectangular.	19
Figura 2:Prensa de banco.	20
Figura 3:Electrómetro cuadrático de Thompson.	20
Figura 4:Esquema del montaje de los hermanos Curie para determinar las constantes piezoeléctricas. Fuente: "El descubrimiento del efecto piezoeléctrico" de Katzir (2006)	24
Figura 5: A la derecha, imagen de cuarzo con simetría hemidrica, junto con la representación de sus ejes de simetría. A la izquierda imagen de cuarzo con simetría completa, acompañada de la representación de sus ejes de simetría.....	27
Figura 6: Celda unitaria simplificada de alfa-cuarzo no estresado con los ejes polares correspondientes: (a) se observa la disposición de los iones Si^{4+} y O^{2-} en un hexágono regular; (b) se destacan los ejes de rotación de 2 y 3 como elementos de simetría.....	30
Figura 7: Efecto piezoeléctrico directo dentro de la celda unitaria simplificada de cuarzo alfa. (a) Efecto piezoeléctrico longitudinal; (b) Efecto piezoeléctrico transversal.....	32
Figura 8:Estructura del Tartrato de Sodio y Potasio conocido, como Sal de Rochelle.....	36
Figura 9: Cerámicas piezoeléctricas.	38
Figura 10: (a) Síntesis de Sal de Rochelle, (b) Estado finalizado del cristal de Sal de Rochelle.....	48
Figura 11:(a) Tapete Base para Cerámicas PZT, (b) Esquema del Circuito de Conexión de las Cerámicas PZT a los LED, (c) Vista Superior y (d) Vista Inferior del Visualizador LED Integrado.	51
Figura 12: Esquema del montaje experimental.....	57

INTRODUCCIÓN

En la didáctica de la física, la construcción de conocimiento sobre el mundo físico es una finalidad fundamental para enseñar esta disciplina en la escuela secundaria. Este propósito se enfrenta por las convicciones epistemológicas de ciertos docentes que asumen una imagen de la ciencia desde perspectivas absolutistas-positivistas, que conciben la física como verdades incuestionables e incontrovertibles.

Los docentes con epistemologías absolutistas-positivistas encuentran contraintuitivos los ambientes de aprendizaje constructivistas porque conciben las ciencias físicas como *una serie de verdades absolutas*, de allí que asuman que lo que deben enseñar de la ciencia es “*un producto acabado*”. Desde esta consideración, las leyes de la naturaleza existen independientes de quienes las producen y los conceptos que de ellas se derivan son verdaderos y únicos (Arteaga, 2009).

En tal sentido, para estos docentes la finalidad de la enseñanza de la física es lograr que sus estudiantes *memoricen, reproduzcan y utilicen “adecuadamente” los conocimientos producidos por los científicos como un asunto abstracto*¹, lo cual lastimosamente termina siendo ininteligible y carente de significado para la vida de los estudiantes (Arteaga, 2009).

Desde este punto la enseñanza de la física se convierte en la transmisión de conocimientos

¹ En algunos casos la situación es más desalentadora porque se reduce la finalidad de la enseñanza de la Física a aprender y utilizar de forma “correcta” fórmulas para resolver problemas de lápiz y papel de los que aparecen al final de los capítulos de libros, sin ahondar en los conceptos que subyacen a dichas fórmulas

abstractos y estáticos, desconociendo el papel esencial de las dimensiones del pensamiento, experiencia y lenguaje en el proceso de aprendizaje

La postura expuesta, se puede asumir como un tipo de enseñanza inmersa en un modelo tradicional, en donde *“Todo lo que el alumno tiene que hacer es reproducir un conocimiento, o si se prefiere incorporarlo a su memoria”* (Pozo, 1997)

Este modelo de enseñanza tradicional, al centrarse mayormente en la transmisión de información teórica, ha resultado en una brecha notable respecto a su aplicación práctica, es decir a la experimentación. La utilización de experimentos, aunque presente en algunos casos, *“se limita a la idea clásica de que la experimentación solo es posible mediante el procedimiento del método científico, donde todo debe ser verificado y cuantificable para ser válido”* (Romero-Chacón, 2017)

En este contexto, surge la interrogante sobre la finalidad de los experimentos propuestos en las clases de física y la imagen de la ciencia que estos promueven. Desde esta mirada ¿Cuál es la intención del profesor al presentar estos experimentos? Pues bien, estos aspectos son fundamentales para comprender las dinámicas impuestas por la ciencia y la tecnología en cuanto a la integración entre la dimensión teórica y experimental en el proceso de construcción del conocimiento.

La presente investigación se focaliza en abordar estos desafíos mediante un campo de estudio que posibilite articular la dimensión teórica y experimental, centrándose específicamente en

el estudio del *efecto piezoeléctrico*². Este como todos los efectos, no es "*algún contenido directo de la experiencia sensible*", sino una regularidad observable de la naturaleza (Hacking, 1983, pág. 252). Iglesias (2004) señala que los efectos científicos, materia prima de los fenómenos, no se producen espontáneamente, sino que son entidades que adquieren existencia mediante determinadas prácticas experimentales. De manera análoga, Romero-Chacón (2017) destaca que los instrumentos y los procesos de medida son precisamente los medios que posibilitan el modo en que los objetos de estudio de las ciencias (efectos científicos) se producen.

De acuerdo con lo expuesto, surge la siguiente pregunta como eje central de la presente investigación:

¿Cómo diseñar actividades experimentales para propiciar la construcción del conocimiento sobre el Efecto Piezoeléctrico en la electiva "No tan Obvio" del Colegio Instituto Pedagógico Nacional?

La presente investigación tiene como objetivo general el diseño de actividades experimentales para propiciar la construcción del conocimiento sobre el Efecto Piezoeléctrico en la electiva "No tan Obvio" del Colegio Instituto Pedagógica Nacional.

En aras de alcanzar este objetivo central, se plantean los siguientes objetivos específicos:

²La piezoelectricidad es una propiedad física que tienen algunos materiales, esta se manifiesta cuando el material está bajo una tensión mecánica, como consecuencia se proporciona una diferencia de potencial en su superficie. Por su etimología, Piezoelectricidad traduce de manera literal "electricidad por presión"

- Analizar las contribuciones experimentales y teóricas pioneras para comprender el Efecto Piezoeléctrico, así como explorar su aplicación en materiales específicos.
- Analizar el papel fundamental de la actividad experimental en la enseñanza de la Física, proponiendo una visión integral respaldada por trabajos científicos experimentales, epistemología y didáctica de las ciencias.
- Hacer una prueba piloto de las actividades experimentales en el contexto específico de la electiva "No tan Obvio" del Colegio Instituto Pedagógica Nacional.

En cuanto a la metodología de investigación, en este trabajo se asume una metodología de investigación de carácter cualitativo, porque permite una integración simbiótica entre los fundamentos teóricos de la física que se ven inmersos en el efecto piezoeléctrico y lo que conlleva el diseño de actividades experimentales que propician la construcción del conocimiento sobre el Efecto Piezoeléctrico.

Desde este punto la metodología estuvo comprendida por cuatro fases:

Fase 1: Revisión documental referente a los aspectos disciplinares y pedagógicos. Para la fase inicial de esta investigación, se realizó una revisión exhaustiva de documentos que abordan las ideas teóricas y experimentos relacionados con el efecto piezoeléctrico. Este análisis detallado proporcionó una base sólida para comprender el estado actual del conocimiento en este campo, permitiendo así una perspectiva informada para el desarrollo de la investigación. Este proceso no solo se limitó a examinar las contribuciones teóricas, sino que también abordó las prácticas experimentales asociadas. Se recurrió a fuentes que incluyeron los trabajos de investigadores destacados en el campo, como los Físicos Jacques

y Pierre Curie, catalogados como “*descubridores*” de este efecto. Este enfoque permitió apreciar las prácticas experimentales concretas que condujeron a la identificación y determinación del efecto piezoeléctrico como una manifestación observable de la naturaleza. Esto se consideró esencial para lograr configurar una mirada sobre: 1) El efecto Piezoeléctrico, 2) La interdependencia dialéctica propuesta por los hermanos Jacques y Pierre Curie entre la teoría y el experimento, 3) La importancia otorgada al experimento en la construcción de la teoría, 4) El papel que cumplen los instrumentos como posibilitadores del efecto.

Fase 2: Diseño de Actividades Experimentales para el Aula. A partir de la revisión documental se realizó un diseño de actividades experimentales por medio del enfoque de enseñanza por indagación, la cual es un enfoque educativo que propicia el aprendizaje activo y más autónomo de los estudiantes, a partir de este se pretende lograr el objetivo de que los estudiantes construyan conocimiento entorno a las reglas que rige el efecto piezoeléctrico.

Fase 3: Fase de pilotaje. Se hicieron dos pruebas piloto de las actividades. Por un lado, se realizó una divulgación sobre el efecto piezoeléctrico en el salón de la ciencia de la Universidad Pedagógica Nacional año 2023. Por otro lado, se implementaron en el Instituto Pedagógico Nacional, específicamente con siete estudiantes de grado octavo en la electiva nombrada “No tan obvio”. Para el desarrollo de las actividades experimentales se habilitaron 3 sesiones, cada una de 45 minutos. El propósito general de las sesiones se enfocaba en que los estudiantes, a partir de la observación y la experimentación, comprendieran que el efecto piezoeléctrico es una propiedad física que tienen algunos materiales que les permite generar

una carga eléctrica cuando se les aplica una presión. La evaluación de esta fase fue de carácter formativa, pues para esta no se plantea una prueba que exhiba los conocimientos adquiridos, sino que se valora las reflexiones planteadas por los estudiantes en todo el proceso de la actividad experimental.

Fase 4: Fase de reflexión. En esta fase se realizó un análisis de las ideas y conocimientos construidos por los estudiantes en la implementación de la propuesta de enseñanza. A su vez se reflexionó sobre cómo la investigación de los elementos conceptuales relacionados con este efecto ha permitido apreciar el carácter constructivo del conocimiento científico.

VISIÓN GENERAL DEL CONTENIDO

En el primer capítulo se revisan algunos fundamentos históricos, así como las contribuciones experimentales y teóricas que han posibilitado a la comprensión actual del Efecto Piezoeléctrico. Se inicia con una exploración de los estudios sobre la piroelectricidad, considerado un antecedente crucial para la comprensión de la piezoelectricidad. Después, se profundiza en los estudios experimentales de Jacques y Pierre Curie. En este capítulo, también se examina la estructura cristalina y la simetría de los materiales piezoeléctricos, para responder a preguntas sobre la generación de carga eléctrica bajo presión y la relación entre la estructura del material y su capacidad piezoeléctrica. Asimismo, se indaga sobre si la piezoelectricidad es una propiedad generalizada en materiales más allá de la turmalina. El enfoque se extiende a la estructura de cristales piezoeléctricos, la distribución de cargas y el fenómeno del Efecto Piezoeléctrico inverso. Finalmente, se examina el comportamiento

piezoeléctrico de materiales específicos, como la sal de Rochelle y las cerámicas de titanato de circonato de plomo.

En el segundo capítulo, bajo el título 'La Actividad Experimental en la Construcción de Conocimiento Escolar', se abordan reflexiones fundamentales sobre el papel central de la actividad experimental en la enseñanza de la Física. Se propone una visión integral inspirada en los trabajos experimentales de los físicos Jacques y Pierre Curie, Así como en las aportaciones de epistemólogos y expertos en didáctica de las ciencias. La estructura del capítulo consta de tres secciones: en la primera defiende la actividad experimental como base empírica para la construcción de teoría, es decir, como fuente del conocimiento; en la segunda se postula la actividad experimental como una forma de intervenir en el mundo natural, permitiendo la creación de efectos y la construcción de conocimientos; y en la tercera se justifica la adopción de la enseñanza por indagación como estrategia para orientar el diseño de las actividades experimentales en el aula, porque permite que los estudiantes participen activamente en la construcción de conocimiento, fomentando así el aprendizaje autónomo.

Para el tercer capítulo, denominado 'Desarrollo de la Propuesta', se realiza un análisis detallado las actividades para el aula de clase. Este análisis incluye la fabricación de materiales y el diseño de actividades experimentales, así como la ejecución de pruebas piloto y su subsiguiente reflexión. En la sección inicial, se destaca la relevancia de los materiales como recursos esenciales para las actividades experimentales en el aula, mediante la revisión de las experiencias de los hermanos Curie, a partir de fuentes secundarias. Seguido a esto se detalla el proceso de fabricación de cristales de Sal de Rochelle y de un tapete piezoeléctrico

con cerámicas PZT, especificando reactivos, materiales y procedimientos, que son elementos fundamentales. En la segunda sección, se presenta las actividades experimentales y su pilotaje tanto en el salón de la ciencia, con la exposición del montaje del tapete piezoeléctrico, como en el aula del Instituto Pedagógico Nacional.

Finalmente, en el cuarto capítulo, se describe las fortalezas que tuvieron las actividades experimentales en términos de las orientaciones que se tuvieron en cuenta para su configuración, Asimismo, se resaltan los alcances de los estudiantes en la construcción de conocimiento sobre el efecto piezoeléctrico.

1 EFECTO PIEZOELÉCTRICO

El 2 de agosto de 1880 los hermanos y físicos franceses Jacques y Pierre Curie hicieron públicas sus investigaciones ante la Academia Francesa de Ciencias, sobre el efecto de obtener cargas eléctricas en ciertos cristales que son sometidos a una tensión o esfuerzo mecánico, reconociéndolos desde entonces como “descubridores” del efecto piezoeléctrico; sin embargo, ¿realmente lo descubrieron?, para saber esto es necesario investigar el trasfondo que posibilitó este “descubrimiento”.

En 1879, Jacques Curie trabajaba como asistente de laboratorio de Charles Friedel, un químico mineralogista francés, en el laboratorio de Mineralogía de la Sorbona de París. Simultáneamente, su hermano Pierre Curie colaboraba como asistente de laboratorio de Física de Paul Desains, un profesor de la Facultad de Ciencias de París. Pierre Curie estaba investigando la radiación de calor con Desains, mientras que Jacques Curie se enfocaba en la investigación sobre la "piroelectricidad", la cual explica la capacidad de ciertos cristales para generar cargas eléctricas en respuesta a cambios de temperatura. Este contexto proporcionó el entorno propicio y podría considerarse la base de conocimiento que llevó a los hermanos Curie a investigar el efecto piezoeléctrico, por lo que este no fue un “*descubrimiento accidental*” (Katzir, 2006).

En 1880, cuando los hermanos Curie publicaron sus experimentos sobre la piezoelectricidad, ya se había investigado y estudiado la piroelectricidad durante más de un siglo.

1.1 Los estudios sobre la piroelectricidad, un antecedente necesario para la piezoelectricidad

Según la revisión del libro titulado “Los inicios de la Piezoelectricidad: Un Estudio de la Física Mundana” escrito por Katzir (2006), un reconocido historiador y filósofo de las ciencias, se puede afirmar que, desde sus comienzos, la piroelectricidad no fue objeto de estudio científico; más bien, era considerada como una curiosidad manifestada por la turmalina³ al calentarse.

