

**CONSTRUCCIÓN DE UN PATRÓN DE MEDIDA PARA EL ESTUDIO DE  
LA INTENSIDAD LUMINOSA PROPUESTO POR JULES VIOLLE**

**RAÚL ANDRÉS CASTRO GIRALDO**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN FÍSICA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA & TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
BOGOTÁ D.C.**

**2015**

**CONSTRUCCIÓN DE UN PATRÓN DE MEDIDA PARA EL ESTUDIO DE  
LA INTENSIDAD LUMINOSA PROPUESTO POR JULES VIOLLE**

**RAÚL ANDRÉS CASTRO GIRALDO**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN FÍSICA**

**ASESOR**

**JOSÉ FRANCISCO MALAGÓN SÁNCHEZ**

**GRUPO DE FÍSICA Y CULTURA**

**LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN: LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DESDE UNA  
PERSPECTIVA CULTURAL**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA & TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**BOGOTÁ D.C.**


**2015**

# Agradecimientos

*Como autor del escrito expresé mis más sinceros agradecimientos a:*

*A mi madre y mi padre, que dedicaron gran parte de su vida en mi crianza y educación. Sin su amor incondicional y su preocupación por ser un mejor ser humano, nunca hubiera sido posible conseguir este gran objetivo en mi vida.*

*Y al profesor José Francisco Malagón Sánchez, que con sus enseñanzas y su gran asesoría hicieron que creciera profesionalmente como licenciado. Y Ante todo, su buen sentido del humor hizo que confiara más en mis capacidades y en lo que puedo lograr hacer hacia futuro.*

|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA<br>NACIONAL<br><small>Revolución y Paz</small> | <b>FORMATO</b>                              |  |
|  | <b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b> |  |
| Código: FOR020GIB  | Versión: 01                                 |  |
| Fecha de Aprobación: 02/12/2015  | Página 9 de 4                               |  |

| <b>1. Información General</b> |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Tipo de documento</b>      | Trabajo De Grado  |
| <b>Acceso al documento</b>    | Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central   |
| <b>Título del documento</b>   | CONSTRUCCIÓN DE UN PATRÓN DE MEDIDA PARA EL ESTUDIO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA PROPUESTO POR JULES VIOLLE  |
| <b>Autor(es)</b>              | Castro Giraldo, Raúl Andrés   |
| <b>Director</b>               | José Francisco Malagón Sánchez  |
| <b>Publicación</b>            | Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2015, 62 p.  |
| <b>Unidad Patrocínate</b>     | Universidad Pedagógica Nacional   |
| <b>Palabras Claves</b>        | PATRÓN, UNIDAD, MEDIDA, INTENSIDAD LUMINOSA, JULES VIOLLE, LÁMPARAS, FÍSICA EXPERIMENTAL, FUENTES DE LUZ PATRÓN, SISTEMA METRICO, LLAMA, PLATINO, COMISIÓN, FOTOMETRÍA, FOTÓMETRO VISUAL. |

| <b>2. Descripción</b>  |
|--|
| <p>Esta investigación trata del desarrollo experimental que tuvo Jules Violle a finales del siglo XIX para la construcción de un patrón de medida para el estudio de la intensidad luminosa. Se toman textos de la época para conocer cada paso por los que paso el físico francés para que su patrón fuera tenido en cuenta ante la comunidad científica y su eventual aval en el año de 1884 por la Conférence internationale pour la détermination des unités électriques en Francia.</p> <p>Este trabajo muestra en contexto la propuesta de Jules Violle, en como la física experimental que se empezaba a desarrollar en los siglo XVIII y XIX daba grandes aportes para el estudio de fenómenos naturales, al tiempo de los físico de la época en preocuparse por un sistema de medidas más acorde para el estudio de las mismas.</p> |

### 3. Fuentes

Chevreul, Dumas, Boussingault, Wurtz, Berthelot, Pasteur (1884). *Annales De Chimie Et De Physique*. Paris : Imprimerie De Gauthier-Villars. Gallica Bibliothèque Numérique.

Ministere Des Affaires Etrangères. (1882). *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*. Paris: Imprimerie Nationale. Gallica Bibliothèque Numérique.

Ministere Des Affaires Etrangères. (1884). *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*. Paris: Imprimerie Nationale. Gallica Bibliothèque Numérique.

*Malagón, J. F. (2011). El experimento en el aula: Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes. Bogotá: Fondo editorial Universidad Pedagógica Nacional.*

*Pachón, R. F. (2002). Metrología en las civilizaciones de Mesopotamia, Egipto, Fenicia, Israel, Grecia, Cartago, Roma Y Otras Culturas De La Antigüedad. Andalucía: Universidad De Almería.*

*Borvo, G. (2009). Histoire de l'électricité: l'histoire des unités électriques. Disponible en: <http://seaus.free.fr/spip.php?article324> (Consultado el 14 de septiembre de 2014).*

*Flórez, I. D. & Gómez, A. L. (2012). Construcción de explicaciones desde la experiencia. Tesis de maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.*

### 4. Contenidos

El presente trabajo contiene tres capítulos:

El primer capítulo, muestra una breve historia de la medida y su importancia en la historia de la humanidad hasta lograr su mayor plenitud a comienzos del siglo XIX, para luego hablar sobre las diferentes fuentes de luz patrón que se empiezan a desarrollar a partir de los estudios hechos por Pierre Bouguer usando una vela, hasta a finales del siglo XIX utilizando lámparas de aceite o incandescentes como patrones para la realización de mediciones fotométricas.

El segundo capítulo, enseña los experimentos realizados por Jules Violle que fueron presentados en la ciudad de París en la Exposition Internationale d'Électricité en 1881. También como fueron las discusiones en las Conférence internationale pour la détermination des unités électriques de los años de 1882 y 1884. En sí, se muestra paso a paso los procesos para construcción del patrón de medida que no dependiera de las propiedades de una vela y/o lámpara determinada como se hacía en ese entonces.

