

Caracterización de actividades experimentales
para aproximarse a la enseñanza del espectro de
luz visible

Andrés Camilo Vásquez Blanco

Andrés Camilo Vásquez Blanco

Enero 2023

Asesores:

Liliana Tarazona Vargas

Francisco Javier Orozco González

Universidad Pedagógica Nacional

Departamento de Física

Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales

Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría: en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he dado los respectivos créditos.

Dedicatoria

A la memoria de mi hermano Nicolas Vásquez Blanco.

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Problemática.....	4
Objetivos.....	12
Capítulo 1: Aproximación al contexto de enseñanza del espectro de luz visible	13
1. Exploración del ELV en algunos libros de texto	17
1.1. Temáticas relacionadas con el ELV.....	18
1.2. Representaciones usadas para ilustrar el espectro	20
1.3. Actividad experimental entorno al ELV.....	23
2. Revisión a los estándares básicos de competencias en ciencias naturales en Colombia, en comparación con el caso de España y Chile.....	27
2.1. Contexto colombiano:.....	28
2.2. Contexto de la enseñanza de las ciencias naturales en España.....	30
2.3. Currículo para la enseñanza de las ciencias naturales en Chile.....	31
2.4. El contexto curricular del espectro para el caso de Colombia, España y Chile.	32
3. Marco referencial	33
Acerca de la enseñanza del espectro	34
3.1. Consideraciones de la propuesta fenomenológica	38
3.2. Reflexiones en torno a las propuestas de enseñanza del espectro	40
Capítulo 2: Acerca de la actividad de Joseph Von Fraunhofer sobre el estudio del espectro de luz visible	42
1. Actividad experimental entorno a la refracción en el trabajo de Fraunhofer	43
2. Descifrando las rejillas de difracción en el trabajo de Fraunhofer	52
3. Conclusiones acerca de la actividad experimental de Fraunhofer.....	60
Capítulo 3: Diseño e implementación de actividades experimentales para la enseñanza del espectro de luz visible.....	66
1. Análisis espectral con prismas y rejillas.....	68
2. Exploración de rejillas de difracción:	76
3. Construcción de espectroscopio escolar.....	90
Consideraciones finales.....	96
Referencias bibliográficas	102
Apéndice A: Construcción de montajes experimentales	106

Lista de tablas

Tabla 1. Categorías de análisis para libros de texto (Fuente: elaboración propia)	18
Tabla 2. Resultados del análisis de libros de texto seleccionados (fuente: elaboración propia)	26
Tabla 3. Estándares de educación en Colombia. (Fuente: elaboración propia).....	29
Tabla 4. Estándares de educación en España. (fuente: elaboración propia)	30
Tabla 5. Estándares de educación en Chile. (fuente: elaboración propia)	32
Tabla 6. Elementos destacados de la actividad experimental de Fraunhofer. (Fuente: elaboración propia).....	61
Tabla 7. Objetivos actividad 1(Elaboración propia)	69
Tabla 8. Caracterización de los montajes experimentales (Elaboración propia).....	73
Tabla 9. Resultados usando como fuente de luz el tubo de descarga de hidrógeno (Elaboración propia).....	74
Tabla 10. Resultados usando como fuente de luz vela (Elaboración propia).....	75
Tabla 11. Resultados usando como fuente de luz mechero bunsen (Elaboración propia).	75
Tabla 12. Análisis espectro del hidrógeno (Elaboración propia)	80
Tabla 13. Análisis espectro del neón (Elaboración propia).....	81
Tabla 14. Análisis espectro del helio (Elaboración propia).....	82
Tabla 15. Análisis espectro del Argón (Elaboración propia).....	83
Tabla 16. Análisis del espectro del Xenón (Elaboración propia).....	84
Tabla 17. Análisis espectro del Kriptón (Elaboración propia).....	85
Tabla 18. Análisis espectro del vapor de agua (Elaboración propia)	86
Tabla 19. Espectros principales y secundarios (Elaboración propia).....	87
Tabla 20. Espectro doble (Elaboración propia).....	90
Tabla 21. Análisis resultados mechero bunsen (Elaboración propia)	93
Tabla 22. Análisis de resultados neón (Elaboración propia)	93
Tabla 23. análisis de resultados hidrogeno (Elaboración propia)	94

Lista de figuras

Imagen 1. Dimensiones contempladas para reflexionar sobre enseñanza del espectro (elaboración propia)	10
Imagen 2. Representaciones del espectro para construir su relación con la difracción (Giancoli, 2009, pág. 934)	21
Imagen 3. Representaciones de la relación entre el comportamiento de los electrones y el espectro (Hewitt, 2007, pag. 590 y 588)	22
Imagen 4. Representaciones del espectroscopio con rejilla en función de la ecuación (Giancoli, 2009, pág. 935)	23
Imagen 5. Teodolito tomado de: (Jahn, Krimeier, Mewes , Preyb, & Weber, 2023, pág. 36)	46
Imagen 6. Representación experimento de las 6 lámparas (Jackson, 2000, pág. 69)	48
Imagen 7. Helioestado tomado de: (Jahn, Krimeier, Mewes , Preyb, & Weber, 2023, pág. 14)	49
Imagen 8. Representación del espectro del sol realizada por Fraunhofer tomado de: (Jahn, Krimeier, Mewes , Preyb, & Weber, 2023, pág. 10)	52
Imagen 9. Representación del método de medida de ángulo de difracción en función de los espectros realizados por Fraunhofer (elaboración propia)	55
Imagen 10. Tabla de resultados y expresión matemática que relaciona las distancias entre espectros y el tamaño de la abertura en la rendija. (Fraunhofer, 1898, pág. 17 y 18)	55
Imagen 11. Montaje espectroscopio (elaboración propia)	70
Imagen 12. Montaje prisma y rejilla. (elaboración propia)	71
Imagen 13. Montaje rejilla de difracción (elaboración propia)	72
Imagen 14. Explicación tabla de resultados (elaboración propia)	78
Imagen 15. Explicación para análisis de imágenes (elaboración propia)	79

Introducción

Este trabajo busca inicialmente reconocer la complejidad que tiene el estudio del espectro de luz visible, que es un producto de la actividad científica y por lo tanto tiene una evolución en la historia gracias a contribuciones de figuras como Sir Isaac Newton, quien exploró la interacción de la luz con objetos refractantes. Además, en ese sentido se puede destacar el trabajo de Kirchoff, quien con ayuda del espectroscopio caracterizó diversos materiales, así como las contribuciones de Huggins, quien estudió la composición química de las estrellas.

Entonces, el estudio del espectro se encuentra vinculado con disciplinas como la física, la química, la astronomía y por eso se debe considerar como fundamental en el ámbito educativo. Su relevancia en el ámbito educativo se vincula por su relación con fenómenos como la refracción, la difracción, la formulación de modelos atómicos, la cuantización de la energía, los cuales son abordados en diversos niveles académicos. Estos, que se pueden considerar temas al no existir una reflexión sobre qué tipo de productos de la ciencia son, que se encuentran en libros de texto y estándares de educación en el caso de Colombia, lo que indica que la reflexión en torno a ellos permite solucionar algunas de las dificultades que puede suscitar su enseñanza, por ejemplo, en la enseñanza de los modelos atómicos, donde las explicaciones se vinculan a modelos abstractos.

La reflexión en torno al espectro, que se presenta en este trabajo de grado, además se orienta en función de considerar la importancia de la actividad experimental en procesos de enseñanza de las ciencias. En ese contexto, es necesario reflexionar sobre el papel de la actividad científica en el proceso de construcción de conocimiento científico y escolar donde se le debe reconocer un papel que va más allá de ser un simple verificador de teorías o un conjunto de pasos que se siguen para comprender algo.

La pregunta de investigación que orientó las acciones desarrolladas fue ¿Qué características se deben tener en cuenta para el diseño de actividades experimentales que

aporten a los procesos de enseñanza del espectro de luz visible? En ese sentido se propone el siguiente objetivo general: Caracterizar un conjunto de actividades experimentales que propicien la comprensión del espectro de luz visible, para contribuir a los procesos de enseñanza del espectro.

Con el propósito de tener un panorama que permita abordar esta pregunta, se explora la manera como se propone los procesos de enseñanza del espectro en el contexto colombiano, chileno y español; así como en trabajos previos a este sobre la enseñanza del espectro. Dado que el espectro, al estar vinculado con múltiples productos científicos, existen múltiples formas de abordar su enseñanza, en función de ello, se examina también las relaciones propuestas entre estos productos de la ciencia y el estudio sobre el espectro.

Con base en estos esos elementos, se realiza la lectura y análisis del trabajo de Fraunhofer, particularmente, *Prismatic and Diffraction Spectra by Joseph Von Fraunhofer (1898)*, en donde se describe el proceso experimental que desarrolló y que dio lugar al espectro de luz visible. El análisis, no solo está orientado por algunas de las preguntas que emergen en la revisión del contexto, sino que también da origen a nuevas preguntas, intencionalidades y propuestas para futuros trabajos.

Con el propósito de presentar los planteamientos que surgieron del desarrollo de este trabajo de grado, el lector encontrará tres actividades experimentales que se diseñaron a partir del análisis del trabajo de Fraunhofer: en la primera de ellas se comparan tres montajes experimentales para identificar elementos del espectro; la segunda se enfoca en la caracterización de espectros de diferentes tubos de descarga, y la última permite reflexionar sobre los instrumentos comúnmente usados en el aula para abordar la enseñanza del espectro.

Finalmente, el lector se encontrará el apartado de consideraciones finales, en donde se destacan las reflexiones en función de dos elementos significativos para el desarrollo de este trabajo. En primer lugar, se presenta lo relacionado con el estudio de una fuente primaria particular, resaltando las reflexiones que surgen de considerar la importancia de

rastrear intencionalidades, formular preguntas sobre el que hacer de la actividad científica y considerar como se vinculan en las formas de organizar y comunicar la experiencia. Por otro lado, se desarrolla la caracterización de actividades experimentales, considerando la propuesta fenomenológica, que orienta este proceso desde la formulación de preguntas hasta un amplio rango de formalizaciones. Esto con el fin, de reconocer al docente como un generador de conocimiento.

Problemática

Históricamente el estudio del espectro ha sido fundamental para comprender la naturaleza de la materia. Desde los primeros experimentos de Newton en el siglo XVII hasta los avances actuales en astronomía y física cuántica, como lo señalan González Cantellano & Montaña Zetina (2015), el estudio del espectro es fundamental en el desarrollo de teorías y modelos científicos. Su comprensión no solo ha permitido explicar fenómenos ópticos, sino también ha sentado bases para comprender la estructura de la materia a niveles microscópicos y es crucial para comprender las teorías alrededor de la evolución estelar. En el contexto educativo, la enseñanza del espectro de luz visible (ELV) es un desafío significativo debido a su naturaleza abstracta y la necesidad que suscita sus vínculos con modelos científicos complejos (Savall Alemany, Domènech Blanco, & Martínez Torregrosa, 2013).

La noción de espectro ha evolucionado a lo largo de la historia de la ciencia, desde los primeros experimentos de dispersión de la luz en un prisma propuesto por sir Isaac Newton, hasta los avances en espectroscopia que permitieron a científicos como Joseph Von Fraunhofer y Gustav Kirchhoff realizar aportes trascendentales sobre la naturaleza de la radiación electromagnética sobre la composición química de las estrellas (González Cantellano & Montaña Zetina, 2015)

Además, la teoría cuántica ha ampliado nuestra comprensión del espectro al proponer la naturaleza discreta de la energía, lo que permitió ampliar el estudio del espectro en búsqueda de una explicación para los espectros de emisión y absorción de la luz en términos de átomos y moléculas. Esta comprensión del espectro ha sentado las bases para el desarrollo de la física moderna (L'vov , 2004).

A pesar de la importancia del espectro en la ciencia, su enseñanza es un desafío significativo para los educadores, particularmente en lo que corresponde a encontrar formas efectivas de relacionar la idea de ELV con modelos científicos abstractos, como los

modelos atómicos. La abstracción asociada con la interpretación de los espectros de luz visible ha dificultado su comprensión por parte de los profesores (Savall Alemany, Domènech Blanco, & Martínez Torregrosa, 2013), por lo tanto, la enseñanza del espectro pasa por la comprensión que el profesor tiene del espectro.

En ese sentido, es esencial desarrollar estrategias que integren enfoques prácticos y teóricos para facilitar la comprensión del ELV y que deriven en propuestas de enseñanza interesantes para los estudiantes. Según Carlos Rivero y Julián Reyes (2022), existe un conjunto amplio de investigaciones desarrollados entorno a la enseñanza del espectro, en ese sentido muchos de estos trabajos asumen enfoques pedagógicos que fomentan la participación de los estudiantes en el desarrollo de actividades experimentales que den pie a la reflexión sobre ellas. Esos enfoques han demostrado ser útiles para mejorar la comprensión del espectro en el aula, y para relacionar la enseñanza del espectro con técnicas específicas para la caracterización de materiales, el funcionamiento de los instrumentos usados en experimentos al abordar conceptos propios de la estructura de la materia y además integrando elementos históricos de la espectroscopia.

Además, es necesario reconocer que a menudo los libros de texto son fuentes de información a las cuales acceden los docentes para preparar las actividades que llevan al aula. Entonces, una revisión de estos referentes puede ser útil para identificar diferentes tipos de elementos teórico y experimentales a lo que tienen acceso tanto profesores como estudiantes y con ello diseñar posibles aportes a los planteamientos que allí se desarrollan. En ese sentido resulta enriquecedor, analizar estas fuentes de información en función de las representaciones gráficas que presentan el espectro y el espectroscopio por ser el instrumento principal en su estudio, Así mismo, es importante la integración de la historia como un elemento fundamental para realizar una comprensión profunda de lo que implica hablar del espectro y acerca del cómo se aborda la actividad experimental.

En este campo, también es necesario considerar la importancia de la experiencia en la construcción del conocimiento, que ha sido ampliamente reflexionada por algunos

investigadores, particularmente por su papel fundamental en el proceso educativo en las ciencias naturales (Sandoval Osorio, Malagón Sánchez, Garzón Barrios, Ayala Manrique, & Tarazona Vargas, 2018). En este contexto, el conocimiento desvinculado de la experiencia ya sea para los estudiantes o para los profesores, corre el riesgo de limitarse a la mera aplicación de fórmulas y apropiación de procesos para la solución de ejercicios, sin una comprensión profunda de los principios y productos fundamentales de la ciencia. Es crucial que el conocimiento se construya en estrecha relación con la experiencia, permitiendo así que emerja en función de la organización propia que hace la persona que lo experimenta. Esto implica superar la tendencia a reducir la educación científica a la mera manipulación de ecuaciones y a la memorización de definiciones, fomentando en cambio un enfoque holístico que promueve la comprensión profunda de lo que se aborda en el aula. Al integrar la experiencia en el proceso educativo, se facilita un aprendizaje significativo que trasciende la mera acumulación de información, propiciando un pensamiento crítico y analítico que permite una reflexión acerca del que hacer de los que hacen ciencia.

En concordancia con este planteamiento, Ferreirós y Ordóñez (2002) destacan la persistente tendencia en la comunidad científica a relegar el papel de la experimentación a un plano secundario en el proceso de comunicar los descubrimientos científicos, desestimando así la riqueza que aporta la experiencia práctica en la construcción del conocimiento. El estudio de la actividad experimental conlleva la consideración crucial del procedimiento involucrado en su desarrollo, así como la reflexión sobre la intencionalidad que subyace en su diseño y ejecución (Velasco, 1998). De hecho, la actividad experimental no solo ofrece un registro de lo que se estudia, sino que también del cómo se estudia en función de las intenciones que se configuran en decisiones humanas que están sujetas al cambio.

Esta noción desafía la visión simplista y empobrecida que suele prevalecer en el ámbito de las ciencias naturales, donde se tiende a asumir que los fenómenos estudiados son inherentemente evidentes y se presentan tal y como son en la naturaleza. Sin embargo, Ferreirós & Ordóñez (2002) resaltan la importancia de reconocer que la actividad

experimental y los instrumentos utilizados reflejan intenciones específicas que inciden en la generación de ciertos resultados y percepciones entre los sujetos involucrados en la investigación. Al considerar este aspecto, se pone de manifiesto la complejidad inherente de la práctica científica y se promueve una comprensión más profunda de la interacción dinámica entre el sujeto, el entorno experimental y los fenómenos estudiados.

Entonces, acercarse a la actividad experimental en cualquier campo del conocimiento humano no solo enriquece la construcción de conocimiento, sino que también promueve una comprensión más profunda de la experiencia humana en sí misma. La actividad experimental, intrínsecamente ligada a la experiencia, no solo ofrece una oportunidad para el descubrimiento y la observación, sino que también fomenta una reflexión profunda sobre la relación entre la teoría y la experimentación. Esta unión de elementos que suelen ser considerados independientes en la investigación científica desafía la noción de que lo teórico posee una preeminencia sobre lo experimental (Ferreirós & Ordóñez, 2002).

Al considerar la interdependencia entre la teoría y la experimentación, se pone de manifiesto como ambas esferas convergen en la producción de conocimiento y se complementan mutuamente para ofrecer una comprensión holística de los fenómenos. Asimismo, este enfoque permite una reflexión profunda sobre la influencia de los instrumentos utilizados en la actividad experimental al considerar su importancia en la organización y formalización del conocimiento.

De este modo, la aproximación a la actividad experimental emerge como un componente esencial para la comprensión de la relación entre la teoría y la práctica en la generación de conocimiento científico, desafiando las percepciones convencionales y fomentando una apreciación profunda de la interconexión entre la teoría, la experiencia, los instrumentos, además los modos de organizar la experiencia (Romero Chacón, y otros, 2017).

Las consideraciones previamente mencionadas se nutren cuando se considera que resulta crucial reconocer que, en el contexto de este trabajo de grado, es imperativo revisar el papel que desempeña el docente en la promoción y ejecución de la actividad experimental. Se hace necesario considerar su papel tanto en la configuración de actividades experimentales en el aula para los estudiantes, como también su participación en la construcción de su propio conocimiento invitándolo a reflexionar ampliamente de los productos de la ciencia y como se enseñan estos por ejemplo a partir de la historia que puede ser un recurso útil para la enseñanza, pero que requiere ser contextualizada. De igual forma acerca de lo que implica enseñar los enunciados de leyes o principios, que no guardan relación con el sentido común, tal como los que señala Matthews (1994).

El fomento de procesos reflexivos por parte del docente, que le permitan adoptar una visión crítica de la actividad experimental, lo sitúa en una posición particularmente relevante. Al ofrecer al docente la oportunidad de construir una comprensión profunda y crítica de la naturaleza y el propósito de la actividad experimental, se le proporciona una base para promover un enfoque pedagógico más enriquecedor y efectivo. Esta reflexión le permite al docente no solo abordar la enseñanza de las ciencias de manera efectiva, sino también construir una postura informada acerca de los conceptos relacionados con la naturaleza del conocimiento científico y la actividad científica (Romero Chacón, y otros, 2017).

Invitar al docente para que adopte una postura reflexiva, le otorga la capacidad no solo de transmitir información, sino también de fomentar una comprensión profunda y crítica del proceso científico en sus estudiantes. Por tanto, la creación de una actividad experimental relacionada con el espectro se vuelve crucial, en el sentido que brinda una oportunidad para reflexionar sobre la complejidad inherente al concepto de espectro y la diversidad de teorías asociadas a él, así como responder a las preguntas que este se formula sobre algún fenómeno de estudio y que le permita ampliar la experiencia. En este caso con respecto al efecto que resulta ser el espectro y sus fenómenos asociados.

En este contexto, la aproximación inicial que puede realizar un docente puede ser a través de una exploración histórica, en la que el propósito radica en revisar las actividades experimentales de otros o reconocer los avances realizados en el campo; sin embargo, también es necesario identificar las intencionalidades subyacentes a la construcción de conocimiento que puede estar vinculado a diferentes tipos de formalizaciones, y además formular preguntas vinculadas al contexto educativo (Sandoval, Malagón, Garzón, Ayala, & Tarazona, 2018).

El análisis de estas preguntas no solo permite una construcción propia de conocimiento en torno al espectro, sino que también abre paso a la reflexión crítica lo que implica hablar del espectro. Esta aproximación histórica y reflexiva proporciona una base sólida para orientar y dar forma a la propuesta de actividad experimental de una manera propia del docente y recontextualizada en los procesos de enseñanza que realiza.

Al considerar las propias inquietudes y cuestionamientos en el proceso de diseño de la actividad experimental, se fomenta un enfoque más auténtico y contextualizado que va más allá de la simple repetición de actividades experimentales. En última instancia, esta reflexión personal crítica contribuye a una comprensión profunda y enriquecedora acerca del espectro y sus implicaciones en las teorías científicas (o los modelos) asociadas al espectro. Este tipo de actividades señala Romero Chacón, y otros (2017) son necesarias para que los docentes construyan y apropien un discurso donde la utilidad de la actividad experimental no sea únicamente la verificadora de lo teórico.

Lo anterior se esquematiza en la Imagen 1, donde se presentan las diferentes dimensiones identificadas y descritas en estas páginas en torno a la problemática de la enseñanza del espectro.

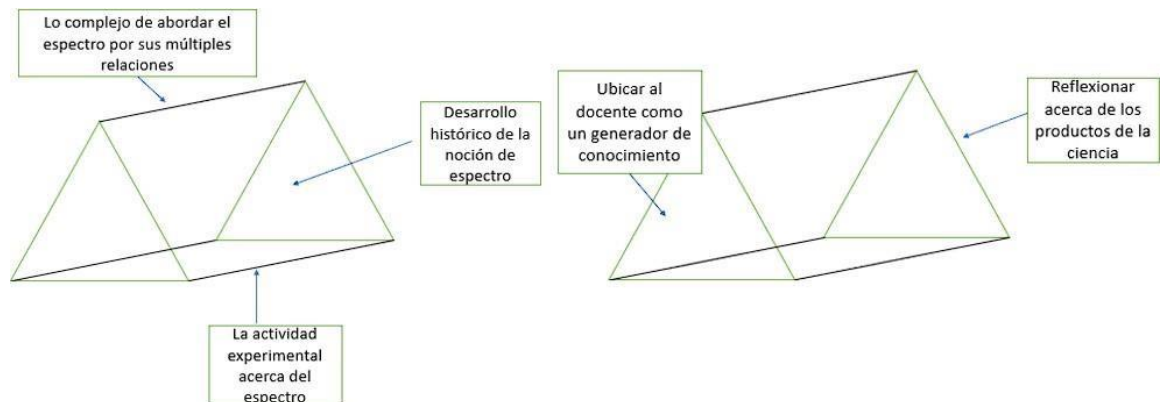


Imagen 1. Dimensiones contempladas para reflexionar sobre enseñanza del espectro (elaboración propia)

Por lo tanto, el cuestionamiento alrededor del espectro conlleva la delimitación de los aspectos específicos que se investigan y exponen en este trabajo. Como se ha planteado anteriormente, la palabra “espectro” ha sido utilizada en diferentes contextos y campos del conocimiento a lo largo de siglos, lo que enfatiza en su complejidad porque presupone cambios en lo que esta significa. En ese sentido, se realizan dos acciones clave que orientan la indagación en esta investigación: la primera, se explora la idea de espectro de luz visible (ELV) en un momento particular de la historia de la idea de espectro. La aproximación inicial se enfocará en los trabajos de Joseph Von Fraunhofer (1787-1826), reconocido en diversas fuentes como uno de los precursores de la espectroscopia (González Cantellano & Montaña Zetina, 2015).

Ante los desafíos propuestos para aportar en la enseñanza del espectro, la segunda acción es: llevar a cabo una investigación centrada en la construcción de una actividad experimental que aporte a la comprensión del ELV. Esta actividad experimental se realizará a partir del análisis de la actividad descrita por Josep Von Fraunhofer en el libro *Prismatic and Diffraction Spectra by Joseph Von Fraunhofer (1898)* acerca del espectro de luz visible, dado que en el trabajo de este autor se identifica un aporte fundamental a la noción de espectro.

En función de ello se propone la siguiente pregunta de investigación ¿Qué características se deben tener en cuenta para el diseño de actividades experimentales que aporten a los procesos de enseñanza del espectro de luz visible?

Objetivos

Para el desarrollo de este trabajo se trazaron los siguientes objetivos:

Objetivo general

Caracterizar un conjunto de actividades experimentales que propicien la comprensión del espectro de luz visible, para contribuir a los procesos de enseñanza del espectro.

Objetivos específicos:

- Desarrollar una revisión de algunos elementos que caractericen el contexto de la enseñanza del espectro de luz visible identificando objetivos propuestos, materiales disponibles y posibles áreas de mejora.
- Analizar el trabajo *Prismatic and Diffraction Spectra by Joseph Von Fraunhofer (1898)* acerca de la actividad experimental realizada por Joseph Von Fraunhofer sobre el espectro de luz visible.
- Diseñar un conjunto de actividades experimentales para caracterizar el espectro de luz visible, contribuyendo al proceso de enseñanza.

Capítulo 1: Aproximación al contexto de enseñanza del espectro de luz visible

En el proceso de establecer criterios para el diseño de actividades experimentales orientadas a la enseñanza del espectro, es esencial construir un contexto donde se consideren las fuentes de información comúnmente usadas por los docentes en el diseño de las actividades que implementan en el aula. Además, hay que reconocer que este contexto se encuentra delimitado por los objetivos propuestos por los gobiernos de cada país, que en el caso colombiano se conoce como estándares de educación, que proporcionan una guía y establecen un marco común de consideraciones para orientar el trabajo de unas instituciones educativas. Adicionalmente, la construcción de este contexto se ve enriquecida al examinar otras fuentes de información, como trabajos dedicados a la enseñanza del espectro. En este sentido, es necesario recurrir a la propuesta fenomenología y a los aportes de otros autores, que contribuyen a la construcción de criterios para reflexionar sobre las necesidades que se presentan en el contexto de enseñanza.