A mediados del siglo XVIII, Franz Aepinus profesor de Física, publicó ante la academia imperial de ciencias de San Petersburgo una recopilación de diferentes experiencias sobre el estudio de las propiedades eléctricas de la turmalina, titulado: *Recueil De Differentes Memoires Sur La Tourmaline*. De acuerdo con la lectura de su traducción del francés al español, se evidencia que su interés por resumir estas experiencias surge de su intriga al observar que, tiempo después de retirar una piedra de turmalina colocada sobre carbón ardiendo, esta tenía la propiedad de atraer las cenizas de las brasas calientes (Aepinus, 1762).

Mediante posteriores experimentos, Aepinus elevó la temperatura de la turmalina sumergiéndola en agua caliente y, ubicado en un cuarto oscuro, observó que los extremos opuestos de la turmalina exhibían al mismo tiempo comportamientos eléctricos, en palabras

³ La turmalina es un mineral que se encuentra en diferentes yacimientos alrededor del mundo, su formación está asociada a procesos geológicos específicos, como la cristalización en ambientes graníticos y metamórficos

de Aepinus “daban chispas”. Permeado por una visión frankliniana⁴ de la electricidad, concluyó que el cristal adquiriría un excedente y una escasez de electricidad en sus polos opuestos (Aepinus, 1762). La identificación de este efecto lo condujo a una comprensión inicial en la que daba cuenta del comportamiento de los efectos eléctricos en estos materiales.

Tras la identificación del efecto, varios intelectuales y científicos se dedicaron al estudio y realizaron contribuciones, uno de ellos fue el sacerdote y mineralogista francés René Just Haüy, quien contribuyó significativamente a proporcionar una explicación a este efecto, durante el período comprendido entre 1780 y 1784. Él enfocó sus estudios en la estructura y propiedades de los cristales (Katzir, 2006), especialmente en los minerales con propiedades eléctricas, basándose en el conocimiento existente sobre la piroelectricidad. Sus estudios lo llevaron a publicar en 1801 su libro titulado "Traité de Minéralogie", que le valió el título de "padre de la cristalografía".

Haüy propuso una teoría general de la estructura cristalina en la que definió estos cuerpos eléctricos polares como "moléculas integradas", ya que cada parte del mineral conservaba las propiedades eléctricas del conjunto (Katzir, 2006). Haüy también identificó en su trabajo una dependencia entre la estructura del cristal y su propiedad eléctrica, pues afirma que los cristales asimétricos sufren una electrificación por un cambio de temperatura en cambio aquellos que son simétricos no⁵.

⁴ La “visión frankliniana” se relaciona con la perspectiva de la electricidad propuesta por Benjamin Franklin, en la que plantea un modelo en el cual la electricidad estaba compuesta por un “único fluido eléctrico” que podía existir en dos estados: positivo y negativo.

⁵ Este tipo de estructuras se desarrollarán en detalle en la sección 2.3

En resumen, alrededor de 1880, durante las reflexiones de los Curie, se sabía que la piroelectricidad estaba vinculada a las variaciones de temperatura en ciertos tipos de cristales. Además, se entendía que la generación y el flujo de electricidad estaban íntimamente ligados a la configuración interna de los cristales.

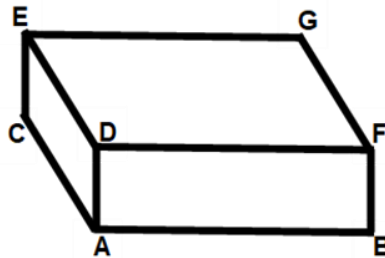
1.2 Los estudios experimentales de Jacques y Pierre Curie sobre la piezoelectricidad

Un aspecto importante por destacar de los hermanos Curie es su destreza y capacidad experimental, pues, para su época la tecnología experimental era mucho más limitada que en la actualidad. A pesar de esas limitaciones elaboraron un diseño experimental capaz de detectar si las muestras de ciertos cristales producían algún tipo de diferencia de potencial cuando eran sometidos a una presión.

Según la revisión de trabajos que resumen las investigaciones de los hermanos Curie, se puede afirmar que las siguientes cuestiones fueron las que los motivaron a trabajar en el campo del efecto piezoeléctrico:

- *¿Puede la aplicación de una presión o fuerza mecánica sobre un cristal de turmalina inducir una respuesta eléctrica?*
- *¿Cómo varía la generación de carga eléctrica y qué diferencia se nota en función de la dirección en la que se aplica la fuerza mecánica a un cristal piezoeléctrico?*
- *¿Hay una conexión entre la estructura del material y su capacidad para generar electricidad a través de la deformación?*
- *¿Podría la piezoelectricidad ser una propiedad generalizada de otros materiales además de la turmalina?*

En sus primeros montajes, los Curie trabajaron con muestras de cristales de turmalina (por sus propiedades piroeléctricas conocidas), cortadas y pulidas en forma de placas delgadas, lo más uniformes posibles (ver figura 1), lo que les permitía estudiarse en distintas direcciones.



*Figura 1: Cristal cortado en forma de paralelepípedo rectangular.
Fuente: Duck (2009)*

La configuración principal se fundamentó en situar una muestra del cristal entre dos placas de cobre respaldadas por una prensa de banco que comprimía y liberaba la muestra de manera uniforme (ver figura 2). Para detectar la tensión eléctrica generada por el cristal, se conectaba una cara a un electrómetro cuadrático de Thompson (ver figura 3), muy utilizado para entonces, el cual solo brindaba una escala cualitativa: no permitía realizar mediciones cuantitativas.

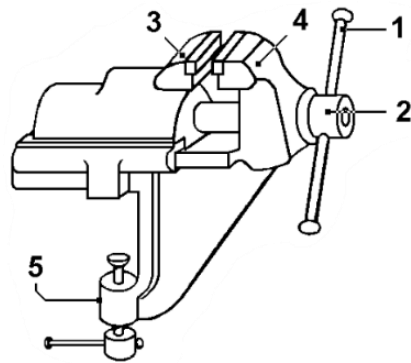


Figura 2: Prensa de banco.
Fuente: <https://shre.ink/nfZt>

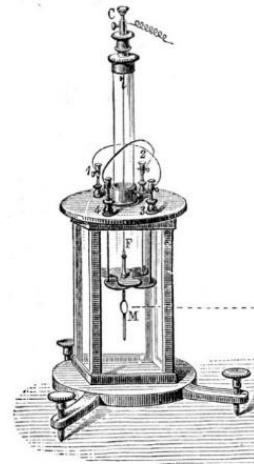


Figura 3: Electrómetro cuadrático de Thomson.
Fuente: <https://shre.ink/nfZI>

Los elementos previamente ilustrados, actúan como pilares fundamentales que dieron origen y sustento a la construcción del efecto piezoeléctrico. Con el propósito de explorar a fondo la esencia de este proceso de construcción, es imperativo explorar en mayor profundidad el funcionamiento del electrómetro de cuadrantes.

El electrómetro de cuadrantes que fue concebido en el siglo XIX por el físico escocés Sir William Thomson, también reconocido como Lord Kelvin, es un instrumento el cual incorpora un electrodo aislado que sostiene una lámina de oro. Cuando dicha lámina entra en contacto con un cuerpo cargado, se desplaza a lo largo de una escala graduada, proporcionando así una indicación de la magnitud de la carga presente en el elemento con el cual ha tenido contacto. Este dispositivo es reconocido como un voltímetro detector de cero, según lo señalado por López Sancho y Moreno Gómez en 2014.

El electrómetro de Thomson se caracteriza por su capacidad para medir la carga eléctrica, no el potencial eléctrico. La diferencia entre medir carga y potencial es crucial para

entender por qué se le atribuye al electrómetro de Thomson la capacidad de funcionar como un “voltímetro de cero.”

Cuando se menciona que el electrómetro de Thomson funciona como un "voltímetro de cero", se hace referencia a la propiedad de este instrumento de no extraer corriente apreciable del sistema que está midiendo. Un voltímetro ideal debería tener una resistencia de entrada infinita, de manera que no fluya corriente a través de él y no afecte el circuito que está midiendo.

El electrómetro de Thomson, diseñado principalmente para medir carga, presenta una resistencia de entrada muy alta. Esto significa que, en la práctica, tiene un impacto mínimo en el sistema que está midiendo. Al tener una resistencia de entrada tan alta, el electrómetro de Thomson no drena significativamente carga del objeto que está midiendo, comportándose de manera similar a un voltímetro de cero en términos de su efecto en el sistema.

Es importante destacar que, aunque el electrómetro de Thomson se pueda comparar en algunos aspectos con un voltímetro de cero debido a su alta resistencia de entrada, su función principal sigue siendo la medición de la carga eléctrica y no del potencial eléctrico. La analogía con el voltímetro de cero se refiere más a la mínima interferencia que tiene en el sistema que está midiendo, en lugar de su capacidad para medir potencial eléctrico.

El electrómetro, también denominado electroscopio, consta de una aguja extremadamente ligera que puede oscilar libremente y se encuentra suspendida en el centro de una caja cilíndrica con cuatro sectores metálicos aislados entre sí, conocidos como cuadrantes.

Cuando un objeto cargado se acerca al electrómetro de Thomson, la carga del objeto induce una redistribución de cargas en los cuadrantes del electrómetro, lo que resulta en una fuerza de repulsión entre las cargas del objeto y las cargas inducidas en el electrómetro. Esta repulsión causa que las agujas del electrómetro se separen, y la medida de esta separación proporciona una indicación cuantitativa de la magnitud de la carga eléctrica del objeto.

En resumen, el electrómetro de Thomson se conecta a un cuerpo cargado para medir la carga eléctrica de ese objeto. No mide directamente la diferencia de potencial, ya que su principal función es evaluar la interacción electrostática y cuantificar la carga eléctrica.

Retomando la discusión del trabajo experimental de los hermanos Curie, se resalta que realizaron primero organizaciones cualitativas del efecto (Katzir, 2006). Su enfoque metódico se evidencia en el diseño experimental orientado a la cuidadosa observación del efecto provocado por la presión ejercida sobre los cristales. Si bien en ese momento carecían de acceso a herramientas de medición extremadamente precisas, sus observaciones iniciales fueron suficientes para establecer la existencia del efecto piezoeléctrico.

Para obtener detalles experimentales suficientes que concretaran las reglas subyacentes al efecto de estos cristales, los Curie modificaron la configuración principal del montaje. Consideraron variables controladas en relación con los pesos que ejercían la presión y la longitud y superficie de los cristales, explorando otras 10 especies de cristales, entre ellos el cuarzo. De los experimentos realizados, publicaron ante la revista "Comptes Rendus" de la Academia de Ciencias de París su primer artículo titulado "Développement par pression de l'électricité polaire dans les cristaux hémihédres à faces inclinées" (Desarrollo de

electricidad polar por presión en cristales hemiedros con caras inclinadas), En este establecen cinco parámetros que rigen la electricidad por presión en primera instancia de la turmalina.

1. La turmalina causa cargas eléctricas opuestas en cantidades idénticas en sus extremos
2. La electricidad liberada por un aumento de presión determinado es opuesta y equitativa a la generada por una disminución igual en la presión.
3. La electricidad liberada es proporcional a la variación de la presión
4. La electricidad liberada es independiente de la longitud de la turmalina
5. La relación entre la cantidad liberada y el área es directamente proporcional para una misma variación de presión por unidad de superficie.

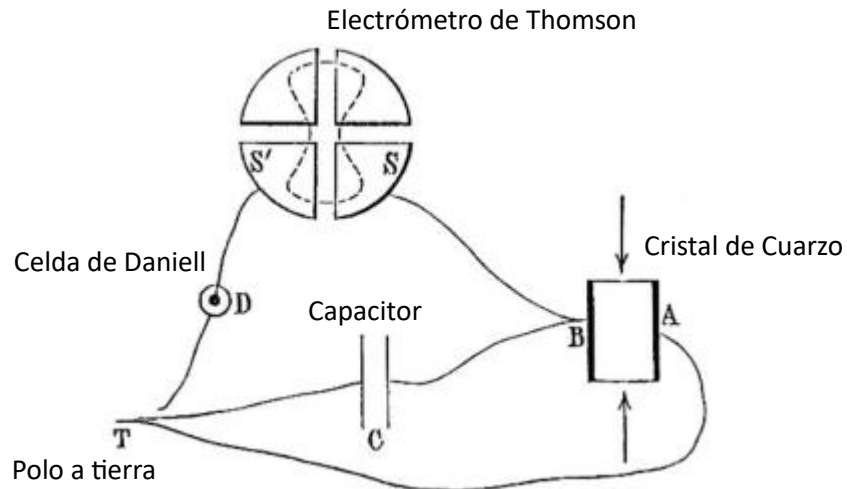
En esencia, los hermanos Curie determinaron que: cuando se aplica un estrés⁶ mecánico a ciertos cristales, como la turmalina, se genera una carga eléctrica en respuesta a su tensión.

Posterior a haber publicado su artículo, los Curie diseñaron un nuevo aparato experimental basado en el que habían utilizado anteriormente (figura 4). En este diseño, colocaron una lámina de cristal de cuarzo (cortado como se muestra en la figura 1), entre dos placas de cobre dispuestas de manera perpendicular a su eje hemiédrico⁷. Una de las placas (A) se conectó a tierra, mientras que la otra (B) se enlazó a un capacitor de forma cilíndrica (C) (con capacidad conocida) y a una parte del electrómetro de Thomson. Este último se

⁶ El estrés en un cristal se refiere a la fuerza externa que actúa sobre el material, generando deformaciones o tensiones en su estructura.

⁷ Este tipo de eje se desarrollará en detalle en la sección 2.3

conectó a su vez a una "celda Daniell" (D), que consistía en una batería con un potencial conocido y constante de 1,12 V (mientras la aguja del electrómetro estaba cargada). El polo opuesto de la celda Daniell se conectó a tierra. El peso ubicado sobre el cristal era un peso conocido, este debía ubicarse antes de conectar la celda de Daniell, cuando esta se conecte ya la aguja debía estar previamente cargada, esto para que, en el momento de retirar el capacitor y el peso suministrado, la aguja debía estabilizarse para volver a su punto cero, hasta el punto de que el único voltaje recibido en las placas sea de un Daniell.



*Figura 4: Esquema del montaje de los hermanos Curie para determinar las constantes piezoeléctricas.
Fuente: "El descubrimiento del efecto piezoeléctrico" de Katzir (2006)*

Este diseño experimental permitió a los Curie controlar y medir con precisión las variaciones en la carga eléctrica generada por cristales en respuesta a la aplicación de una presión, además les permitió conocer el coeficiente piezoeléctrico característico del cuarzo y el de la turmalina. Este coeficiente cuantifica la capacidad de un cristal específico para la

generación de carga eléctrica. El método matemático empleado para determinar la carga desarrollada por variación de unidad de peso fue el siguiente:

$$Q = V.C \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo Q la carga de capacidad eléctrica del cristal, V el voltaje conocido de 1,12 V y C la capacitancia.

La relación entre carga, voltaje y capacitancia se establece de forma interdependiente al determinar la constante piezoeléctrica del material. Cuando se aplica presión mecánica a cristales como la turmalina o el cuarzo, se genera una carga eléctrica. Este proceso se mide mediante la variación de voltaje en un capacitor conectado al cristal. La capacitancia del condensador, junto con la tensión constante aplicada, permite calcular la carga eléctrica desarrollada en el cristal. La estabilización de la aguja en el punto cero indica que la carga generada por el cristal ha sido completamente compensada por el voltaje aplicado. Es decir, la carga eléctrica generada por la presión mecánica es igual a la carga del condensador, lo que permite determinar la constante piezoeléctrica del material. Este proceso de compensación implica ajustar la presión y el voltaje aplicado hasta que la aguja del electrómetro se ponga en cero, lo que indica que la carga generada y la carga del capacitor son iguales, proporcionando así una medición precisa de la constante piezoeléctrica del material.