Por último, el tercer capítulo, teniendo la recopilación de todo lo estudiado y aprendido sobre el patrón Violle para el estudio de la intensidad luminosa, se procede a realizar experiencias en el aula con el fin de que el alumnado entienda la importancia de la medida por medio del experimento y conocer conceptos sobre fenómenos luminosos. Se muestra paso a paso de manera descriptiva lo desarrollado con alumnos de undécimo grado de la institución educativa Unión Europea de la localidad Ciudad Bolívar.

El trabajo contiene en los anexos la cartilla que se desarrolló con los estudiantes para poner en práctica lo desarrollado en todo el trabajo utilizando diferentes métodos experimentales y teóricos. Se debe tener en cuenta que los materiales deben ser brindados por parte del docente para mejores resultados con el alumnado.

### **5. Metodología**

Este trabajo adopta la metodología de investigación conocida como análisis de corte conceptual e histórico, siguiendo un enfoque cualitativo que permite situar las problemáticas y el contexto en el que se desarrolla la conceptualización sobre la construcción de un patrón como el diseñado por Jules Violle. Esto con el fin de obtener datos totalmente verídicos de los instrumentos de medida usados, las condiciones en las que estaban los laboratorios y los pensadores partícipes que darían su eventual aval al patrón en discusión.

Con esto claro se procede una ruta para la enseñanza de la intensidad luminosa utilizando la cartilla titulada: Medir La Intensidad Luminosa. En esta se ofrece herramientas suficientes para conocer más la importancia de la medida y por medio de instrumentos experimentales conocer más sobre fenómenos luminosos para finalizar construyendo un fotómetro visual al gusto del estudiante.

### **6. Conclusiones**

Enseñar una breve historia de la medida, ayuda al lector a tener ideas sobre la suma importancia en lo que esta actividad ha tenido y tiene en la humanidad, en especial en la comunidad científica para el desarrollo de las diferentes ciencias.

Mostrar como parte del trabajo la importancia que en el siglo XIX tuvo del desarrollo de la física experimental para el avance de grandes investigaciones y descubrimientos, nos enseña que los pasos seguidos por Jules Violle para la construcción de su patrón de medida se basa en las herramientas con las que contaba gracias al ya existente avance de la experimentación a finales de siglo XIX, y pone en manifiesto que sus experiencias lograron el objetivo de establecer un patrón gracias a este tipo de actividades.

A partir de textos originales sobre el arduo trabajo que tuvo que pasar el físico francés Jules

Violle para la construcción de un patrón de medida a la intensidad luminosa, da una gran fortaleza al trabajo desarrollado con el fin de mostrar información verídica de lo sucedido entre la década de 1880. Sumado al gran esfuerzo de traducir y entender lo experimentado y discutido en las conferencias que conllevaron a la construcción y su eventual aval al patrón conocido como violle.

Parte relevante del trabajo muestra lo importante que es la actividad experimental para resolver interrogantes que se plantean a partir de experiencias que los sujetos viven de situaciones que se le presenten. Diferentes reflexiones a las que llego Jules Viole lo llevaron a desarrollar experimentos para establecer una mejor manera de estudiar el fenómeno de la iluminación, que hoy en día son parte en la enseñanza de las ciencias.

Como parte del grupo de física y cultura, el trabajo da a entender la importancia de la práctica experimental para la construcción y comprensión de las fenomenologías en estudio. En este caso la construcción de un patrón de medida, que nos enseña el papel fundamental que cumple el experimento y el uso adecuado de instrumentos de medida para su buen desarrollo.

El desarrollo de prácticas y actividades experimentales en el aula con estudiantes de grado undécimo, con el fin de reforzar en ellos la idea que se tiene sobre medida, unidad patrón y en este caso fenómenos relacionados a la iluminación, muestra el gran interés que despierta este tipo de actividades si se realizan de manera activa y práctica con el buen uso del conocimiento y del manejo de cierto elementos como los instrumentos de medida que son parte fundamental para el desarrollo cognitivo del estudiante.

Las reflexiones sacadas gracias a la implementación que se realizó en el IED Unión Europea con estudiantes de grado undécimo, logra el objetivo en ellos de la importancia que puede llegar a tener la práctica experimental con el uso de diferentes tipos de elementos físicos relacionados a fenómenos luminosos. El uso de un fotómetro visual como el de Bunsen, hace que exista un ambiente de ideas y el cuestionamiento entre unos con otros como factor enriquecedor y que el grupo participe de estas actividades prestara más interés a los temas que se estudian con gran interés y entusiasmo en aprender más sobre temas relacionados a las ciencias naturales.

|                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| <b>Elaborado por:</b> | Raúl Andrés Castro Giraldo     |
| <b>Revisado por:</b>  | José Francisco Malagón Sánchez |

|  |    |    |      |
|--|----|----|------|
| <b>Fecha de elaboración del Resumen:</b> | 02 | 12 | 2015 |
|--|----|----|------|