La necesidad de aproximarse a la espectroscopía

La espectroscopia se establece como una técnica que reúne diversas disciplinas en el estudio de las propiedades de la luz y su relación con la materia (James, 2009). Inicialmente se centraba en la caracterización de materiales, pero su progreso ha permitido la aplicación en diversos campos del conocimiento humano, incluyendo la formulación de modelos atómicos, teorías sobre la evolución estelar y contribuciones significativas a la tecnología; por ejemplo, en el campo de la medicina, ha posibilitado diagnósticos más precisos, mientras que en las tecnologías de la comunicación permitió avances en la capacidad de transmisión de información (Rodríguez, García, & Fajardo, 2016).

La relevancia de la espectroscopia en el avance de ciertas tecnologías, en la formulación de modelos científicos hace evidente su importancia para los educadores que

abordan estas temáticas en el aula. Explorar esta técnica no solo adquiere un significado en términos de esos aportes históricos, sino también debido a su profunda conexión con los fenómenos que se asocian con el comportamiento ondulatorio de la luz, como lo son la refracción y la difracción. Dado que la espectroscopia y lo que de ella se deriva tiene un papel tan importante, en este trabajo se propone que al desarrollar una reflexión sobre la actividad experimental alrededor de la idea de espectro es posible enriquecer la perspectiva de los educadores que deseen acercarse a esta área del conocimiento y sus productos en la ciencia y la tecnología, pero para ello es necesario concebir al espectro como producto de un proceso, donde se involucran personas, formas de reflexionar y actuar particulares que consolidan las consideraciones que hoy se pueden realizar sobre el tema.

Las formas particulares en las que se desarrolla el conocimiento científico no siempre son explícitas en la presentación de los productos de la ciencia que hacen los libros de texto. Además, estas modalidades de construcción del conocimiento adquieren un papel central en las explicaciones referentes a los espectros que se encuentran en dichos textos.

En concordancia con estas modalidades de construcción de conocimiento, se revela una estructura distintiva en la presentación de los espectros en los libros de texto consultados. La secuencia observada en la exposición de este tema inicialmente se enfoca en los efectos que tienen el prisma y la rejilla de difracción sobre la luz. Luego, se desarrolla la explicación en función de los llamados fenómenos reflexión, refracción y difracción. Con esta base teórica se desarrolla el tema de los espectros¹, este se aborda, como parte de la historia de los modelos atómicos, fundamental sobre todo para explicar el paso entre el modelo de Rutherford y el modelo de Bohr.

¹ Se considera que en el contexto de los libros de texto nunca se hace explícito si se considera al espectro como fenómeno, producto de unos efectos, temática. En ese sentido se opta por mencionarlo en esta parte del documento como un tema.

Análisis de los libros de texto desde una mirada fenomenológica.

Dada la multiplicidad de relaciones que tiene el espectro con diferentes productos de la ciencia se presenta una revisión de la aproximación a la enseñanza y aprendizaje de la idea de espectro apoyándose en la perspectiva fenomenológica, en esta se proponen otros criterios y metodologías para la inmersión y enseñanza de las ciencias naturales desde la cual el proceso de formalización es más amplio con respecto a lo que se presenta en los libros de texto, involucra al sujeto que lo realiza y la inmersión en la idea de espectro nos lleva a indagar acerca de la historia y del contexto en el que surgen estos productos de la ciencia².

Un aspecto esencial que la perspectiva fenomenológica proporciona para la reflexión es la relación entre los modelos explicativos y la experiencia. Según la propuesta de esta perspectiva, la construcción de conocimiento se fundamenta en preguntas, experiencias, experimentos y en un diálogo entre un grupo de sujetos, considerando la relación entre el sujeto y el fenómeno (Sandoval Osorio, Malagón Sánchez, Garzón Barrios, Ayala Manrique, & Tarazona Vargas, 2018). Este enfoque difiere significativamente de la forma tradicional del quehacer en el aula y los libros de texto, que suelen presentar información, actividades experimentales y métodos para resolver ejercicios y problemas, sin enfocarse en ciertos elementos críticos que la perspectiva fenomenológica puede resaltar.

Las experiencias también tienen un uso diferente desde la perspectiva fenomenológica, dado que no se les asegura un lugar o un papel único en el proceso de aprendizaje, sino que la experiencia tendrá diferentes papeles, con el fin de ordenar las cualidades identificables de la experiencia, para generar unidades de medida de esas

² Desde esta perspectiva el conocimiento se construye en función de la experiencia y entorno a ella se debe reflexionar.

características, esta forma de ordenar estará mediada por una lógica particular de abordar aquello que se desea conocer.

Esta propuesta resulta pertinente debido a que los libros de texto a menudo establecen relaciones entre teorías y actividades experimentales sin proporcionar una reflexión exhaustiva sobre la importancia que subyace de las propuestas experimentales. La falta de atención a las preguntas que guían la labor científica puede dejar al lector sin elementos si busca ahondar en los productos de la ciencia, particularmente en este caso de los espectros, más allá de la información presentada.

Si concebimos esta postura, el papel de aquel que indaga, es fundamental, porque sus formas de comprender lo que sucede están en constante cambio y es pieza fundamental de su proceso, en contraposición, se puede considerar que si el libro de texto solo presenta información a sus lectores está determinando para ellos un papel que es más pasivo, los coloca como meros consumidores de la información y no les permite reflexionar sobre las relaciones que construyen o en las intencionalidades con las cuales se puede realizar una aproximación a un campo de conocimiento. De la misma manera, se desdibuja el papel de los científicos, quienes también desarrollan un proceso intencionado y reflexivo. En conclusión, la información que presenta el libro de texto no puede ser la única fuente de generación de conocimiento y en ese sentido tampoco posibilitar dinámicas para ello.

La actividad experimental en un sentido amplio

Una de las consideraciones importantes que surgen al reflexionar sobre la perspectiva fenomenológica y que se deben tener en cuenta al revisar los libros de texto es el enfoque de la formalización de un fenómeno. En este contexto, las formalizaciones siempre se presentan en términos de una expresión matemática que relaciona variables, como se suele concebir tradicionalmente. Mas bien, la formalización adopta un significado más amplio, donde la expresión matemática es el resultado de un proceso complejo. La perspectiva fenomenológica permite a los individuos experimentar y reconocer cualidades, agruparlas, delimitarlas y llevar a cabo otros procesos que pueden dar lugar a la medición

y la construcción de magnitudes, que son parte de los procesos de formalización. Sin embargo, en los libros de texto, el énfasis se coloca principalmente en las expresiones matemáticas y las definiciones, sin considerar el desarrollo de estos diferentes procesos de formalización.

Por último, en cuanto a la diversidad de vivencias requeridas para construir explicaciones, los libros de texto también enfrentan desafíos al presentar actividades experimentales. Estas publicaciones a menudo carecen de propuestas de experiencias significativas y los montajes experimentales carecen de contexto o narrativa, lo que dificulta la comprensión de su funcionamiento por parte del lector con la información proporcionada.

A continuación, se presentan los resultados al indagar en dos libros de texto, que comúnmente son usados como fuentes información por parte de los docentes, como se desarrolla la idea de espectro.

1. Exploración del ELV en algunos libros de texto

Durante esta revisión, se examinaron dos libros de texto: “Física para Ciencias e Ingeniería” de Giancolli (2009) y “Física conceptual” de Paul Hewitt (2007). Para realizar una revisión de los libros de texto en función de cómo se aborda la idea de espectro se construyeron unas categorías de análisis que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Categorías de análisis para libros de texto (Fuente: elaboración propia)

Categorías	Subcategorías
Temáticas relacionadas con el ELV	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación del espectro en diferentes campos de estudio • Descripción y comprensión del espectro en relación con estas temáticas
Representaciones del ELV	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de representaciones usadas para ilustrar el espectro • Uso y aplicaciones de las representaciones • Correspondencia y coherencia entre las representaciones gráficas y otras formalizaciones
La actividad experimental entorno al ELV	<ul style="list-style-type: none"> • Descripciones entorno al funcionamiento y aplicación del espectroscopio • Tipos de montajes experimentales • Contextualización histórica de la técnica de la espectroscopia.

Con el objetivo de analizar en el estudio y la construcción de un contexto de la enseñanza del espectro, se seleccionaron estos dos libros de texto considerando que son de fácil acceso y frecuentemente consultados por los docentes. En el libro de Giancoli, en particular se desarrolla la idea de espectro en varios capítulos, haciendo referencia a fenómenos como la reflexión, la refracción y la difracción, luego coincide con el libro de Paul Hewitt que desarrolla la idea de espectro al vincularla con los modelos explicativos de la estructura de la materia y su relación con la energía. Esta elección se destaca porque establece una conexión entre el espectro como efecto de ciertos fenómenos, las explicaciones que desarrollan los libros de texto y los estándares de educación, como se verá posteriormente. Además, al examinar otras fuentes de información, como tesis y artículos de investigación se observa que también se relaciona el espectro con estos modelos y explicaciones.

1.1. Temáticas relacionadas con el ELV

a. Incorporación del espectro en diferentes campos de estudio:

En *Física para ciencias e ingeniería* de Giancoli (2009), se presenta una descripción detallada de cómo el espectro electromagnético se relaciona con distintos tipos de radiación, abarcando desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. En este texto el

lector se encuentra con la naturaleza amplia del espectro, lo que ayuda a apreciar la diversidad de fenómenos relacionados con la luz y las ondas electromagnéticas. Además, se examina cómo el espectro electromagnético se ve relacionado con fenómenos como la refracción y la difracción que dan cuenta de unas propiedades observables de la luz visible, posteriormente, con ello desarrolla la relación entre el comportamiento ondulatorio de la luz y la energía asociada con la luz.

En contraste, en Física conceptual de Paul Hewitt (2007), se destaca una visión más centrada en la relación entre la energía de los electrones y a la emisión de la luz. En este texto se desarrolla el tema a partir de la inclusión de una descripción del comportamiento de los electrones, que, al adquirir energía, emiten radiación, lo que resulta en la manifestación de colores característicos asociados a elementos químicos específicos. Además, se explora la relación entre la estructura de la materia y el comportamiento de la luz. Esta forma de abordar el tema se da en función de que el lector comprenda cómo la transición de electrones se traduce en la emisión de luz con diferentes longitudes de onda. A partir de la relación entre la energía y materia se desarrolla el papel de los electrones en la emisión de luz, integrando así los espectros de emisión y absorción, y la importancia de estos en el análisis químico y la identificación de elementos específicos en diversas sustancias.

b. Descripción y comprensión del espectro en relación con estas temáticas:

En *Física para ciencias e ingeniería* de Giancoli (2009) se observa un uso amplio del concepto de espectro en diversos contextos temáticos, lo que permite al lector identificar las relaciones entre la diversidad de productos de la física y la química asociados al espectro electromagnético. El libro aborda la relación entre el espectro y campos de estudio como la refracción de la luz, formación de colores, la espectroscopia y la difracción de la luz a través de rejillas, proporcionando también una visión amplia de cómo el espectro se entrelaza con múltiples fenómenos. Si bien en este texto se enfatiza en comprender cómo diferentes longitudes de onda y energías asociadas al espectro pueden influir en todo tipo de aplicaciones científicas y tecnológicas, no se desarrolla una noción clara acerca del

espectro, que primero se concibe como un conjunto amplio de tipos de radiación y luego muta hacia unas distribuciones de líneas de colores y espacios oscuros.

Por otro lado, en el segundo texto analizado, se destaca el uso de la palabra espectro principalmente en un contexto que es la emisión de la luz por parte de los electrones y su relación con la estructura de la materia. El autor del libro desarrolla cómo la emisión de luz se relaciona con la emisión de luz característica de diferentes elementos químicos en condiciones particulares, a partir de ello se identifica que la intencionalidad es desarrollar la idea de cómo la energía de los electrones influye en la formación de luz con colores específicos. En el libro de texto se usa esta comprensión del espectro para relacionarlo con el análisis químico.

1.2. Representaciones usadas para ilustrar el espectro

a. Tipos de representaciones:

En el libro de texto de Giancoli (2009), se emplea una amplia gama de representaciones gráficas que van desde diagramas ilustrativos de la dispersión de la luz en un prisma hasta esquemas que demuestran los patrones formados en el experimento de interferencia de la luz propuesto por Young. Estas representaciones gráficas se utilizan en el libro de texto para ilustrar la relación entre la naturaleza ondulatoria de la luz y la energía asociada a la intensidad de la luz y los colores específicos que forman el espectro. A través de estas ilustraciones, el autor hace énfasis a su desarrollo de cómo la dispersión de la luz en los fenómenos de interferencia permite desarrollar la idea de naturaleza ondulatoria de la luz. Lo que luego el libro de texto usará para explicar cómo se forman los diferentes colores en el espectro de luz visible (ver Imagen 2).

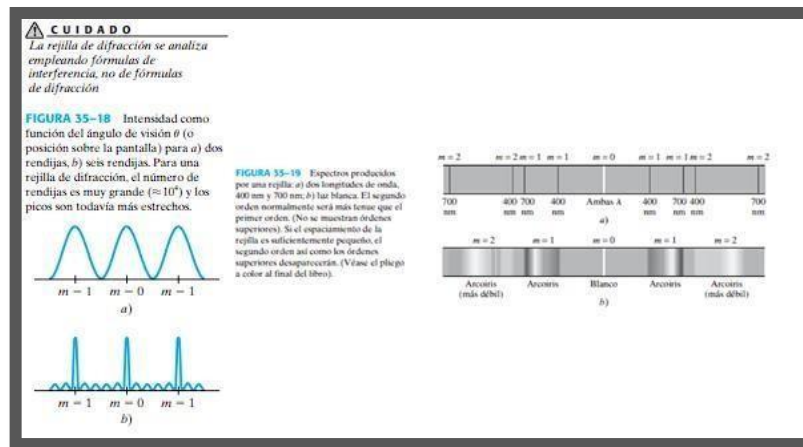


Imagen 2. Representaciones del espectro para construir su relación con la difracción (Giancoli, 2009, pág. 934)

Para el caso de *Física conceptual*, las representaciones gráficas se centran en ilustrar las relaciones entre la energía de los electrones y la emisión de la luz en función de los niveles de energía. Además de los diagramas que representan las transiciones de electrones y las líneas espectrales correspondiente, se utilizan representaciones gráficas para mostrar la relación entre la absorción de luz por diferentes sustancias y la formación de espectros de absorción característicos. Estas representaciones gráficas permiten el desarrollo del tema en relación con los procesos de emisión y absorción de luz, lo que luego permite avanzar en la presentación de la conexión entre estos procesos y la estructura atómica de los elementos y compuestos (ver Imagen 3).

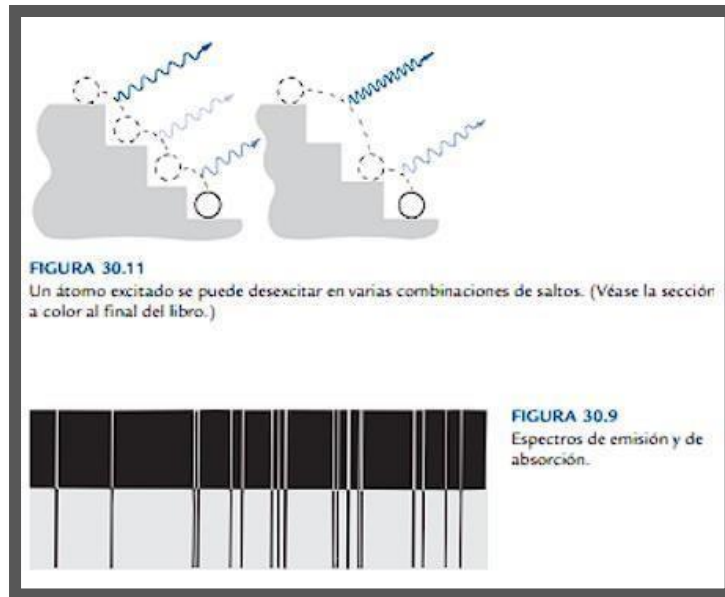


Imagen 3. Representaciones de la relación entre el comportamiento de los electrones y el espectro (Hewitt, 2007, pag. 590 y 588)

b. Correspondencia y coherencia entre las representaciones gráficas y otras formalizaciones:

En el estudio de esta categoría para el libro de Giancoli (2009), se identifica que este establece una correspondencia coherente entre las representaciones gráficas y las ecuaciones que describen los fenómenos como la dispersión de la luz con las franjas de interferencia. El texto presenta ecuaciones que pretenden predecir el comportamiento de la luz en diversos contextos, como la ecuación que describe el ángulo desviación de un haz de luz cuando interactúa con un prisma en función del índice de refracción del prisma. Estas formalizaciones matemáticas se utilizan en conjunto con las representaciones gráficas para construir una analogía que relaciona el experimento de Young con el comportamiento de la luz, lo que ayuda a explicar la formación de los espectros. Sin embargo, la relación con la actividad experimental no se explora en profundidad, lo que deja sin contexto de dónde surgen las ecuaciones más allá de la imagen presentada del

espectro. Aunque se destaca que el libro de texto utiliza el experimento de Young para respaldar el uso de una ecuación que luego ayuda a ubicar al observador con respecto a la rejilla de difracción en el montaje experimental del espectroscopio, pero parece que es la única relación que se presenta aquí y se presenta en la Imagen 4

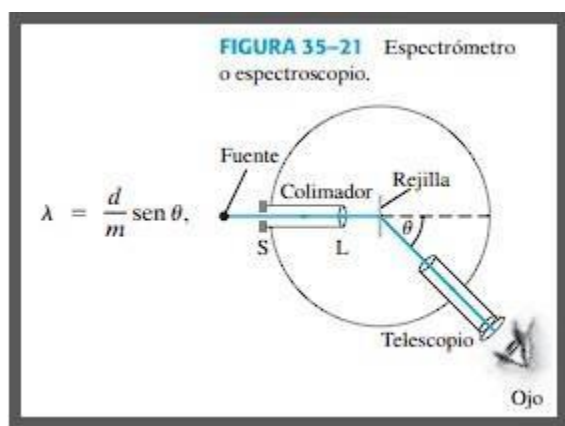


Imagen 4. Representaciones del espectroscopio con rejilla en función de la ecuación (Giancoli, 2009, pág. 935)

Por otro lado, en el libro de Paul Hewitt (2007), hay poca correspondencia entre las representaciones gráficas y el uso de los instrumentos de medición, como el espectroscopio. Si bien las representaciones incluyen más elementos para dar cuenta del espectroscopio, el texto no hace hincapié en el porqué de cada una de esas partes y sobre las consideraciones a la hora de configurar estas en un montaje experimental. El libro proporciona dos ejemplos de montaje experimental para observar el espectro de emisión y de absorción, ofreciendo la posibilidad de realizar alguna interpretación de los resultados obtenidos en términos de las propiedades de los elementos químicos y la disposición en los montajes.

Además, es importante señalar que al menos en este apartado no se presentan ecuaciones para las relaciones entre la energía de los electrones y las longitudes de onda específicas asociadas con las transiciones de los electrones.

1.3. Actividad experimental entorno al ELV

a. Funcionamiento y aplicaciones del espectroscopio:

En el libro de texto de Giancoli (2009), se destaca el funcionamiento del espectroscopio en la observación de diferentes tipos de espectros. Se proporciona una explicación que no es detallada sobre cómo utilizar el espectroscopio, pero se hace hincapié

en que este instrumento es fundamental para observar y analizar las líneas espectrales. No se presentan ejemplos de aplicaciones del espectroscopio más allá de comparar las líneas de varios espectros. En el segundo libro se resalta la igual la importancia del espectroscopio para las mismas funciones. Sin embargo, no se enfatiza en la importancia de calibrar correctamente el espectroscopio más allá de la intensidad de la luz como un elemento que debe ser considerado, en el libro de Giancoli (2009) si se presentó escuetamente la ecuación para ubicar la rejilla y el observador.

b. Tipos de montajes experimentales:

En los dos libros se presentan tipos de montajes experimentales para observar y analizar el espectro en el aula. En el libro de Giancoli (2009) se destacan montajes como espectroscopia y rejillas de difracción, donde se presentan consideraciones para ajustar la rejilla adecuadamente, además en este libro de texto se presentan ejercicios que involucran las propiedades del espectro, pero no se contempla la manipulación de las variables experimentales, más allá del ángulo de incidencia de la luz y el ancho de la rejilla.

Por otro lado, en el libro de Paul Hewitt (2007), se presentan montajes experimentales que involucran únicamente el uso de prismas. Se hace referencia a la importancia de controlar la intensidad de la luz para obtener una definición clara de las líneas del espectro. En ese sentido, no se desarrollan otras variables como la ubicación del prisma con respecto a la fuente de luz.

c. Contextualización histórica de la técnica de la espectroscopia:

En los dos textos, se aborda de manera limitada la contextualización histórica de la técnica de la espectroscopia y sus contribuciones a la comprensión del espectro electromagnético. En Física para Ciencias e ingeniería, se mencionan de manera superficial

algunos hitos importantes en el desarrollo de la espectroscopia³, pero no se desarrollan las contribuciones de científicos destacados como Fraunhofer, Kirchoff y Bunsen. Por ello no se profundiza en los detalles de sus descubrimientos y experimentos, lo que limita la comprensión integral de la importancia de la espectroscopia en el desarrollo de la física y la química.

De manera muy similar, en Física conceptual se hace una pequeña referencia a la evolución histórica de la espectroscopia al destacar el trabajo de Fraunhofer y su trabajo en la caracterización de las líneas espectrales del Sol. Aunque no se proporciona otro tipo de información, no se profundiza en otros autores y sus actividades experimentales ni las implicaciones de sus descubrimientos en la comprensión del ELV.

³ Dentro de esos hitos se puede destacar los trabajos de Young, así como la referencia a su uso en la caracterización de la composición química de sustancias y los trabajos alrededor del modelo atómico de Bohr.

Tabla 2. Resultados del análisis de libros de texto seleccionados (fuente: elaboración propia)

Exploración de la presentación del ELV en libros de texto.	Temáticas relacionadas con el <u>ELV</u> .	Física para ciencias e ingeniería	Se relaciona con la reflexión, la refracción y la difracción, destacando propiedades observables de la luz visible
		Física conceptual	Destaca la importancia de los electrones en la emisión de luz, relacionándolos con los espectros de emisión y absorción y su papel en el análisis químico.
	Representaciones que ilustran el espectro	Física para ciencias e ingeniería	Utiliza una variedad de representaciones gráficas, desde la dispersión de la luz hasta los patrones de interferencia, para destacar la naturaleza ondulatoria de la luz.
		Física conceptual	Emplea representaciones gráficas que muestran las transiciones de electrones y las líneas espectrales, relacionando la emisión y absorción de luz con la estructura atómica de los elementos.
	Actividad experimental	Física para ciencias e ingeniería	No profundiza en la manipulación de variables experimentales, tampoco se profundiza en la contextualización histórica de la espectroscopia
		Física conceptual	Ofrece ejemplos de montajes experimentales que implican el uso de prismas y resalta la importancia de la intensidad de la luz en la observación del espectro

2. Revisión a los estándares básicos de competencias en ciencias naturales en Colombia, en comparación con el caso de España y Chile

La educación en ciencias naturales es un pilar fundamental en la formación de ciudadanos informados y con la capacidad de comprender y abordar temas científicos y tecnológicos de la sociedad contemporánea. En diferentes partes del mundo, los sistemas educativos han establecido sus propios enfoques y estándares para guiar la enseñanza en este campo. En Colombia, el Ministerio de Educación Nacional (MEN) ha desarrollado los estándares básicos de competencias que determinan los objetivos en términos educativos en ciencias naturales desde la educación básica hasta la media. Estos estándares enfatizan la importancia de que tanto estudiantes como maestros adquieran unas habilidades y conocimientos adoptando un enfoque basado en la curiosidad y la observación (MEN 2006).

En España el sistema educativo ha establecido competencias en áreas clave como la materia, la energía y la interacción enfocándose en la asimilación de los modelos atómicos y la relación de la química con la sociedad y el medio ambiente (Gobierno de Navarra, 2015). Por otro lado, en Chile, el currículo nacional se organiza en unidades que abordan temas como la electricidad y el calor, así como la organización de la materia (Ministerio de educación, 2014). Si bien cada país tiene un enfoque propio, es interesante notar que todos comparten la aspiración de cultivar una comprensión sólida de las ciencias naturales entre los estudiantes. En este trabajo se exploran las relaciones que surgen entre las propuestas curriculares de cada país relacionadas con el espectro, con el propósito de aportar a la construcción de un contexto sobre la enseñanza del espectro, donde las políticas públicas contribuyen dado que en ellas se reconocen objetivos de enseñanza que todos los docentes deberían considerar en la preparación de sus clases y en la elección de las temáticas que desarrollan en el aula.

Los contextos seleccionados responden al objetivo de identificar referentes en la región latinoamericana y fuera de ella, con un referente cultural de occidente como España que además comparte nuestro mismo idioma. De esta manera, se pudo destacar, a partir de presentar estos tres contextos, que hay una relación en las formas particulares en las que se hace referencia a productos de la ciencia tales como la estructura de la materia,

que están relacionados con el estudio del espectro. Además, se puede evidenciar como se omite lo relacionado con el estudio del espectro y los fenómenos ópticos de refracción, difracción y dispersión de la luz.