Para determinar la capacidad eléctrica del cristal, los Curie tuvieron en cuenta cambiar capacitores, hasta que la aguja se estableciera en el punto cero, cuando esto ocurría se les facilitaba las mediciones por los valores conocidos.

Este montaje les permitió determinar las constantes piezoeléctricas del cuarzo y la turmalina, y a partir de esto pudo emplearse para aplicaciones prácticas. Se puede utilizar para medir la capacidad, la fuerza electrostática y, lo que es más importante, la carga. (Katzir, 2006)

Los Curie desde el principio recurrieron a los términos de contracción y expansión como nociones mecánicas para caracterizar sus observaciones alrededor del efecto piezoeléctrico y piroeléctrico, este último también le atribuyeron estos términos entendiendo este efecto por “deformaciones térmicas” (Shaul, 2006). Esto sugiere una asociación entre la respuesta eléctrica del material y sus cambios dimensionales ante variaciones de temperatura. Este planteamiento inicial evidencia su intento de conceptualizar y explicar los fenómenos eléctricos mediante analogías mecánicas, aunque posteriormente se desarrollarían métodos más precisos y específicos para cuantificar estos efectos.

1.3 Estructura cristalina y simetría

Las investigaciones de los hermanos Curie demostraron la importancia de los experimentos a la hora de plantear su modelo explicativo de la piezoelectricidad. El experimento de Fridel alrededor del efecto piroeléctrico los llevó a trabajar con cristales hemiédricos, cristales que no siguen la simetría completa o holoédrica típica de muchos cristales⁸, lo cual hace que muestren características distintivas.

⁸ En el ámbito de la mineralogía los minerales holoedría son aquellos que muestra todos los elementos de simetría permitidos por su sistema cristalino. Esto implica que en la estructura cristalina del mineral debe haber, al menos, un centro de simetría. La simetría holédrica confiere a los cristales una disposición equidistante y simétrica de sus caras.

Un cristal hemiédrico se caracteriza por tener solo la mitad de las caras o planos cristalinos que normalmente se esperaría de un cristal de simetría completa o holoédrica. Este término en la actualidad se conoce más por quiralidad, y se utiliza para describir el objeto que no es superponible en su imagen especular, la cual se refiere a la representación visual reflejada como en un espejo. Con el propósito de ejemplificar lo mencionado, en la figura 5 se muestra un paralelo entre dos cristales de cuarzo, siendo uno caracterizado por poseer simetría completa y el otro por exhibir simetría hemiédrica.

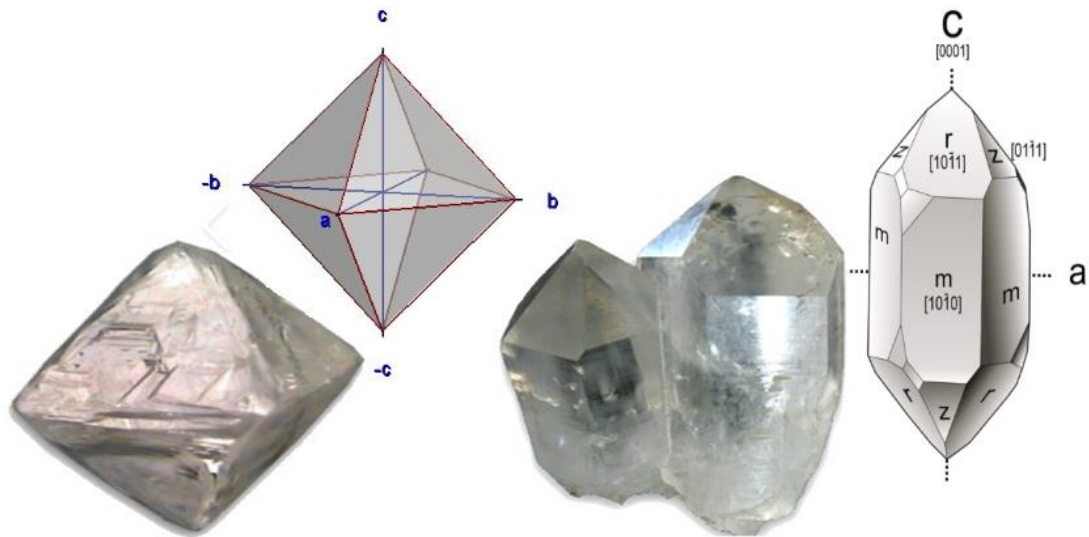


Figura 5: A la derecha, imagen de cuarzo con simetría hemiédrica, junto con la representación de sus ejes de simetría. A la izquierda imagen de cuarzo con simetría completa, acompañada de la representación de sus ejes de simetría.

Fuente: <https://gemologiamllopis.com/tag/eje-de-simetria/>

Los cristales hemiédricos también se distinguen por no poseer centro de simetría y por tener uno o más ejes polares. En cristalografía, la distinción de un eje polar se manifiesta en la no equivalencia entre sus extremos anterior y posterior, esto quiere decir que al realizar una rotación de 180° alrededor de un eje perpendicular al eje polar, la posición inicial del

crystal respectivo no se superpone con la posición después de la rotación. Por otro lado, el centro de simetría se refiere al punto interior de un cristal que divide en dos partes iguales a todo segmento rectilíneo que pase por él y esté limitado por la superficie del cristal. (Castellanos, 2013)

Los hermanos Curie trabajaron con diferentes especies de cristales con composiciones químicas diversas, pero que comparten una particularidad en su estructura atómica. Estas especies incluyen la turmalina, sal de Rochelle, blenda de zinc, boracita, topacio, calamina y cuarzo (Katzir, 2006), De todos estos evidenciaron que tanto la sal de Rochelle y el cuarzo exhibían un mayor coeficiente piezoeléctrico, es decir correspondían con una mayor diferencia de potencial al estrés mecánico aplicado.

La diferencia en los coeficientes de piezoelectricidad entre materiales como la sal de Rochelle y el cuarzo en comparación con la turmalina, la blenda de zinc, el topacio, la boracita y la calamina se puede atribuir a sus características estructurales intrínsecas.

El cuarzo, un sólido cristalino formado por una red tridimensional de átomos de silicio y oxígeno dispuestos en una estructura tetraédrica, exhibe una simetría cristalina muy alta debido a su disposición ordenada y repetitiva de los átomos en una red cristalina. Esta alta simetría, junto con su rigidez estructural, le confiere notables propiedades piezoeléctricas. La estructura cristalina del cuarzo pertenece al sistema trigonal y su grupo de simetría es 32 (o D₃ en notación Hermann-Mauguin).

Por otro lado, la sal de Rochelle, también conocida como tartrato potásico y sódico, tiene una estructura cristalina peculiar. Esta sal cristaliza en el sistema monoclinico y tiene un grupo de simetría diferente al del cuarzo, lo que implica un arreglo molecular más

complejo. Su estructura contiene una disposición desordenada de iones potasio, sodio y tartrato, lo que crea centros de carga asimétricos. Estos centros asimétricos son esenciales para la generación de un campo eléctrico cuando el material es sometido a deformación mecánica, dando como resultado una mayor piezoelectricidad en comparación con estructuras más simétricas como la turmalina y otros materiales mencionados.

1.3.1 Distribución de cargas en los materiales piezoeléctricos

La razón por la que los materiales piezoeléctricos pueden generar electricidad a través de un estrés mecánico reside en su estructura cristalina, esto es la disposición que tienen los átomos del material a través del espacio.

La característica principal de los materiales piezoeléctricos es la asimetría que surge en la distribución de cargas cuando se le somete a una tensión por compresión. A continuación, se ejemplifica esta idea mediante el análisis del cristal cuarzo.

En ausencia de algún tipo de tensión, la estructura del cuarzo, al igual que la de los otros materiales con estructura cristalina, exhibe regularidad y orden. En la figura 6, se presenta un modelo bidimensional de la distribución de cargas en la celda unitaria del cuarzo no sometido a estrés. Este modelo corresponde a una distribución hexagonal bidimensional iones de silicio (Si) (carga positiva) y iones de oxígeno (O) (carga negativa) que mantienen una disposición equilibrada y estable, donde el centro de masa⁹ de las cargas negativas y el centro de masa de las cargas positivas coinciden en la misma posición. En este estado, la

⁹ El término "centro de masa" generalmente se refiere a la posición promedio de las masas atómicas en la unidad repetida del cristal, conocida como celda unitaria. Las celdas unitarias son bloques básicos que se repiten en todas direcciones para formar la estructura cristalina completa.

distribución de cargas positivas y negativas es uniforme a lo largo de las moléculas del cristal, y no se observa una acumulación significativa de cargas en ninguna región específica, lo que conduce a una diferencia de potencial prácticamente nula en todas las regiones del material.

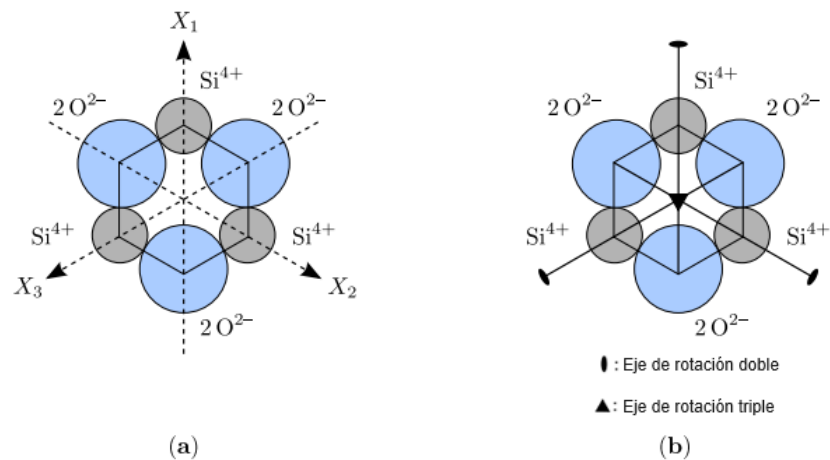


Figura 6: Celda unitaria simplificada de alfa-cuarzo no estresado con los ejes polares correspondientes: (a) se observa la disposición de los iones Si^{4+} y O^{2-} en un hexágono regular; (b) se destacan los ejes de rotación de 2 y 3 como elementos de simetría.

Fuente: <https://acortar.link/OTul9P>

Si se aplica una tensión de compresión al cristal de cuarzo a lo largo de la dirección del eje polar X_1 , también conocido como eje eléctrico, se observa un desplazamiento específico de los iones de silicio y oxígeno en la celda (ver figura 7), por lo que se presenta una distorsión en su red, representando esto una asimetría en la distribución de cargas. Este desplazamiento relativo de los iones induce una polarización eléctrica a lo largo del eje polar X_1 y, por ende, a lo largo de la dirección de la tensión aplicada; es decir, se obtiene una liberación eléctrica en las mismas caras, en dirección al eje eléctrico. Este hecho se conoce

como efecto piezoeléctrico longitudinal directo y explica la generación de un voltaje de polarización eléctrica externa a nivel macroscópico (Ballas, 2021)

Por otro lado, si la tensión actúa perpendicular al eje polar X1, lo cual sería en dirección tanto al eje eléctrico como al eje óptico, se produce un desplazamiento uniforme de los iones en los lados izquierdo y derecho de la celda, cancelando las cargas entre sí en los electrodos externos. Este escenario da lugar al efecto piezoeléctrico transversal directo, donde se induce un voltaje de polarización eléctrica externa con signo invertido al obtenido en el caso anterior. Ambos casos son ejemplos de cómo la aplicación de tensiones mecánicas específicas en el cristal de cuarzo puede generar respuestas eléctricas. Este desplazamiento relativo de los átomos provoca una separación de las cargas eléctricas positivas y negativas dentro del cristal, lo que hace que los centros de masa de ambos tipos de carga se desplacen en direcciones opuestas, generando más densidad de carga positiva en un lado y más densidad de carga negativa en otro lado, causando así un dipolo eléctrico¹⁰, que podría considerarse un campo eléctrico mínimo, sin embargo como esto solo es la representación de una celda unitaria, al reconocerlo en todo el material se obtiene un campo eléctrico considerable.

¹⁰ Un dipolo eléctrico es un sistema de dos cargas eléctricas de igual magnitud, pero de signo opuesto, separadas por una distancia pequeña. La carga positiva se denomina polo positivo y la carga negativa se denomina polo negativo. El dipolo eléctrico tiene un momento dipolar eléctrico, que es un vector que apunta desde el polo negativo al polo positivo.

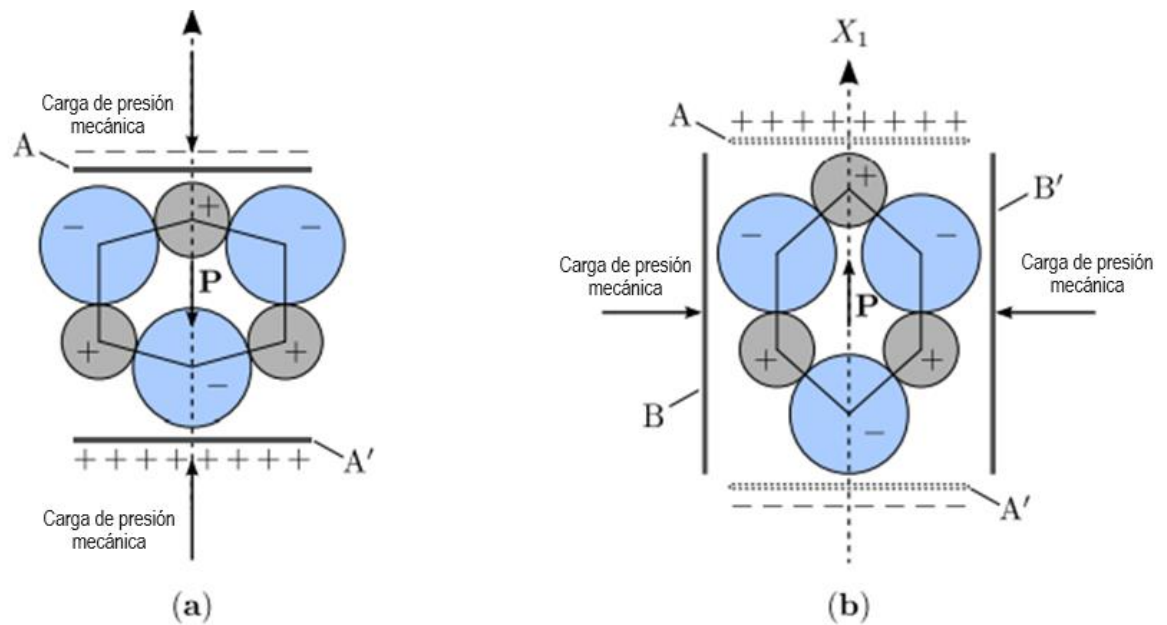


Figura 7: Efecto piezoeléctrico directo dentro de la celda unitaria simplificada de cuarzo alfa. (a) Efecto piezoeléctrico longitudinal; (b) Efecto piezoeléctrico transversal.
 Fuente: <https://acortar.link/OTul9P>

1.4 Efecto Piezoeléctrico inverso

Lo abordado anteriormente comprende la explicación de lo que los hermanos Curie denominan efecto piezoeléctrico directo, en donde a partir de una tensión mecánica se obtiene una carga eléctrica, evidenciando una diferencia de potencial en el material. Sin embargo, un aspecto que no contemplaron en su trabajo fue la posibilidad de un efecto piezoeléctrico inverso, en el que a partir de la aplicación de una tensión eléctrica a un material piezoeléctrico se obtenga una deformación mecánica en el mismo

Gabriel Lippmann fue un físico francés que ganó su prestigio por su gran trabajo experimental. En el contexto de la piezoelectricidad, Lippmann hizo importantes contribuciones teóricas.