# Tabla De Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introducción .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>Planteamiento Del Problema.....</b>   | <b>3</b>  |
| Justificación .....  | 4         |
| Objetivos .....  | 5         |
| Antecedentes .....   | 6         |
| <b>Capítulo I:</b>   |           |
| <b>Los Comienzos Para La Construcción De Un Patrón De Medida: La Intensidad De La Luz.....</b> | <b>7</b>  |
| Breve Historia De La Medida .....  | 7         |
| El aporte de los patrones eléctricos en la física experimental del siglo XIX.....              | 10        |
| Diferentes Fuentes De Luz Patrón En Los Siglos XVIII Y XIX .....                               | 12        |
| Las Lámparas Como Fuentes De Luz Patrón .....  | 13        |
| <b>Capítulo II:</b>  |           |
| <b>Las Experiencias De Jules Violle Para El Establecimiento De Un Patrón Absoluto .....</b>    | <b>19</b> |
| Exposición Internacional De Electricistas (1881).....  | 19        |
| ¿Quién era Jules Violle? .....   | 20        |
| El Problema De Las Fuentes De Luz Patrón En La Medida.....                                     | 21        |
| El Problema De La Llama.....   | 21        |
| El Problema De Las Lámparas Incandescentes .....   | 23        |
| Experimentando Con Platino .....   | 24        |
| Determinación De Un Patrón De Medida Para La Intensidad Luminosa (1882).....                   | 26        |
| La Necesidad De Un Patrón Coherente .....  | 26        |
| Explicaciones De Jules Violle Ante La Comisión Sobre Su Patrón .....                           | 29        |
| Determinación De Un Patrón De Medida Para La Intensidad Luminosa (1884).....                   | 31        |
| Nuevas Discusiones Para Definir Patrón <i>Violle</i> .....                                     | 32        |
| El Uso De Fotómetros Visuales En Sus Experiencias .....  | 33        |
| Análisis De La Comisión Sobre El Patrón <i>Violle</i> .....                                    | 37        |
| Una Definición Final Para El Patrón <i>Violle</i> .....  | 41        |
| El Legado De Jules Violle .....  | 43        |
| <b>Capítulo II:</b>  |           |
| <b>Experiencias En El Aula Para El Desarrollo De Un Patrón De Medida.....</b>                  | <b>45</b> |
| Contextualización Para La Actividad En El Aula.....  | 45        |

|   |           |
|---|-----------|
| Actividad # 01: Lo Práctico De Medir .....            | 47        |
| Actividad # 02: Fenómenos Luminosos.....              | 50        |
| Actividad # 03: Construyamos Un Fotómetro Visual..... | 54        |
| Reflexiones .....                                     | 57        |
| <b>Conclusiones .....</b>                             | <b>59</b> |
| <b>Bibliografías.....</b>                             | <b>61</b> |

**Anexos**

Cartilla: Medir La Intensidad Luminosa.

## Tabla De Ilustraciones

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1: Lámpara de Argand.....   | 14 |
| Ilustración 2: Lámpara de Carcel.....   | 15 |
| Ilustración 3: Partes de la lámpara diseñada por Franchot en 1836.....              | 16 |
| Ilustración 4: Lámpara incandescente de filamento de carbono diseñada por Swan..... | 17 |
| Ilustración 5: Jules Louis Gabriel Violle.....                                      | 20 |
| Ilustración 6: Datos recopilados por Jules Violle y Edmond Becquerel.....           | 25 |
| Ilustración 7: Espectrofotómetro construido por Jules Duboscq.....                  | 30 |
| Ilustración 8: Fotómetro de Rumford construido por Sautter y Lemonnier.....         | 34 |
| Ilustración 9: Fotómetro de Foucault construido por Deleuil.....                    | 35 |

# Introducción

Desde la antigüedad medir ha sido una necesidad vital para el ser humano. En aquellas épocas, ciertas artes y técnicas como la arquitectura, la antropología general, la agrimensura que estaba destinada a la delimitación de superficies y a la medición de áreas, pasando por las transacciones comerciales, la propiedad de la tierra o el pago de algún tipo de impuesto, se encontraba siempre participando alguna operación de medida. Pero medir toma un protagonismo importante a partir del siglo XIX, siendo este algo vital para el desarrollo de la física experimental gracias a pensadores como Lavoisier, Coulomb, Laplace, Lagrange entre otros que se preocuparon por crear un sistema de medidas más acorde para el estudio de los fenómenos naturales. Este sistema facilitaría enormemente el intercambio de conocimiento científico entre colegas que estudian y enseñan áreas como la física o la química, lo cual muestra el gran aporte que estos sistemas de medida hacen en la enseñanza de las ciencias.

Por ello, se podría decir que a partir de este siglo la medición era y será el aspecto más destacado cuando se trata de caracterizar la actividad experimental, particularmente en la física, identificándose la medición con la acción o proceso en el cual se asigna números a atributos de entidades del mundo físico mediante la aplicación de un instrumento adecuado para medir la propiedad en cuestión del cuerpo o sistema considerado (Malagón, 2011). En ese creciente desarrollo de la física experimental, se toma como referente al físico francés Jules Louis Gabriel Violle, que a finales del siglo XIX vio la necesidad de diseñar un patrón de medida para la intensidad luminosa realizando diferentes actividades experimentales y el uso de diversos aparatos de medida para su creación.

El siguiente trabajo dará a conocer una breve historia sobre la medida, y esta como influye en el desarrollo de la física experimental durante el siglo XIX, esta parte, complementa los estudios y criterios que tuvo Jules Violle a partir de textos originales de la época en la construcción de un patrón de medida para la intensidad luminosa basado en sus experiencias y actividades experimentales, y como los resultados de su trabajo pasaron por un proceso de formalización y su eventual aval ante la comunidad científica como único patrón de medida en la *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques* celebrada en París en los años de 1882 y 1884.

Este finaliza argumentando las actividades prácticas y experimentales que se desarrollaron con estudiantes de grado undécimo para estudiar el fenómeno de la intensidad luminosa con diferentes tareas de aula, desarrollando una interacción entre teoría y experimentación para así observar que por medio de la práctica experimental se construye y se comprende el fenómeno, y con ello, ampliar y organizar las experiencias que los estudiantes van adquiriendo en cada una de las actividades que se plantea en una cartilla que es dedicada, en su inicio, al manejo de conceptos necesarios sobre la medida y la iluminación, para luego pasar a la construcción de un patrón de medida para la intensidad que produce una fuente luminosa con la ayuda de prácticas experimentales e instrumentos de medida.