2.1. Contexto colombiano:

En el marco de la educación Básica y Media en Colombia, el Ministerio de Educación Nacional (MEN) define una serie de criterios, conocidos como Estándares Básicos de Competencias, para la enseñanza de las ciencias naturales. Estos pretenden ser la hoja de ruta para las instituciones educativas y los maestros en la configuración de sus planes de estudio, atendiendo a lo que los estudiantes pueden saber y saber hacer en cada una de las asignaturas que componen el área de ciencias naturales para cada nivel de aprendizaje.

Buscamos que estudiantes, maestros y maestras se acerquen al estudio de las ciencias como científicos y como investigadores, pues todo científico –grande o chico– se aproxima al conocimiento de una manera similar, partiendo de preguntas, conjeturas o hipótesis que inicialmente surgen de su curiosidad ante la observación del entorno y de su capacidad para analizar lo que observa. (MEN, 2004)

Para tales propósitos, la enseñanza de las ciencias naturales se define a partir de tres ejes básicos de conocimiento:

- Entorno vivo
- Entorno físico
- Ciencia, tecnología y sociedad

El eje de Entorno vivo busca reconocer las relaciones, interacciones y transformaciones de los organismos y seres vivos; el eje de Entorno físico refiere al entorno en que viven estos organismos sus interacciones con estos espacios y las transformaciones de la materia propiamente; por otra parte, el eje de Ciencia, tecnología y sociedad busca comprender en qué medida las ciencias naturales y la investigación científica aportan en función de la calidad de vida de los individuos. Así, se mantienen estos ejes básicos a lo

largo de la educación Básica y Media, sin embargo, para efectos de los grados superiores de la educación Media, esto es décimo y undécimo, se presenta una clasificación de procesos físicos y procesos químicos permitiendo una profundización en el abordaje de las competencias a trabajar (MEN 2006).

A continuación, se presenta una clasificación de los estándares, identificando aquellos ejes y competencias de interés para la propuesta de este trabajo, es decir, aquellos que están relacionados con los espectros:

Tabla 3. Estándares de educación en Colombia. (Fuente: elaboración propia)

De grado sexto a séptimo	De grado octavo a noveno	De grado décimo a undécimo
Entorno físico: - Describo el desarrollo de los modelos que explicaban la estructura de la materia. - Describo el proceso de formación y extinción de las estrellas. - Indago acerca de los adelantos científicos que han hecho posible la exploración del universo.	Entorno físico: - Reconozco y diferencio modelos para explicar la naturaleza y el comportamiento de la luz. Ciencia, tecnología y sociedad: - Identifico aplicaciones de los diferentes modelos de la luz.	Entorno físico: (Procesos químicos) - Explico la estructura de los átomos a partir de diferentes teorías.

A partir de esta revisión se puede identificar que existen algunos contenidos relacionados con la espectroscopia, si bien esta no se menciona directamente dentro de los estándares, es a partir de esto que se construyeron algunos de los “hechos científicos” desde los cuales se proponen los estándares de educación. Por ejemplo, en la composición del universo, el modelo se formula gracias al amplio estudio que se realizó de los espectros de emisión y de absorción, a partir de esta teoría, además se propuso un modelo explicativo para la evolución de las estrellas, que también es parte de los estándares. Pero no solo en la astronomía esta técnica ha sido fundamental, sino también para estudiar la relación que existe entre la energía y la materia, la estructura de los átomos, entre otros campos de investigación que se podrían relacionar.

2.2. Contexto de la enseñanza de las ciencias naturales en España:

En el contexto de la educación en España, las competencias o habilidades que los estudiantes deben desarrollar en cada curso o nivel de ESO y se clasifican así:

- A. Las destrezas científicas básicas
- B. La materia
- C. La energía
- D. La interacción
- E. El cambio

Tabla 4. Estándares de educación en España. (fuente: elaboración propia)

Curso 1, 2 y 3	Curso 4
<p>B. La materia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estructura atómica: desarrollo histórico de los modelos atómicos, existencia, formación y propiedades de los isótopos y ordenación de los elementos en la tabla periódica. - Principales compuestos químicos: su formación y sus propiedades físicas y químicas, valoración de sus aplicaciones. Masa atómica y masa molecular. <p>C. El cambio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interpretación macroscópica y microscópica de las reacciones químicas: explicación de las relaciones de la química con el medio ambiente, la tecnología y la sociedad. 	<p>B. La materia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelos atómicos: desarrollo histórico de los principales modelos atómicos clásicos y cuánticos y descripción de las partículas subatómicas, estableciendo su relación con los avances de la física y la química. - Estructura electrónica de los átomos: configuración electrónica de un átomo y su relación con la posición del mismo en la tabla periódica y con sus propiedades fisicoquímicas.

Desde el trabajo de López (2020) se identifican algunas carencias en los estándares de educación al no incluir el espectro dentro de los estándares al punto que el autor diseña un currículo donde se contempla la espectroscopia como una parte fundamental para el

desarrollo de los objetivos que identifica el autor. Además, para el trabajo que desarrolla López, señala que tienen carencias cuando se habla de la física óptica y de espectroscopia. De igual manera se puede identificar una escasez de objetivos de aprendizaje donde se haga énfasis específico sobre el espectro o la espectroscopia en el contexto colombiano, aunque hay pertinencia con el tema, por estar relacionado con diferentes objetivos de enseñanza alrededor de fenómenos como la refracción, la difracción y la estructura de la materia.

2.3. Currículo para la enseñanza de las ciencias naturales en Chile

Dentro del contexto chileno, a partir de la consulta de las bases de datos del Ministerio de Educación publicadas en su sitio web⁴, se puede hacer un acercamiento al currículum nacional. Los estándares de educación en este país están divididos en unidades de 1° a 8° básico, en este grado se ven temáticas parecidas para los estudiantes de grado undécimo si se hace la comparación con Colombia. En el caso de Chile, se dividen las áreas en unidades, tales como biología, nutrición y salud, por otro lado, biología y célula, además física, electricidad y calor, por último, química estudio y organización de materia, que además dividen sus intencionalidades en actitudes, habilidades y objetivos. Para este trabajo se revisaron los objetivos de cada uno de estos, detectando que son los objetivos de la unidad 3 y 4 los más pertinentes.

⁴ Página web: <https://www.curriculumnacional.cl/portal/Evaluacion/Estandares-y-otros-indicadores/Estandares-de-Aprendizaje/>

Tabla 5. Estándares de educación en Chile. (fuente: elaboración propia)

Unidad 3	Unidad 4
<p>Física electricidad y calor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investigar, explicar y evaluar las tecnologías que permiten la generación de energía eléctrica, como ocurre en pilas o baterías, en paneles fotovoltaicos y en generadores (eólicos, hidroeléctricos o nucleares, entre otros). 	<p>Química estudio y organización de la materia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investigar y analizar cómo ha evolucionado el conocimiento de la constitución de la materia, considerando los aportes y las evidencias de: La teoría atómica de Dalton. Los modelos atómicos desarrollados por Thomson, Rutherford y Bohr, entre otros. - Desarrollar modelos que expliquen que la materia está constituida por átomos que interactúan, generando diversas partículas y sustancias. - Usar la tabla periódica como un modelo para predecir las propiedades relativas de los elementos químicos basados en los patrones de sus átomos, considerando: El número atómico. La masa atómica. La conductividad eléctrica. La conductividad térmica. El brillo. Los enlaces que se pueden formar. - Investigar y argumentar, en base a evidencias, que existen algunos elementos químicos más frecuentes en la Tierra que son comunes en los seres vivos y son soporte para la vida, como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno.

Así pues, en el contexto de Chile se encuentra que, como en Colombia, existen algunos objetivos que son compatibles con el propósito que plantea este trabajo: el estudio del espectro, no obstante, es también notorio que no se hace una referencia a la espectroscopia directamente.

2.4. El contexto curricular del espectro para el caso de Colombia, España y Chile.

La enseñanza del espectro y la espectroscopia en los currículos de ciencias naturales en los contextos estudiados presenta un enfoque común en cuanto a unos objetivos que apuntan a la comprensión de la materia y sus interacciones. Sin embargo, al analizar estándares de educación, se revela una problemática fundamental: la falta de atención específica sobre la espectroscopia como una herramienta esencial para la comprensión de

lo relacionado con la construcción de modelos explicativos de la estructura de la materia, la radiación y la astronomía.

En concordancia con lo que señala López Corral (2020) para el caso del contexto español, a pesar de que los programas de estudio hacen referencia a conceptos fundamentales como la estructura atómica, los modelos atómicos y la relación entre la luz y la materia, no se aborda de manera explícita la espectroscopia como una técnica crucial para el desarrollo de la ciencia y por lo tanto para la construcción de teorías, modelos y explicaciones. Esta omisión da cuenta de una limitación en la comprensión del que hacer científico, dado que la relación entre energía, materia y luz se ha desarrollado a través de los aportes que históricamente se derivan de la espectroscopia.

Por lo tanto, la ausencia de un enfoque que involucre a la espectroscopia en los planes de estudio de estos contextos representa una oportunidad para que los docentes se involucren en la investigación de la historia de la espectroscopia y desarrollen una comprensión contextualizada de sus aportes en ciencias naturales.

La perspectiva fenomenológica hace un llamado para involucrarse en la construcción de conocimiento por medio de la experiencia y la reflexión que surge de ella. Así, la inclusión de la espectroscopia desde una perspectiva fenomenológica enriquece la comprensión de los docentes en torno al tema de los espectros y les permite construir herramientas para la enseñanza de esos modelos y teorías a los que se hace referencia en los estándares que se propone cada país.

3. Marco referencial

Con el propósito de enriquecer la revisión del contexto en torno a la enseñanza del espectro, es necesario acudir a otros trabajos vinculados a la enseñanza del espectro, tanto a nivel escolar como universitario. Entonces, se hace necesario reconocer las contribuciones que realizan estas propuestas y esclarecer los alcances de cada uno de estos trabajos. Este análisis permite contextualizar y comprender la diversidad de enfoques que

existen en la enseñanza del espectro. En este sentido, la propuesta fenomenológica es un componente necesario para el desarrollo de las siguientes fases del trabajo. Detallar algunos de estos elementos propuestos por esta perspectiva y comprender cómo estos aportan en la construcción de reflexiones es fundamental.

3.1. Acerca de la enseñanza del espectro

Se realizó una revisión del trabajo de maestría de la Universidad Pedagógica Nacional de Carlos Rivero y Julián Reyes (2022) “Una revisión documental sobre la espectroscopia de absorción y emisión atómica: construcción de un proyecto curricular desde el alineamiento constructivo”. Este se centra en una revisión documentada exhaustiva de la espectroscopia de absorción y emisión atómica. Su objetivo principal es la construcción de un proyecto curricular utilizando el alineamiento constructivo como enfoque metodológico. Durante esta revisión, los autores identificaron documentos relacionados con el espectro y la espectroscopia para realizar un estado del arte, así mismo recopilan documentos que les permiten dar cuenta de procesos entorno a la enseñanza del espectro y los aportes que estos procesos tienen en otros contextos.

El proyecto curricular derivado de este trabajo reconoce la importancia del contexto histórico y la actividad experimental, por ello presenta actividades relacionadas que incluyen diferentes recursos como uso de aplicaciones y lecturas de corte histórico.

En el trabajo realizado se identificaron cuatro categorías de contenido (formalización, reporte, aplicación e implicaciones didácticas) a partir de las relaciones conceptuales y metodológicas encontradas en la revisión de estado del arte. Estas categorías son base para construir el proyecto curricular que proponen los autores.

De esta manera, el proyecto se justifica por la importancia de la espectroscopia de absorción y emisión atómica como técnica de análisis químico y su relevancia en la formación de profesionales en ciencias. Dentro de los objetivos del proyecto curricular se incluye fomentar la comprensión de la técnica de la espectroscopia de absorción y emisión

en docentes, así como dotarlos de capacidades para analizar los fundamentos conceptuales y teóricos de la técnica.

Con base en la revisión bibliográfica propuesta por Carlos Rivero y Julián Reyes (2022) se identificaron documentos como el artículo de Thomsen (2006) “A Timeline of Atomic Spectroscopy”, en este se presenta una línea de tiempo que enumera los aportes de varios autores que contribuyeron significativamente al desarrollo de la espectroscopia atómica. Mas allá de la revisión de la literatura científica, este trabajo tiene como objetivo resaltar la importancia histórica de la espectroscopia en diferentes campos de la ciencia y de la tecnología.

El documento de Thomsen ofrece una visión panorámica de cómo el espectro es usado en diferentes campos de la ciencia y en ese sentido se puede evidenciar su papel en la creación de una amplia gama de productos de la ciencia. Esta línea de tiempo da cuenta de la importancia de abordar el espectro en el aula por su evolución e influencia en múltiples campos científicos.

Otro trabajo que se desarrolla con una intención similar es el artículo de Gonzáles y Montaña (2015) “La espectroscopia y su tecnología: un repaso histórico y su importancia para el siglo XXI”. En esta investigación se presenta la historia de la espectroscopia y su importancia, pero con un enfoque particular en su relevancia en el siglo XXI. Los autores destacan una cantidad significativa de autores que contribuyeron al campo de la espectroscopia, lo que proporciona un contexto histórico sólido.

Además, en este trabajo se destaca cómo la espectroscopia continúa siendo una técnica esencial en la ciencia contemporánea. Los autores enfatizan su relevancia en la formación científica. Esto sugiere que los trabajos en torno al campo de la espectroscopia adquieren un valor importante por su relación histórica con diferentes productos de la ciencia y por la aplicación que aún conservan en la actualidad.

Algunos otros trabajos presentados por Carlos Rivero y Julián Reyes (2022) contemplan propuestas de aula donde el tema principal es la espectroscopia aplicada, en el artículo “Assesing the Engagement, Learning, and Overall Experience of Students Operating an Atomic Absortion Spectrophotometer with Remote Access Technology” de Erasmus, Brewer, & Cinel (2015) se proporcionan aportes en términos de la realización de procesos formativos con el uso de actividades remotas. Ofrece una perspectiva a los estudiantes en el desarrollo de actividades experimentales donde se desataca la importancia de por ejemplo la preparación de muestras. Esta estrategia propuesta se considera interesante porque amplía el acceso a la enseñanza de la espectroscopia en función de la dificultad que presenta tener cierto tipo de instrumentos.

En cuanto a los trabajos que desarrollan propuestas para la enseñanza del espectro, el trabajo de maestría de Peña Triana (2012) de la Universidad Nacional de Colombia titulado “La espectroscopia y su desarrollo como una herramienta didáctica para comprender la estructura de la materia” contribuye al proporcionar una propuesta desde la perspectiva constructivista, en este trabajo se considera que el papel de los estudiantes debe ser activo y en función de su relación con el entorno. Esto es importante porque considera elementos que se ven los estándares de educación del contexto colombiano. Así mismo, el trabajo realizado considera diferentes momentos como la resolución de problemas, la experimentación y el trabajo en grupo, el desarrollo del trabajo se da articulando conocimientos previos e intereses de los estudiantes con ejes temáticos como la luz como una onda y otras relacionadas con la electricidad y el electromagnetismo, para luego abordar la relación entre la materia y la energía.

Acerca de las propuestas de enseñanza del espectro, se puede destacar el trabajo de maestría de Ignacio López en la universidad Pública de Navarra, Pamplona (2020) titulado “¡Hágase la luz! Óptica, espectroscopia y educación secundaria” en este trabajo se enfatiza en la importancia de introducir fenómenos como la refracción y la difracción para el desarrollo de la espectroscopia en la educación secundaria. El autor destaca inicialmente la

necesidad de introducir la espectroscopia en el currículo de España. Esto es crucial ya que él destaca que múltiples temáticas están relacionadas con la noción de espectro.

En ese sentido, se destaca el uso de la actividad experimental en el desarrollo de la propuesta del autor, estas prácticas se consideran fundamentales para la comprensión de la noción de espectro y lo que los estudiantes construyen cuando desarrollan la propuesta. De igual manera, dentro de la propuesta del autor se destaca el uso de la historia para generar un contexto de las aplicaciones de la espectroscopia.

En el contexto colombiano también se pueden destacar este tipo de propuestas, para Peña Martínez, Gómez Gómez, & Rosales Conrado (2020) hay oportunidades de desarrollar una propuesta acerca de la enseñanza del espectro con la idea de la clase invertida, una metodología que invierte el proceso de enseñanza tradicional. Esta metodología considera que desarrollar procesos acerca de la enseñanza del espectro requiere de la actividad experimental, en donde los estudiantes inicialmente se aproximaron a la quema de diferentes materiales y a partir de ello relacionaron los materiales con las coloraciones de las llamas, para luego construir un espectroscopio casero y con este se examinó los espectros de diferentes fuentes de luz como el sol, una lámpara de escritorio y una linterna.

Por último, en la revisión de propuestas se encontró un trabajo que aporta a la enseñanza del espectro en el aula porque identifica la necesidad de capacitar a los profesores de física y química para que puedan desarrollar explicaciones acerca de los espectros, en este trabajo Savall, Doménech y Martínez (2013) titulado “¿los profesores de física y química disponen de un modelo que explique la formación de espectros atómicos?”. En el trabajo de estos autores se considera que para construir una explicación del modelo atómico de Bohr es necesario identificar su relación con los espectros, en ese sentido destaca que los docentes no cuentan con herramientas para ello y es necesario apostarle al desarrollo de una comprensión profunda de esta relación.

Del análisis de estos trabajos se revelan algunos aspectos importantes. En primer lugar, se puede destacar la conexión del espectro con diversas temáticas, evidenciando que

en algunos trabajos lo usan para explorar el campo de la física moderna. Además, que el estudio del espectro permite profundizar sobre la relación de este con la historia de la física y la química. En muchos de estos trabajos también se observó, que se realiza una aproximación desde lo experimental al considerarlo necesario para acercarse a modelos y teorías. Sin embargo, en el conjunto de investigaciones analizadas, no se encuentran muchos trabajos que utilicen el estudio del espectro para abordar la comprensión de los fenómenos de refracción y difracción.

3.2.Consideraciones de la propuesta fenomenológica

Dado que previamente se reconoció la relevancia de la enseñanza de la espectroscopia por diferentes razones, se ha decidido explorar la perspectiva fenomenológica como un enfoque integral para guiar la propuesta de actividades y la reflexión en este trabajo de grado. En este contexto, se ha llevado a cabo una revisión de fuentes de información que contribuyen significativamente a esta labor.

Debido a ello el primer texto revisado fue el de Montes Jiménez & Rivera Vargas (2020), el cual se desarrolla en función de la investigación sobre la enseñanza del fenómeno de la audición. No obstante, más allá de abordar este proceso, los autores presentan los fundamentos de la perspectiva fenomenológica, que guiaron su trabajo. En este sentido se destacan como elementos clave para configurar su trabajo, construir una figura del docente diferente, así mismo resaltar el papel del aula como un espacio crucial donde se gestan relaciones para la construcción de conocimiento.

En el desarrollo de este trabajo, los autores también presentan la dinámica en doble vía entre el sujeto y objeto como fundamental, dado que a partir de la reflexión sobre y los modos en los que se organiza se da el proceso de construcción de conocimiento. Este enfoque considera que la reflexión además debe integrar elementos como el lenguaje y las formas de actuar para reconocer el nivel de apropiación de los estudiantes.

También se revisa el trabajo “la actividad experimental: construcción de fenomenologías y proceso de formalización” de Malagón Sánchez, Sandoval Osorio, & Ayala Manrique (2013) en este se destacan diferentes elementos como la relación entre la experiencia individual y la construcción de conocimiento. En el contexto de la espectroscopia esta idea supone que aquel que esté interesando en comprender algo acerca del espectro no debería limitarse a la información que se presenta en algunos libros de texto donde se presentan teorías descontextualizadas, en cambio la apuesta es por hacer hincapié en que el sujeto hace parte de la experiencia donde ellos deben observar, analizar y construir explicaciones por sí mismo.

En ese sentido, la idea de que los fenómenos se presentan tal como son, es diferente a como se presentan las explicaciones que se desarrollan en los libros de texto. En este trabajo se pretende explorar cómo la construcción de conocimiento puede centrarse en la organización de cualidades observables en la búsqueda de una comprensión del espectro que no involucra la búsqueda de explicaciones que van más allá de lo observable, es decir hacer énfasis en el conjunto amplio de formalizaciones que emergen de esta propuesta.

Además, desde esta perspectiva se enfatiza en la interacción dinámica entre el sujeto y el objeto. Esta es una invitación directa al diseño de actividades propias que fomenten la exploración de los espectros, con el fin de realizar una reflexión profunda de cómo los sujetos interpretan y construyen explicaciones, porque esta relación es dinámica. En ese sentido el sujeto no debe ser un observador pasivo, su participación y su forma de organizar lo que observa está en constante cambio. En este contexto la indagación entorno a los espectros se traduce en el diseño de actividades que fomenten la exploración activa, la toma de decisiones, la reflexión acerca de cómo se construye conocimiento en interacción con los espectros.

Continuando con la revisión de trabajos sobre la enseñanza desde esta particular forma de concebir el conocimiento, el trabajo de Sandoval Osorio, Malagón Sánchez, Garzón Barrios, Ayala Manrique, & Tarazona Vargas (2018) “Una perspectiva

fenomenológica para la enseñanza de las ciencias” presenta las experiencias desarrolladas por los autores en el campo de la enseñanza de las ciencias, en donde el desarrollo de actividades experimentales y la revisión histórica serán parte fundamental en la construcción de conocimiento científico. En ese sentido los autores hacen referencia a la importancia del desarrollo de sus actividades considerando la relación entre la percepción, el lenguaje y la actividad experimental.

También es importante destacar que a través del análisis histórico crítico de textos científicos y de la observación de fenómenos, los autores contribuyen al diseño de actividades experimentales propias. Comprender la importancia de la experiencia en la construcción de conocimiento, implica considerar que a partir de la reflexión sobre ella se construyen esquemas conceptuales que dan cuenta de la organización de esta y sin este proceso que es en doble vía no se da la construcción de conocimiento.

En consecuencia, el uso del lenguaje se constituye en un tipo de formalización. Desde esta perspectiva la formalización no se limita a la matemática, sino que la construcción de relaciones, el uso de las palabras, el proceso de elegir cualidades y los modos de actuar en la experimentación son fundamentales.

3.3. Reflexiones en torno a las propuestas de enseñanza del espectro

Al reconocer que el espectro está relacionado con una gran cantidad de productos de la ciencia, es útil para delimitar el trabajo ubicar en un contexto histórico y en la actividad experimental de un autor en particular. En ese sentido, recurrir a trabajos como los de Thomsen (2006), Savall Alemany, Domènech Blanco y Martínez Torregrosa (2013), González Cantellano y Montaña Zetina (2015) o L’vov (2004) que permiten realizar la caracterización de esos contextos particulares en los que se desarrolló el estudio del espectro y destacar la multiplicidad de relaciones que tiene el espectro con otros productos de la ciencia.

Además, es importante enfatizar en la construcción de conocimiento acerca del espectro desde la actividad experimental. Por eso, los trabajos de Ramos Bonilla (2022) López Corral (2020) Peña Triana (2012) ofrecen elementos para reflexionar sobre el espectro como, por ejemplo: evidenciar las relaciones del espectro con productos de la ciencia, montajes experimentales y descripciones de experiencias llevadas al aula. En ese sentido es importante destacar que, en cada caso, la implementación de actividades experimentales se realizaba para abordar la enseñanza del espectro en función de unos objetivos de enseñanza diferentes, eso quiere decir que también se relacionaban con fenómenos o teorías distintas.

Capítulo 2: Acerca de la actividad de Joseph Von Fraunhofer sobre el estudio del espectro de luz visible

En el desarrollo de esta investigación, fue necesario hacer hincapié en comprender que la información que presentan los libros de texto no es suficiente para la construcción de conocimiento en torno a preguntas como: ¿Qué inquietudes orientaron los experimentos que dan cuenta de las líneas del espectro? ¿Cuáles fueron los criterios que orientaron las disposiciones de los instrumentos para la observación del espectro? ¿Qué experimentos se pueden desarrollar para caracterizar el espectro? Formular y contestar estas preguntas no solo constituyó una parte fundamental de este trabajo, sino que ofreció la oportunidad de dotar de significado la palabra espectro. Anteriormente, se hizo evidente que la información disponible en los libros de texto no aborda cuestiones alrededor de lo experimental entorno al espectro que son fundamentales.

Con el objetivo de plantear las características para la actividad experimental y aportar a los procesos de construcción de conocimiento sobre el espectro, se tomó la decisión de realizar una revisión del trabajo de Fraunhofer en este ámbito. La elección de este científico se basó inicialmente en su contribución en la caracterización del espectro, un aporte fundamental en la que es referenciado en otros trabajos como los de Kirchoff y Bunsen (Kirchhoff, 1962). Además, en su investigación abordó inicialmente el estudio del espectro usando prismas y luego empleó rejillas de difracción. Estos dos momentos en el trabajo de Fraunhofer se presentan como una oportunidad para reflexionar acerca de los elementos que encuentra con los dos montajes para afirmar que, a través de ambos, es posible observar el espectro.

De esta revisión, en este capítulo primero se presenta una descripción detallada de la actividad experimental, identificando los fenómenos asociados a la generación de espectros, la actividad experimental que permite su estudio (o su caracterización), además se identificó elementos para acercarse a la comprensión de qué es eso a lo que se hace referencia cuando se habla de espectro y los tipos de espectros que hay. Lo anterior, con la

intención de construir elementos que soporten la construcción de la actividad experimental propuesta en este trabajo.