En 1880, Lippmann se convirtió en profesor de física experimental en la Facultad de Ciencias de París, donde conoció a los hermanos Curie. Un año después de involucrarse en este espacio Lippmann publicó un estudio sobre la piezoelectricidad en el que utilizó el principio de conservación de la carga eléctrica para explicar el efecto. Esto fue de suma importancia considerándolo un principio fundamental, similar al principio de Carnot en termodinámica. El principio de Carnot establece que la eficiencia del trabajo mecánico de una máquina de calor es máxima cuando el fenómeno es reversible (Katzir, 2006).

En el caso de la piezoelectricidad, Lippmann propone una explicación del efecto piezoeléctrico inverso. Este se basa en la idea de que el efecto piezoeléctrico inverso se relaciona con el principio de la conservación de la energía. La explicación que propuso Lippmann se basó en los principios de conservación de energía y la relación entre energía eléctrica y mecánica para abordar el efecto piezoeléctrico inverso. Según su enfoque, cuando se aplica un campo eléctrico externo a un material piezoeléctrico, se genera una variación en la energía potencial eléctrica (ΔU) en el material. Esta variación está relacionada con el trabajo realizado por el campo eléctrico (W) y, para mantener la conservación de energía, debe ser igual a la energía potencial elástica almacenada en el material debido a la deformación. Esta igualdad entre energía eléctrica y mecánica sugiere que la aplicación del campo eléctrico puede inducir una deformación mecánica en el material, lo que constituye el efecto piezoeléctrico inverso. La propuesta de Lippmann proporcionó un marco teórico para comprender cómo la interacción entre la electricidad y la mecánica en materiales piezoeléctricos puede dar lugar a este tipo de efecto.

En su análisis para comprender cómo cambia la carga eléctrica en un material piezoeléctrico, fue necesario identificar dos variables independientes que controlan este cambio. En el caso de la piezoelectricidad, estas variables son la tensión eléctrica (voltaje) y el estrés mecánico (presión aplicada).

El modelo de Lippmann predice que la deformación mecánica de un material piezoeléctrico es proporcional a la tensión eléctrica aplicada, conociéndose este como efecto piezoeléctrico inverso. Esto significa que, tanto para el efecto directo como para el inverso, la energía se puede convertir de manera eficiente entre la electricidad y la mecánica.

Este efecto piezoeléctrico inverso se puede ejemplificar de igual forma por medio del modelo del cuarzo, Según Ballas, bajo la influencia de campos eléctricos adecuadamente orientados se puede observar una contracción o dilatación de la celda unitaria del cuarzo alfa. (2021, pág. 6).

1.5 Materiales Piezoeléctricos

Teniendo en cuenta que el marco teórico debe aportar todos los elementos conceptuales que sean necesarios para el diseño de la propuesta de enseñanza, a continuación, se abordan dos materiales piezoeléctricos: La sal de Rochelle y las cerámicas PZT, estos materiales funcionan como recursos viables para el presente trabajo.

1.5.1 Sal de Rochelle

También conocida como tartrato de potasio y sodio, la Sal de Rochelle es un compuesto químico que se caracteriza por tener una estructura con propiedades piezoeléctricas.

A lo largo de los años, se han realizado numerosas investigaciones sobre la sal de Rochelle, una de las más relevantes fue la de Joseph Valasek, quien para el año de 1922 publicó para la revista *Physical Review* su artículo nombrado "Properties Of Rochelle Salt Related To The Piezo—Electric Effect", en este describe los resultados de sus experimentos sobre las propiedades piezoeléctricas de la sal de Rochelle¹¹.

El desarrollo de sus experimentos los enfocó, en principio, en caracterizar algunas propiedades de la sal de Rochelle como: su sistema cristalino, tipo de simetría, actividad óptica, expansión térmica y conductividad eléctrica.

Valasek (1922) describe el sistema cristalino¹² de la sal de Rochelle como un sistema ortorrómbico, lo que significa que el cristal tiene tres ejes perpendiculares entre sí, y dos de los ejes tienen la misma longitud.

Los cristales ortorrómbicos son importantes en la cristalografía y en diversos campos científicos y tecnológicos, ya que sus propiedades pueden influir en su comportamiento eléctrico, magnético, mecánico y óptico. La diversidad de estas propiedades los hace valiosos en aplicaciones que van desde la electrónica hasta la metalurgia y la química de materiales.

¹¹ Aunque la sal de Rochelle ya había sido usada en actividades experimentales por los hermanos Curie, no se había estudiado aún sus propiedades piezoeléctricas

¹² Refiere a la disposición general de los átomos en un material cristalino

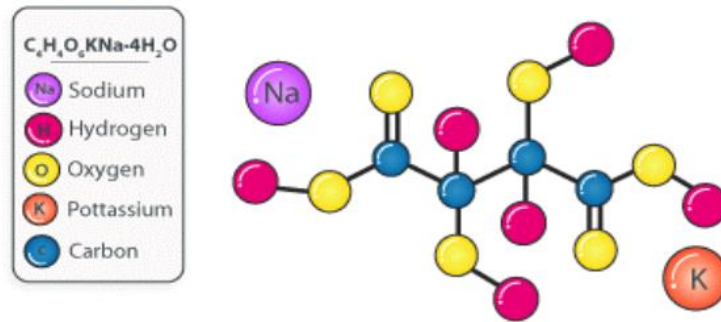


Figura 8: Estructura del Tartrato de Sodio y Potasio conocido, como Sal de Rochelle.
 Fuente: <https://byjus.com/chemistry/sodium-potassium-tartrate/>

Joseph Valasek también llevó a cabo una serie de experimentos para estudiar el hemihedrimismo de la sal de Rochelle, los experimentos se basaron principalmente en la observación de las caras del cristal de sal de Rochelle. Para observar las caras del cristal Valasek cortó un cristal de sal de Rochelle en forma de prisma rectangular, y por medio de un microscopio observó que las caras del cristal de sal de Rochelle están dispuestas en pares y que cada par de caras tiene la misma forma y tamaño, pero están orientadas en direcciones opuestas.

Basándose en sus observaciones, Valasek concluyó que la sal de Rochelle tiene un tipo de hemihedrimismo esfenoidal, pues, este es un tipo de simetría en la que un cristal tiene dos mitades idénticas que están orientadas en direcciones opuestas, lo cual también pasa en el cuarzo.

1.5.2 Cerámicas de Titanato de Circonato de Plomo (PZT)

Además de la experimentación con la turmalina y el cuarzo (materiales naturales que presentan el efecto piezoeléctrico), se ha trascendido al desarrollo de nuevos materiales con

diferentes composiciones y estructuras, obteniendo propiedades piezoeléctricas superiores a las de los materiales naturales, entre estas las cerámicas PZT.

Los PZT son materiales cerámicos adaptados con propiedades piezoeléctricas. Estos fueron estudiados en 1952 por el Dr. Junji Hayashi, un investigador del Instituto de Tecnología de Tokio. Estudiando materiales para uso en dispositivos de ultrasonografía, indicó que el titanato de circonato de plomo tenía propiedades piezoeléctricas distintivas.

Los PZT se desarrollaron rápidamente en la década de 1960 y se convirtieron en el material piezoeléctrico más utilizado, son preferidos por su dureza, alta eficiencia, su amplio rango de propiedades piezoeléctricas y su resistencia a la corrosión.

Las propiedades de los PZT varían en función de la composición química del material, su desarrollo se da por medio de un proceso de polarización, aquí se le da la característica de una “anisotropía unipolar en la cerámica” (Heywang, Lubitz, & Wersing, 2008, pág. 89)

Los PZT más comunes son los que tienen una composición de $ZrTiO_4$ (zirconato de titanio) y $PbTiO_3$ (titanato de plomo). Los cuales se caracterizan por una microestructura altamente uniforme que consiste en granos (cristalitos) orientados aleatoria y estrechamente unidos entre sí (Haertling, 2004). Desde luego estos materiales cerámicos cumplen con el efecto piezoeléctrico directo e inverso, además se caracterizan por tener un alto coeficiente piezoeléctrico y una resistencia mecánica relativamente alta en comparación a algunos minerales.

Los materiales PZT se producen en forma de discos, placas, cilindros y otros formatos (Figura 9), estos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, las cuales se resumen en la siguiente tabla No 1:



Figura 9: Cerámicas piezoeléctricas.

Fuente: <https://www.piezohannas.com/Optical-phase-modulation-based-on-PZT-piezoelectric-ceramics-id3769542.html>

Tabla 1: Aplicación y descripción de funcionamiento de material piezoeléctrico

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Micrófonos	Los micrófonos piezoeléctricos utilizan el efecto piezoeléctrico directo para convertir las ondas sonoras en señales eléctricas. Cuando una onda sonora golpea un material piezoeléctrico, provoca una deformación mecánica en el material. Esta deformación genera una carga eléctrica, que se puede utilizar para representar la onda sonora.
Altavoces	Los altavoces piezoeléctricos utilizan el efecto piezoeléctrico inverso para convertir las señales eléctricas en ondas sonoras. Cuando se aplica una señal eléctrica a un material piezoeléctrico, provoca una deformación mecánica en el material. Esta deformación genera una onda sonora, que se puede escuchar.
Generadores	Los generadores piezoeléctricos utilizan el efecto piezoeléctrico inverso para generar electricidad a partir de vibraciones mecánicas. Cuando un material piezoeléctrico se somete a vibraciones mecánicas, genera una carga eléctrica. Esta carga eléctrica se puede utilizar para generar electricidad.

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Sensores	Los sensores piezoeléctricos utilizan el efecto piezoeléctrico para detectar la presencia de objetos o fuerzas. Cuando un material piezoeléctrico se somete a una deformación mecánica, genera una carga eléctrica. Esta carga eléctrica se puede utilizar para detectar la presencia de un objeto.
Actuadores	Los actuadores piezoeléctricos utilizan el efecto piezoeléctrico para generar movimiento. Cuando se aplica una carga eléctrica a un material piezoeléctrico, provoca una deformación mecánica en el material, la cual genera movimiento.

2 LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO ESCOLAR

En este capítulo, se aborda el papel central de la actividad experimental en la enseñanza de la Física, respaldado por las contribuciones de trabajos experimentales en ciencias, epistemólogos y expertos en didáctica de las ciencias. La estructura del capítulo se compone de tres secciones. En la primera, se defiende la actividad experimental como la base empírica esencial para la construcción de teoría, basándose en los trabajos experimentales de los físicos Jacques y Pierre Curie. En la segunda sección, se destaca la actividad experimental como un proceso de intervención en el mundo natural, que posibilita la creación de efectos y la construcción activa de conocimientos. En la tercera, se justifica la adopción de la enseñanza por indagación como estrategia para orientar el diseño de actividades

experimentales en el aula, ya que estimula la participación activa de los estudiantes en la construcción de conocimiento.

2.1 La actividad experimental como base empírica para la construcción de teoría.

La reflexión acerca de las relaciones entre el experimento y la teoría ocupan un papel central en la epistemología de las ciencias. A pesar de que diversas perspectivas se han propuesto, dos perspectivas predominantes son reconocidas: una que asigna a la actividad experimental la función de contrastar empíricamente las consecuencias lógicas derivadas de las teorías (perspectiva facilista), y otra que postula que las observaciones y resultados experimentales ofrecen una base empírica sólida y fiable para la formulación de teorías (perspectiva inductivista) (Harre, 1986). Se coincide con Harre al considerar que estas perspectivas no deben asumirse como opuestos, sino como complementarios, ya que cada uno resalta distintos papeles que el experimento desempeña en las ciencias en diferentes momentos y casos. Por esta razón, es importante identificar el papel que la actividad experimental cumple en cada caso específico de producción de conocimiento.

Por ende, este trabajo se enfocó en realizar una revisión de las obras de científicos pioneros en el campo de la Piezoelectricidad, a partir de fuentes secundarias. No se buscó realizar una historia de las ciencias, sino comprender el papel específico que la actividad experimental ocupó en los trabajos pioneros de los Hermanos Curie. Esta perspectiva permitió, además, apreciar el carácter constructivo del conocimiento científico¹³.

¹³ Esto implica reconocer que la ciencia no es un conjunto estático de hechos predefinidos, sino un proceso continuo de construcción y reconstrucción de ideas y teorías, sujeto siempre a cambios.

Esta revisión contribuyó al diseño de actividades experimentales para el aula, sobre el efecto piezoeléctrico, desde una perspectiva más “auténtica”. Facilitó una mayor conexión entre la actividad experimental en las ciencias y el ámbito escolar. Asimismo, permitió enfrentar visiones superficiales o empobrecidas de la actividad científica (Martí, 2012).

Un punto destacable del porqué se utilizó la obra de Jackes y Pierre Curie radica en su trabajo experimental, pues posterior a anunciarse como “descubridores del efecto piezoeléctrico”, varios personajes se interesaron en el tema, motivados principalmente por plantear una teoría al respecto. Esto podría sorprender a cualquiera que piense que el papel central de los experimentos es confirmar o refutar teorías (Shaul, 2006)

Con el fin de entender el papel de la actividad experimental que asumían los hermanos Curie, se puede decir que esta sirvió como base empírica para lo que posteriormente sería su teoría, por lo que en este caso y de acuerdo con Sánchez, Osorio, & Manrique (2013) se considera el experimento como fuente del conocimiento.

En medio de su actividad científica se destaca la importancia del papel que cumplen los “elementos materiales”, según Romero-Chacón (2017) "Los instrumentos, procesos de medida y técnicas experimentales no solo son el canal de comunicación entre nuestros pensamientos y la naturaleza, sino que también son la condición de electromeidad de los efectos científicos y los fenómenos naturales" (Romero & Aguilar, 2013, p. 12).

En este sentido se puede evidenciar que la disposición de elementos como: una prensa de banco, un electrómetro cuadrático de Thompson y un cristal con ciertas propiedades, responden a una finalidad que, aunque se piense simple, fue clave para la construcción de conocimientos alrededor del efecto piezoeléctrico, esta forma de concebir los instrumentos

hace que se conviertan en la condición de posibilidad de los efectos científicos, y por ende adquieran sentido en un contexto problemático en el cual se crean condiciones para su funcionalidad (Romero-Chacón, 2017)

2.2 La actividad experimental como proceso de intervención en el mundo natural

Se plantea la hipótesis de que al introducir el efecto piezoeléctrico como contenido escolar puede suscitar el interés de los estudiantes, dada su atractiva naturaleza y las múltiples aplicaciones que presenta. Con el fin de alcanzar este objetivo, resulta pertinente abordar, en primera instancia, el interrogante fundamental: ¿Cómo se comprende la actividad experimental en el diseño de las actividades destinadas para el aula?