## **Planteamiento Del Problema**

El conocimiento producto de la actividad científica se origina fundamentalmente en los interrogantes planteados sobre situaciones cercanas a nuestra experiencia, las cuales son reconocidas como fenómenos (Flórez, 2012). Para la descripción de los fenómenos desde una perspectiva fenomenológica, es indispensable acudir a muchas reflexiones para contextualizar el papel que desarrolla el experimento en la enseñanza de las ciencias. Partiendo de esas premisas se llega a ver el carácter constructivo del fenómeno al ser organizadas las experiencias y observaciones intencionadas para obtener una descripción detallada del mismo. Desde la perspectiva del grupo de trabajo de la línea física y cultura, el profesor debe estar comprometido con las actividades y propuestas para la comprensión del fenómeno que se estudia para la enseñanza de las ciencias.

La práctica experimental tiene que ver principalmente con la construcción y comprensión de las fenomenologías en estudio, y con ello con la ampliación y organización de la experiencia de los sujetos, así como con la formalización de relaciones y con la concreción de supuestos conceptuales (Malagón, 2011). Se considera relevante para la enseñanza de las ciencias la actividad experimental que está vinculada a la construcción de magnitudes y de formas de medida para la conformación de fenomenologías. En este contexto, la intensidad luminosa como fenómeno asociado a la radiación electromagnética, pasó por representaciones conforme a lo experimentado por las personas, por ello se procede a un análisis fenomenológico. Así, con respecto a este fenómeno, se puede hacer el ejercicio de buscar el origen de las explicaciones sin recurrir a teorías ya elaboradas, sino por medio de prácticas experimentales donde el sujeto construya lo que observa o sienta sobre lo que puede ser la intensidad luminosa. Esto con la idea de enriquecer la mirada que tiene el profesor y los estudiantes sobre dichos fenómenos, teniendo en cuenta el ámbito social y cultural, también las intenciones que tiene el sujeto de comprender el mundo.

Pero pocas veces nos preguntamos por las condiciones mediante las cuales es posible evidenciar fenómenos, en especial el de la intensidad luminosa. Si realizamos una investigación del fenómeno en textos de física, se relaciona de inmediato este a la naturaleza de la luz, luego se puede llegar a principios y leyes de reflexión, refracción, difracción, interferencia, al tiempo de

llegar hablar de la naturaleza corpuscular de la luz, algo que no se ve coherente con nuestras experiencias cotidianas. La importancia de ver el fenómeno que se produce en un proceso de interacción con el sujeto que lo observa y tratar de explicarse esta situación, hace que se avance en la construcción gradual de dicho fenómeno, esto con el fin de fortalecer la mirada de quien observa posibilitando caracterizar cosas que en el momento no eran perceptibles, y que se revelan cada vez que este sujeto transforma su pensamiento con respecto al fenómeno, en este caso la intensidad luminosa.

Querer reforzar aspectos relacionados con la construcción y comprensión de fenomenologías, la construcción de formas de hablar del fenómeno, los procesos de formalización y profundización conceptual sobre la intensidad luminosa, hace fuerte el interés de hacer una investigación centrada en el desarrollo fenomenológico que realizó Jules Violle para construir un patrón de medida a la intensidad que produce cualquier fuente luminosa, partiendo de identificar elementos asociados al fenómeno, experiencias sensibles, instrumentos de medida y esta misma ser formalizada según el ámbito social, cultural y científico en el cual se desarrolló.

Es así como con esta problemática lleva pensar la siguiente pregunta:

*¿Qué elementos permitieron la construcción de un patrón de medida, la conceptualización y formalización de esta propuesta hecha por Jules Violle ante la comunidad científica, y este tipo de patrones cómo influyen en la enseñanza de la física en la actualidad?*

## **Justificación**

Una de las preocupaciones fundamentales del grupo física y cultural es la dinamización de los procesos de conocimiento de los estudiantes en enriquecer su sentido común. Por ello, generar espacios para que en el aula sea posible la ampliación y organización de la experiencia, la construcción de explicaciones y la generación de preguntas e inquietudes por parte de los estudiantes así como el fortalecimiento de ver el mundo, son actividades que ilustran someramente la labor del maestro en ciencias (Malagón, 2013). Por eso la importancia de las construcciones fenomenológicas y sus procesos de formalización, la construcción de una magnitud e instrumento de medida para la enseñanza de las ciencias, daría al docente y al

estudiante herramientas para su fortalecimiento en la comprensión de fenómenos físicos como la intensidad luminosa, partiendo desde experiencias sensibles, de la actividad experimental y la construcción de descripciones, comparaciones, entre otras particularidades que se podrían desarrollar en el aula.

Por ello, nace la propuesta de hacer una investigación disciplinaria sobre los estudios hechos por Jules Violle para definir un patrón de medida. A lo cual se contextualizara aspectos como la construcción de su patrón, su proceso de formalización y sus aportes e influencia en la enseñanza de las ciencias realizando actividades prácticas y experimentales en el aula.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Reconocer y analizar cuáles fueron los procesos seguidos por Jules Violle para la construcción de un patrón de medida a la intensidad luminosa y su aporte en la enseñanza de la física.

### **Objetivos Específicos:**

- Conocer la importancia de la medida en la física experimental y sus aportes al desarrollo de un patrón para la intensidad luminosa a finales del siglo XIX por Jules Violle.
- Realizar una investigación a partir de textos de la época sobre las experiencias realizadas por Jules Violle en el desarrollo de un patrón de medida para la intensidad luminosa, las conferencias que determinaron el *violle* como patrón para medir la intensidad luminosa y su eventual aval ante la comunidad científica a finales del siglo XIX.
- Desarrollar actividades prácticas y experimentales en el aula para reforzar conceptos sobre medida e iluminación, para luego construir un instrumento de medida como lo puede ser un fotómetro visual para el estudio de la intensidad luminosa.