Por lo tanto, las fuentes consultadas para la revisión son *Prismatic and Diffraction Spectra* (Fraunhofer, 1898) y el libro *Spectrum of Belief: Josep Von Fraunhofer and the Craft of Precision Optics* (Myles W. Jackson, 2000). En estos textos se presenta una descripción detallada de la actividad experimental realizada por Fraunhofer y son útiles para realizar un análisis de su trabajo. A continuación, se muestra una descripción de las actividades desarrolladas por este autor, divididas en dos partes la primera parte se centra en su proceso de observación del espectro con objetos refractores y en la segunda parte su trabajo con objetos dispuestos para difractar la luz y producir espectros, y posterior a ello mostrar una síntesis de los elementos que permiten caracterizar el espectro y los criterios que se consideraron en la construcción de la actividad experimental.

1. Actividad experimental entorno a la refracción en el trabajo de Fraunhofer

El primer montaje experimental propuesto por Fraunhofer se piensa en función de medir la dispersión particular que tiene un rayo coloreado al interactuar con un objeto refractante, este problema es de gran importancia para él, dado que su trabajo en la época estaba enfocado en la elaboración de lentes, tal y como lo señala M. Jackson (2000), él diseñó una técnica de elaboración de lentes de alta calidad innovadora en su tiempo (Jahn, Krimeier, Mewes, Preyb, & Weber, 2023), con ello su actividad experimental inicialmente se orienta en función de calibrar los lentes. Fraunhofer entendía que cada material del cual estuvieran hechos los lentes tendría efectos diferentes al dispersar la luz ⁵, esto debido a que cada color se ve más o menos afectado en su trayectoria por cada material. Para ello,

⁵ Desde el desarrollo de la lectura se puede considerar que para Fraunhofer la luz blanca se compone de luz de diferentes colores.

se propuso la fabricación de prismas de diferentes materiales con la intención de determinar los efectos en cada franja de color con ayuda de los ángulos de incidencia y reflexión.

Aunque para la época Fraunhofer no fue el primero en intentar medir estos efectos en la trayectoria de la luz, los métodos que eran usados no eran efectivos. Por lo tanto, él consideró que el problema requería de la incorporación de otros instrumentos que permitieran aislar los colores que componen el espectro y así poder medir el efecto de dispersión asociado a cada material. Una de las dificultades con las que se encontró fue que los límites entre los rayos de colores ⁶ que componen el espectro no están bien definidos, es necesario aclarar que, al observarse el espectro inicialmente se consideraba que este era continuo y no se consideraban líneas oscuras o líneas brillantes en medio de las franjas de color.

Para resolver esta dificultad usaba la luz blanca, aunque no especifica cómo la obtiene, entonces decidió apoyarse en el uso de vidrios de colores y prismas que contenían en su interior sustancias de colores, con el propósito de restringir el paso de un solo color y con ellos medir la desviación particular en cada uno de los colores dispersados. Sin embargo, no obtuvo los resultados esperados ya que los filtros empleados no lograban tal restricción. Observaba, entonces, en sus montajes espectros compuestos de diferentes colores, con la particularidad que el color del vidrio que utilizara era el más notorio dentro del espectro.

Con base en la anterior descripción de la actividad realizada por Fraunhofer, se puede desatacar que inicialmente no hace referencia a líneas brillantes o similares, sino que

⁶ El termino rayos o rayos de colores, frecuentemente es empleado en el trabajo de Fraunhofer, aparentemente para referirse a haces de luz. En el caso de la expresión rayo de colores, se puede relacionar con la dispersión de la luz blanca en luz de diferentes colores al pasar por un medio refringente como el prisma. Estos rayos de colores explican las franjas de colores que Fraunhofer observa al analizar la luz refractada en el prisma.

para realizar su descripción establece una relación entre las franjas de mayor intensidad con la tonalidad de los vidrios que usa.

Luego, notó que las llamas producidas con alcohol y azufre tenían en su espectro una región de color naranja. Continuando con este proceso, decidió que, para estudiar los efectos de la dispersión en un rayo coloreado, podía utilizar fuentes luminosas que emiten uno en particular, para ello utilizó lámparas de diferentes materiales: alcohol, azufre, aceite, sebo, entre otros. En apariencia la llama de estos elementos emite luz y se puede enfocar la luz de una región en particular para obtener una sola tonalidad. Supuso que el espectro observado con estas fuentes luminosas tendría un rango más restringido de colores y que al ser observado con ayuda de un teodolito ⁷ le permitiría medir los ángulos con los que estos rayos inciden sobre el prisma y luego se dispersan. Sin embargo, no fue así, encontró que la luz emitida no es homogénea como él suponía, pues se producía un espectro completo, con la particularidad que se evidenciaba una línea más brillante en la región entre el rojo y el verde, además volvió a identificar que los límites entre los rayos de colores no estaban bien definidos, lo que complicaba la medición precisa de los ángulos de incidencia y de refracción (Fraunhofer, 1898).

En esta parte del trabajo de Fraunhofer, se puede apreciar una forma particular de comunicar lo que observa. Anteriormente, al emplear vidrios, identificó una franja más brillante en el espectro y para explicarla acude a la relación entre la franja y el color de dichos vidrios. En este caso específico, dado que identifica esa regularidad, decide describir la ubicación de la franja observada y luego se refiere a ella como una banda brillante y bien definida. Esta elección en su descripción da cuenta de un tipo de formalización de carácter

⁷ Un teodolito es un instrumento óptico usado para topografía, este incorpora un telescopio con grados de libertad medibles, diseñado para medir ángulos tanto en el plano horizontal como en el vertical con precisión. En este contexto específico se emplea para medir ángulos en horizontal con los cuales determinar las direcciones en los que cada rayo de luz se refracta luego de pasar por el prisma.

pragmático, por organizar el fenómeno al usar el lenguaje de una manera particular para presentar lo que observa.

Para el desarrollo de la siguiente actividad, ubica la fuente luminosa de tal manera que los rayos de luz que emergen de esta atraviesen una abertura y estos luego inciden sobre el prisma, que se ubica enfrente de un teodolito. Dado que su objetivo es medir la influencia del prisma sobre cada color, los ángulos con los que inciden los rayos de luz y los ángulos con los que se refractan deben ser medidos con precisión. Esto no es posible dado que los rayos que inciden sobre el prisma tienen diferentes ángulos, para solucionar esto, ubica la fuente luminosa a una distancia mayor, si bien ahora parece que los ángulos con los que inciden son similares, encuentra que la intensidad no es suficiente (Fraunhofer, 1898).



Imagen 5. Teodolito tomado de: (Jahn, Krimeier, Mewes , Preyb, & Weber, 2023, pág. 36)

En el desarrollo de la anterior actividad experimental Fraunhofer encuentra una particularidad en el espectro, con el uso del teodolito identifica en la imagen que se observa en el prisma una raya brillante y bien definida, también algunas un poco más débiles, pero que se destacan del conjunto de rayos coloreados que componen el espectro.

“Fraunhofer (1898): Con todo lo que intenté, la luz blanca que se transmitía se descomponía en todos los colores, siendo la única diferencia que el color particular

que tenía el vidrio o el líquido era el más fuerte en el espectro. Las llamas coloreadas, obtenidas por la combustión de alcohol, azufre, etc., no proporcionan en sus espectros una luz homogénea que corresponda a su color; sin embargo, con estas, así como con la luz de aceite y sebo, y en general con la luz de todas las llamas, encontré en los espectros una franja brillante y claramente definida en la región entre el rojo y el verde, que está exactamente en la misma posición en todos los espectros y que será de gran utilidad en lo que sigue. Esta banda brillante parece estar formada por rayos que no se dispersan más por el prisma y, por lo tanto, son homogéneos. Hay una franja similar en el verde, que no está tan bien definida y es mucho más débil, por lo que en algunos casos se reconoce con dificultad; por esta razón, no puede ser de mucha utilidad.” (Fraunhofer, 1898, pág. 3)⁸.

Estas líneas brillantes en los espectros llaman su atención porque se repiten al usar diferentes fuentes luminosas. Inicialmente adjudicó esas líneas al efecto del prisma sobre la luz, suponiendo que estas resultan porque hay porciones de la luz que no se dispersan completamente. Entonces, entiende que estas líneas no serán útiles dentro de su actividad, pero que dan cuenta de la forma en la que actúa el prisma sobre la luz (Jackson, 2000).

Continuando, decide que una forma de solucionar el tema de la intensidad de la luz que llega al prisma es aumentando el número de lámparas, además para asegurar el estudio de todos los colores que componen el espectro propuso un arreglo con ayuda de dos prismas. El montaje consta de seis lámparas del mismo material, estas hacen incidir rayos

⁸Fraunhofer (1898): With all I tried, the white light which was transmitted was broken up into all colors, the only difference being that the particular color which the glass or the liquid had was the strongest in the spectrum. Colored flames, also, which are obtained by the combustion of alcohol, sulphur, etc., do not give in their spectra homogeneous light which corresponds to their color; yet with these, as well as with oil and tallow light, and in general with light of all flames, I found in the spectra a bright, sharply defined streak in the region between the red and the green, which is in exactly the same position in all the spectra, and which will be most useful in what follows. This bright band appears to be formed by rays which are not dispersed further by the prism, and are therefore homogeneous. There is a similar streak in the green, which is, however, not so well defined and is much more feeble, so that in some cases it is recognized with difficulty; on this account it cannot be of much service

de luz, con diferentes ángulos, sobre el prisma A (Imagen 6), configura las lámparas para que estos ángulos le aseguren que, al dispersarse la luz, los rayos coloreados se distribuyen de manera particular. Cada lámpara aportará un rayo coloreado, por ejemplo, la lámpara C aporta el rayo de color rojo dado que los rayos de colores se distribuirán desde el rojo que llega al punto E hasta el violeta que llega al punto D, de forma similar la lámpara B aporta el rayo de color violeta, el rayo de color rojo llega a la zona F y el violeta a G, estos incidirán sobre otro prisma y por medio de un teodolito es capaz de medir la dispersión en términos de los ángulos. Su método es preciso, innovador para la época y le permite caracterizar la influencia de diferentes materiales sobre los rayos coloreados (Jackson, 2000).

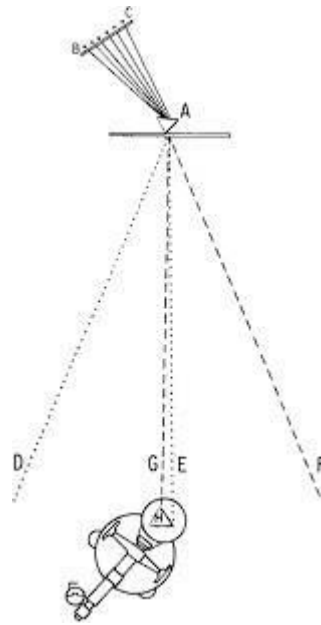


Imagen 6. Representación experimento de las 6 lámparas (Jackson, 2000, pág. 69)

En el desarrollo de su actividad, para Fraunhofer cobra importancia estudiar a profundidad los efectos de los objetos reflectantes sobre diferentes fuentes luminosas. Propone que la naturaleza de la luz solar y la luz de las lámparas es diferente y que por ello el efecto del prisma puede ser diferente sobre estas, con este experimento pretende rastrear las diferencias en esas líneas que observó en las fuentes artificiales, pero ahora la fuente luminosa será el Sol. Para ello dispone una habitación oscura, en una de las paredes realiza

un agujero y luego se ayudaría de un heliostato, la luz que ingresa incide sobre un prisma y él examina el espectro con ayuda del teodolito, dentro de su descripción del montaje detalla que debe incidir la luz con un ángulo específico, las dimensiones del agujero, la altura a la cual se encuentra. Y que puede cambiar el tamaño de este para dejar entrar más o menos luz.



Imagen 7. Heliostato tomado de: (Jahn, Krimeier, Mewes, Preyb, & Weber, 2023, pág. 14)

Con este montaje el autor descubre que en el espectro formado no existen esas líneas más brillantes que sí logró identificar con la luz artificial, en cambio encuentra una gran cantidad de líneas verticales oscuras. Luego de identificar las líneas, el autor cambia la configuración de los instrumentos que usa, detalla que cambia el ángulo con el que incide la luz, también la cantidad de luz que llega al prisma y el largo del telescopio, con estas variaciones detecta que hay unas condiciones que se deben asegurar para observar las líneas. De estas el ángulo con el que incide la luz sobre el prisma es quizás el más determinante, ya que hay un rango de ángulos con los que se pueden observar las líneas. Con las otras modificaciones se describe que estas solo alteran la claridad con la que se observan estas (Fraunhofer, 1898).

De este fragmento de la actividad experimental, se destaca la forma en la que Fraunhofer relaciona el espectro como un efecto de dos fenómenos, en este caso de la

refracción y la dispersión, al proponer consideraciones específicas para observar las líneas brillantes de una lámpara. Fraunhofer propone que es fundamental considerar el tamaño de la abertura por la cual pasa la luz que luego incide sobre el prisma y que esta debe ser similar al de una línea brillante del espectro.

La forma en la que lo explica da cuenta de cómo entiende esta relación entre el fenómeno y el efecto. Según Fraunhofer si la abertura es demasiado grande, la refracción de la luz no es sobre solo un rayo, que luego se dispersa en varios colores, sino que este proceso resulta en la dispersión de varios haces de luz y, por lo tanto, en la producción de varias líneas brillantes que se ubican unas seguidas de las otras. En consecuencia, estas líneas que deberían destacar se hacen poco diferenciables.

Además, al indagar sobre esas líneas negras descubre que están ubicadas en lugares particulares dentro del espectro que no cambian aun cuando se cambia el prisma por otro de un material diferente, también identifica que estas líneas no se forman en las fronteras entre los colores, por eso tampoco le servirán para contestar su pregunta inicial, sin embargo de esta actividad puede concluir que con base en los experimentos realizados donde varían los prismas es claro que la existencia de las líneas no depende de los defectos de los prismas, concluye que dan cuenta de una propiedad de la luz del Sol.

“Me he convencido mediante numerosos experimentos y variando los métodos de que estas líneas y bandas se deben a la naturaleza de la luz solar y no surgen por difracción, ilusión, etc. Si permitimos que la luz de una lámpara pase a través de la misma abertura estrecha en la persiana de la ventana, no se observa ninguna de estas líneas, solo la línea brillante E [mencionada anteriormente], que, sin embargo, se encuentra exactamente en el mismo lugar que la línea D (Fig. 5), de modo que los índices de refracción de los rayos D y R son los mismos. La razón por la cual las líneas se desvanecen o incluso desaparecen por completo cuando la

abertura de la ventana es demasiado ancha no es difícil de explicar.” (Fraunhofer 1898, pág 6)⁹

Luego de determinar que las líneas están directamente relacionadas con la naturaleza de la fuente, cambia esta, realiza el mismo montaje, donde dejar pasar por la misma abertura luz de una lámpara, con este montaje no observa líneas negras verticales, si encuentra de nuevo una línea brillante, que aparentemente viene del mismo lugar que otra que caracterizó en el espectro del sol, de igual forma realiza el experimento con la luz que proviene de la electricidad, encuentra que es poco similar a las líneas del sol y a las líneas de las lámparas, en este espectro encuentra líneas brillantes, definidas que son diferentes a las observadas con la lámpara por su distribución. El trabajo del autor se desarrolla al realizar diferentes montajes que le permiten estudiar la distribución de las líneas negras del Sol, de hecho, incluye un lente para aumentar la dispersión de los rayos que emergen de los diferentes prismas. Con base en su actividad experimental no solo determina las condiciones para la disposición de los instrumentos, además puede categorizar los prismas que le resultan más útiles para el montaje (Fraunhofer, 1898).

⁹ Fraunhofer (1898): *I have convinced myself by many experiments and by varying the methods that these lines and bands are due to the nature of sunlight, and do not arise from diffraction, illusion, etc. If light from a lamp is allowed to pass through the same narrow opening in the window-shutter, none of these lines are observed, only the bright line E [referred to before], which, however, comes exactly in the same place as the line D (Fig. 5), so that the indices of refraction of the rays D and R are the same. The reason why the lines fade away, or even entirely vanish, when the opening at the window is made too wide is not difficult to give.*

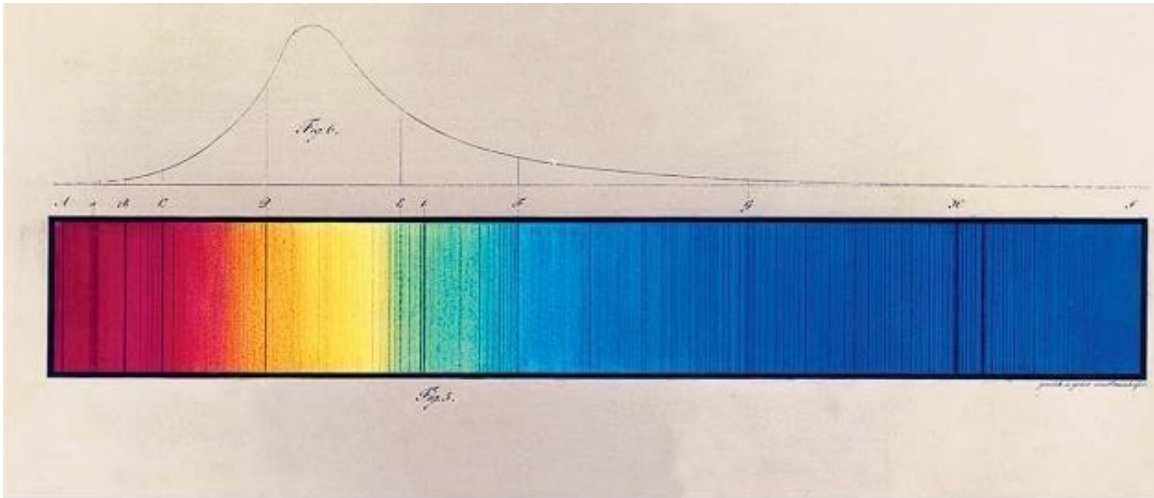


Imagen 8. Representación del espectro del sol realizada por Fraunhofer tomado de: (Jahn, Krimeier, Mewes, Preyb, & Weber, 2023, pág. 10)

Luego, al utilizar lentes para ampliar el espectro, el autor decide que puede poner a prueba el montaje con la luz que emite el planeta Venus, en el espectro de este cuerpo celeste identifica que las líneas más claras y definidas del espectro del sol son poco distinguibles, sí puede identificar una regularidad con lo que encontró previamente y en función de ello determinar que la luz que llega desde este planeta tiene una naturaleza similar a la luz del sol, de la misma manera repite el experimento con otros objetos celestes, apuntando a las estrellas más luminosas, entre ellas Sirio donde identifica algunas líneas similares a las que ya encontró en el espectro del sol, sin embargo, entiende que requiere que el espectro sea más amplio para poder estudiarlo (Fraunhofer, 1898).

2. Descifrando las rejillas de difracción en el trabajo de Fraunhofer

La descripción de la actividad desarrollada por Fraunhofer empieza con una reflexión acerca de la carencia de instrumentos adecuados para estudiar la difracción, lo que desde su perspectiva ha frenado el avance en el campo de la óptica, dando a entender su preocupación por la relación entre los instrumentos y los avances del conocimiento y además situando su actividad como novedosa por lo métodos e instrumentos que incorpora en ella. La actividad experimental del autor relacionará la difracción y la refracción de la

luz con la dispersión, al considerar que esta puede afectar los resultados obtenidos en otros experimentos y es que en casi todos primero se debía colimar un rayo de luz, para asegurar ciertas condiciones (Fraunhofer, 1898).

Fraunhofer describe lo que sucede al hacer pasar un rayo de luz por una abertura cuando esta se difracta, creando unos patrones de colores que si se hace incidir sobre una pantalla tiene un aspecto similar al de los anillos de Newton. Pareciera que para él es evidente que al hacer más pequeña la abertura, el efecto sobre la luz será mayor. Además, al observar la sombra de algunos objetos sobre los cuales incide luz solar, que primero atravesaron una rendija, se pueden apreciar franjas de color en los bordes de la sombra, este efecto sobre la luz llama su atención y su intención es medir estos ángulos con lo que se difracta la luz, dado que él reconoce que tradicionalmente se ha hecho uso de esos espectros para medir la influencia del tamaño de las rendijas sobre la difracción de la luz y considera que así no se debe realizar esta medición.

“Hasta ahora, estos ángulos desde los cuales se puede aprender la trayectoria de la luz difractada se han calculado a partir de las dimensiones de las bandas coloreadas y su distancia al cuerpo difractante; pero se han hecho suposiciones que, como veremos, no concuerdan con la verdad y, por lo tanto, proporcionan resultados incorrectos. (Fraunhofer 1898, pág. 14)¹⁰

Para ello emplea un montaje similar al que usó para el caso de la dispersión, se dispone de una apertura o de un heliostato para direccionar un rayo de luz sobre una rendija, la luz difractada llega a una pantalla, y, por medio de un teodolito, se estudia la proyección de la luz (como se describió anteriormente), de esta manera Fraunhofer realizaba una observación magnificada de los fenómenos de difracción y tenía acceso a medir los ángulos

¹⁰ Fraunhofer (1898, pág. 14): Up to the present, these angles from which the path of the diffracted light can be learned have been calculated from the dimensions of the colored bands and their distance from the diffracting body; but assumptions have been made which, as we shall see, do not agree with the truth, and which, therefore, give false results.

formados entre la rendija y los límites que definiera sobre o en los espectros (Fraunhofer, 1898).

Fraunhofer describe en su trabajo cómo es el proceso para medir el tamaño de la apertura que permite el paso de luz en un microscopio acromático. El microscopio tenía una pieza que se deslizaba con ayuda de un tornillo. La pantalla se movía debido a que está fijada con el tornillo asegurándose que el tamaño de la abertura quedara fijo, luego se hacía coincidir un borde del hilo con uno de la abertura de la pantalla, y con ayuda de un vernier ubicado en la cabeza del tornillo se sabía la diferencia en la ubicación de cada pantalla medida con el instrumento y por lo tanto el tamaño del diámetro de un objeto. Si bien Fraunhofer desarrolla una descripción de este procedimiento, no hay un registro del montaje y no es claro en su totalidad.

Ahora, para realizar la medición de los ángulos de desviación de los espectros, Fraunhofer primero identificó que la manera en la que se ubican los colores es similar a la que se encuentra en el experimento de los anillos de Newton. Además, observó múltiples espectros que se repiten simétricamente alrededor de un punto central. Es relevante señalar que, al igual que en los experimentos con prismas, los espectros carecen de límites distinguibles entre los colores. Fraunhofer eligió el color rojo como referencia de un límite, dado que este se ubica en el extremo que delimita la transición de un espectro a otro, midió la distancia desde el rojo de un espectro hasta el rojo del otro espectro y al dividir entre dos encontró la distancia entre el centro hasta el límite del primer espectro (ver Imagen 9).

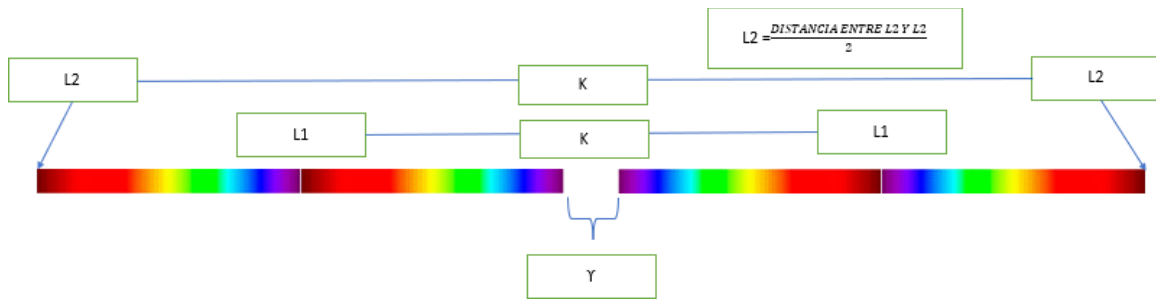


Imagen 9. Representación del método de medida de ángulo de difracción en función de los espectros realizado por Fraunhofer (elaboración propia)

De esta manera, obtuvo una forma consistente de medir los ángulos con los que se desvía la luz con ayuda de lo que él denominó “espectros de primera clase”. El siguiente cuadro presenta los ángulos medidos por Fraunhofer en función del tamaño de la abertura que atraviesa la luz, L^I, L^{II}, L^{III} , etc representan los ángulos medidos para los límites de los espectros, γ representa el tamaño de la abertura. Con estos datos encontró una regularidad para construir la expresión matemática que acompaña la tabla y donde se relacionan esos ángulos para una circunferencia de radio 1.

No.	γ	L^I	L^{II}	L^{III}	L^{IV}	L	L_r
1	0.11545	37'' .58	1' 15'' .5	1' 53''	.....	37'' .66	210
2	0.06096	1' 11'' .6	2' 22'' .7	3' 31'' .7	4' 44'' .7	1' 11'' .17	210
3	0.03690	1' 57'' .1	3' 53'' .3	5' 48'' .3	.....	1' 56'' .6	209
4	0.02346	3' 4''	6' 7'' .7	9' 16'' .3	.....	3' 4'' .43	210
5	0.01287	5' 48'' .5	11' 38''	17' 26'' .5	23' 14'' .7	5' 48'' .7	209
6	0.01210	6''	12' 1''	18' 14''	24' 9''	6' 1'' .84	212
7	0.01020	6' 56''	13' 56''	20' 54''	.....	6' 57'' .8	206
8	0.00671	11' 6''	22' 12'' .7	33' 14''	44' 35''	11' 6'' .4	217
9	0.00642	11' 11''	22' 18''	33' 43''	44' 58''	11' 12'' .2	209
10	0.00337	21' 3''	42' 16''	1° 4''	.....	21' 10'' .3	207
11	0.00308	23' 31''	47' 6''	1° 10' 43''	.....	23' 32'' .7	211
12	0.00218	33' 30''	1° 7' 40''	.....	.....	33' 40''	213
13	0.00215	35' 24'' .7	1° 10' 16''	.....	.....	35' 17''	220
14	0.00114	1° 4' 53''	.....	.....	.....	1° 4' 53''	215

$$L^I = \frac{0.0000211}{\gamma},$$

$$L^{II} = 2 \cdot \frac{0.0000211}{\gamma},$$

$$L^{III} = 3 \cdot \frac{0.0000211}{\gamma}, \text{ etc.}$$

Imagen 10. Tabla de resultados y formalización matemática para las distancias entre espectros y el tamaño de la abertura en la rendija. (Fraunhofer, 1898, pág. 17 y 18)

De esta actividad se derivan dos conclusiones para Fraunhofer que dan cuenta de su proceso de organización de este fenómeno:

Con aberturas individuales de diferentes anchos, los ángulos de inflexión de la luz son inversamente proporcionales a los anchos de la abertura¹¹.