En general, en el aula, a menudo se presenta una actividad experimental desde una perspectiva reduccionista. En muchos casos, se plantea un experimento después de haber abordado una teoría científica, lo que hace pensar que la relación que existe entre la teoría y la actividad experimental es que la segunda es subsidiaria de la primera y que su función es tan solo permitir observar, desarrollar un procedimiento o comprobar una teoría (Romero-Chacón, 2017)

A lo anterior se le agrega la idea planteada por Hodson (1994), quien sostiene que algunos profesores consideran que la realización de actividades experimentales tiene como objetivo motivar, mediante la estimulación del interés y la diversión. No obstante, con esto no se le atribuye la importancia fundamental que tiene la actividad experimental en el aprendizaje de las ciencias.

Varios autores coinciden en concebir la experimentación como un proceso de intervención en el mundo natural. Martín sostiene que "la experimentación científica siempre

es una intervención en el mundo que persigue unos objetivos explícitos" (2012, pág. 64). Hacking, por su parte, afirma que la experimentación constituye una forma de intervenir en el mundo que posibilita la creación de efectos y la construcción de representaciones sobre éstos (1983). Al adoptar esta perspectiva y extrapolarla al entorno escolar, se asume que la experimentación en el aula se configura como un proceso que permite a los estudiantes adquirir conocimientos sobre el mundo que les rodea mediante la observación, la manipulación y la reflexión.

Un ejemplo de esto se encuentra en el efecto piezoeléctrico. Antes de su descubrimiento relacionado con la turmalina, no se concebía la posibilidad de obtener carga eléctrica en un material como resultado de aplicar una fuerza externa. La experimentación fue fundamental para representar y comprender este efecto.

Por lo tanto, se plantea que la actividad experimental es una práctica esencial en la enseñanza de las ciencias. A través de ella, los estudiantes no solo construyen conocimiento sobre el mundo natural, sino que también permite una mejor comprensión de los conceptos científicos y la formación de un pensamiento crítico y reflexivo. (Romero-Chacón, 2017)

En el presente trabajo, se adopta la perspectiva de la actividad experimental desde un enfoque educativo que fomenta el aprendizaje activo y autónomo de los estudiantes. Para alcanzar este propósito, se considera que la enseñanza por indagación se erige como la estrategia más idónea.

Bevins & Price (2016) defienden que la enseñanza por indagación es una metodología que propicia el desarrollo de las habilidades de investigación en los estudiantes y, al mismo

tiempo, les permite interiorizar nuevos conocimientos en medio de la búsqueda de respuestas a preguntas previamente establecidas. Ellos afirman que:

... esta aproximación aporta al alumnado un mayor control del propio aprendizaje y le permite navegar activamente por los caminos que aumentan su comprensión y motivación y mejoran su actitud hacia la práctica científica, incrementando su autoestima y su capacidad para manejar nuevos datos en un mundo cada vez más complejo (p. 19)

De lo anterior es importante aclarar que más que una metodología centrada en la manipulación, se pretende adoptar una estrategia investigadora, pues, de acuerdo con el texto de Martí (2012) esta estrategia proporciona mejores resultados en comparación con metodologías basadas en la transmisión de información y en el procedimiento.

Para abordar esta estrategia investigadora se retoma el término “investigación auténtica” de este texto, en la que los estudiantes se involucran en un proceso de investigación similar al que utilizan los científicos para resolver problemas y generar conocimientos, aquí los estudiantes tienen la libertad de explorar y plantear sus propias preguntas por lo que esto se vuelve un proceso abierto y flexible. Al tratar problemas de interés para los estudiantes y que puedan tener significado para ellos, hace que adquieran una disposición con una participación activa en todas las etapas de la actividad experimental, permitiéndose adquirir un enfoque indagativo que se caracterice principalmente por: una observación intencionada, el planteamiento de preguntas y así mismo la formulación de explicaciones o predicciones en relación con esto.

De tal modo, en medio de esta metodología de enseñanza el estudiante se ubica en el centro del proceso de aprendizaje y el docente se convierte en un facilitador o guía, pues es quien propone las actividades experimentales de acuerdo con el marco teórico trabajado.

3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Este capítulo se divide en dos secciones. En la primera se presenta actividad experimental desarrollada por la autora del presente trabajo, la cual fue necesaria antes de proponer alguna actividad experimental para los estudiantes. En la segunda, se presenta las características generales de lo que fue un pilotaje de las sesiones en las que tuvo lugar la propuesta.

3.1 Materiales como recurso que posibilitan la realización de la actividad experimental

A partir de la revisión de los experimentos propuestos por los hermanos Curie, se destaca la necesidad de introducir en el aula materiales como recursos que permitan llevar a cabo una actividad experimental análoga a la que ellos propusieron. Además, se reconoce la importancia de implementar actividades complementarias que enriquezcan la perspectiva de los estudiantes en relación con la piezoelectricidad.

Con base en esta premisa, se ha decidido realizar la síntesis de cristales de Sal de Rochelle y la construcción de un tapete piezoeléctrico de cerámicas PZT. Estos procesos detallados se describen en las dos secciones siguientes.

Es relevante señalar que las particularidades tanto de los cristales como del tapete son tenidas en cuenta para el diseño de las preguntas orientadoras planteadas a los estudiantes durante el desarrollo de las actividades experimentales.

3.1.1 Fabricación de Cristales de Sal de Rochelle

Se optó por diseñar actividades experimentales que permitieran investigar la piezoelectricidad en cristales de sal de Rochelle, debido a sus marcadas propiedades piezoeléctricas, su facilidad de síntesis, bajo costo y nivel de seguridad. Estas características convierten a estos cristales en una elección apropiada y accesible para explorar dicho efecto en el aula de clase.

A pesar de estas ventajas, es crucial reconocer que estos cristales son sensibles a la humedad, solubles en agua, pueden crecer de forma irregular y presentan limitaciones en los rangos de temperatura. En consecuencia, controlar las condiciones de humedad y temperatura, así como realizar una síntesis cuidadosa para propiciar un crecimiento regular, se vuelve esencial para mitigar estas limitaciones.

En este contexto, fue imperativo llevar a cabo la síntesis de los cristales mencionados con miras a su implementación en el aula de clase. A continuación, se detalla el proceso de elaboración de estos cristales, abordando los reactivos y materiales necesarios para su fabricación, así como el procedimiento de síntesis correspondiente. Esto fue en relación con

el artículo de química “Tartrato de sodio y potasio (sal de Rochelle)” publicado por la página BYJU’S¹⁴; No obstante, se realizó una modificación en la lista de materiales al reemplazar el bicarbonato sódico por carbonato de sodio. Esto se debió a que, según el artículo, se describe un procedimiento para transformar el bicarbonato sódico en carbonato de sodio. Sin embargo, durante la obtención de los materiales, fue posible adquirir directamente el carbonato de sodio, lo cual hizo que este proceso resultara innecesario.

Reactivos y materiales:

- 250 ml de agua destilada
- 200g de Bitartrato de potasio
- 500g de Carbonato de sodio
- Estufa
- Recipiente de Vidrio (Pyrex)
- Papel Filtro
- Termómetro
- Instrumento para mezclar

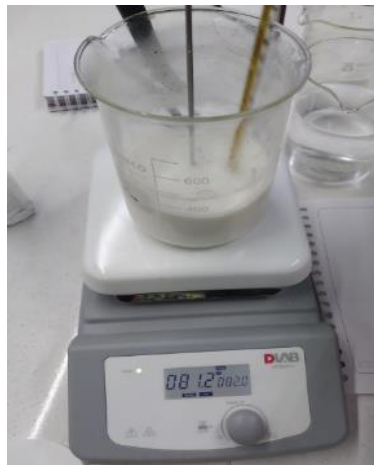
Procedimiento de síntesis:

1. Inicialmente se agrega al recipiente 250 ml de agua destilada con 200g de Bitartrato de potasio; esta mezcla se satura inicialmente a temperatura ambiente.

¹⁴ Fuente: [Tartrato de sodio y potasio \(sal de Rochelle\) - Preparación, usos, propiedades del tartrato de sodio y potasio \(byjus.com\)](https://byjus.com)

1. La mezcla se eleva a una temperatura de 81°C^{15} ; para evitar el precipitado del bitartrato se revuelve de forma constante.
2. Posteriormente, se añaden los 500g de carbonato de sodio, no de forma directa, sino por cucharadas, generando una transición de la solución de saturada a sobresaturada.
3. Continuando con la agitación constante, la sustancia final cambia de un color blanco a uno más traslúcido; en este punto, se retira del proceso de calentamiento.

En la Figura 10, se exhiben dos imágenes representativas: una corresponde al proceso de síntesis del cristal de Sal de Rochelle, mientras que la otra muestra el cristal en su estado finalizado.



(a)



(b)

*Figura 10: (a) Síntesis de Sal de Rochelle, (b) Estado finalizado del cristal de Sal de Rochelle.
Fuente: Propia*

¹⁵ De acuerdo con Valasek (1922) los cristales sintetizados a esta temperatura adquieren propiedades piezoeléctricas.

3.1.2 Construcción de tapete piezoeléctrico de cerámicas PZT con visualizador

Adicionalmente, se optó por incorporar la interacción con un tapete piezoeléctrico como una de las actividades experimentales dirigidas a los estudiantes. Esta decisión se sustenta en la capacidad de estos tapetes para ilustrar de manera concreta el efecto de la piezoelectricidad. Asimismo, estos tapetes brindan la oportunidad de explorar las posibles aplicaciones tecnológicas de este efecto en la vida cotidiana.

En específico, se diseñó y construyó un tapete piezoeléctrico con visualizador (display en inglés), un dispositivo que combina la tecnología piezoeléctrica con la capacidad de mostrar información visual. El tapete está compuesto por cerámicas piezoeléctricas PZT que generan una diferencia de potencial eléctrico al ser sometidas a deformación mecánica, como la presión ejercida por los estudiantes al interactuar con éstas. Además, cuenta con un visualizador LED conectado a un circuito que permite la iluminación de secciones específicas en respuesta a la activación piezoeléctrica. Las secciones iluminadas se configuraron para representar números, esto con fines didácticos.

Para el diseño y construcción del tapete, se recolectó información de la fuente Skill Make (2020). A partir de este video, se obtuvieron conceptos sobre los materiales y procedimientos necesarios para la construcción de un tapete piezoeléctrico. Es importante señalar que el diseño específico del visualizador piezoeléctrico, desarrollado para el presente trabajo, se concibió de manera original. Para llevar a cabo este diseño, fue esencial adaptar

un tapete piezoeléctrico, demostrado en el video, escalándolo a siete unidades, debido a la necesidad de abarcar las secciones iluminadas requeridas.

A continuación, se presenta de manera detallada el proceso de elaboración del tapete, abordando los materiales utilizados y describiendo el procedimiento empleado en su construcción.

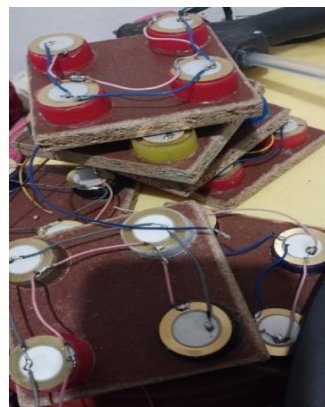
Materiales:

- Tapas plásticas de gaseosa
- Cerámicas medianas PZT
- Base en madera de 10 cm x 10 cm
- Leds de color azul
- Capacitores de 47 μ F
- Diodos 1N4007
- Resistencias de 1K ohm

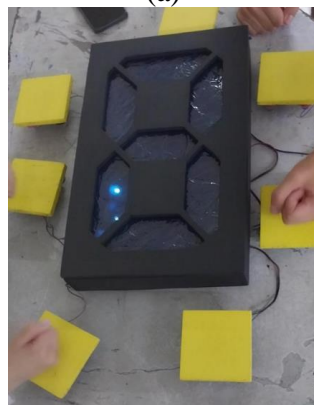
Procedimiento:

1. Preparación del Tapete Base para Cerámicas PZT: Se dispusieron siete bases de madera, a las cuales se adhirieron tapas plásticas huecas en las esquinas para permitir la flexión de la cerámica. Las cerámicas PZT se posicionaron sobre estas bases y soldadas en serie para aprovechar su capacidad de manera conjunta, como se muestra en la Figura 11a.

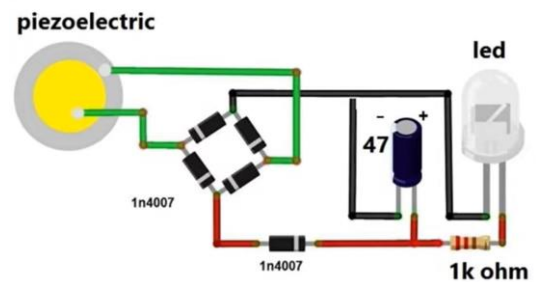
2. Conexión de las Cerámicas PZT al Circuito: Posteriormente, las cerámicas PZT soldadas en serie se conectaron al circuito ilustrado en la Figura 11b, diseñado para encender los bombillos LED al presionar las cerámicas.
3. Integración del Visualizador LED: Finalmente, se procedió a la construcción del visualizador que alberga las conexiones. Este visualizador, fabricado en madera con dimensiones de 30 cm x 45 cm, se presenta en las Figuras 11c y 11d, mostrando la vista inferior y superior, respectivamente.



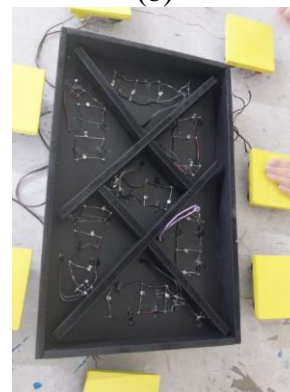
(a)



(c)



(b)



(d)

Figura 11: (a) Tapete Base para Cerámicas PZT, (b) Esquema del Circuito de Conexión de las Cerámicas PZT a los LED, (c) Vista Superior y (d) Vista Inferior del Visualizador LED Integrado.

Fuente: Propia

3.2 Implementación de la Prueba Piloto.

La prueba piloto de las actividades experimentales se llevó a cabo en dos contextos. En primer lugar, se realizó una divulgación en el salón de ciencias de la Universidad Pedagógica Nacional, centrándose en el efecto piezoeléctrico. Durante este evento, se exhibió el tapete piezoeléctrico de cerámicas PZT visualizador. El objetivo principal era que los estudiantes presentes pudieran identificar que algunos materiales poseen la capacidad de generar una respuesta eléctrica cuando se someten a una tensión de compresión, y que esta respuesta eléctrica guarda una relación directamente proporcional con la presión aplicada.

En líneas generales, este espacio resultó altamente beneficioso al brindar la oportunidad de exponer el proyecto a un público de diversas edades. La novedad del efecto presentado capturó la atención de todos los grupos participantes, quienes manifestaron no haberlo experimentado previamente. Fue evidente que, a medida que aumentaba el rango de edad, se les facilitaba deducir que una presión más intensa se traduciría en una mayor luminosidad. Este hecho estimuló una mayor indagación sobre el funcionamiento del montaje. De manera autónoma, algunos asistentes optaron por invertir los tapetes para examinar sus componentes y, sin que se les solicitara, variaron la forma en que ejercían la presión. La práctica común fue aplicar una presión constante seguida de una presión variable, observando por sí mismos que los LEDs solo se iluminaban durante la presión variable. Este hallazgo se alinea con la proposición de los hermanos Curie en relación con la Turmalina, quienes postulan que la electricidad liberada es proporcional a la variación de la presión.