## **Antecedentes**

Al realizar la investigación bibliográfica se encontró estudios locales que versan sobre la problemática de la construcción y formalización, la importancia de la práctica experimental y aspectos conceptuales relacionados al fenómeno de la iluminación. Estas investigaciones se convierten en antecedentes de la presente investigación ya que aportan elementos que permiten aclarar, explicar y conceptualizar sobre la problemática.

Gómez Estrella, A. L.; Flórez Rojano, I. D. (2012). Construcción de Explicaciones desde la Experiencia. Esta propuesta está asentada en los ámbitos de discusión de la Maestría como son el epistemológico, de donde se retoman los enfoques fenomenológicos sobre las ciencias y el papel de los estudios histórico-críticos hacia la comprensión de los fenómenos, el disciplinar como espacio de debate y construcción de explicaciones en relación a los fenómenos de las ciencias (en este caso el fenómeno de ver) y su caracterización, el pedagógico que incorpora la posibilidad de generar procesos de construcción de explicaciones por parte de los estudiantes a partir de su lenguaje, experiencia y conocimiento.

Cárdenas López, L. Ramírez Pérez D. (2009). Ampliación de la Experiencia en el Estudio del Fenómeno Electrostático. Dedicada al estudio del fenómeno electrostático; su aprendizaje por parte del sujeto. Se busca enriquecer la experiencia sensorial del estudiante sobre el fenómeno y que, por medio de su análisis, logre una organización del mismo que le permita comprender su entorno en esos aspectos.

Vargas Mora, F. (2009) Implicaciones pedagógicas de la caracterización y comprensión de la luz - visión - objeto. Realiza un recorrido bibliográfico que proporciona elementos conceptuales para abordar el problema, que en este caso se refiere a la adecuada organización de elementos como la luz, la visión y el objeto para poder ver. No obstante, la vinculación de esta estrecha relación de elementos se aborda sin utilizar trazos geométricos, si no con la experiencia cotidiana de los niños y el conocimiento que adquieran en el aula con ayuda de la formación de sombras y su relación con el ver.

# Capítulo I

## Los Comienzos Para La Construcción De Un Patrón De Medida: La Intensidad De La Luz

### Breve Historia De La Medida

Civilizaciones como las mesopotámicas, egipcias, fenicias, griegas, romanas, entre muchas otras, echaban mano de su propio cuerpo para contabilizar e intercambiar productos, así aparece el pie para medir parcelas, el codo que era útil para medir piezas de tela u otros objetos, el paso para medir terrenos más grandes, y para medidas más pequeñas la palma y el dedo. A partir de ello nacen los primeros sistemas de medidas llamados antropométricos. Pero la diferencia y la variedad en las medidas de un humano, llevan al problema antropométrico en buscar un humano estándar. La variabilidad enorme que existía entre las medidas de un humano a otro, llevo a intentar buscar una medida invariable que se haga acorde a todos impidiendo un sesgo, algún tipo de fraude o trampa. Para aquel entonces se elegiría la medida de alguien relevante, como lo era un rey. En el siglo X por ejemplo, se estableció la pulgada como la distancia que había entre el nudillo y el dedo pulgar del Rey Edgardo de Escocia, y haría lo mismo el Rey Enrique I de Inglaterra al establecer la yarda como la distancia que había desde su nariz hasta la punta de sus dedos de la mano.

Pero con el paso del tiempo, el desarrollo económico y político de la sociedad era cada día más creciente, y no fue hasta el siglo XVI donde algunas naciones europeas se vieron afectadas por las diferentes unidades empleadas en las medidas de los artículos de consumo más indispensables, lo cual ocasionaba perjuicios económicos que producía lo anteriormente mencionado, como fraudes y engaños en las transacciones comerciales. Tanta proliferación de distintos sistemas de medición generaba conflictos entre mercaderes y ciudadanos, y a medida que se extendía más el intercambio de mercancías, las grandes naciones europeas cada día veían la necesidad de que se normalizada un sistema de medidas para todo el continente. Por otro lado, pensadores y científicos necesitaban un sistema mucho más amplio, que permitiera un intercambio más fluido de conocimiento y de experiencias realizadas por ellos en sus respectivas naciones.

Uno de los primeros en intentar establecer un sistema de unidades universal fue el científico Inglés John Wilkins (1614 - 1672), que en 1668 hizo pública su obra llamada *An Essay Towards a Real Character and a Philosophical Language* en la que expone un nuevo lenguaje universal destinado principalmente a facilitar la comunicación internacional entre estudiosos, también un nuevo sistema decimal de medidas donde definió una longitud, un volumen y una masa universal. Haría lo mismo el italiano Tito Livio Burattini (1617 - 1681) en su obra *Misura Universale* publicada en 1675, donde desarrollo un sistema de unidades similar al hecho por Wilkins, ya que su sistema incluía el *metro cattolico* que era una unidad equivalente a la longitud de un péndulo de segundos (este solo difiere del metro moderno en medio centímetro). Burattini fue el primero en recomendar el nombre de metro (del griego metron, “medida”) para que se usara como unidad de longitud, pero estas ideas no tuvieron mucho eco en ese entonces.

Ya llegado el siglo XVIII, la diversidad de pesos y medidas existente en Europa era abrumadora, ya que en total existían entre 700 a 800 nombres de diferentes tipos de patrones de medida. Al observarse que el problema cada día era insostenible en toda Europa, se empezaron a retomar las ideas de Wilkins y Burattini.