En la luz difractada a través de una abertura estrecha, las distancias desde el centro hasta los rayos rojos de los diversos espectros a ambos lados forman una serie aritmética en la que la diferencia común es igual al primer término.

(Fraunhofer, 1898, pág. 14)¹²

Después de realizar la primera actividad experimental, Fraunhofer se preguntó sobre la homogeneidad de la luz que forma los espectros resultantes de la difracción. Para abordar la cuestión, colocó un prisma frente al ocular de un teodolito. Aunque la descripción del montaje menciona que el prisma se sitúa de manera horizontal y apunta hacia abajo, la ausencia de una representación visual dificulta la comprensión precisa de la disposición del prisma (Fraunhofer, 1898).

Para Fraunhofer, este montaje le ofreció la oportunidad de comprobar su teoría, dado que si lograba observar el hilo del ocular en cada color del espectro en la imagen que se forma en el prisma, esto indicaría la homogeneidad de la luz que constituye los espectros. Esto se explica para Fraunhofer porque cada color se refracta de una manera distintiva al ingresar al prisma. Por otro lado, la ausencia del hilo cruzado en la imagen sugeriría que la luz que incide en el prisma está compuesta por más de un color. En este caso, el prisma descompone el rayo de luz, generando diferentes trayectorias para cada uno de los colores, dado que la luz en este caso está compuesta por más de un color, estos se mezclarían, lo que cambiaría la posición de la imagen del hilo.

¹¹ En este apartado se propone una relación entre la abertura y la dispersión de los rayos de luz, lo que da cuenta de como organiza el autor el fenómeno de difracción. Además, luego se puede construir una relación con el fenómeno de dispersión, entendiendo que las explicaciones se construyen al considerar los experimentos que abordan el comportamiento ondulatorio de la luz a los que luego hará referencia el autor.

¹² Fraunhofer (1898, pág 14): With single openings of different widths the angles of inflection of the light are inversely proportional to the widths of the opening.

In light diffracted through a narrow opening the distances from the centre to the red rays of the various spectra on both sides form an arithmetical series in which the common difference is equal to the first term.

De esta manera, Fraunhofer logró identificar la no homogeneidad de la luz en los espectros producidos por la difracción. Describió el espectro observado a través del prisma como invertido: donde antes se ubicaba el rojo en el extremo del primer espectro, ahora observaba el azul, y viceversa. La observación de esta inversión en el orden de los colores le confirmó la presencia de diversos colores mezclados en la luz que llegaba al prisma.

En la siguiente etapa de la actividad experimental que presenta Fraunhofer, él identifica elementos que luego serán relacionados con el fenómeno de la difracción de la luz. Inicialmente, el autor desarrolla su interés al reconocer que, para estudiar la difracción de la luz al atravesar la rendija, es necesario considerar que la luz ya ha sido difractada al atravesar la rendija dispuesta en el heliostato. Entonces, Fraunhofer decide utilizar una lente para modificar la trayectoria de la luz, de tal manera que se simula que esta proviene de una fuente luminosa sin que la porción difractada alcance a atravesar la rendija, de esta manera observa que se forman los mismos espectros (Fraunhofer, 1898).

En el desarrollo de esta actividad Fraunhofer identifica que dependiendo de las formas de las rendijas se configuran diferentes tipos de espectros, los cuales no se orientan de la misma manera ni tienen el mismo tamaño. La siguiente actividad que presenta tiene como objetivo: “Con el fin de hacer que un gran número de haces, difractados exactamente de la misma manera, incidan sobre toda la superficie del objetivo del teodolito”¹³ (Fraunhofer, 1898, pág. 21) para ello, Fraunhofer dispuso de un conjunto de 260 alambres del mismo grosor que coloca a la misma distancia y estira de manera que sean paralelos entre sí.

En esta actividad, Fraunhofer describe que al lograr que diferentes haces de luz se difracten de la misma forma, puede observar algo que no esperaba. Comienza entonces a detallar lo que observa, y lo primero que destaca es que con esta rejilla puede observar espectros de manera similar a como lo hacía con ayuda de los prismas, señala que sobre la

¹³Fraunhofer (1898, pág. 21): In order to make a great number of beams, diffracted exactly alike, fall upon the whole surface of the theodolite-objective

rejilla debe incidir el rayo de luz de manera perpendicular y que si está a cierta distancia y se observa hacia los lados se ven estos espectros.

Fraunhofer procede a detallar las características de estos espectros, inicialmente destaca la observación de múltiples espectros, estos deben ser clasificados. Aquellos que se encuentran más cerca del centro de la rejilla de difracción los denomina espectros perfectos de segunda clase, mientras que los que se forman alejados del centro se denominan espectros imperfectos de segunda clase.

En el caso de los espectros perfectos de primera clase, Fraunhofer los considera similares a los observados con la ayuda de un buen prisma. En cambio, los espectros imperfectos de primera clase son más largos e identificar líneas brillantes y bandas oscuras no es posible en todos los casos. Para lo cual Fraunhofer propone que la intensidad de la luz es fundamental para identificar esos elementos en estos espectros. Los resultados de esta actividad se amplían con la incorporación de un prisma, mediante el cual determina si cada uno de estos espectros este compuesto de luz homogénea.

En cuanto a los espectros perfectos de segunda clase, se logra identificar que están compuestos por luz homogénea. Pero, los espectros imperfectos de segunda clase, a partir de la tercera repetición, no se componen de luz homogénea, según las observaciones de Fraunhofer.

De esta actividad, además, cabe destacar la importancia que Fraunhofer asigna a la comparación entre lo observado con la rejilla de difracción y en el prisma al identificar líneas y otras características del espectro. A partir de las regularidades identificadas, se vinculan ambos fenómenos con el espectro:

En el dibujo, he representado en cada espectro solo las líneas más fuertes, aquellas con las que trataremos en adelante; sin embargo, especialmente en los espectros más largos, se pueden ver muchas líneas, exactamente como con un prisma. La intensidad relativa de las líneas y su disposición son las mismas que

*con un prisma. Solo con referencia a los espacios relativos que en cualquier espectro están ocupados por diferentes colores, hay una diferencia llamativa entre los espectros producidos por la rejilla y el prisma. Por esta razón, y porque con algunos tipos de rejillas los espectros son muy pequeños, uno debe estar bien familiarizado con las líneas formadas por un prisma para saber de inmediato, en espectros de cualquier tamaño, con qué bandas o líneas tiene que lidiar. Esto es aún más necesario porque, en los espectros de rejilla que están lejos del eje, las líneas se superponen.*¹⁴ (Fraunhofer, 1898, pág. 23)

En cuanto a las particularidades de esta actividad, se puede señalar que Fraunhofer detectó ciertas consideraciones que son necesarias para el desarrollo de esta actividad. La primera es la relación entre el grosor de los alambres y la distancia de separación entre ellos, siendo esta relación fundamental para observar espectros y en donde él construye nueve rejillas variando esta relación para determinar su utilidad. Luego, realiza la descripción de espectros que encuentra al usar estas rejillas. Señala que con la número 4 que aparentemente es la más útil se pueden observar espectros de primera y segunda clase. Además, describe que realizó un montaje similar al que ya había realizado previamente para determinar si la luz era homogénea y con este montaje encuentra que la luz es de este tipo, al menos en los dos primeros espectros, se componen de luz homogénea, mientras que a partir del tercero se puede observar algunas líneas características de los espectros, pero no están compuestos de luz homogénea. Por último, dado que no se puede asegurar con

¹⁴Fraunhofer (1898, pág. 23): *In the drawing I have represented in each spectrum only the strongest of these lines, those with which we shall have to do hereafter ; there is seen, however, especially in the longer spectra, a great number of lines, exactly as with a prism. The relative intensity of the lines and their arrangement are the same as with a prism. It is only with reference to the relative spaces which in any one spectrum are occupied by different colors that there is a striking difference between the spectra produced by the grating and the prism. On this account, and because with some kinds of gratings the spectra are very small, one must be well acquainted with the lines formed by a prism in order to know at once, in spectra of every size, with which bands or lines he has to do. This is all the more necessary because in the grating-spectra which are far from the axis the lines are superimposed*

toda precisión la ubicación de los alambres y que un cambio en estos produce distorsiones en la imagen observada, hay un límite para lo observado (Fraunhofer, 1898).

La siguiente actividad descrita por Fraunhofer detalla cómo lleva a cabo un experimento usando dos pantallas que le permiten restringir el paso de la luz por solo una de las aberturas de la rejilla de difracción. Inicialmente, permitió el paso por solo una abertura, y observa un espectro de primera clase, similar al observado con rendijas individuales.

Luego, ubica las pantallas para permitir el paso de luz por dos aberturas, entonces pudo observar además de un espectro de primera clase uno imperfecto de segunda clase. Luego configuró las pantallas para incluir una tercera abertura y con ella observó que se formaba un espectro que denomina de tercera clase.

Con la inclusión del espectro de tercera clase, a medida que permitía el paso de luz por más aberturas, los espectros de primera y de segunda clase imperfectos se parecían cada vez más a un espectro perfecto de segunda clase.

3. Conclusiones acerca de la actividad experimental de Fraunhofer

El ejercicio desarrollado por Fraunhofer se distingue por su riqueza y diversidad de momentos desarrollados. La descripción detallada de cada uno de estos momentos es importante porque permite reflexionar acerca de la misma, así como identificar elementos que faciliten la comprensión del progreso entre las propuestas de actividades experimentales desarrolladas. Se destacan las observaciones que generan nuevas inquietudes y los elementos específicos que Fraunhofer detalla de cada actividad. Con el fin de condensar algunas de estas actividades, se organiza la siguiente tabla.

Tabla 6. Elementos destacados de la actividad experimental de Fraunhofer. (Fuente: elaboración propia)

Momento de la actividad experimental	Aportes clave	Observaciones importantes	Conclusiones
Dispersión en el prisma.	Diseño de lentes de calidad. Usando métodos innovadores con ayuda de los prismas.	Identificación de líneas brillantes en el espectro. Dificultades en la determinación de los límites de los colores y problemas con la homogeneidad de la luz.	Las líneas características pueden ser atribuidas a la forma del prisma y sin embargo es necesario revisar otro tipo de fuente de luz.
Experimento de las 6 lámparas.	Formulación de un método para medir los efectos de cada material sobre cada uno de los colores.	Descubrimiento de líneas brillantes y solucionar el problema con la homogeneidad de la luz.	Líneas recurrentes en espectro de diferentes colores, relación entre la distancia y la intensidad en la formación de espectros.
Experimento heliostato.	Uso de diferentes fuentes de luz.	Identificación de las líneas negras en el espectro producido por la luz del sol.	Las líneas negras son particulares del sol y no se deben a los defectos que puedan tener los prismas.
Estudio de la difracción	Estudio de los efectos de la difracción con diferentes rendijas	Formulación de un método para medir los efectos de la difracción.	Ángulos de difracción son inversamente proporcionales al ancho de las rendijas.
Experimento con rejillas	Uso de rejillas para difracción	Observación de espectros y categorización de estos	Consideraciones en la configuración de rejillas para observar las líneas del espectro.

En cuanto a la actividad experimental de Fraunhofer se debe reconocer como fundamental para el desarrollo de diversos elementos que son cruciales para el campo de la espectroscopia. Inicialmente centrado en los aportes de tipo técnico como la mejor calibración de vidrios, a él se le atribuye la invención de una maquina pulidora de vidrio. No obstante, su importancia en el campo se consolida al inventar un método para la

producción de vidrio acromático, siendo este tan importante para la época que se mantuvo como un secreto durante bastante tiempo.

Además, de la revisión de esta primera etapa de la actividad experimental de Fraunhofer surgen elementos para describir la actividad de Fraunhofer, dado que inicialmente no se lograba entender el funcionamiento de su montaje y el papel de los elementos que lo componen, además luego, se pudo identificar cuáles fueron las intenciones que acompañaron este proceso.

En ese sentido el proceso y el papel que ocupa Fraunhofer dentro de la sociedad alemana posibilitan e impulsan su interés hacia la naturaleza de la luz, especialmente en la calibración de los lentes que diseñaba. Aunque su objetivo inicial era mejorar los instrumentos de laboratorio, su contribución trasciende al ofrecer valiosos aportes a la concepción del espectro. Aunque autores de la época como Isaac Newton, Thomas Melvill, William Wollaston entre otros, abordaron actividades relacionadas con el espectro, el trabajo de Fraunhofer se destaca porque amplía el campo de interés en el espectro y propone nuevos montajes como el de las seis lámparas e incorpora instrumentos como el teodolito.

En ese sentido que la actividad experimental sea intencionada y esté condicionada nos hace pensar que lo que sucede en el laboratorio puede ser limitado, pero lejos de ello, al revisar el trabajo que realiza Fraunhofer se encuentra un amplio rango de resultados, que se derivan de las preguntas que formulaba el autor a medida que realizaba su proceso.

Inicialmente su intención no es estudiar el espectro, su actividad responde a su labor como fabricante de lentes, en el proceso de calibrar las lentes se diseñan las actividades iniciales, por eso pasa del uso de filtros a los montajes con una y seis lámparas, en estos últimos dos experimentos la actividad genera otro tipo de preguntas, en ese sentido es importante resaltar el trabajo que hace el autor, al realizar los registros detallados de lo que observaba y las preguntas que de allí surgieron.

Entonces, de este amplio rango de actividades intencionadas, el elemento que más destaca su papel en el campo de las ciencias y sobre todo en el campo de la óptica, es su trabajo entrono a la clasificación de las líneas espectrales, a partir de este trabajo se genera quizás el aporte más significativo de Fraunhofer. La organización de estas líneas le permite comprobar que estas líneas no son productos de los defectos de los prismas, comparar la luz de diferentes fuentes lumínicas y afirmar que tienen diferentes naturalezas. El estudio del espectro producido por el sol es muy significativo y marca un elemento de análisis de la actividad experimental, al encontrar las líneas negras verticales en el espectro del sol, cambia los prismas, los ángulos de incidencia y otras variables, luego de ello sigue encontrando el mismo patrón, gracias a este proceso puede concluir que estas no son producto de los imperfectos del material o de la forma del prisma, sino que dan cuenta de cualidades de la luz. En ese sentido, la intención del autor cambió, su proceso no responde a la necesidad de calibrar una lente, sino que ahora quiere caracterizar esa particularidad en el espectro, por eso las actividades que realiza posteriormente tienen el propósito de identificar las líneas que observa. Pero, además, comparar y reconocer similitudes con diferentes instrumentos como las rejillas de difracción y los prismas y determinar que con estos dos montajes ve el mismo efecto, aunque sean fenómenos diferentes.

Los aportes de Fraunhofer, particularmente lo relacionado con la caracterización de las líneas espectrales, marcan un precedente en el estudio del espectro, dado que son fundamentales en otros trabajos posteriores como los de Kirchoff, Bunsen, Gamow, entre otros, quienes usan su clasificación de las líneas para describir sus resultados. En este sentido, la actividad experimental de Fraunhofer se establece como importante y perdurable en el campo de la espectroscopia y de la óptica.

Fraunhofer establece una forma de describir lo que observa al acuñar términos como líneas brillantes y líneas oscuras presenta una formalización de carácter pragmático, según la categorización propuesta por (Malagon, Ayala, & Sandoval, 2013). De igual forma es necesario destacar el papel de la representación, al construir un diagrama que presenta

lo que observa en el caso de las líneas oscuras del sol, en donde organiza esas características, que se constituye en otro tipo de formalización.

En contraste con la actividad descrita previamente, se puede concluir que los montajes presentados en los libros de texto no son del todo precisos, la configuración de los elementos es diferente, por ejemplo, el lugar en el que se ubican los instrumentos es importante en la actividad experimental, de hecho, esas representaciones que se encuentran en los libros de texto no representan la complejidad de cómo se configura el montaje experimental.

Además, aquí es importante señalar que usa la palabra espectro para denotar la luz de diferentes colores que sale del prisma, esta forma de denotar la luz que emerge del prisma era algo que ya estaba en el vocabulario que utiliza el autor en sus descripciones y al menos en este texto no hay una aclaración acerca de si es una palabra que él usa por primera vez o se deriva del trabajo de alguien más. Pero sí es claro que en función de las regularidades identificadas de la primera actividad experimental realizada con prismas surge la noción de espectro que le permite identificarlo en la actividad con rejillas.

Por último, resulta importante destacar de esta actividad de lectura la manera en que Fraunhofer ofrece una explicación al hecho de poder observar el espectro desde esos dos trabajos realizados uno en refracción y otro en difracción. Inicialmente, sus esfuerzos son en función de estudiar elementos relacionados con el fenómeno de la refracción, al explorar este fenómeno, emerge la necesidad de abordar la dispersión como fenómeno. En este contexto, la interacción de la luz con objetos refractantes se amplía más allá de simplemente dar cuenta del cambio de la dirección o velocidad de la luz monocromática. Se observa como la interacción de la luz con este tipo de objetos refractantes, como el prisma, permite la dispersión de la luz en cada una de las longitudes de onda que componen la luz, lo que propone interrogantes para el estudio de la dispersión como fenómeno.

Continuando con este proceso, Fraunhofer profundiza en el desarrollo de su actividad experimental, pero luego se centra en el fenómeno de la difracción. Durante el

desarrollo de las diferentes experiencias que realiza, Fraunhofer presenta particularidades de este fenómeno que no se presentan en los libros de texto como la forma en la que se organizan los espectros de primera clase. Aunque no proporciona siempre una explicación para los fenómenos que observa, en la parte final de su trabajo, el autor hace referencia a que la explicación de estos fenómenos se puede construir considerando los trabajos de Thomas Young. En ese sentido, se puede construir una conexión para explicar la dispersión y por lo tanto la aparición del espectro en este caso y relacionarlo con lo observado con el prisma.

Capítulo 3: Diseño e implementación de actividades experimentales para la enseñanza del espectro de luz visible

La actividad experimental presentada a continuación se desarrolla con el objetivo de aproximarse a la noción de espectro, recogiendo algunas de las preguntas emergentes de la lectura del trabajo de Fraunhofer. La actividad se estructura en tres etapas distintas, en respuesta además a la revisión de las fuentes de información que incluye libros de texto, artículos y trabajos de grado relacionados con la enseñanza del espectro.

La primera parte de la actividad experimental denominada: *Análisis espectral con prismas y rejillas*, está diseñada para identificar elementos con los cuales se pueda reflexionar acerca de la caracterización del espectro como producto de la interacción de la luz con el prisma y la rejilla de difracción. En función de las preguntas que acompañan el desarrollo de este trabajo y con las planteadas en el capítulo anterior, se propone continuar con la cuestión de qué permite caracterizar el espectro. En cuanto a las preguntas que surgieron durante el estudio de *Prismatic and Diffraction Spectra* (Fraunhofer, 1898), se logró identificar que la disposición de líneas brillantes particulares dentro de un conjunto de líneas o bandas de colores característicos daban cuenta de la relación del espectro de una fuente de luz, como un tubo de descarga¹⁵. En ese sentido, estas particularidades en la lectura de Fraunhofer permiten aproximarse a los montajes propuestos para esta primera etapa.

Es necesario aclarar, que el objetivo no es replicar los experimentos de Fraunhofer, en cambio, se pretende realizar una aproximación al uso del prisma y la rejilla de difracción para observar el espectro, es por eso, que se consideraron tres montajes experimentales: dos de ellos hacen uso de un prisma y uno de ellos emplea una rejilla de difracción. El

¹⁵ En el contexto de este trabajo, se considera que un tubo de descarga es un objeto de vidrio de forma cilíndrica que contiene un gas a baja presión. Al someterse a una diferencia de potencial alta, el tubo de descarga permite observar el paso de una corriente eléctrica desde el ánodo al cátodo del tubo, que se ubica en los extremos del tubo.

primero consta de un espectroscopio, dado que este instrumento está diseñado con el propósito de observar espectros; y, al igual que la rejilla de difracción, es un instrumento que ha pasado por un proceso de diseño y que responde a un interés sobre un campo de estudio para este tipo de actividades.

Por otro lado, el segundo montaje, *Exploración con rejillas de difracción*, consta principalmente de una rendija y un prisma, este montaje se propone para contrastar las observaciones realizadas con los otros montajes, pero además permite contrastar, en este caso particular del espectroscopio, las partes que componen estos montajes, así como su disposición. Por último, el uso de la rejilla de difracción responde a la necesidad de acercarse a las descripciones que realiza Fraunhofer, qué aspectos se puede comparar lo observado con los montajes que usan el prisma y éste que usa la rejilla de difracción.

Con estos montajes, se usaron tres fuentes de luz diferentes: una vela, un tubo de descarga y un mechero Bunsen, con el propósito de identificar los espectros que aparecen en cada montaje.

En la segunda etapa de la actividad experimental, se propone el uso de la rejilla de difracción y varios tipos de tubos de descarga, para identificar las características particulares que nos permiten reconocer el espectro de diferentes gases y observar si varían y cómo sucede esto en función de la intensidad de la luz emitida por el tubo. El uso de la rejilla es debido a que en la primera actividad se identificó que ésta resulta ser el instrumento más útil para identificar características en el espectro y sus peculiaridades. Además, porque en el texto consultado Fraunhofer sugiere que su uso permite observar los espectros de manera muy similar a como se haría con un prisma de alta calidad.

Finalmente, la tercera parte de la actividad, *Construcción de espectroscopio escolar*, se concibe pensando en la práctica más común que se identificó en la lectura de otros trabajos diseñados en función de la enseñanza del espectro, como el de Ramos (2022), López (2020), Peña Triana (2012), etc. Donde se propone la construcción de un espectroscopio casero que es un instrumento que reemplaza el prisma y la rejilla de

difracción con el uso de un trozo de CD. En esta instancia, se propone diseñar un instrumento similar que permita variar el ángulo con el que llega la luz al trozo de CD, el tamaño de la apertura por donde ingresa la luz y la distancia entre la apertura y el CD. La finalidad de esta actividad es examinar qué elementos son consistentes con las regularidades observadas anteriormente y que son necesarias para garantizar que al llevar esta práctica al aula sea posible la construcción una idea del espectro.

A continuación, se presenta la actividad experimental dividida en tres momentos, en cada uno de ellos se presenta el montaje realizado, así como los objetivos que lo orientaron y las reflexiones emergentes de cada uno.

1. Análisis espectral con prismas y rejillas.

La primera parte de la actividad experimental se organizó con la intención de construir conocimiento alrededor del estudio del espectro de luz visible y porque además se considera que se pueden configurar como un insumo para futuros trabajos, si se tiene en cuenta que estas descripciones no se desarrollan adecuadamente en los libros de texto consultados. Estos objetivos sobre los cuales se desea reflexionar son:

Tabla 7. *Objetivos actividad 1(Elaboración propia).*

Identificar consideraciones técnicas para la realización de cada montaje experimental.	Se ve la necesidad de identificar consideraciones de orden técnico para el desarrollo de cada uno de los montajes experimentales. En este caso implica identificar la disposición de cada uno de los elementos del montaje, así como la manipulación que da el usuario, que además, permite reconocer las cualidades de cada montaje y los beneficios del uso que presenta cada uno.
Determinar las variables que influyen en las observaciones de cada montaje.	Es importante considerar las variables que influyen en las observaciones de cada uno de los montajes. Para así ofrecer una descripción detallada de las experiencias, para además contrastar con las experiencias brindadas por Fraunhofer.
Identificar las regularidades del espectro en cada uno de los montajes experimentales.	Enlazado con el objetivo anterior, la intención es destacar esas particularidades que son regulares en los montajes con el fin de profundizar en lo que implica observar el espectro producido por fenómenos diferentes.
Apropiar elementos que permitan construir una noción de espectro y los tipos de espectro en función de esas regularidades.	En este caso el objetivo es enriquecer el trabajo que previamente se ha realizado en función de la comprensión del espectro considerando las contribuciones de la lectura y las experiencias realizadas.

- Identificar consideraciones técnicas para la realización de cada montaje experimental.
- Determinar las variables que influyen en las observaciones de cada montaje.
- Identificar las regularidades del espectro en cada uno de los montajes experimentales.
- Apropiar elementos que permitan construir una noción de espectro y los tipos de espectro en función de esas regularidades.

A continuación, se presentará la descripción de cada uno de los montajes que se usaron en esta primera etapa:

- Espectroscopio: Este instrumento consta de tres tubos y una base para ubicar un prisma. En uno de los “brazos” del instrumento se ubica una rendija que se debe orientar hacia la fuente de luz y que cuenta con un tornillo que abre y cierra la rejilla

(ubicada en uno de los extremos del tubo) para ajustar el tamaño de la apertura, esto funcionaría como la apertura en la pared en el caso del trabajo de Fraunhofer; el otro extremo del tubo se direcciona hacia el prisma. Otro de los “brazos” (el de la derecha en la imagen 11) sirve como telescopio, uno de los extremos que apunta hacia el prisma y el otro tiene una abertura por la cual se observa aquello que esté en el eje óptico del telescopio, Este “brazo” podía moverse alrededor del prisma y se ubicó a un ángulo de 60° aproximadamente para observar la variación de la imagen del prisma. La ubicación del prisma es fundamental porque de no ubicarse bien la imagen del espectro puede ser más angosta o simplemente no se observa nada.