El otro espacio donde se desarrollaron las actividades experimentales fue en el Instituto Pedagógico Nacional, específicamente con siete estudiantes de grado octavo en la electiva nombrada “No tan obvio”. Para el desarrollo de las actividades experimentales se habilitaron 3 sesiones, cada una de 45 minutos. El propósito general de las sesiones se enfocaba en que los estudiantes, a partir de la observación y la experimentación, comprendieran que el efecto piezoeléctrico es una propiedad física que tienen algunos materiales que les permite generar una carga eléctrica cuando se les aplica una presión.

Alrededor de las tres sesiones, cada una se distinguió por: a) formar equipos de trabajo compuestos por 2 o 3 estudiantes; b) disponer los recursos de trabajos, incluyendo guías orientadoras y elementos materiales para las actividades experimentales; c) llevar a cabo las actividades experimentales, reuniendo observaciones y reflexiones de los estudiantes mediante escritos y dibujos (ver anexo 1 y anexo 2); d) Crear un diálogo alimentado por preguntas orientadoras entre los estudiantes y la maestra en formación, basado en las ideas desarrolladas por cada grupo.

A continuación, se proporciona una interpretación descriptiva de cada una de las sesiones.

3.2.1 Sesión 1: Actividad introductoria. Algunos materiales pueden inducir una carga eléctrica cuando se les ejerce una tensión de compresión

La prueba piloto en el Salón de las Ciencias precedió a la realizada en el Instituto Pedagógico Nacional. Durante esta prueba, se evidenció que el efecto piezoeléctrico es poco conocido por los estudiantes. En consecuencia, se decide llevar a cabo, en la primera sesión del Instituto, una actividad introductoria, para la cual se elaboró un documento orientador

que incluye tres situaciones desencadenantes, siendo cada una un breve texto que relaciona la temática con situaciones de la vida real, acompañadas de preguntas para estimular la reflexión (consultar anexo 1).

La actividad consistió en la identificación y justificación de materiales con capacidad para generar electricidad al ser sometidos a una presión. Los estudiantes llevaron a cabo esta tarea mediante el análisis y la argumentación fundamentada en sus conocimientos previos y razonamientos lógicos. El objetivo de esta actividad fue que los estudiantes construyeran la idea de que ciertos materiales tienen la capacidad de inducir una carga eléctrica cuando se les ejerce presión. Adicionalmente, sirvió como medio para que tanto la profesora en formación como los estudiantes explicitaran sus ideas previas sobre este efecto.

En la implementación de esta actividad, se evidenció una disposición favorable por parte de los estudiantes para participar en la misma. Dado que se trató de un grupo reducido, el desarrollo de las actividades se llevó a cabo de manera individual (Ver anexo 2); no obstante, se mantuvo un diálogo constante en el cual cada participante defendía su postura y ofrecía argumentos que respaldaban la elección de su opción como la más adecuada. En relación con la primera situación, que involucra la reflexión acerca de qué material entre hueso, vidrio, ladrillo y azúcar consideran capaz de generar electricidad bajo presión, las respuestas proporcionadas fueron diversificadas. Sin embargo, se observó que todos atribuían la capacidad de inducir una carga eléctrica a las propiedades o características específicas de los materiales, mencionando aspectos tales como texturas, peso, composición mineral, solubilidad y tipo de material.

En la segunda y tercera situación, se logró que los estudiantes reconocieran que el efecto no les era ajeno y, de hecho, estaba presente en su vida cotidiana. Ellos evidenciaron que: 1) en ciertos conciertos, se utilizan pisos que son "acumuladores" de los saltos de las personas para alimentar eléctricamente el mismo y 2) los encendedores de martillo generan una "chispa" debido a la aplicación de presión, específicamente, un golpe, sobre un cristal piezoeléctrico, "una piedrita" que incluye generalmente una variedad de minerales como la cuarcita. Cabe destacar que, para la reflexión sobre los encendedores, se proporcionaron dichos dispositivos a los estudiantes, permitiéndoles explorar por sí mismos el mecanismo subyacente.

En síntesis, durante el desarrollo de esta sesión, se posibilitó a los estudiantes:

- Identificar que se les puede inducir una carga eléctrica a ciertos materiales cuando son sometidos a presión.
- Reconocer la presencia de este efecto en su vida cotidiana, relacionándolo con los tapetes piezoeléctricos que se usan en conciertos y los encendedores de martillo.

3.2.2 *Sesión 2: Actividad experimental con distintos materiales. Montaje análogo al de los hermanos Curie*

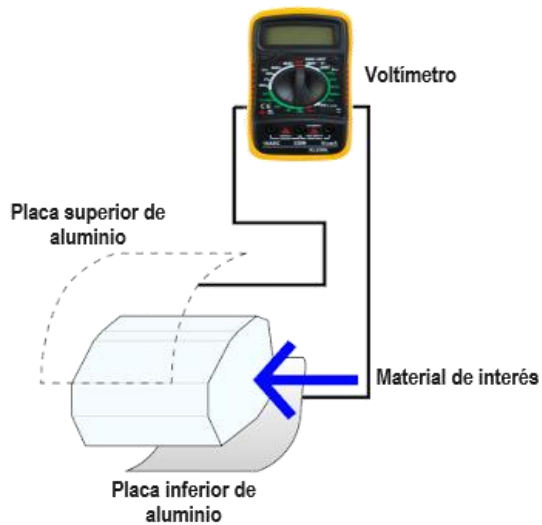
Para esta sesión se trabajó la actividad experimental base propuesta por Jackes y Pierre Curie, y para esto la sesión se centra en responder a la pregunta *¿Qué detecta un voltímetro cuando se ejerce una presión a distintos materiales?*

La sesión se estructura en los siguientes momentos: planteamiento de hipótesis y diseño, ejecución del montaje y análisis, discusión y conclusiones, y por último relación con el efecto piezoeléctrico.

Planteamiento de Hipótesis: Previo a la elaboración del montaje experimental, se insta a los estudiantes a formular hipótesis sobre cómo anticipan que diversos materiales reaccionarán ante la aplicación de presión. Se les guía para responder específicamente a interrogantes como: ¿Cuál sería la reacción al presionar una placa de a) azúcar; b) sal; c) arena; d) sal de Rochelle? ¿Consideran que alguno de los materiales mencionados induciría una respuesta eléctrica?

Diseño y Ejecución del Montaje: Posterior a la formulación de sus respectivas hipótesis, cada grupo de estudiantes dispone de cajas de cartón de dimensión de 10cm x 10 cm x 3 cm (preparadas previamente por la docente en formación) en estas se ubica una placa de papel aluminio en la parte inferior, luego, sobre esta placa, colocan la muestra del material de interés y, finalmente en la parte superior se dispone otra placa de papel aluminio. Cada placa de papel aluminio se conecta a un cable conductor del voltímetro, de modo que, al aplicar presión con diversas masas, este indique si hay una diferencia de potencial. (Consultar Figura 12)

Cabe destacar que, para esta actividad, se reemplaza el electrómetro de cuadrantes utilizado por los Curie por un voltímetro, y las placas de la prensa se sustituyen por placas de aluminio. Adicionalmente, la tensión de compresión se ejerce por medio de masas que se ubican sobre el material.



*Figura 12: Esquema del montaje experimental.
Fuente: Cultivo de cristales: Sal de Rochelle (dmishin.blogspot.com)*

Análisis y Discusión: Después del registro de datos se invita a los estudiantes a generar una discusión grupal para que compartan sus observaciones y comparen los resultados obtenidos con los diferentes materiales. Luego se incentiva a realizar una reflexión sobre cómo estas observaciones se relacionan con las hipótesis planteadas inicialmente. Para esto se propone para los grupos conformados las siguientes preguntas orientadoras:

- ¿Qué material generó una mayor diferencia de potencial? ¿Por qué consideras que este material generó la mayor diferencia de potencial?
- ¿Qué otras aplicaciones (a parte de las mencionadas en sesiones anteriores) crees que podría tener la piezoelectricidad en el futuro?
- ¿Cuáles son los desafíos de utilizar la piezoelectricidad en aplicaciones prácticas?

Conclusiones y Relación con el Efecto Piezoeléctrico: Para una actividad de síntesis la docente en formación guía a los estudiantes hacia la formulación de conclusiones basadas en sus experimentos. De esta se deben establecer conexiones entre los resultados y el fenómeno piezoeléctrico, resaltando la relación entre la presión mecánica y la generación de electricidad.

Para recolectar la información se propone como actividad escribir en el centro del tablero “efecto piezoeléctrico” y a partir de esta los estudiantes deben desglosar palabras o frases en relación con lo que entendieron de este.

El desarrollo de esta sesión fue provechoso porque los estudiantes se sintieron interesados por participar, cabe señalar que la mayor dificultad de ellos fue respecto al manejo del voltímetro, pues dadas sus varias funciones no sabían muy bien en que rango se debía medir, sin embargo, esto no fue dificultad para que siguieran con la actividad.

De acuerdo con los registros presentados por los grupos (Anexo 3), los estudiantes evidenciaron que:

- Tanto el azúcar como la sal de Rochelle exhibían una respuesta eléctrica cuando se les ejercía una presión
- La Sal de Rochelle mostraba una mayor diferencia de potencial en comparación al azúcar
- Determinaron que estos dos tenían esta capacidad debido a que son “cristalinos”

3.2.3 Sesión 3: Actividad experimental con cerámicas PZT.

La tercera sesión va encaminada a cuestionar a los estudiantes sobre qué pasa cuando se varía el tipo de presión que se hace en materiales piezoeléctricos, en este caso con cerámicas con una estructura preestablecida con propiedades piezoeléctricas. Para esto la sesión se divide en tres momentos. El primer momento parte de utilizar un video de Los Simpson nombrado “Así nacen los bajistas” - <https://www.youtube.com/watch?v=TfIsl6tZI68>. En este se muestra a Homero Simpson tocando una guitarra eléctrica, lo que sirve como una estrategia creativa y lúdica para introducir el concepto de pastillas piezoeléctricas a los estudiantes. En este contexto, el video representa una situación cotidiana y culturalmente relevante que ilustra de manera entretenida el principio subyacente del efecto piezoeléctrico.

Este video proporciona un ejemplo visual y auditivo de cómo las pastillas piezoeléctricas son utilizadas en la vida real. Al mostrar a Homero Simpson tocando una guitarra eléctrica, los estudiantes pueden observar cómo la vibración de las cuerdas de la guitarra se convierte en señales eléctricas a través de las pastillas piezoeléctricas, lo cual proporciona un puente entre el conocimiento abstracto y su aplicación práctica.

Si bien, aunque el video muestra el uso de una guitarra eléctrica, el objetivo es que los estudiantes se cuestionen cómo se produce el sonido de estas, para esto se propone la siguiente pregunta: ¿Qué diferencia hay entre una guitarra acústica y una electroacústica?

Posterior a esto la docente en formación interviene para consolidar la comprensión de los estudiantes sobre la situación presentada. Aquí se utiliza un enfoque participativo y

reflexivo por parte de los estudiantes, se encamina la discusión a la importancia de un material dispuesto en la guitarra eléctrica, el cual permite la conversión de la vibración de las cuerdas en señales eléctricas, este material llamado "pastillas piezoeléctricas". A partir de esto se explica que estas pastillas tienen la fascinante capacidad de generar una corriente eléctrica cuando se someten a deformaciones mecánicas, como las vibraciones de las cuerdas de la guitarra. Posterior a esto se resalta que estas pastillas funcionan debido al *efecto piezoeléctrico*, y para explorar más a fondo sobre cómo funcionan estas pastillas, se abre paso al momento 2 de la sesión.

Para el segundo momento se entregan a los estudiantes cerámicas piezoeléctricas PZT de dos tamaños y bombillos Leds de distintos colores. De lo que se propone las siguientes preguntas:

- ¿Cómo planeas aplicar la presión al material piezoeléctrico?
- ¿Qué sucede cuando se aplica una presión al PZT?
- Identifica la forma de la presión que haces ¿qué notas de esto?
- ¿Hay una relación entre la presión aplicada en el piezoeléctrico y la luz encendida de los leds?
- ¿Cómo afecta el tamaño del piezoeléctrico a la luz encendida de los leds?

Dadas las respuestas de los estudiantes (Anexo 4) se procede con el tercer momento de la sesión, en la que se pide a los estudiantes elaborar un dibujo o esquema de cómo

realizarían un artefacto con los materiales utilizados, el cual sea eficiente y tenga como principio encender los Leds bajo una presión.

En función de la actividad realizada, algunas de las respuestas de los estudiantes fueron:

- a) “La presión se ejerce con un material externo al piezoeléctrico de manera intermitente”
- b) “El PZT libera energía que se transmite al Led en forma de señales eléctricas”
- c) “Se debe hacer una presión repetitiva para que el Led alumbre”

En términos generales esta sesión fue la que permitió en mayor medida hacer que los estudiantes plantearan hipótesis, hicieran observaciones, y construyeran ideas entorno a las reglas que rigen al efecto piezoeléctrico. Una de las dos hipótesis por destacar de los estudiantes E1 y E2 menciona que:

“Hipótesis 1: La energía es producida al ejercer presión sobre el material piezoeléctrico y liberada hacia el LED cuando se reduce la presión, lo que puede explicar el encendido del LED durante pulsaciones intermitentes y no constantes. Esto se evidenció dado que al ejercer una presión constante no encendió el LED, pero al soltarlo sí lo hizo.

Hipótesis 2: La polaridad del LED determina la manera en la que enciende, por lo que, al colocar polo negativo- negativo y positivo- positivo, la electricidad se genera al reducir la presión sobre el material piezoeléctrico, al contrario de lo que sucede al colocar polo negativo- positivo, pues así, la electricidad se genera directamente al ejercer la presión, produciendo la energía lumínica del LED ”

En estas hipótesis el grupo de estudiantes menciona la posible polaridad que tienen los Leds, pues ubicaron las terminales de los Leds en las dos formas posibles y evidenciaron

que en un punto cuando se ejercía la presión en la cerámica, el Led alumbraba directamente, sin embargo, también notaron que de la otra forma de ubicar los terminales del Led este encendía no cuando se presionaba la cerámica sino cuando esta se soltaba. Esta idea muestra la capacidad de los estudiantes por plantear hipótesis y así mismo investigar por sí mismos para corroborarlas, pues esta variación que hicieron en la actividad experimental no había estado contemplada.

4 REFLEXIÓN FINAL

La revisión experimento-teórica tanto del trabajo de los Físicos Jackes y Pierre Curie alrededor del efecto piezoeléctrico, como de otras fuentes que ampliaron los elementos

conceptuales relacionados con este efecto, ha permitido apreciar el *papel del experimento como fuente de conocimiento*.