En el reinado de Luis XVII en plena Revolución Francesa en el año de 1790, Charles Maurice de Talleyrand cumpliría un papel importante en la creación de un sistema único de medidas. Siendo un audaz político y diplomático, Talleyrand propone fijar un prototipo de unidad de longitud que sea tomado de la ‘*Naturaleza*’ y que esta sea aceptable para todas las naciones. Propone entonces que el tema sea estudiado por la Academia de Ciencia de Paris y por la Royal Society en Londres, lo cual sería el primer paso para la internacionalización del sistema. En ese entonces ya la mecánica había logrado un desarrollo importante con pensadores como Bernoulli, Euler, D’Alambert, Lagrange y Laplace que tenían profundizados sus estudios en la filosofía natural, y esta se había convertido en el fundamento y el referente de la física entre los siglos XVIII y XIX (Malagón, 2011). Bajo esa premisa de una filosofía natural relacionando hechos que se presentan en la naturaleza, se empezaría en Francia a trabajar en un sistema de medidas único y uniforme, asegurando así la facilidad en los intercambios de conocimiento científico y de paso la integridad en las operaciones comerciales.

Esto iniciaría en el año de 1791 con el químico francés Antoine Lavoisier (1743 - 1794), en ese entonces era tesorero de la Academia de Ciencias de París, para luego ser nombrado secretario

del comité para la unificación de pesos y medidas, que con un grupo de científicos de las diferentes ramas de las ciencias, empezaron a desarrollar el Sistema Métrico Decimal. Los astrónomos franceses Jean-Baptiste Delambre (1749 - 1822) y Pierre Mechain (1744 - 1804), iniciaron su trabajo en decidir que el cuarto de meridiano terrestre se convirtiera en la unidad real de medida, y la diezmillonésima parte de esa longitud (la cuarenta millonésima parte de un meridiano terrestre) fuera el patrón usual, que más adelante recibiría el nombre *metro*. Lavoisier por su parte era el encargado de la determinación de la unidad universal del peso, para lo cual emplea agua destilada (agua de río filtrada en un manantial arenoso) y utiliza para pesarla un cilindro (un cuerpo cuyo volumen se puede conocer con precisión), y una balanza de un solo brazo (para evitar una posible desigualdad entre los brazos de una balanza convencional). A partir de ello las prácticas experimentales jugaban un papel fundamental, ya que se preocupaba por tomar con exactitud las medidas que se requerían con el uso de instrumentos adecuados según las propiedades del sistema que se esté considerando. Las mediciones en aquel entonces se volvían una práctica compleja que involucraba, no solo aquello que es objeto de medición, sino también la forma de medirla y los dispositivos con los que se hace la operación (Malagón, 2011).

Para ese entonces trabajaba lo mejor de la ciencia francesa, pero surge una depuración basada en ideas políticas y no científicas, ya que el trabajo realizado por Lavoisier y sus colaboradores sufriría un grave tropiezo el 8 de agosto de 1793, donde la Convención Nacional Revolucionaria y su Comité de Seguridad Pública ordeno la eliminación de todas las academias y sociedades literarias del estado. Ese mismo año se dispuso que los antiguos miembros del *Ferme Générale* fueran arrestados (1), esto le cobraría factura a Lavoisier ya que formo parte activa de ese grupo. A pesar de la férrea defensa de sus amigos y colaboradores exponiendo sus obras y sus grandes aportes a la ciencia, el 8 de mayo de 1794 fue condenado a muerte y ejecutado a la guillotina ese mismo día. Eso se sumaba a los vaivenes de la situación política interna y las confrontaciones bélicas con los estados monárquicos europeos. A pesar de todo esto no impidió a Delambre y Mechain en seguir con sus mediciones geodésicas, ya que el desarrollo de un nuevo sistema de medidas se consideraba de vital importancia a pesar de los riesgos que corrían al estar en estados hostiles, tanto franceses e ingleses continuaban el trabajo de internacionalización de las medidas.

---

(1) La Ferme Générale fue un antiguo régimen en Francia que se encargaban en el recaudo de impuestos y de las operaciones aduaneras en nombre del rey que en los siglos XVII y XVIII. Debido a los beneficios que tomo a expensas del estado, los términos de sus contratos y la violencia de sus agentes armados fueron parte de las causas de la revolución francesa.

Durante este tiempo hubo muchas interrupciones en crear los patrones ya denominados metro y kilogramo, las mediciones fueron largamente estudiadas y verificadas por los miembros de una Comisión Internacional reunida en París “ad hoc” durante varios meses. El trabajo realizado fue presentado al Consejo de los Ancianos y de los Quinientos el 22 de junio de 1799 (2), luego estos patrones fueron moldeados en platino (una barra de un metro y un cilindro de un kilogramo) para que resistieran los estragos del tiempo, pero durante la era de Napoleón hubo acontecimientos regresivos que temporalmente reavivaron las viejas tradiciones. Por lo tanto a pesar de su comienzo esperanzador, el sistema métrico no fue rápidamente adoptado en Francia. Aunque el sistema estaba ya siendo enseñado en las escuelas, la falta de fondos impidió la distribución de modelos secundarios (Nelson, 2000).

### **El Aporte De Los Patrones Eléctricos En La Física Experimental Del Siglo XIX**

A pesar de los tropiezos, la implementación del Sistema Métrico Decimal estaba siendo muy bien recibida por la comunidad científica. No obstante, ciertas actitudes elitistas y conservadoras de la Royal Society en Londres, dificultaban la existencia de una comunicación más fluida entre las diferentes academias y científicos de toda Europa, lo que generó que el físico escocés David Brewster animara a William Vernon-Harcourt a fundar en el año de 1831 la *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) (3), que era un modelo similar a la *Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte* en Alemania.