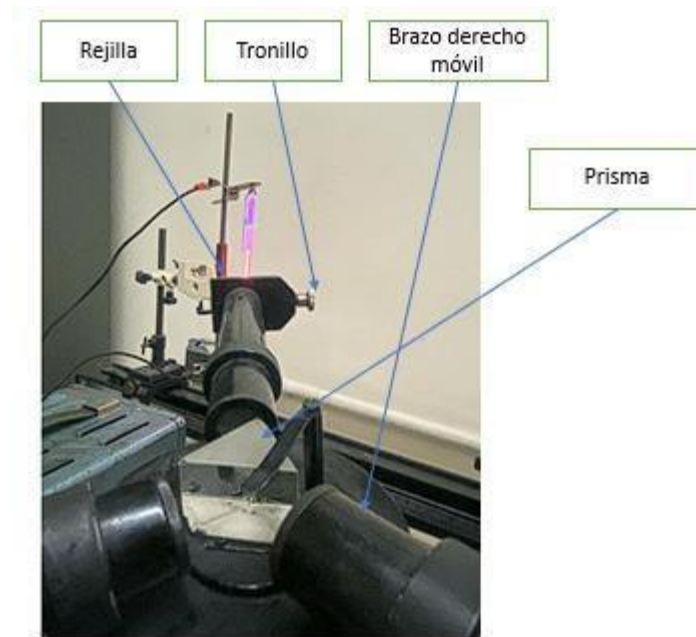


Imagen 11. Montaje espectroscopio (elaboración propia)

- Prisma y colimador: en este montaje, se identificaron tres elementos clave: la fuente de luz, el prisma y el colimador. Estos tres instrumentos se alinearon cuidadosamente para permitir que “un rayo” de luz proveniente de la fuente atravesara el colimador y pasara luego por el prisma. Se consideró necesario el uso de un colimador en el que se pudiera ajustar la apertura, manteniendo una distancia

de unos 30 cm entre el colimador y el prisma, y aproximadamente 10 cm entre el colimador y la fuente. En el desarrollo de la actividad se identificó que se debe ubicar el prisma con un ángulo que permita que la luz que atraviesa el colimador llegue al prisma con un ángulo de aproximadamente 60° grados, pero si no es posible se puede configurar el prisma observado a través de éste al colimador hasta obtener la configuración del espectro más clara.

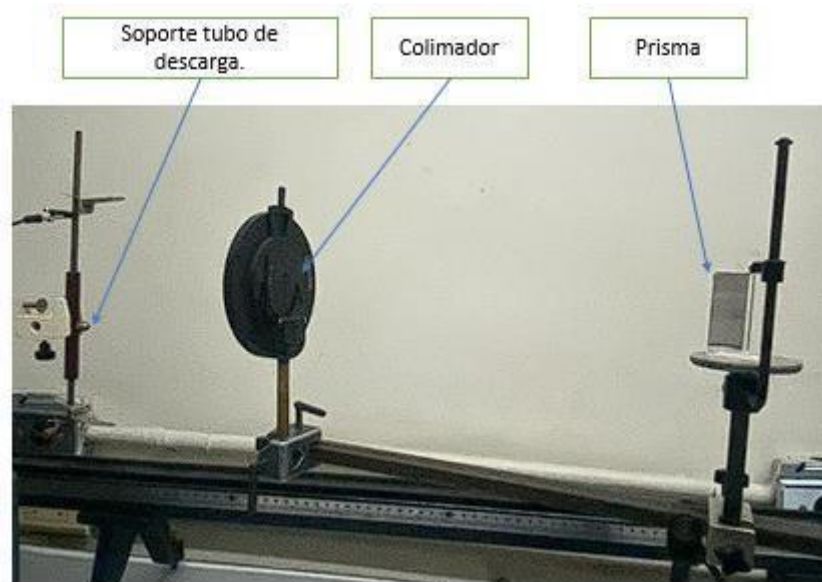


Imagen 12. Montaje prisma y rejilla. (elaboración propia)

- Rejilla de difracción: la rejilla de difracción se fijó a una distancia específica de la fuente de luz, y se observó a través de ella hacia la fuente de luz. Se pudo apreciar la configuración de los espectros observados hacia los lados de la rejilla y además se pudo evidenciar que la distancia a la que se colocara no varía la configuración del espectro.



Imagen 13. Montaje rejilla de difracción (elaboración propia)

En relación con las consideraciones en la realización de cada montaje experimental, es fundamental tener en cuenta las particularidades de cada instrumento. En el caso del espectroscopio y la rejilla de difracción, se destaca la facilidad para usarlos, ya que están diseñados específicamente para realizar este tipo de experiencias. Por ejemplo, en el espectroscopio, la ubicación del prisma está señalada y al mover el brazo derecho, no se observan variaciones significativas en la imagen más allá de la posición que ocupará dentro del campo visual y que al cerrar la apertura del espectroscopio solo se observa una disminución en el brillo de la imagen. Del mismo modo, la rejilla de difracción resulta fácil de usar, ya que se puede colocar a diferentes distancias del tubo de descarga sin que haya cambios notables en la observación de la configuración del espectro, siempre y cuando esté correctamente alineada con la fuente de luz. Con respecto a la intensidad de la luz de la fuente, que para el caso de los tubos de descarga se controla aumentando o disminuyendo la tensión que proporciona la fuente de voltaje, es importante denotar que a mayor intensidad se observan las líneas características con mayor intensidad en los tres montajes.

Por otro lado, en el caso del montaje con el prisma y el colimador, surge una consideración adicional sobre la posición del prisma. Es crucial alinear a la misma altura los elementos identificados previamente. Además, se debe considerar el ángulo con el que un rayo de luz atraviesa el colimador y llega al prisma. Este ángulo es importante porque

al modificarlo se ensancha o estrecha la configuración de colores en la imagen que se observa en el prisma, permitiendo la observación de las líneas a las que hace referencia Fraunhofer en la descripción de su actividad experimental.

Al analizar la influencia de las variables en cada montaje, se identificaron unas relevantes, como la distancia a la que se ubicaron los elementos que conforman los montajes experimentales; por ejemplo, se observó que, para el espectroscopio y el montaje del prisma con el colimador, era crucial mantener las fuentes de luz cercanas a ellos. Sin embargo, en el caso de la rejilla de difracción, la distancia no tiene ningún impacto significativo en los resultados observados.

Asimismo, se pudo determinar que la intensidad de la luz proveniente de los tubos de descarga afectaba más lo observado, ya que a mayor intensidad lumínica se podían identificar las líneas brillantes con mayor facilidad, pero así mismo en algunos casos estas líneas se superponían por su intensidad. La intensidad de luz se controlaba al aumentar tensión que proporcionaba la fuente a la cual se conectan los tubos de descarga.

En relación con las aperturas de las rendijas, se observó que, para el espectroscopio y el montaje del prisma con el colimador, el ajuste de la apertura solo influía en el brillo de la imagen observada en el prisma, pero no tenía efecto sobre la configuración de los colores que se observaban.

Tabla 8. Caracterización de los montajes experimentales (Elaboración propia).

Montaje	Consideraciones clave	VARIABLES	Características destacadas	Configuración del espectro
Espectroscopio	Ubicación y ajuste de la rendija y el prisma	Intensidad de la fuente de luz Distancia entre la fuente y el instrumento	Configuración de colores Permite observar líneas bien definidas	Presentan distribución de colores nítida Muestra algunas líneas brillantes

Prisma y colimador	Alineación precisa de la fuente de luz, el colimador y el prisma Configuración del ángulo del prisma	Intensidad de la fuente de luz Distancia entre el colimador, la fuente y el prisma	Ajuste del ángulo para observar las líneas específicas	Exhibe una gama de colores con líneas brillantes.
Rejilla de difracción	Alineación flexible en términos de la distancia de la rejilla con respecto a la fuente de luz	Intensidad de la fuente de luz Número de líneas de la rejilla de difracción	Mínimo impacto al cambiar la distancia en la configuración del espectro	Muestra una distribución de líneas y se destacan con facilidad las más brillantes

A continuación, se presenta una tabla donde se organizan las observaciones en función de las características destacadas, como líneas brillantes y la distribución de colores que se identificaron con cada uno de los montajes y fuentes luminosas. En las filas se observan las características identificadas a partir de cada montaje, estos se ubican en las columnas.

Tabla 9. Resultados usando como fuente de luz el tubo de descarga de hidrógeno (Elaboración propia).

Características del espectro / Montaje	Líneas características	Distribución de colores de izquierda a derecha	Observaciones adicionales
Espectroscopio	Línea azul y roja	Rojo, amarillo, verde y azul	Las franjas parecen tener el mismo tamaño (espectro continuo).
Prisma y colimador	Línea azul y roja	Rojo, amarillo, verde y azul	Las franjas parecen tener el mismo tamaño (espectro continuo).
Rejilla de difracción	Línea azul, amarilla y roja.	Azul, verde, amarillo y rojo.	Espectro con líneas brillantes azul, amarilla y roja. Siendo la roja la más brillante.

Tabla 10. Resultados usando como fuente de luz vela (Elaboración propia).

Características del espectro / Montaje	Líneas características	Distribución de colores de izquierda a derecha	Observaciones adicionales
Espectroscopio	No	Rojo, amarillo verde y azul.	La franja de color amarillo es de un tamaño notablemente menor en comparación con los otros colores (espectro continuo).
Prisma y colimador	No	Rojo, amarillo verde y azul.	La franja de color amarillo es de un tamaño notablemente menor en comparación con los otros colores (espectro continuo).
Rejilla de difracción	No	Azul, verde, amarillo y rojo.	Se observa un espectro continuo con una franja de color amarillo similar al de la llama de la vela (espectro continuo).

Tabla 11. Resultados usando como fuente de luz mechero bunsen (Elaboración propia).

Características del espectro / Montaje	Líneas características	Distribución de colores de izquierda a derecha	Observaciones adicionales
Espectroscopio	No	Rojo, amarillo verde y azul. Espectro continuo.	La franja de color verde es de un tamaño notablemente menor en comparación con los otros colores (espectro continuo).
Prisma y colimador	No	Rojo, amarillo verde y azul.	La franja de color verde es de un tamaño notablemente menor en comparación con los

			otros colores (espectro continuo).
Rejilla de difracción	No	Azul, verde, amarillo y rojo.	Se observa un espectro continuo con una franja más brillante del color de la llama (espectro continuo).

Con base en la identificación de regularidades entre los tres montajes experimentales, se puede observar que la rejilla de difracción permite identificar líneas brillantes adicionales. Mientras que los montajes con el prisma y el espectroscopio resultan útiles para identificar algunas líneas que resaltan en los espectros que generalmente se presentan continuos, es decir, sin espacios oscuros. En el caso de la rejilla de difracción, sin embargo, es posible apreciar espacios (de diferentes grosores) entre líneas. Es crucial reconocer que con los tres montajes se observaron los mismos colores. Observando a través de la rejilla de difracción se encuentran espectros a ambos lados del tubo de descarga, se describen los espectros a la derecha para este caso, los cuales se distribuyen ocupando espacios de manera opuesta a los casos de los otros dos montajes, aunque mantienen los mismos colores.

En relación con las fuentes de luz, tanto el mechero bunsen como la vela generan espectros continuos donde hay poca identificación de características distintivas, más allá de una línea brillante que es del color particular de la llama y la intensidad del brillo de la imagen disminuye cuando se cierra el colimador.

2. Exploración de rejillas de difracción

La segunda etapa de la actividad experimental se desarrolló usando el mismo montaje empleado en la primera actividad (Imagen 13. Montaje rejilla de difracción Imagen 13), este usa la rejilla de difracción. En esta actividad, se introducen otros tubos de descarga (hidrogeno, neón, helio, argón, xenón, kriptón y vapor de agua) con el objetivo de

identificar las características particulares, como los colores presentes en el espectro, las líneas brillantes y los espacios oscuros, que permiten reconocer el espectro de los diferentes gases y sustancias. Esta elección se da además en función de observar líneas específicas, como la línea roja del hidrógeno o la línea doble del sodio, destacadas en los libros de texto y trabajos como el de sir William Huggins (Maunder, 1913). El propósito era examinar la particularidad y distribución de estas líneas para registrar y comparar sus diferencias.

Adicionalmente, se planteó la importancia de indagar acerca de las variaciones en los espectros al modificar la intensidad de la luz emitida por los tubos de descarga. Siguiendo la sugerencia de los libros de texto o el trabajo de Fraunhofer sobre la relevancia de la cantidad de luz, se buscó identificar como se daban estas variaciones. Aunque no se cuantificaron de manera precisa las relaciones entre luminosidad y voltaje, dado que no es posible en función de las limitaciones en los materiales disponibles. El enfoque adoptado consiste en ajustar gradualmente la tensión hasta lograr la emisión de luz, para luego aumentar la tensión (voltaje) de manera gradual y observando las alteraciones en la imagen resultante.

En concordancia con las inquietudes generadas en la lectura del trabajo de Fraunhofer sobre los espectros perfectos de segunda y tercera clase, se exploró además la distribución de las repeticiones de las líneas espectrales. Mientras que con el prisma se observa solo un espectro, con la rejilla de difracción se observan múltiples, al observar más hacia la derecha o a la izquierda, se puede ver varios espectros adicionales, aparentemente estas repeticiones guardan relación con el primero con algunas variaciones, como lo describe Fraunhofer.

En función de estos elementos, las características fundamentales sobre las cuales se construirá la descripción de las observaciones incluyen la identificación de los colores presentes, la observación de líneas brillantes distintivas, la presencia de espacios oscuros entre las líneas espectrales, las particularidades de las repeticiones de los espectros y los

efectos notables al variar la tensión suministrada a los tubos de descarga, como se muestra en las siguientes tablas.

Las tablas que presentan los hallazgos de este trabajo están estructuradas para exhibir tres imágenes diferentes. En primer lugar, se presenta el espectro observado a la derecha al observar mediante la rejilla de difracción, seguido de su contraparte observada a la izquierda. Luego, se incluye una representación visual del espectro al aumentar el voltaje como se ilustró previamente.

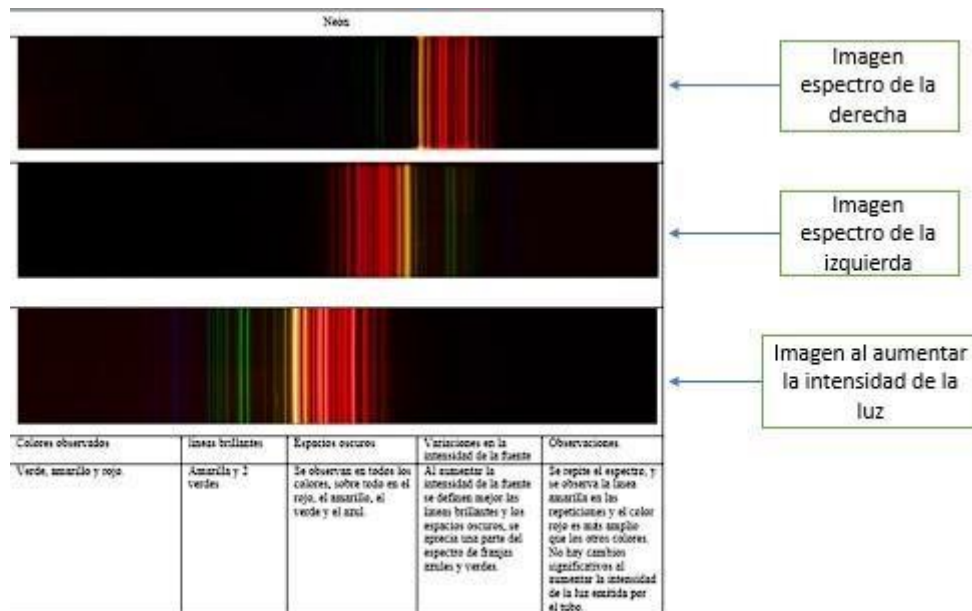


Imagen 14. Explicación tabla de resultados (elaboración propia)

En la descripción realizada se hace referencia a las líneas brillantes y a los espacios oscuros. A continuación, se presenta una imagen a modo de ejemplo para ilustrar estos elementos distintivos de los espectros.

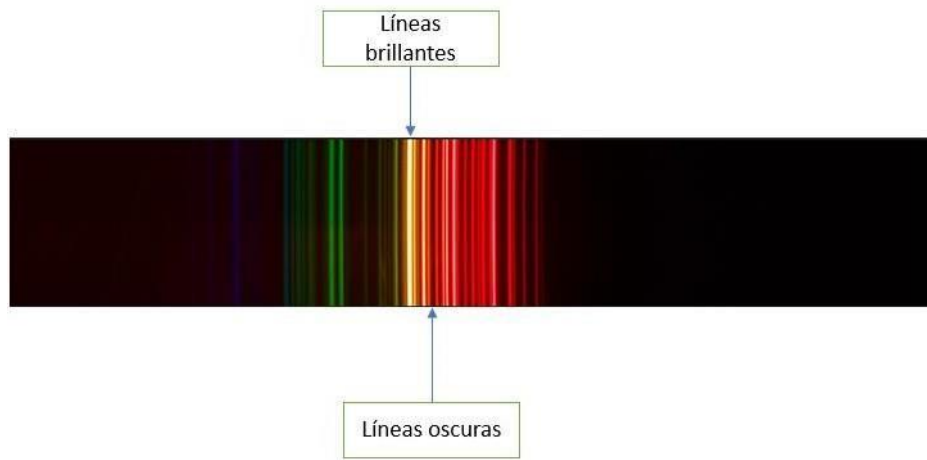


Imagen 15. Explicación para análisis de imágenes (elaboración propia)

Al finalizar se incluyen imágenes de los espectros secundarios. Estos espectros poseen un formato diferente, ya que para tener registro de ellos se usaron otros instrumentos como cámaras de celular que permiten tener una imagen más amplia.

Tabla 12. Análisis espectro del hidrógeno (Elaboración propia).

Hidrógeno.				
Colores observados	líneas brillantes	Espacios oscuros	Variaciones en la intensidad de la fuente	Observaciones.
Violeta, verde, amarillo y rojo.	Azul, verde, amarillo y rojo.	Si, especialmente grande al finalizar la franja roja del primer espectro.	Al aumentar la intensidad de la fuente se definen mejor las líneas brillantes y los espacios oscuros	En los espectros secundarios se distribuyen de manera más amplia las franjas de colores, llegando a mezclarse. Sin embargo, las líneas brillantes se repiten desatacando la presencia de la línea roja en particular.

Tabla 13. Análisis espectro del neón (Elaboración propia).

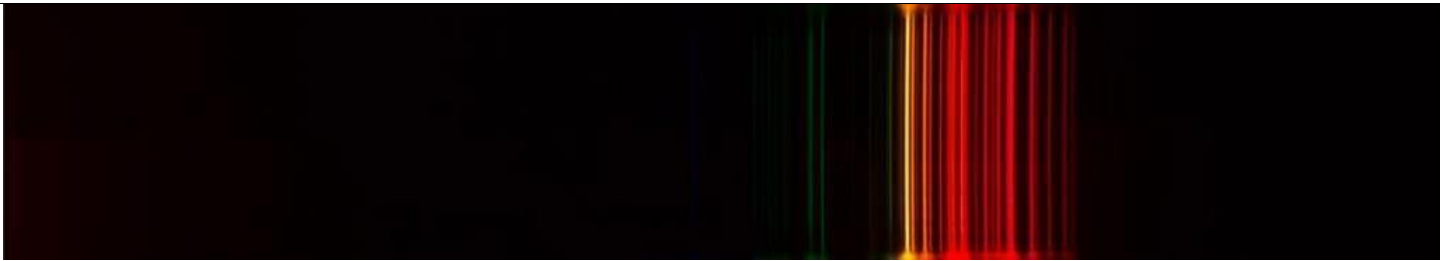


Neón				
				
				
				
Colores observados	líneas brillantes	Espacios oscuros	Variaciones en la intensidad de la fuente	Observaciones
Verde, amarillo y rojo.	Amarilla y 2 verdes	Se observan en todos los colores, pero son líneas más definidas en las franjas de colores rojo, amarillo y verde.	Al aumentar la intensidad de la fuente se definen mejor las líneas brillantes y los espacios oscuros, se aprecia una parte del espectro de franjas azul y verde y dos líneas brillantes de color rojo.	En los espectros secundarios, se permite el espectro, destacando la presencia de la línea amarilla en las repeticiones y notándose que la franja de color rojo es más brillante que las demás.

Tabla 14. Análisis espectro del helio (Elaboración propia).



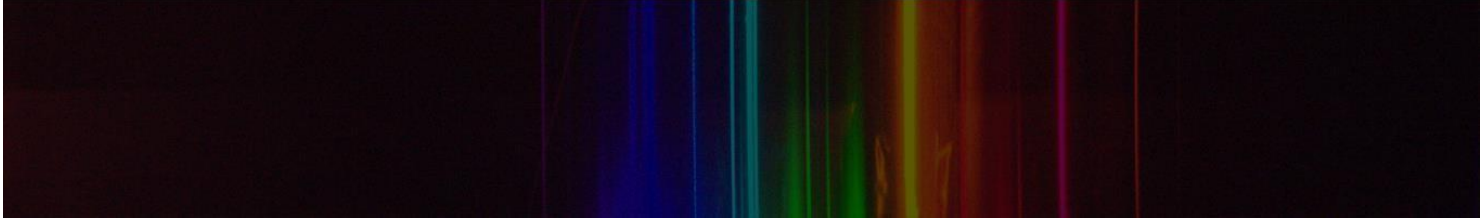
Helio				
				
				
				
Colores observados	líneas brillantes	Espacios oscuros	Variaciones en la intensidad de la fuente	Observaciones.
Violeta, verde, amarillo y rojo	1 violeta, 3 azules, 1 amarilla y 1 roja.	Se ven una gran cantidad de espacios oscuros que son más anchos que en otras ocasiones.	Al aumentar la intensidad de la fuente, se definen mejor las líneas brillantes, se notan más algunas bandas de colores y los espacios oscuros se vuelven más angostos.	Con el aumento de la intensidad de la fuente, se observan franjas negras en la repetición de los espectros. Que antes se veían más difusos.

Tabla 15. Análisis espectro del Argón (Elaboración propia).

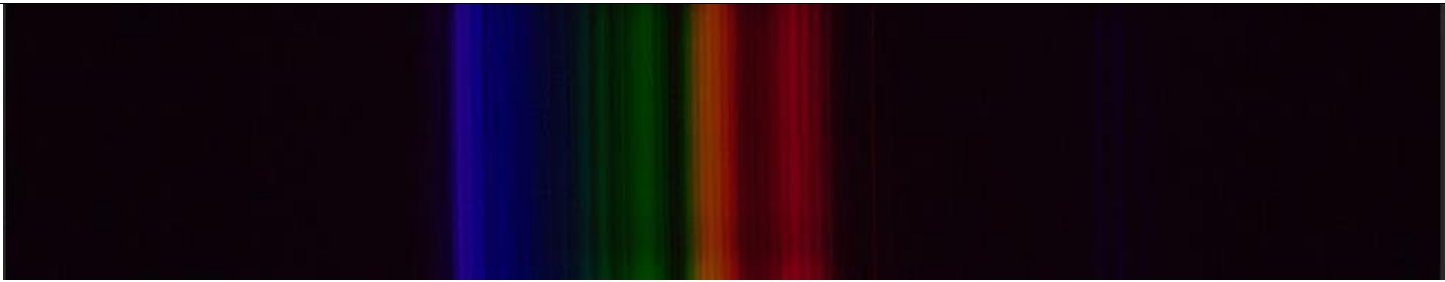
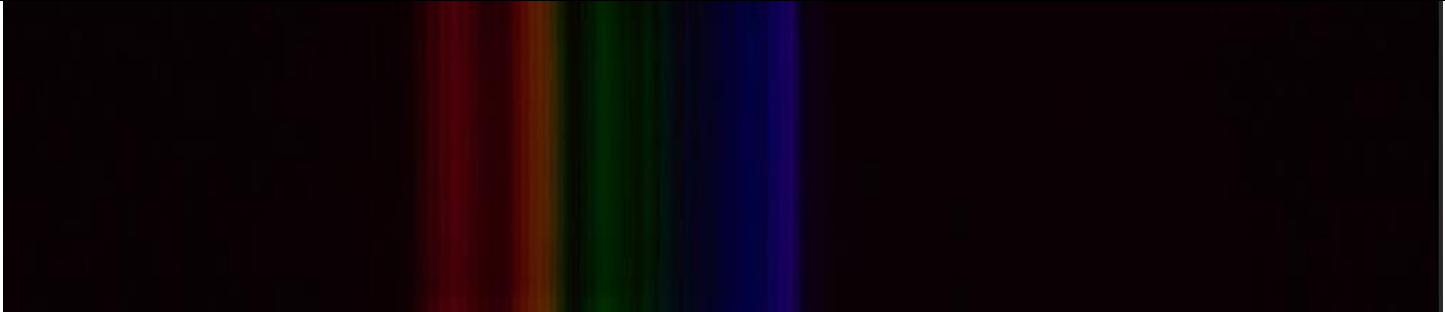
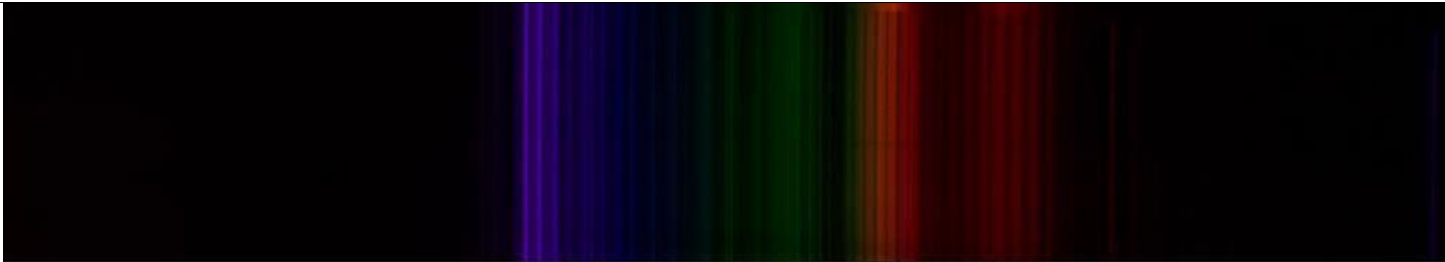
Argón				
				
				
				
Colores observados	Líneas brillantes	Espacios oscuros	Variaciones en la intensidad de la fuente	Observaciones
Violeta, verde, amarillo y rojo	No inicialmente, pero al aumentar la intensidad de la fuente se definen tres líneas violetas.	Se ven una gran cantidad de espacios oscuros.	Se vuelve más brillante el espectro sin embargo no son claras las líneas características, pero aparece una línea roja que se repite en el segundo espectro con el mismo color y luego cambia su color hacia un color naranja.	En las repeticiones del espectro se ven difusos los colores y combinados, aparecen colores como el naranja.