En medio de la investigación las contribuciones experimentales y teóricas pioneras que permitieron la comprensión actual del Efecto Piezoeléctrico son notables. Contextualizando el trabajo de los hermanos Jacques y Pierre Curie en el marco de la evolución del estudio de la piroelectricidad permitió evidenciar el carácter constructivo del conocimiento científico. Bajo este contexto y a partir de su destreza experimental los Curie pudieron idear un diseño experimental capaz de demostrar cómo al ejercer una presión sobre un material con propiedades piezoeléctricas este inducía una corriente eléctrica en su superficie, lo cual fue crucial considerando las limitaciones tecnológicas de la época; se puede decir que esto sirvió como base empírica para lo que posteriormente sería su teoría, pues este hecho sin duda se convierte en base de conocimiento para los siguientes investigadores en el tema. A partir de profundizar en el estudio de la estructura de estos materiales es como hoy en día se pueden fabricar cerámicas sintéticas con una estructura debidamente diseñada, tomando como ejemplo las cerámicas PZT.

Por parte de la exploración detallada sobre el papel de la actividad experimental en la enseñanza de la Física, se confirma su importancia en la construcción de conocimiento escolar. Al abordar la investigación desde una metodología de enseñanza por indagación, se logró evidenciar en los dos espacios donde se desarrollaron las actividades experimentales que hubo un involucramiento activo por parte de los estudiantes, esto generó un ambiente de aprendizaje dinámico; el que los estudiantes presentaran cierta curiosidad, formularan

preguntas, plantearan hipótesis y fueran autónomos para hacer intervenciones en las actividades experimentales, demuestra su capacidad por construir las reglas que subyacen al efecto piezoeléctrico.

Tras llevar a cabo una prueba piloto de las actividades experimentales en la electiva "No tan Obvio" del Colegio Instituto Pedagógico Nacional, se muestra que la implementación de estas se establece como un componente fundamental para el proceso de enseñanza-aprendizaje, generando un impacto positivo tanto en la participación de los estudiantes como en la comprensión del tema abordado. Particularmente la actividad experimental que despertó mayor curiosidad e interés entre los estudiantes estuvo relacionada con las cerámicas PZT. La interacción con estas cerámicas creó un espacio de reflexión que permitió a los estudiantes recopilar experiencias que contribuyeron a la configuración de ideas alrededor del efecto piezoeléctrico. Específicamente, identificaron dos conclusiones clave: 1) La intensidad de luminosidad proporcionada por la cerámica es directamente proporcional a la presión ejercida sobre ella; 2) La electricidad liberada de una cerámica PZT es proporcional a la variación de la presión. Posiblemente, estas conclusiones se les facilitaron a los estudiantes debido a las características de eficiencia y dureza del material. En comparación con la sal de Rochelle, la cerámica PZT demostró ser más versátil, ya que esta última resultaba quebradiza y limitaba la realización de diversas experiencias.

Para finalizar, es esencial reconocer que, al llevar este tema desde los campos científicos hasta el ámbito escolar, se logró una revisión que resulta fundamental para la configuración de una propuesta de enseñanza propia. Con esto se contempla la importancia de abordar las

obras de científicos pioneros como recursos fundamentales en el diseño de estrategias educativas. En este sentido, se aprecia cómo, dentro de un contexto específico y con una intencionalidad pedagógica clara, es posible generar un puente efectivo entre la investigación científica y la experiencia de aprendizaje en el aula.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Aepinus, F. (1762). Recueil de differents memoires sur la Tourmaline. *Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo*, 1-192.
- Arteaga, E. G. (2009). *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza - Neumática e hidrostática*. Santiago de Cali: Programa Editorial Universidad .
- Ballas, R. G. (2021). El efecto piezoeléctrico: un efecto de estado sólido indispensable para las tecnologías contemporáneas de actuadores y sensores. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1775 012012.
- Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal*, 17-29.
- Castellanos, N. (2013). Evaluación Preliminar del Uso del Efecto Piezoeléctrico para Generación de Energía. *Facultad de Ingeniería UNIMINUTO* , 1-6.
- Hacking, I. (1983). *Representar e Intervenir*. México, D. F.: Paidós Ibérica Mexicana. S. A.
- Haertling, G. (2004). Ferroelectric Ceramics: History and Technology. *The American Ceramic Society. Department of Ceramic and Materials Engineering, Clemson University, Clemson, South Carolina 29634-0907*, 5-11.
- Harre, R. (1986). *Grandes Experimentos Científicos*. Madrid: Labor.
- Heywang, W., Lubitz, K., & Wersing, W. (2008). Piezoelectricity Evolution and Future of a Technology. *Springer Series in Materials Science ISSN 0933-033x*, 1-223.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. Revista de investigación y experiencias didácticas. Vol. 12 Núm. 3*, 299.
- Iglesias, M. (2004). *El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental*. Maracaibo: Universidad del Zulia, Opción, Vol. 20, N.º44, pp. 98-119.
- Katzir, S. (2006). El descubrimiento del efecto Piezoeléctrico. En S. KATZIR, *Los Inicios de la Piezoelectricidad: Un Estudio de la Física Mundana* (págs. 15-64). Estudios de Boston en Filosofía de la Ciencia, vol 246.
- López Sancho, J. M., & Moreno Gómez, E. (2014). Una descripción del experimento de los Curie. *DIGITAL.CSIC* .
- Martí, J. (2012). *Aprender ciencias en la educación primaria*. Barcelona: GRAÓ, de IRIF, S.L.
- Murcia Diana Milena Peñuela Contreras, Víctor Manuel Rodríguez. (2006). *Movimiento pedagógico: otras formas de resistencia educativa*. Bogotá D.C: FOLIOS.

- Pozo, J. I. (1997). Teorías cognitivas del aprendizaje. En J. I. Pozo, *Enfoques para la enseñanza de las ciencias* (pág. 269). Madrid: Morata.
- Romero-Chacón, Á. E. (2017). *La experimentación en la clase de ciencias Aportes a una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de antioquía.
- Sánchez, J. F., Osorio, S. S., & Manrique, M. M. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosófica Nueva serie, No. 36*, 119-138.
- Shaul, K. (2006). Trabajo empírico en la década de 1890. En K. Shaul, *Los inicios de la Piezoelectricidad* (págs. 187-225). Estudios de Boston en Filosofía de las Ciencias, vol 246.
- Valasek, J. (1922). Propiedades de la sal de Rochelle relacionadas con el efecto piezoeléctrico. *Sociedad Americana de Física*, 639.

6 ANEXOS

A continuación, se muestran las guías orientadoras abordadas en las sesiones de práctica. Luego, se presenta algunas guías desarrolladas por los estudiantes en función del trabajo llevado a cabo.

6.1 Anexo 1



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INSTITUTO PEDAGÓGICO NACIONAL
COORDINACIÓN ACADÉMICA**



El maravilloso mundo de la electricidad generada por presión.

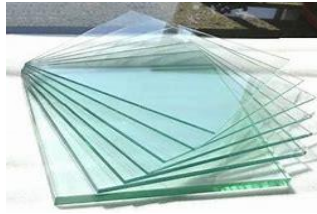
Imagina un mundo donde los materiales que nos rodean no son simples objetos, sino fuentes de energía eléctrica, un mundo donde las aceras bajo tus pies generan electricidad con cada paso que das, las ventanas de tu casa capturan la energía solar y la transforman en electricidad, e incluso la ropa que llevas puesta es capaz de cargar tus dispositivos electrónicos mientras caminas. ¿Les parece algo salido de una película de ciencia ficción? ¡Pues les aseguro que no lo es!

En este mundo, la forma en que vemos y utilizamos los materiales ha experimentado una transformación asombrosa. Ya no son simples elementos estáticos, sino aliados en la producción de energía limpia y sostenible. Esta visión nos lleva a replantearnos cómo interactuamos con nuestro entorno y nos muestra un futuro donde la electricidad fluye no solo de enchufes, sino también de los objetos cotidianos que nos rodean. Prepárense para descubrir los secretos maravillosos que se esconden en el corazón de ciertos materiales.

1. Cuáles de los siguientes materiales considera que sean capaces de producir electricidad al presionarlos. Explique por qué lo considera, si considera que ninguno tiene la capacidad, explique por qué no lo cree.



Hueso



Vidrio



Ladrillo



Azúcar

Un concierto sostenible: Iniciativa de Cold Play en Colombia

Cada vez que un festival de grandes dimensiones tiene lugar en un espacio abierto genera una cantidad de contaminación que puede llegar a impactar gravemente sobre el entorno. De acuerdo con esto la banda británica Coldplay trajo consigo a Colombia una iniciativa sostenible e innovadora la cual se basa en usar “pisos cinéticos” en sus conciertos. Estos “pisos cinéticos”, son también conocidos como pisos generadores de energía. Durante sus presentaciones en el país, los asistentes tuvieron la oportunidad de formar parte de esta experiencia única al pisar los pisos cinéticos, generando energía limpia y renovable mientras disfrutaban de la música en vivo. Esta iniciativa fomentó la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y el uso responsable de la energía.

2. Del párrafo anterior describa cómo cree que funcionan los pisos cinéticos, ¿qué características cree que debe tener el material de este piso?

3. Hace miles de años, el fuego era un misterio que llenaba de asombro y temor a nuestros antepasados. Observaban maravillados cómo las llamas danzaban y cómo el calor y la luz brindaban protección y calor en la oscuridad de la noche.

En aquellos tiempos remotos, encender fuego no era una tarea sencilla. Se requería de habilidad y conocimiento, las personas tenían que encontrar formas ingeniosas de encender fuego. Una de estas formas creativas fue por medio del "encendedor de martillo". El encendedor de martillo era una herramienta valiosa en sus viajes, consistía en dos partes principales: un martillo y una piedra. Cuando golpeaban la piedra con el martillo, las chispas saltaban y podían encender materiales inflamables como hojas secas o musgo.

De acuerdo con el párrafo anterior describa cómo cree que funciona el encendedor que se conoce hoy en día.



6.2 Anexo 2

Valeria Gómez



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INSTITUTO PEDAGÓGICO NACIONAL
COORDINACIÓN ACADÉMICA



El maravilloso mundo de la electricidad generada por presión.

Imagina un mundo donde los materiales que nos rodean no son simples objetos, sino fuentes de energía eléctrica, un mundo donde las aceras bajo tus pies generan electricidad con cada paso que das, las ventanas de tu casa capturan la energía solar y la transforman en electricidad, e incluso la ropa que llevas puesta es capaz de cargar tus dispositivos electrónicos mientras caminas. ¿Les parece algo salido de una película de ciencia ficción? ¡Pues les aseguro que no lo es!

En este mundo, la forma en que vemos y utilizamos los materiales ha experimentado una transformación asombrosa. Ya no son simples elementos estáticos, sino aliados en la producción de energía limpia y sostenible. Esta visión nos lleva a replantearnos cómo interactuamos con nuestro entorno y nos muestra un futuro donde la electricidad fluye no solo de enchufes, sino también de los objetos cotidianos que nos rodean. Prepárense para descubrir los secretos maravillosos que se esconden en el corazón de ciertos materiales.

1. Cuáles de los siguientes materiales considera que sean capaces de producir electricidad al presionarlos. Explique por qué lo considera, si considera que ninguno tiene la capacidad, explique por qué no lo cree.



Hueso



Vidrio



Ladrillo



Azúcar

- HUESO = Pienso que no es capaz de producir electricidad al generar un tipo de fricción ya que esto es una parte del ser humano y está diseñado para otra cosa.
- VIDRIO = Pienso que el vidrio sí es capaz de producir electricidad dándole algún tipo de fricción ya que es un material que tiene muchas reacciones eléctricas.
- LADRILLO = Pienso que este material también puede generar electricidad rozándolo con fuerza ya que este al hacer contacto con otras superficies puede generar electricidad.
- AZÚCAR = Pienso que el azúcar no puede generar electricidad ya que es un material que se puede disolver muy fácil.

Un concierto sostenible: Iniciativa de Cold Play en Colombia

Cada vez que un festival de grandes dimensiones tiene lugar en un espacio abierto genera una cantidad de contaminación que puede llegar a impactar gravemente sobre el entorno. De acuerdo con esto la banda británica Coldplay trajo consigo a Colombia una iniciativa sostenible e innovadora la cual se basa en usar "pisos cinéticos" en sus conciertos. Estos "pisos cinéticos", son también conocidos como pisos generadores de energía. Durante sus presentaciones en el país, los asistentes tuvieron la oportunidad de formar parte de esta experiencia única al pisar los pisos cinéticos, generando energía limpia y renovable mientras disfrutaban de la música en vivo. Esta iniciativa fomentó la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y el uso responsable de la energía.

2. Del párrafo anterior describa cómo cree que funcionan los pisos cinéticos, ¿qué características cree que debe tener el material de este piso?

creo que esto funciona por el material del piso el cual se genera electricidad al tener roce con otros objetos y así se genera la energía limpia y renovable mientras gritan y saltan disfrutando el concierto.

3. Hace miles de años, el fuego era un misterio que llenaba de asombro y temor a nuestros antepasados. Observaban maravillados cómo las llamas danzaban y cómo el calor y la luz brindaban protección y calor en la oscuridad de la noche.

En aquellos tiempos remotos, encender fuego no era una tarea sencilla. Se requería de habilidad y conocimiento, las personas tenían que encontrar formas ingeniosas de encender fuego. Una de estas formas creativas fue por medio del "encendedor de martillo". El encendedor de martillo era una herramienta valiosa en sus viajes, consistía en dos partes principales: un martillo y una piedra. Cuando golpeaban la piedra con el martillo, las chispas saltaban y podían encender materiales inflamables como hojas secas o musgo.

De acuerdo con el párrafo anterior describa cómo cree que funciona el encendedor que se conoce hoy en día.



El encendedor comercial funciona cuando ~~con la fricción que genera se sale~~ genera al presionar que

- Nombre: Vidette U. F.
- Curso: 804
- Fecha: 28/09/23



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INSTITUTO PEDAGÓGICO NACIONAL
COORDINACIÓN ACADÉMICA



El maravilloso mundo de la electricidad generada por presión.

Imagina un mundo donde los materiales que nos rodean no son simples objetos, sino fuentes de energía eléctrica, un mundo donde las aceras bajo tus pies generan electricidad con cada paso que das, las ventanas de tu casa capturan la energía solar y la transforman en electricidad, e incluso la ropa que llevas puesta es capaz de cargar tus dispositivos electrónicos mientras caminas. ¿Les parece algo salido de una película de ciencia ficción? ¡Pues les aseguro que no lo es!

En este mundo, la forma en que vemos y utilizamos los materiales ha experimentado una transformación asombrosa. Ya no son simples elementos estáticos, sino aliados en la producción de energía limpia y sostenible. Esta visión nos lleva a replantearnos cómo interactuamos con nuestro entorno y nos muestra un futuro donde la electricidad fluye no solo de enchufes, sino también de los objetos cotidianos que nos rodean. Prepárense para descubrir los secretos maravillosos que se esconden en el corazón de ciertos materiales.

1. Cuáles de los siguientes materiales considera que sean capaces de producir electricidad al presionarlos. Explique por qué lo considera, si considera que ninguno tiene la capacidad, explique por qué no lo cree.



Hueso



Vidrio



Ladrillo



Azúcar

Yo creo que el hueso no puede producir electricidad al presionarlo, primero porque por su textura seca y porosa, creo que puede ser muy difícil que genere una descarga, además, cada vez que nos fracturamos, nos podría dar especie de choque por dentro, lo mismo que creo del ladrillo, aunque creo que el ladrillo no puede también por ser muy pesado.