La BAAS cumpliría un papel importante en la creación de patrones eléctricos, de los cuales hablaremos más adelante, ya que en ese entonces las ciencias baconianas estaban adquiriendo su máximo desarrollo. Gracias a las actividades desarrolladas por Faraday, Hertz y Helmholtz, que se destacaban según Koppern y Mäntylä (2006), en un enfoque fenomenológico que era algo característico de la actividad experimental que se practicaba en el siglo XIX; ya que los resultados experimentales por parte de Faraday, Hertz y Helmholtz no se usaban como base para la formulación de hipótesis, sino que eran tomados como representación de las regularidades encontradas en los fenómenos. Así, el descubrimiento de nuevos fenómenos, su examen y las

---

(2) El consejo de los Ancianos y el consejo de los Quinientos era una asamblea legislativa francesa creada en el año de 1795 cuyas leyes aprobaban o rechazaban. Fue suprimida por Napoleón tras un golpe de estado en 1800.

(3) Actualmente British Association (BA), es una sociedad de investigación fundada en 1831 en Londres con el objeto de promocionar la ciencia, facilitando la interacción entre los científicos.

conexiones existentes entre diferentes fenómenos, se convirtieron en una forma de hacer la física experimental (Malagón, 2011).

En ello, pondría de su parte el físico alemán Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855), que en el año de 1832 estaba fuertemente a favor de la implementación del Sistema Métrico Decimal hecho por los franceses, ya que le parecía un sistema coherente de unidades para las ciencias físicas. Gauss hizo un sistema algo similar al francés, donde se pudieran hacer mediciones del campo magnético terrestre, del cual denominó Sistema CGS (centímetros, gramos y segundos), y en colaboración con su amigo el físico alemán Wilhelm Eduard Weber (1804 - 1891), extendieron estas medidas para incluir otros fenómenos eléctricos. Mientras tanto que en territorio francés finalmente el Sistema Métrico Decimal se hizo oficial y obligatorio el 1 de enero de 1840.

El sistema CGS de Gauss en la década de 1860, es tomado por los físicos ingleses James Clerk Maxwell (1831 - 1879) y William Thomson (1824 - 1907), para que sea usado en los crecientes campos de la electricidad y el magnetismo dentro de la BAAS, donde se empezó a trabajar en un sistema de unidades que consistiría en magnitudes de base y magnitudes derivadas de ellas. En 1874 se introdujo oficialmente en la BAAS este sistema que contribuyó enormemente al desarrollo de la física experimental, aunque, aún existían dificultades en estos dos campos de la física, ya que ciertas unidades no eran útiles e inadecuadas en la práctica. Estos percances se solucionarían al empezar a ser adoptado en muchos países de Europa y Latinoamérica el Sistema Métrico Decimal.

El principio de su implementación fue la Convención del Metro realizada en el 20 de mayo de 1875 en París, donde 17 estados firmaron un tratado internacional con el fin de establecer una autoridad mundial en las mediciones de las magnitudes. A pesar de que la convención tenía unos intereses más prosaicos como el tema comercial y la normalización de las piezas mecánicas en la industria, fue el arranque para establecer la creación de una organización científica que tuviera, por una parte, una estructura permanente que permitiera a los países miembros tener una acción común sobre todas las cuestiones que se relacionen con las unidades de medida y que asegure la unificación mundial de las mediciones físicas.

A partir del acuerdo llegado en la Convención del Metro en París, la BAAS contribuyó en los siguientes años, en un conjunto de unidades eléctricas como el *ohm* para la resistencia eléctrica,

el *voltio* para la fuerza electromotriz y el *ampere* para la corriente eléctrica. Durante la década de 1880 la electricidad tomaría naturalmente un lugar de suma importancia en la física, y lo haría en la *Exposition Internationale d'Électricité*, celebrada en París en el año de 1881. Esta exposición sería el comienzo de grandes descubrimientos y nuevas unidades de medición, donde el físico francés Jules Violle mostraría al mundo un nuevo patrón para medir la intensidad luminosa.

## Diferentes Fuentes De Luz Patrón En Los Siglos XVIII Y XIX

Antes de hablar sobre el patrón que Jules Violle propuso para medir la intensidad luminosa de cualquier fuente, empezaremos hablando del astrónomo y matemático francés Pierre Bouguer (1698 - 1758), por ser el primero que uso una simple vela como patrón de medida para hallar la intensidad luminosa de tenia el sol.

Su padre Jean Bouguer era uno de los mejores hidrógrafos en su tiempo, tras fallecer en el año de 1714, Pierre Bouguer sucede a su padre como profesor de hidrografía en la ciudad Le Croisic. Rápidamente se había convertido en toda Francia en una autoridad teórica relacionada a cosas náuticas, sin embargo Bouguer comenzó a interesarse por otros problemas científicos. Su interés por la medición de la intensidad de la luz empezó en el año de 1721, ya que su amigo el astrónomo Jean-Jacques Dortous de Mairan le propuso el problema de medir la cantidad relativa de la luz del sol. En dos altitudes diferentes Bouguer logro en 1725 hacer la medición de la intensidad de la luz que emite la luna en plenilunio comparándola con una vela, al tiempo el ojo humano lo uso no como un patrón de medida pero si como un indicador nulo, es decir, para establecer la igualdad de brillo en dos superficies adyacentes. Con ello determinó que la intensidad de la luz del sol es 300 veces más intensa que la de la luna.