Tabla 16. Análisis del espectro del Xenón (Elaboración propia).

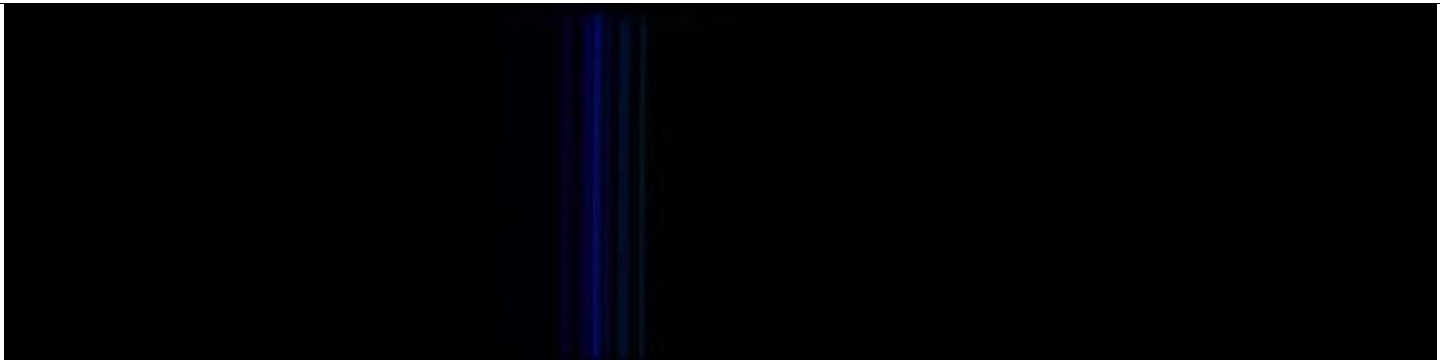
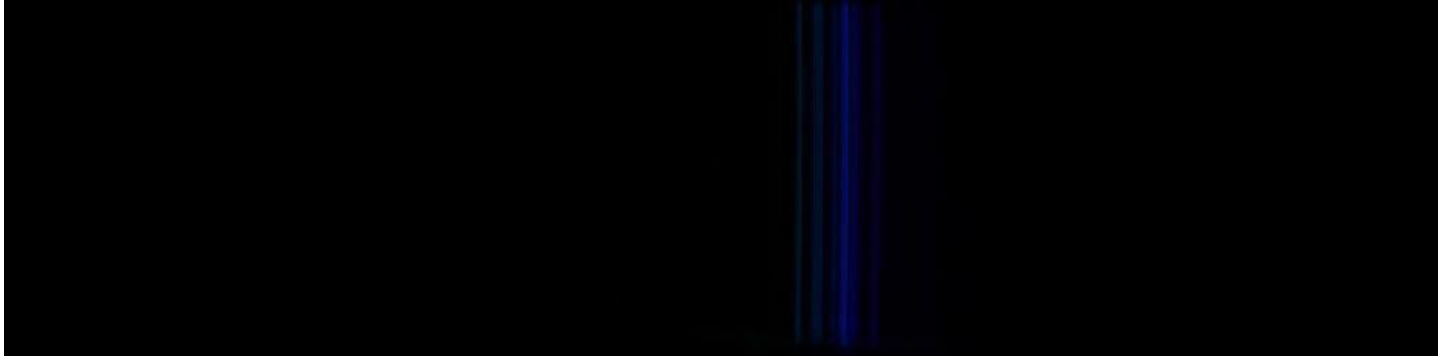
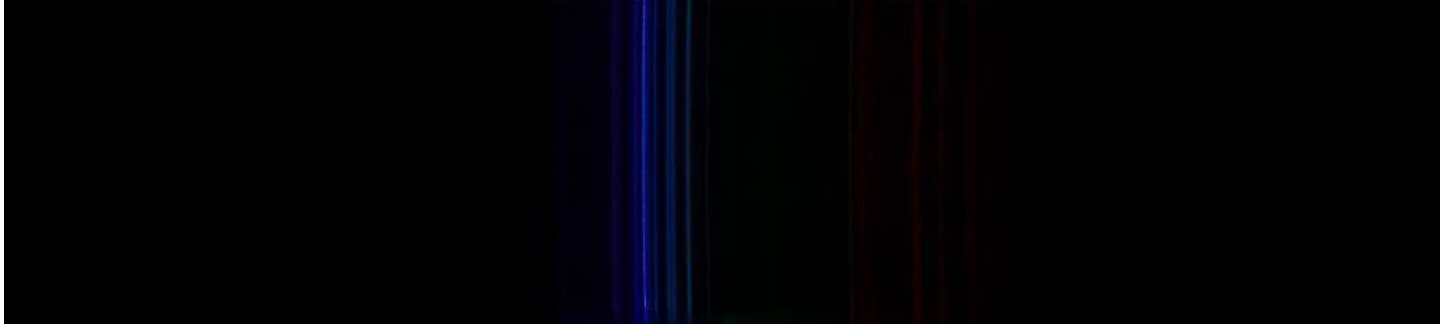
Xenón				
				
				
				
Colores observados	Líneas brillantes	Espacios oscuros	Variaciones en la intensidad de la fuente	Observaciones
Violeta, verde, amarillo y rojo	No se observan líneas brillantes claras, luego al aumentar la tensión se definen una línea azul.	Se ven una gran cantidad de espacios oscuros.	Se vuelve más brillante el espectro se observan unas líneas de otros colores y se define una línea azul.	En las repeticiones del espectro se ven difusos los colores.

Tabla 17. Análisis espectro del Kriptón (Elaboración propia).

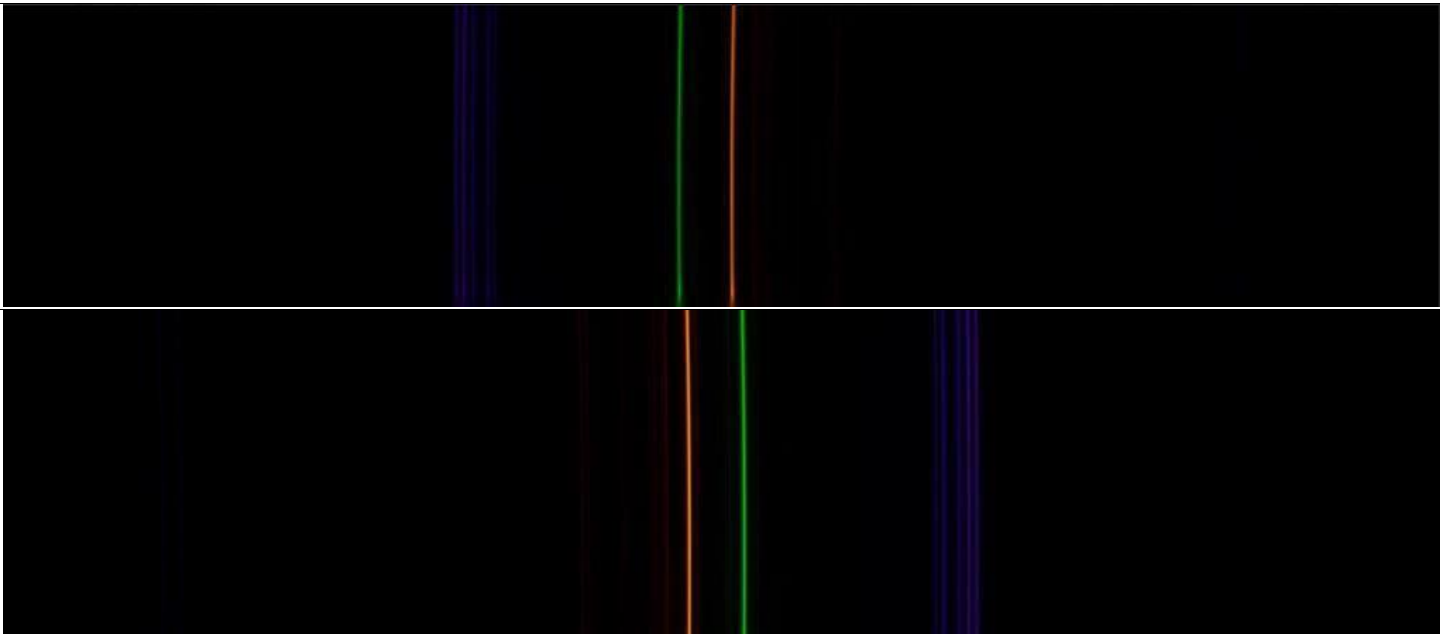
Kriptón				
				
Colores observados	Líneas brillantes	Espacios oscuros	Variaciones en la intensidad de la fuente	Observaciones
Violeta, verde, amarillo y rojo	Violeta, verde y naranja (entre el amarillo y el rojo)	Se ven una gran cantidad de espacios oscuros. Luego del violeta un espacio grande y luego aparece el verde otro espacio y e amarillo que alterna espacios con el color rojo.	Al aumentar la intensidad se define de la línea naranja y su color toma una tonalidad más amarilla.	El tubo cambia su coloración de amarillo y pasa a violeta cuando se observa por la rejilla. Las repeticiones son franjas de color verde amarillo y rojo y se repite la línea roja.

Tabla 18. Análisis espectro del vapor de agua (Elaboración propia).

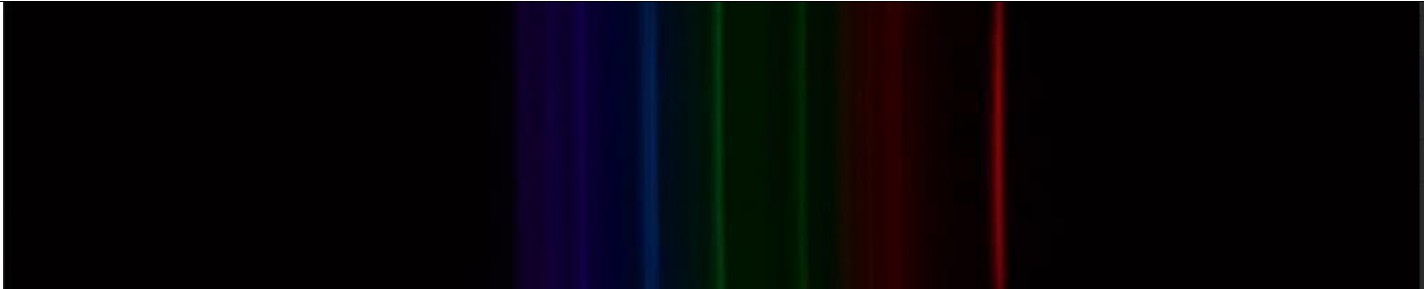
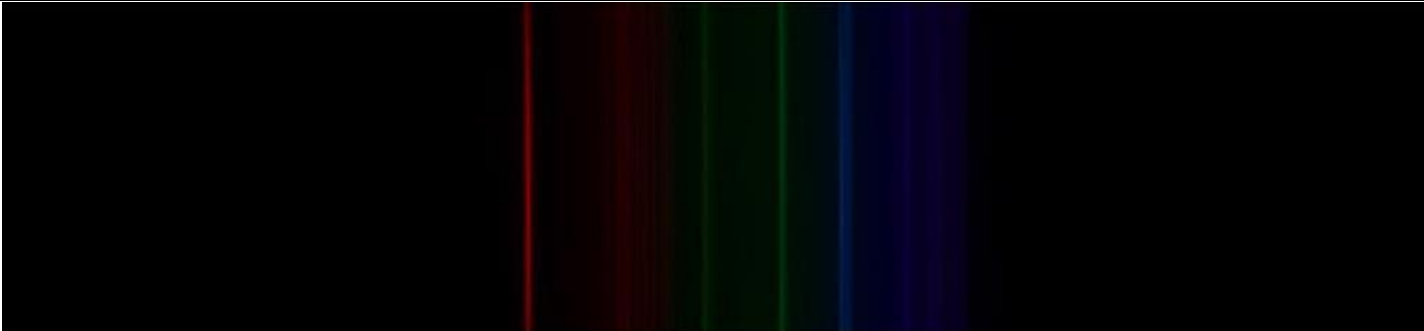
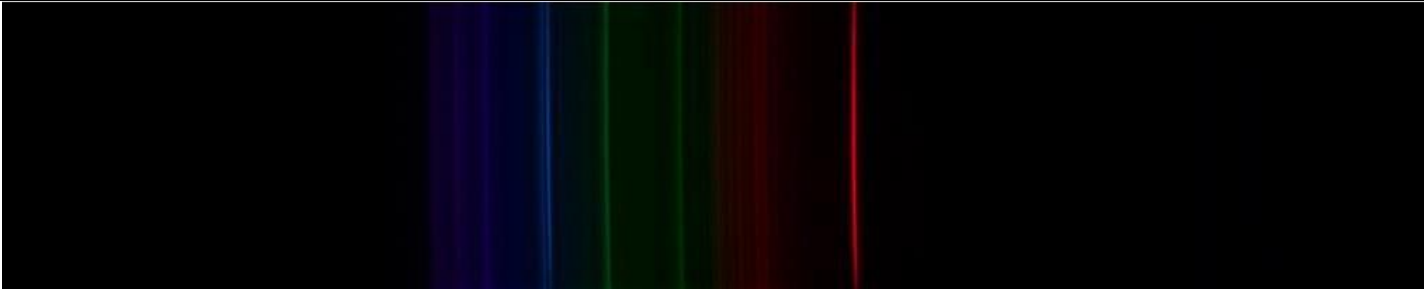
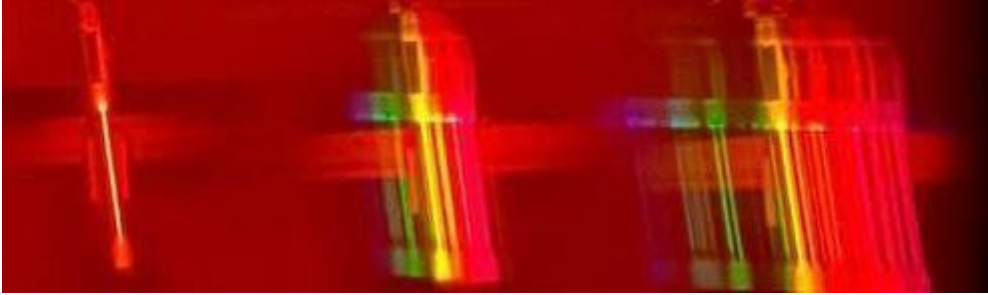



Vapor de agua				
				
				
				
Colores observados	Líneas brillantes	Espacios oscuros	Variaciones en la intensidad de la fuente	Observaciones
Violeta, verde, amarillo y rojo	Violeta, verde dos, línea roja similar a la del hidrogeno.	Se ven una gran cantidad de espacios oscuros.	Se vuelve más brillante el espectro se observan unas líneas de otros colores y se define una línea azul.	En las repeticiones del espectro se observan las líneas violetas, las dos verdes y la línea roja. La línea roja ocupa un lugar similar al que se observó en el hidrogeno, esta aparece luego de que termina una banda ancha de color rojo, un espacio oscuro amplio y luego la línea

Tabla 19. Espectros principales y secundarios (Elaboración propia).

Material	Espectro doble	Observaciones.
Neón		<p>El espectro repetido se ensancha a medida que se aleja de la fuente. Las líneas brillantes se repiten.</p>
Helio		<p>El espectro se ensancha y se mezclan los colores, las líneas brillantes se repiten.</p>
Xenón		<p>El espectro secundario es más ancho, pero muy difuso, además se aprecian las líneas brillantes del principal.</p>
Vapor de agua		<p>El espectro secundario es más ancho, además los colores se mezclan, pero las líneas representativas resaltan del fondo opaco compuesto de los otros colores.</p>

Durante esa actividad, se identificaron elementos para contrastar con las actividades experimentales previas y la lectura realizada del trabajo de Fraunhofer. En relación con la distribución de las franjas de colores observadas, se notó una repetición de las mismas gamas de colores en la mayoría de los materiales usados. En algunos casos estas franjas parecen ausentes con la mínima intensidad lumínica, pero al aumentar, se podía apreciar, la regularidad en la composición de los colores desde el violeta hasta el rojo. El violeta y el rojo, en particular, eran difíciles de observar inicialmente y se volvían más visibles al incrementar la intensidad de la fuente.

A pesar de esta regularidad en los colores que componen las franjas de colores, surge un interrogante alrededor del grosor de estas franjas. En algunos casos, no se observa la franja completa, sugiriendo que cada color ocupa un lugar específico, entonces se considera que estos espacios quedan oscuros cuando las franjas de ese color no son discernibles por completo. La actividad experimental no se consideró en función de realizar esta medida, pero plantea la pregunta de si esta regularidad se puede buscar.

Adicionalmente, a la relación entre el grosor de cada línea y los espacios oscuros se convierte en una característica distintiva de cada gas de los tubos de descarga. Es relevante destacar que el grosor de estas franjas no depende de la intensidad de la luz. Cuando se aumentó la tensión en la fuente de voltaje, no se observaron desplazamientos de las franjas de colores o ensanchamientos, lo que sugiere que la posición y el grosor de las franjas no está relacionado con la intensidad de la luz.

Es relevante mencionar que al contrastar estos hallazgos con lo que se observa mediante un espectroscopio, la distribución es más uniforme con el espectroscopio, donde las franjas tienen grosores similares. No obstante, es importante recordar que, en el espectroscopio, los espacios oscuros no se observan con facilidad y solo se observan las líneas más brillantes de los espectros.

En cuanto a las líneas brillantes, cada espectro exhibe unas particulares. En algunos casos, se observa más de una línea del mismo color, resaltando sobre un fondo más opaco, tal y como lo describe Fraunhofer, de igual forma estas líneas no marcan el final de una franja de color. Al observarlas con el prisma y el espectroscopio no se distingue bien estas líneas tanto como con la rejilla. La intensidad de las líneas sí está relacionado

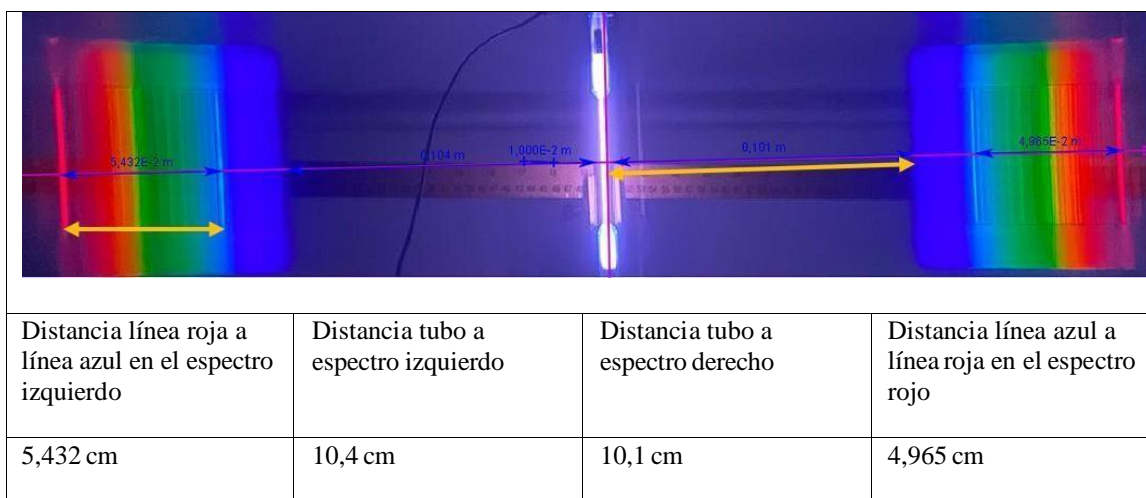
con la intensidad de la fuente de luz, pero no se ven cambios en su grosor o posición.

Respecto a las repeticiones de los espectros, dependiendo de los elementos, se observaron dos o más repeticiones del espectro con nitidez, sin embargo, en general, estas repeticiones resultaron difusas, con la particularidad de que las líneas brillantes en ellas eran distinguibles, destacando de un fondo más opaco o compuesto por las combinaciones de los colores del espectro.

De las actividades realizadas, surgió la pregunta acerca de las distancias a las que se formaban los espectros primarios y secundarios en relación con el tubo de descarga y la distancia entre las líneas características. Para desarrollar esta pregunta, se llevó a cabo una medición usando la aplicación Tracker¹⁶. Los resultados de esta medición muestran que las distancias son notablemente similares, se plantea esta pregunta como un punto de interés para futuras investigaciones, dado que la regularidad en las distancias puede propiciar reflexiones en torno al fenómeno de difracción.

¹⁶ Las flechas de color azul son las que presenta la aplicación, dado que no se puede cambiar el tono de estas se usan las flechas de color amarillo para ejemplificar lo que se está midiendo.

Tabla 20. Espectro doble (Elaboración propia).



3. Construcción de espectroscopio escolar

En el marco del desarrollo de este trabajo, se propone una tercera actividad experimental que se deriva del análisis de la revisión acerca del contexto de enseñanza del espectro, donde varios trabajos de grado dedicados a la enseñanza del espectro y la espectroscopia recurren a la construcción de un espectroscopio. Este instrumento, en su diseño general, reemplaza el prisma y la rejilla de difracción con un CD.

Se identificaron dos tipos de montajes, ambos utilizando un trozo de cd que sustituye el prisma y la rejilla de difracción. En el primer montaje, el cd se recorta y se coloca de manera que la película que refleja la luz no se deprenda. En el segundo montaje, se utiliza el cd sin película reflejante, quedando transparente. Ambos montajes se construyen dentro de tubos de cartón para controlar la cantidad de luz que ingresa y que interactúa con el cd de cada caso (Ver apéndice A).

La razón para desarrollar esta actividad con este tipo de instrumentos radica en que dado que se han construido unos elementos de análisis con las actividades previas se propone contrastarlas con base en los elementos construidos con otros montajes. Mediante

esto, se busca ensayar los instrumentos diseñados y llevados al aula por docentes en diferentes niveles académicos, para explorar la potencialidad y los límites en la caracterización del espectro y así formular preguntas emergentes del uso de estos instrumentos.

En el primer montaje se usaron: dos tubos de cartón, uno con mayor diámetro que el otro, pintura negra para el interior y exterior de los tubos, cartón paja, silicona, tornillo y cinta aislante.

Para el procedimiento se divide en varios momentos, primero se prepararon ambos tubos (la longitud de los tubos es de 30 cm y su diámetro de 3,5cm y 4 cm) para lo cual era necesario pintarlos en el interior y el exterior, con el fin de minimizar la flexión de la luz al interior. En el tubo más grande, se realizó una abertura en uno de los extremos para permitir la entrada de un trozo de cartón que llegara hasta la mitad de la abertura del tubo. Un cartón adicional, es pegado con silicona, este ocupa la otra mitad del extremo para ajustar la cantidad de la luz que ingresa

En el tubo más pequeño se realiza un corte cuadrado en uno de los extremos para observar el cd que luego se ubicará adentro. El cd se ajusta con un trozo de cartón y se ubica un tornillo para permitir el cambio de ángulo de inclinación del cd. Además, se requiere de un trozo de cartón para cubrir este extremo del tubo que está expuesto.

Luego, el tubo más delgado se encajó dentro del tubo más grande, permitiendo ajustar la distancia entre el cd y la abertura por la que ingresa la luz.

En el segundo montaje experimental se usaron los siguientes materiales: un tubo de cartón, pintura negra, cartón, un cd, cinta. Para prepararlos se pintó un tubo del mismo tamaño del montaje anterior y con un diámetro de 5cm, por dentro de color negro, se cortó el cd en un rectángulo de 2cm de ancho por 5 de largo, en este caso se debe retirar la película reflejante del cd para ello se debe pegar y despegar cinta sobre esta capa y se retira poco a poco.

Luego, en uno de los extremos del tubo, se debe realizar una abertura para permitir la entrada de luz siguiendo el mismo procedimiento que en montaje anterior. En el otro extremo del tubo irá el trozo de cd, para lo cual se dibuja en un trozo de cartón una circunferencia que cubra el extremo del tubo, se traza el trozo de cd que se preparó previamente sobre esta circunferencia, luego se recorta la imagen y se pega el trozo de cd en el centro de la circunferencia, asegurando que quede centrado y bien ajustado a la abertura.