El vidrio creo que sí, porque creo que al ser un líquido "condensado" que sirve para hacer reflexión, puede generar esa electricidad "reflectando" la luz, etc. El azúcar también yo creo que sí se puede, al estar en granos y ser un mineral, creo que sí puede generar energía.

Un concierto sostenible: Iniciativa de Cold Play en Colombia

Cada vez que un festival de grandes dimensiones tiene lugar en un espacio abierto genera una cantidad de contaminación que puede llegar a impactar gravemente sobre el entorno. De acuerdo con esto, la banda británica Coldplay trajo consigo a Colombia una iniciativa sostenible e innovadora, la cual se basa en usar "pisos cinéticos" en sus conciertos. Estos "pisos cinéticos", son también conocidos como pisos generadores de energía. Durante sus presentaciones en el país, los asistentes tuvieron la oportunidad de formar parte de esta experiencia única al pisar los pisos cinéticos, generando energía limpia y renovable mientras disfrutaban de la música en vivo. Esta iniciativa fomentó la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y el uso responsable de la energía.

2. Del párrafo anterior describa cómo cree que funcionan los pisos cinéticos, ¿qué características cree que debe tener el material de este piso?

Yo creo que esos pisos, con el contacto, ya sea de los cuerpos (pies de las personas), etc., generan la energía. Creería que en la capa más externa del piso, debe ser "ligera" o "suave", porque me parece que los objetos muy pesados, son más incapaces de generar energía. También creo que el piso en cualquier "capa" debe tener como algún componente mineral.

3. Hace miles de años, el fuego era un misterio que llenaba de asombro y temor a nuestros antepasados. Observaban maravillados cómo las llamas danzaban y cómo el calor y la luz brindaban protección y calor en la oscuridad de la noche.

En aquellos tiempos remotos, encender fuego no era una tarea sencilla. Se requería de habilidad y conocimiento, las personas tenían que encontrar formas ingeniosas de encender fuego. Una de estas formas creativas fue por medio del "encendedor de martillo". El encendedor de martillo era una herramienta valiosa en sus viajes, consistía en dos partes principales: un martillo y una piedra. Cuando golpeaban la piedra con el martillo, las chispas saltaban y podían encender materiales inflamables como hojas secas o musgo.

De acuerdo con el párrafo anterior describa cómo cree que funciona el encendedor que se conoce hoy en día.



Creo que, al tener como 2 tubitos por dentro, en ellos debe haber un líquido inflamable y que al espichar el botón lo que hace es que ese líquido "choque" tal vez contra el metal o algo así y esa "chispa" salga por el huequito y llame.

Samuel Sanabria Gaitán
904
28/09/23



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INSTITUTO PEDAGÓGICO NACIONAL
COORDINACIÓN ACADÉMICA



El maravilloso mundo de la electricidad generada por presión.

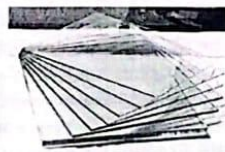
Imagina un mundo donde los materiales que nos rodean no son simples objetos, sino fuentes de energía eléctrica, un mundo donde las aceras bajo tus pies generan electricidad con cada paso que das, las ventanas de tu casa capturan la energía solar y la transforman en electricidad, e incluso la ropa que llevas puesta es capaz de cargar tus dispositivos electrónicos mientras caminas. ¿Les parece algo salido de una película de ciencia ficción? ¡Pues les aseguro que no lo es!

En este mundo, la forma en que vemos y utilizamos los materiales ha experimentado una transformación asombrosa. Ya no son simples elementos estáticos, sino aliados en la producción de energía limpia y sostenible. Esta visión nos lleva a replantearnos cómo interactuamos con nuestro entorno y nos muestra un futuro donde la electricidad fluye no solo de enchufes, sino también de los objetos cotidianos que nos rodean. Prepárense para descubrir los secretos maravillosos que se esconden en el corazón de ciertos materiales.

1. Cuáles de los siguientes materiales considera que sean capaces de producir electricidad al presionarlos. Explique por qué lo considera, si considera que ninguno tiene la capacidad, explique por qué no lo cree.



Hueso



Vidrio



Ladrillo



Azúcar

Considero que todos los cuerpos tienen la capacidad de producir energía eléctrica al ser sometidos a determinadas presiones, pues estas ocasionan reacciones químicas, si bien de carácter variable, que pueden liberar los componentes necesarios para dicha generación de electricidad, la cual puede ser en mayor o menor medida según su conductividad.

Un concierto sostenible: Iniciativa de Cold Play en Colombia

Cada vez que un festival de grandes dimensiones tiene lugar en un espacio abierto genera una cantidad de contaminación que puede llegar a impactar gravemente sobre el entorno. De acuerdo con esto la banda británica Coldplay trajo consigo a Colombia una iniciativa sostenible e innovadora la cual se basa en usar "pisos cinéticos" en sus conciertos. Estos "pisos cinéticos", son también conocidos como pisos generadores de energía. Durante sus presentaciones en el país, los asistentes tuvieron la oportunidad de formar parte de esta experiencia única al pisar los pisos cinéticos, generando energía limpia y renovable mientras disfrutaban de la música en vivo. Esta iniciativa fomentó la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y el uso responsable de la energía.

2. Del párrafo anterior describa cómo cree que funcionan los pisos cinéticos, ¿qué características cree que debe tener el material de este piso?

Considero que para generar electricidad no se requieren características específicas de determinado material, pues como lo indique previamente, todos los cuerpos tienen esta capacidad. Ahora bien, para lograr una mayor eficiencia, es preferible una alta flexibilidad que permita ejercer presión directamente sobre un posible receptor de la energía mecánica de los pasos de las personas asistentes al evento.

3. Hace miles de años, el fuego era un misterio que llenaba de asombro y temor a nuestros antepasados. Observaban maravillados cómo las llamas danzaban y cómo el calor y la luz brindaban protección y calor en la oscuridad de la noche.

En aquellos tiempos remotos, encender fuego no era una tarea sencilla. Se requería de habilidad y conocimiento, las personas tenían que encontrar formas ingeniosas de encender fuego. Una de estas formas creativas fue por medio del "encendedor de martillo". El encendedor de martillo era una herramienta valiosa en sus viajes, consistía en dos partes principales: un martillo y una piedra. Cuando golpeaban la piedra con el martillo, las chispas saltaban y podían encender materiales inflamables como hojas secas o musgo.

De acuerdo con el párrafo anterior describa cómo cree que funciona el encendedor que se conoce hoy en día.



Para producir la combustión, emplea una pieza con forma de martillo que ejerce presión sobre un cristal, lo cual genera una chispa eléctrica que reacciona con el gas butano almacenado en estado líquido en el interior del depósito.

Lo relaciona con un mineral.

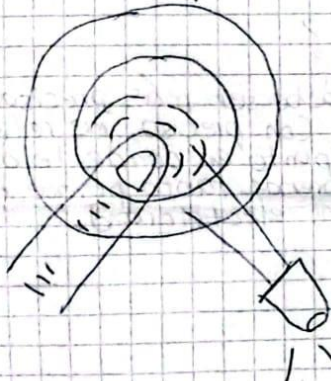
6.3 Anexo 3

Violette U. F. 804

19 10 23

Preguntas taller:

- ¿Qué diferencia hay entre una guitarra acústica y una electroacústica?:
 - La acústica solo puede producir sonido de su caja musical, la electroacústica funciona con un cable que lleva al sonido a salir de un monitor o baffle, lo que hace que suene más electrónico, fuerte, y que produzca más vibración.
 - En la acústica es mucho más fácil regular la intensidad del sonido según la intención de la canción.
- ¿Cómo planeas aplicar la presión sobre el material piezoeléctrico?



Puse la pática positiva del LED en el círculo blanco y la neg. en lo dorado y tocando la parte blanca, se prende una vez → no se como prenderlo ~~mantenidamente~~ por más tiempo.

- ¿Qué sucede cuando se aplica presión al PZT?
 - Cada vez que lo presiono, el LED titila una vez porque genera electricidad.
- ¿cómo fue la presión?
 - Yo lo loqué pulsándolo rápidamente hacia uno de los bordes del círculo blanco, pero no se como se presiona para que se mantenga prendido. Además, intente alumbrar con una linterna el LED mientras hacía la misma presión, y alumbró menos.

• ¿Hay relación entre la intensidad de la luz del LED y la presión?

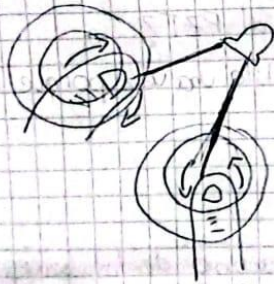
Sí. Si lo presiono muy cerca al LED, no se prende bien, si lo alejo, tampoco, si lo presiono hacia abajo y hacia la izquierda de las patas del LED, se prende con más intensidad. Si lo alumbró con linterna mientras tanto, alumbró menos, si lo presiono en la parte dorada, no enciende.

* Al cambiar de color de LED, me funcionó ~~de la~~ haciendo la misma presión. Además algo que me funcionó con este (verde) y no con el blanco, fue presionar igual pero con dif. ubicación del dedo, justo abajo de las patas.

• ¿Cómo afecta el tamaño del PZT?

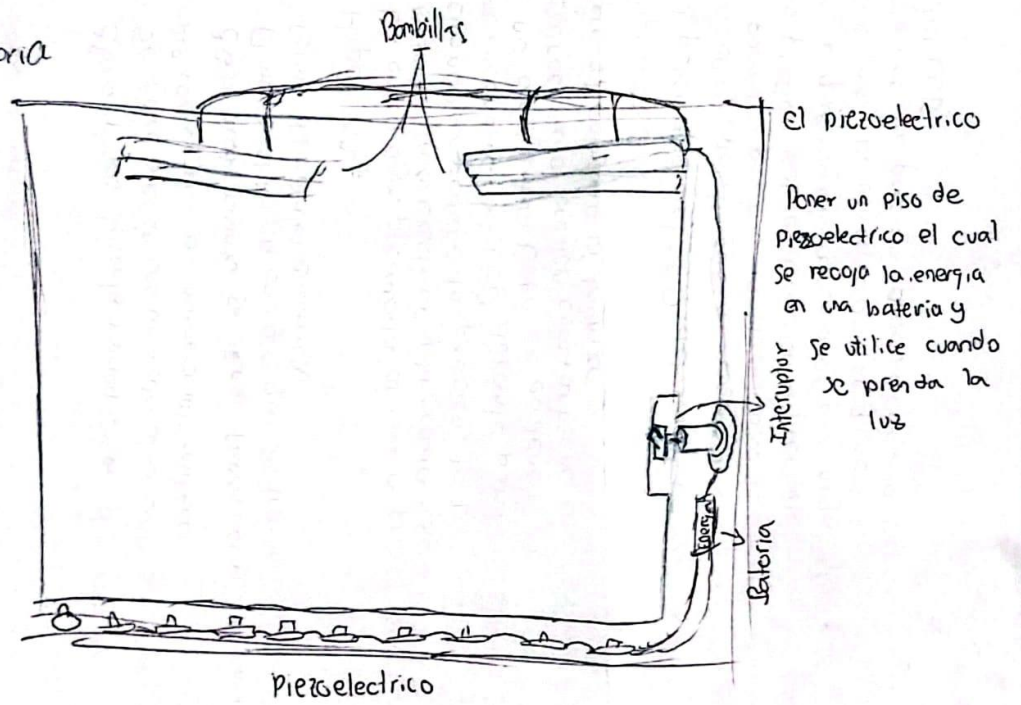
Es mucho más difícil que alumbrar, debe ser más precisa la presión y aún así, prende muy poco. Con precisión, me refiero a que es mucho más difícil encontrar el punto en donde le de electricidad al LED. Yo creo que no prende tanto porque al ser más pequeño puede conducir menos electricidad.

* Experimento



Puse las patas en 2 PZTs diferentes y apliqué presión, no con la uña como lo estaba haciendo (ya que haciendo presión con la yema del dedo no me prendía), sino con los dedos, presionando las patas, y moviendo los dedos de arriba a abajo, y prendió mejor que las otras veces.

David Toa
Samuel Sanabria



• la guitarra electroacústica permite la amplificación de las ondas sonoras por medio de un sistema de señales eléctricas mientras que la acústica lo hace de manera natural con su caja de resonancia.

¿Cómo planeas hacer la presión sobre el material piezoeléctrico?

Se ejerce presión con un material externo sobre el piezoeléctrico de manera intermitente.

¿Qué sucede cuando se ejerce presión en el pzt eléctrico?
El material libera energía que se transmite al LED en forma de señales eléctricas.

Hipótesis 1:

La energía es producida al ejercer presión sobre el material piezoeléctrico y liberada hacia el LED cuando se reduce la presión, lo que puede explicar el encendido del LED durante pulsaciones intermitentes y no constantes. Esto se evidenció dado que al ejercer una presión constante no encendió el LED, pero al saltarlo sí lo hizo.

Hipótesis 2:

La polaridad del LED determina la manera en la que enciende, por lo que, al colocar polo negativo - negativo y positivo - positivo, la electricidad se genera al reducir la presión sobre el material piezoeléctrico, al contrario de lo que sucede al colocar polo negativo - positivo, pues así, la electricidad se genera directamente al ejercer la presión, produciendo la energía lumínica del LED.

- ¿Que diferencia ahí entre una guitarra acústica y una electroacústica?
La diferencia es que la guitarra acústica es manual y la otra usa la electricidad para emitir sonidos, y tiene pastillas, un microfono o transductores
- ¿Como planeas hacer la presión en el material pizo eléctrico?
Conectando positivo y negativo y haciendo presión al pzt
- ¿Que pasa cuando se le genera presión al material pizo eléctrico?
Al presionarlo pasa corriente esto hace que el led alumbre
- ¿Identifica la presión que haces?
Se hace una presión repetitiva y cada vez que uno espicha el pzt se alumbra, si despegarse de el pzt
- ¿Como afecta el tamaño del pizo eléctrico a la luz led?
Pienso que por ser el pizo eléctrico mas pequeño emite menos energía y no lo suficiente para prender el led



la placa hace una presión al pzt y al ser fuerte y continua mejora la fuente de corriente

Valeria Gómez

6.4 Anexo 4

Preguntas

1) Opción 1

Se compacta

Manuel C., Nicole G., Violette U.

2)

Se desmorona.

2) ✓ Se cuartea la placa de sal.

✓ Se parte en pedacitos

3) Depende si está seca se desmorona, pero si está húmeda o las presionas con algo húmedo se compacta.

4) Como está en placas, creemos que se parte en más pedacitos.

5) Las dos sales, el azúcar, sí. La arena no porque es muy seca y al estar en granitos tan chiquitos no creemos que puedan ser un conductor de electricidad.

Materiales	Tiempo de funcionamiento	Voltaje Máximo	Peso
Arena	3 segundos	0,20 , 0,2,0	500gr
Sal	0 segundos		500gr 500gr
Azúcar	2 segundos	15,3	196gr
Azúcar	2 segundos	8,90	500gr
Sal Rochelle	8 segundos	9,00	293g.

1. de compactar cuando me presion

		voltaje de salida
2.	Electronica Fr. de fruen	0.01 milivolts
3.	Avena 1 sec	6.7
	Sal 1 sec	
4.	Azucar 2 sec	0.7
5.	Sal/Rochel 5 sec	20.7

1. La sal de Rochel

2. Porque lo evidencia

3. Todos

4.

5.

6.