En relación con el análisis de diversos montajes experimentales llevados a cabo para observar las características específicas del espectro, se presentan a continuación los registros obtenidos durante esta actividad. Si bien los registros poseen una calidad inferior con los previamente presentados, el objetivo era comparar con las características previamente identificadas en los momentos 1 y 2.

Para la ejecución de esta actividad, se consideró pertinente evaluar estos instrumentos al usar como fuente de luz dos tubos de descarga, uno con hidrógeno y el otro con helio. Asimismo, se empleó el mechero Bunsen como fuente de luz en cada montaje. Esta elección se fundamentó en la identificación previa de ciertas características en los espectros de cada una de estas fuentes. Por ejemplo, en el caso del mechero bunsen, se observó que el color particular que destacaba sobre el fondo de colores era el mismo del tono de la llama, en el caso de los tubos de descarga las líneas brillantes identificadas previamente y los espacios oscuros sirven como elementos para comparar.

Las tablas que se presentan a continuación muestran los resultados obtenidos de los montajes experimentales realizados con las tres fuentes de luz. En cada caso, se destacan los elementos identificados correspondientes a cada montaje, siendo la imagen de la derecha para el primero de los montajes. Luego, se incluye una descripción de lo observado con base en las características que se identificaron en las actividades que previamente se realizaron.

Tabla 21. Análisis resultados mechero bunsen (Elaboración propia).

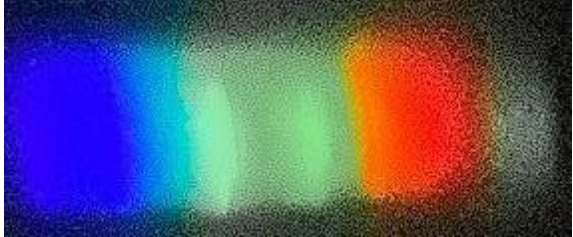
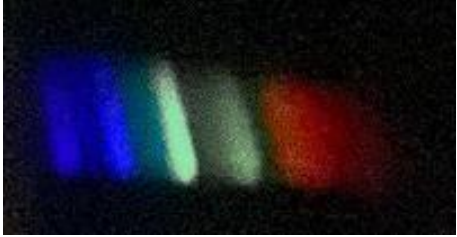
Montaje con CD con capa reflejante		Montaje con CD sin capa reflejante	
			
Líneas brillantes	Espacios y líneas oscuras.	Líneas brillantes	Espacios y líneas oscuras.
Se observa una línea brillante del mismo color de la llama.	En cuanto a los espacios oscuros no se perciben con claridad, además el espectro aparentemente no cuenta con líneas oscuras.	Se observan una línea brillante de color verde similar al color de la llama	Se ven espacios donde la luz es menos intensa, pero es difícil determinar que estos sean espacios oscuros. El espectro no cuenta con líneas oscuras.

Tabla 22. Análisis de resultados neón (Elaboración propia).



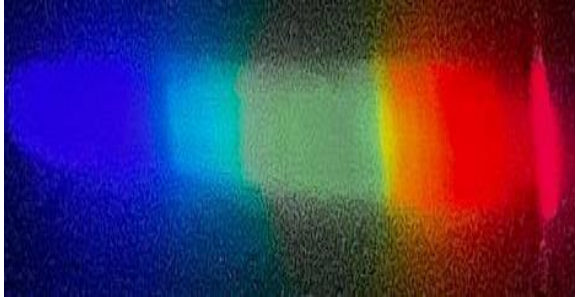
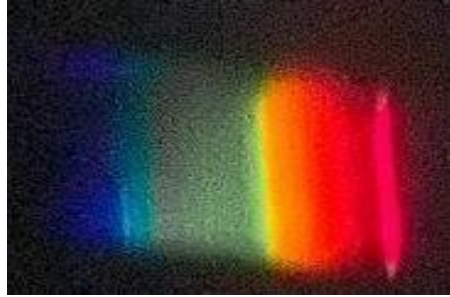
Montaje con CD con capa reflejante		Montaje con CD sin capa reflejante	
			
Líneas brillantes	Espacios y líneas oscuras.	Líneas brillantes	Espacios y líneas oscuras.
Se observan líneas brillantes, una amarilla y dos de color verde.	Se observan líneas y espacios oscuros en todas las franjas de colores.	Se observa la línea amarilla característica y otras dos de color verde	Se ven atravesando en diferentes franjas de colores espacios y líneas oscuras.

Tabla 23. análisis de resultados hidrogeno (Elaboración propia).

Montaje con CD con capa reflejante		Montaje con CD sin capa reflejante	
			
Líneas brillantes	Espacios y líneas oscuras.	Líneas brillantes	Espacios y líneas oscuras.
Se observan dos líneas, una de color amarillo y una roja.	Se ven en todas las franjas de colores del espectro líneas oscuras.	Se observan líneas brillantes de color amarillo y rojo.	Se observan líneas oscuras en las diferentes franjas de colores del espectro.

A partir de esta actividad, se pudo identificar regularidades que resultan significativas para el proceso de enseñanza con respecto al espectro, estas regularidades se derivan de las tres actividades realizadas, al usar instrumentos que comúnmente se emplean para actividades en el aula cuando se quiere abordar temas como la estructura de la materia. Estas regularidades se refieren a las franjas de colores, las líneas brillantes, los espacios y las líneas oscuras, que se observaron en las distintas actividades. En relación con los dos montajes de esta tercera actividad y las líneas oscuras, su consideración en el aula presenta algunas complicaciones. Aunque pueden ser observables las regularidades, destacarlas y hacer énfasis en ellas no resulta sencillo. Sobre todo, si se toman registros fotográficos de ellas.

Además, derivado de esta actividad es importante hacer énfasis en que las actividades previas enriquecen profundamente el proceso de observación en estos montajes. En definitiva, las regularidades se derivan de evidenciarlas de manera consistente en los otros montajes, y la experiencia es fundamental porque nutre al docente o estudiante que las realiza. Esta experiencia resulta especialmente útil para el docente que planea llevar a cabo estas actividades en el aula, porque le proporciona elementos para construir unos

critérios con los que luego orientar sus actividades y en ese sentido hacer énfasis en estas u otras características a las que se puede acceder por medio de la experiencia.

Consideraciones finales

A continuación, se presenta las consideraciones derivadas de este trabajo, las cuales se presentan en dos momentos. En un primer momento, se abordan los aportes del estudio de una fuente primaria particular, destacando la relevancia de situar los productos de la ciencia para analizar las formas particulares en las que los productos de la ciencia se organizan. En ese sentido, derivado de ello se pueden rastrear las intencionalidades de los precursores de una teoría, modelo o propuesta experimental, para que el docente pueda formular y responder preguntas y explorar el desarrollo que se le da a uno o la relación de varios fenómenos. Además, a partir de esta inmersión se evidencia la importancia de que los docentes comprendan las formas particulares en las que se organiza y se comunica la experiencia científica.

Por otro lado, se desarrolla la caracterización de actividades experimentales, partiendo desde los elementos que sugiere la perspectiva fenomenológica. Esta perspectiva aporta elementos como la formulación de preguntas sobre los tipos de formalización hasta la consideración del funcionamiento de los instrumentos. En ese sentido, se busca reconocer que los productos de la ciencia abarcan diversos aspectos, y en ese sentido el rol del docente se convierte en un generador de conocimiento que trasciende de ser un repetidor de la información presentada en libros de texto.

- a. Aporte del estudio del trabajo *Prismatic and Diffraction Spectra* en el diseño y desarrollo de actividades experimentales.

Para explorar el espectro de luz visible mediante la construcción de actividades experimentales que luego se puedan caracterizar, se sugiere situar la idea de espectro a partir de una fuente primaria particular. A partir de la lectura de las fuentes primarias, los trabajos de los autores que han aportado a la construcción de conocimiento en torno a los fenómenos relacionados con productos de la ciencia revelan intencionalidades y ofrecen la oportunidad, particularmente al docente, de acercarse a la organización de los fenómenos, en el caso particular de Joseph Von Fraunhofer en su trabajo *Prismatic and*

Diffraction Spectra by Joseph Von Fraunhofer (1898), a los fenómenos de refracción, difracción y dispersión. De esta manera se posibilita la formulación de preguntas sobre lo que implica hablar de espectro, dado que da herramientas para cuestionar y responder a si este es un fenómeno, un efecto u otro producto de la ciencia. Así mismo, permite indagar sobre los tipos de formalizaciones, tales como representaciones gráficas, leyes, teorías, protocolos y descripciones de la actividad experimental, que emergen de la actividad científica y así llenarlos de significado.

En consecuencia, se puede destacar que el análisis del texto de Fraunhofer es importante, dado que al adentrarse en la descripción que realiza el autor de su actividad experimental surgieron preguntas como: ¿qué relación hay entre lo observado en el prisma y en la rejilla de difracción? ¿qué intencionalidades orientaron la construcción de los montajes con los cuales se logra caracterizar las líneas oscuras y brillantes del espectro? O ¿cuál es la relación construida en la comparación entre lo observado con los dos montajes, y la reflexión sobre lo que implica hablar del espectro como producto de estos fenómenos? Estas interrogantes y reflexiones se materializaron en la propuesta de actividades experimentales diseñadas en este trabajo.

Derivado de la reflexión de la lectura, surgen algunas consideraciones de orden disciplinar pues Fraunhofer al estudiar el espectro, establece una conexión entre dos fenómenos, el de la refracción y difracción de la luz al involucrar al fenómeno de dispersión. La aproximación a la actividad de Fraunhofer posibilita la construcción de explicaciones sobre cómo se forma el espectro y cómo estos fenómenos se pueden relacionar al considerar la naturaleza ondulatoria de la luz. Su contribución es importante porque amplía el estudio de estos fenómenos, propone métodos de medición innovadores para su época y en función de ello ofrece un conjunto amplio y enriquecedor de descripciones de actividades experimentales que permiten una reflexión acerca de la construcción de conocimiento científico.

Con base en esto, el trabajo realizado por Fraunhofer se puede dividir en dos momentos, uno centrado en el uso de prismas y otro en las rejillas de difracción. Ambos fenómenos asociados demuestran la dispersión de la luz y contribuyen al entendimiento de su comportamiento ondulatorio. En relación con la refracción, Fraunhofer, al considerar las líneas brillantes, concluye que la forma del prisma no es responsable de este efecto por no dispersar completamente los colores, en cambio revela aspectos sobre la naturaleza de la luz estudiando en las regularidades identificables en los espectros. Por otro lado, al estudiar la difracción, Fraunhofer identifica esas regularidades, y al reflexionar y organizar su experiencia entorno a ellas determina que son resultado de la interacción de múltiples haces de luz que al ser refractados producen la dispersión de la luz, permitiendo observar espectros de manera similar a los observados en los prismas.

Adicionalmente, el análisis de la actividad experimental de Fraunhofer revela contribuciones desde las diferentes formas de comunicar sus hallazgos. El trabajo de describir la actividad experimental y lo que observa, es importante porque derivado de él se presentan diferentes contribuciones como la representación gráfica del espectro, esta representación da cuenta de características particulares que son usadas para estudiar el espectro y dan cuenta de su proceso para organizar su experiencia. Además, se presentan tablas de datos que hacen referencia a esa organización de la experiencia, así como expresiones matemáticas que dan cuenta de las regularidades identificadas. En ese sentido, el trabajo de Fraunhofer proporciona una base interesante para realizar descripciones, con base en esas regularidades que permiten dotar de significado la observación del espectro. Igualmente, esta aproximación permite formular propuestas propias.

Asimismo, el trabajo de este autor no solo proporciona respuestas a esas cuestiones identificadas en los libros de texto, sino que también emergen preguntas con las cuales orientar la actividad experimental. Por ejemplo, acerca de las similitudes que se pueden encontrar en las observaciones realizadas con el prisma, el espectroscopio y la rejilla, para lo cual, se diseñó una actividad con la cual acercarse a los fenómenos que Fraunhofer desarrolló durante su actividad experimental.

b. Caracterización de actividades experimentales:

En el desarrollo de este trabajo, se pueden destacar algunos aspectos importantes para el diseño y caracterización de actividades experimentales que busquen aproximarse a la comprensión del espectro de luz visible, con el fin de contribuir a los procesos de enseñanza de este y que se desarrollaran a continuación.

Para el diseño y desarrollo de las actividades experimentales e inclusive el análisis del texto, se destaca la importancia de considerar los elementos aportados por la perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias, aspecto importante en el desarrollo de este trabajo. En esta perspectiva se considera que la actividad experimental es esencial, debido a que posibilita la construcción de un conocimiento propio para el docente que puede, por ejemplo, a partir de la lectura o el desarrollo de una actividad experimental considerar el rol de la experimentación. Esto implica comprender que la experimentación va más allá de ser una mera verificación de teorías, lo que conlleva a la reflexión del quehacer de la ciencia. Con respecto a ello, la reflexión sobre la relación entre la teoría y la experimentación se vuelve crucial al situar los productos de la ciencia en una amplia gama de formalizaciones

En relación con esto, también se plantea reflexionar acerca de las características con las que debe contar la actividad experimental para la enseñanza del espectro, centrando la atención en los aspectos sobre los cuales se quiere realizar la aproximación a su comprensión. Esto es importante debido a que se pudo identificar su relevancia en la construcción de teorías, modelos y fenómenos físicos, en donde los fenómenos ópticos y las teorías en torno a la relación de la energía y la materia son relevantes en el contexto escolar, según se evidencia en libros de texto y estándares de educación.

Adicionalmente, para la reflexión en torno a la caracterización de las actividades que se presentan en este trabajo, se formularon preguntas sobre el funcionamiento de los instrumentos, su uso, las ventajas que estos presentan y los procedimientos para poder observar el espectro. Estos interrogantes, inicialmente no se veían desarrollados en los

libros de texto en lo que respecta a los montajes previstos para observar el espectro. Para el diseño y desarrollo de la actividad experimental se sugiere considerar los criterios y formas de hablar introducidos por Fraunhofer, por ejemplo, la forma en la que describe los espectros perfectos de segunda clase, de primera clase, las líneas brillantes, entre otros, Fraunhofer establece una terminología que permite aproximarse a su actividad experimental, a sus representaciones de esta en donde centra el foco en aspectos particulares. Así mismo, el proceso de acercarse a esta descripción de la actividad experimental permite reconocer formas de proceder que orientan la realización de las actividades experimentales.

En este contexto de la caracterización de las actividades, es necesario destacar que en el desarrollo de cada montaje destacaba la necesidad de realizar consideraciones de tipo técnico. Por ejemplo, en el caso del prisma y la rendija, aspectos como el ángulo del prisma, la ubicación del observador y la distancia entre las partes del montaje son significativos. Es decir, el prisma y la rendija ofrecen experiencias enriquecedoras sobre lo que implica la actividad experimental orientada para observar el espectro. El prisma presenta resultados similares a los del espectroscopio, aunque la experiencia con el prisma es más significativa porque, entre otras cosas, permite comprender, en parte, el funcionamiento del espectroscopio. Por otro lado, la rejilla de difracción se destaca por su facilidad para observar los detalles más significativos de los espectros, por ello es el instrumento más útil para evidenciar algunas de las descripciones que propone Fraunhofer sobre el espectro.

Adicional a ello, y enfocado a los procesos de enseñanza, se puede señalar que al adaptar los instrumentos que se evidenciaron en otras prácticas diseñadas para ser llevadas al aula, se muestra que estos montajes son útiles para identificar las líneas brillantes y otras características del espectro. Sin embargo, para dotar de significado lo observado en algún contexto, se sugiere recurrir a la aproximación de las actividades experimentales de autores como Fraunhofer, Kirchoff o Huggins, al menos para este caso permitió construir la relación entre la refracción y la difracción con la dispersión de la luz; es decir, poner en consideración los fenómenos que permiten la producción del espectro.

Finalmente, el trabajo desarrollado en torno a la caracterización de las actividades experimentales abre una ruta que parte de los resultados obtenidos desde el análisis del trabajo de Fraunhofer. Esta ruta puede explorar como se relaciona el estudio de los espectros con técnicas para la caracterización química de materiales basados en sus espectros. De igual forma, puede abordarse las teorías acerca de la composición química de las estrellas para comprender los procesos que permiten su estructura y evolución. De esta manera abre la posibilidad de indagar si es a partir de la organización de las regularidades identificadas en los espectros de las estrellas, por medio de la cual se establece una clasificación estelar, con las que luego se determina que esas características responden a unos procesos de las estrellas y a unos estadios evolutivos. También se puede indagar acerca de las implicaciones que tienen este tipo de preguntas para la enseñanza y acerca de cómo se pueden llevar al aula. Además, plantea la posibilidad de abordar procesos similares que vinculen las características del espectro con la construcción de las teorías que exploran la relación entre la energía y la materia.

Referencias bibliográficas

- Erasmus , D., Brewer, S., & Cinel , B. (2015). *Assessing the Engagement, Learning, and Overall Experience of Students Operating an Atomic Absorption Spectrophotometer with Temote Access Technology*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. , págs. 6-12.
- Ferreirós, J., & Ordóñez , J. (2002). *Hacia una filosofía de la experimentación*. *Crítica, Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 47-86.
- Fraunhofer, J. v. (1898). *Prismatic and diffraction spectra memoirs by Josep Von Fraunhoufer*. New York & London : Harper & Brothers Publisher.
- Giancoli, D. C. (2009). *Física para ciencias e ingeniería* . Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Gobierno de Navarra. (2015). Decreto foral 24/2015 de 22 de abril, Currículo de la enseñanza de ESO en la Comunidad Foral de Navarra. Recuperado de: <https://www.lexnavarra.navarra.es/detalle.asp?r=29678>
- González Cantellano, M., & Montañó Zetina , L. M. (2015). *La espectroscopia y su tecnología: Un repaso*. *Latin-American Journal of Physics Education* .
- Hewitt, P. G. (2007). *Física conceptual*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Jackson, M. (2000). *Spectrum of Belief: Joseph von Fraunhofer and the Craft of*. Cambridge: The MIT Press.
- Jahn, W., Krimeier, J., Mewes , C., Preyb, C., & Weber, L. (14 de 2 de 2023). *Fraunhofer*. Obtenido de <https://www.fraunhofer.de/en/about-fraunhofer.html>

- James , J. (2009). *Spectrograph Desing Fundamentals* . Cambridge: Cambridge University Press.
- Kirchhoff , G. (1962). *Researches on the Solar Spectrum and the Spectra of the Chemical Elments*. Cambridge: Royal College of Surgeons of England.
- L´vov , B. (2004). *Fifty Years of Atomic Absorption Spectrometry*. History of analytical chemistry, 434-446.
- López Corral, I. M. (2020). ¡Hagase la luz! Óptica, espectroscopía y educación secundaria. Universidad Pública de Navarra. Obtenido de <https://academic.e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/37728>
- Malagon Sanchez , J. F., Ayala Manrique, M. M., & Sandoval Osorio, S. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.
- Malagón Sánchez, F., Sandoval Osorio , S., & Ayala Manrique, M. M. (2013). *La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización*. Praxis filosófica, 119-138.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias, 255-177.
- Maunder, E. W. (1913). *Sir William Huggins and spectroscopic astronomy*. London Edinburgh: Dodge Publishing.
- Ministerio de Educacion Nacional (2006) Estandares básicos de competencias en Lenguaje, Mateamticas,Ciencias y Ciudadanía recuperado el 14 de febrero de 2023 de: https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-340021_recurso_1.pdf

- Ministerio de Educación (2014) Estándares de aprendizaje recuperado el 14 de febrero de 2023 de: https://www.curriculumnacional.cl/portal/Evaluacion/Estandares-y-otros-indicadores/Estandares-de-Aprendizaje/#recursos_estandares_otros_0
- Montes Jiménez, J. P., & Rivera Vargas, Y. H. (2020). *Percepción, ampliación y organización de la experiencia en la construcción de fenomenologías*. Pensamiento y Acción , 91-108.
- Peña Martínez, J., Gómez Gómez, B., & Rosales Conrado, N. (2020). *Clase invertida de espectroscopía: una experiencia en el marco de un Programa de Excelencia para Bachillerato*. Educación Química, 27-44.
- Peña Triana , J. Y. (2012). La espectroscopia y su desarrollo como una herramienta didáctica para comprender la estructura de la materia. 2012. Universidad Nacional de Colombia, Bogota. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11293>
- Ramos Bonilla, M. A. (2022). Contruccion de explicaciones sobre la cuantizacion de la energía del átomo a partir del estudio de la espectroscopia en la escuela secundaria. Universida Pedagogica Nacional, Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17464>
- Rodríguez, W., García, P., & Fajardo, A. (2016). *Aplicaciones de técnicas espectroscópicas para el análisis de seuelos*. Revista Facultad De Ciencias Básicas, 228-251.
- Romero Chacón, Á. E., Morcillo Molina, C., Germán García , E., Tobón Cardona, É., Quinto Moya, J. A., Mejía Aristizábal, L. S., . . . Aguilar Mosquera, Y. (2017). La

experimentación en la clase de ciencias aportes a una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas. Medellín: Universidad de Antioquia.


Sandoval Osorio, S., Malagón Sánchez, J. F., Garzón Barrios, M., Ayala Manrique, M. M., & Tarazona Vargas, L. (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Savall Alemany, F., Domènech Blanco, J. L., & Martínez Torregrosa, J. (2013). *¿Los profesores de física y química disponen de un modelo que explique la formación de los espectros atómicos?* Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 3237-3242.

Thomsen, V. (2006). *A Timeline of Atomic Spectroscopy*. Journal of Spectroscopy, págs. 32-42.

Velasco, M. (1998). *Experimentación y Descubrimiento: algunas reflexiones desde la epistemología de la experimentación*. Episteme – Filosofia e História das Ciências em Revista, 137-143.

Apéndice A: Construcción de montajes experimentales

Montaje No 1	
Materiales:	<ul style="list-style-type: none">• Dos tubos de cartón (de longitud 30 cm de diámetro 3,5 cm y 4 cm)<ul style="list-style-type: none">• Pintura negra• Cartón paja• Silicona• Tornillo• CD• Cinta aislante• Pinceles de diferentes tamaños
Procedimiento	
Pintar el exterior e interior de los dos tubos con pintura de color negro para minimizar la reflexión de la luz.	 A photograph showing two cardboard tubes of different diameters lying on a white surface. One tube is painted black and the other is grey. The tubes are positioned diagonally, with the black tube in the foreground and the grey tube behind it.

En el tubo más grande se debe realizar una pequeña abertura como lo muestra la imagen, sobre solo la mitad de la superficie del tubo, esta debe tener un grosor del cartón que luego se usará.



Pegar en el tubo un trozo de cartón que ocupe la mitad de la abertura del tubo mas grande.



Recortar otro trozo de cartón, que se ubicara en la abertura previamente hecha, para controlar el tamaño de la abertura



En el tubo más pequeño,
hacer un corte cuadrado
cerca de uno de los
extremos para observar el
CD.

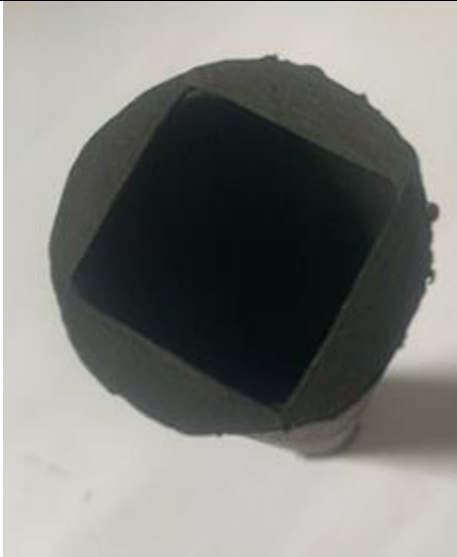
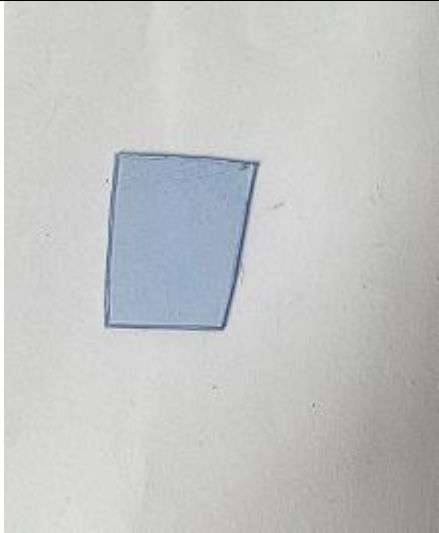



Ajustar un trozo de CD
dentro del tubo pequeño
con un trozo de cartón y
colocar un tornillo para
cambiar la inclinación del
CD a voluntad.



<p>Cubrir el extremo del tubo pequeño donde se hizo el corte cuadrado con un trozo de cartulina.</p>	
<p>Encajar el tubo mas delgado dentro del tubo mas grande, si es necesario usar cinta aislante para que encaje un tubo dentro del otro.</p>	

Montaje No 2	
<p>Materiales:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo de cartón (longitud 30 cm y diámetro 5 cm) <ul style="list-style-type: none"> • Pintura negra • Cartón paja • Silicona <ul style="list-style-type: none"> • CD • Cinta

	<ul style="list-style-type: none">• Pinceles de diferentes tamaños
Procedimiento	
<p>Pintar el interior del tubo de cartón de color negro, para ello ayúdese de los pinceles de diferentes tamaños.</p>	
<p>Recortar un trozo de CD de forma cuadrada de 4cm, retirando la película reflejante con cinta.</p>	

<p>Pegar en la abertura en uno de los extremos del tubo dos trozos de cartón de tal manera que haya una pequeña abertura que este centrada con respecto al cuadrado del paso anterior.</p>	
<p>En el otro extremo del tubo, ubicar el trozo de cd que ocupe el espacio de la abertura.</p>	