Bouguer continuó sus trabajos ya relacionados a los problemas de transmisión de la luz a través sustancias transparentes, estos estudios los publico en el año de 1729 en su obra *Essai d'optique sur la gradation de la lumière* que exponía la cantidad de la luz que se pierde al atravesar una determinada extensión atmosférica, diciendo que en un medio de transparencia uniforme, la luz que queda en un haz colimado es una función exponencial de la longitud de su trayectoria en el medio (4). Esta afirmación hecha por Pierre Bouguer fue mejorada por Johann Lambert en 1760 y

---

(4) Se denomina luz colimada a la luz cuyos rayos son paralelos entre sí, lo que se puede lograr de diferentes formas, siendo la más sencilla hacerla incidir en un espejo cóncavo desde una fuente situada en el foco.

por August Beer en 1852 que hoy en día se conoce como Ley Beer-Lambert (5).

A pesar de que su mayor pasión fue la hidrografía, sus aportes en la medición de la luz, como el brillo percibido por el ojo humano lo dejaron en la historia como el padre de la fotometría. En los siguientes años, el estudio de este nuevo campo se hacía cada vez más fuerte y muchos buscaron diferentes maneras de medir la intensidad que produce cada fuente luminosa. Con el paso del tiempo la vela y sus problemas de invariancia hicieron que se buscaran patrones más precisos, donde las lámparas de uso doméstico o rural entran en escena.

### **Las Lámparas Como Fuentes De Luz Patrón**

Las lámparas de aceite (o candiles) fueron usadas por primera vez en el siglo X a.C., y son pocos los cambios que sufrió este tipo de lámparas hasta la invención que hizo el físico francés Francois Pierre Ami Argand (1750 - 1803), al diseñar en el año de 1780 una lámpara que patento con su nombre. La lámpara de Argand (*Ilustración 01*) era mucho mejor que los candiles, ya que producía una luz equivalente en ese entonces a 6 o 10 velas. Tenía una mecha cilíndrica montada entre un par de tubos concéntricos de metal, para que el aire se canalizara a través del centro y afuera de la mecha. El farmacéutico francés Antoine Lavoisier (1745 - 1803), mejoró esta lámpara al incluirle vidrio esmerilado que eran como chimeneas cilíndricas rodeando la mecha, estabilizando la llama y la mejora del flujo de aire. Para estas lámparas, se utilizaba como combustible aceite de ballena, el cual era suministrado por un depósito montado encima del quemador.

Esta lámpara rápidamente desplazó a los ya conocidos candiles, aunque eran un poco más costosas debido a su complejidad, empezaron a ser utilizadas por las clases altas para luego extenderse a las clases medias. A pesar de su fabricación en masa a finales del siglo XVIII, la lámpara tenía el inconveniente de que su depósito de aceite debía estar por encima del quemador, debido a que en ese entonces el aceite era pesado y la capilaridad no era suficiente para elevarlo hasta la mecha, esto hacía que este depósito provocara una sombra considerable.

---

(5) La ley de Beer-Lambert relaciona la intensidad de luz entrante en un medio con la intensidad saliente después de que en dicho medio se produzca absorción. Esta ley establece una proporcionalidad entre la concentración de una entidad química en solución (o de la presión parcial de esa entidad en gas de fase), la absorbancia de la misma y la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el solución. La ley de Beer-Lambert es, sin embargo, válida sólo bajo ciertas condiciones: la luz debe ser monocromática, las soluciones de concentración deben ser pequeñas, las soluciones deben ser homogéneas y el soluto no debe reaccionar bajo la acción de la luz incidente.

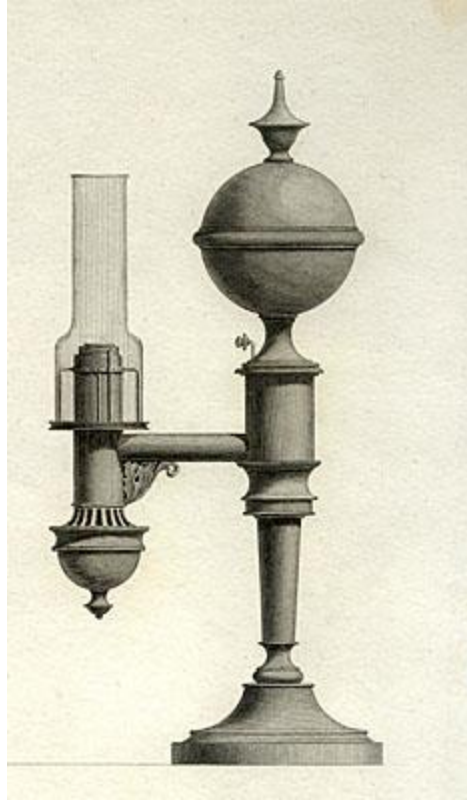


Ilustración 01: Lámpara de Argand inventada en 1780 (Imagen tomada del sitio web <http://thestillroomblog.com/>)

Para superar las desventajas que tenía en ese entonces la lámpara de Argand, en el año de 1800 el relojero francés Bertrand Guillaume Carcel (1750 - 1812), diseñó un dispositivo que era más eficiente a la hora de iluminar. Equipado con una boquilla de 12mm de diámetro, la lámpara de Carcel (*Ilustración 02*) utilizaba una alimentación por gravedad, lo cual significaba que el depósito de aceite se encontraba encima del quemador, esta alojaba un mecanismo de relojería que llevaba una pequeña bomba sumergida en este depósito. Por medio de engranajes y un pistón, permitía el suministro constante a la mecha, que en promedio quemaba 42g de aceite por hora.

Los beneficios definidos en esta lámpara de Carcel era que el movimiento del mecanismo se ejecutaba sin supervisión, utilizaba hasta la última gota del aceite, permanecía encendida durante 16 horas seguidas sin necesidad de recargarla y tenía una iluminación considerablemente alta sólo con una lámpara. Este sin duda era un dispositivo bastante complejo y se hizo muy popular entre los franceses, tanto así que se convirtió en un patrón exclusivo para hacer mediciones fotométricas ordinarias a comienzos del siglo XIX en Francia.

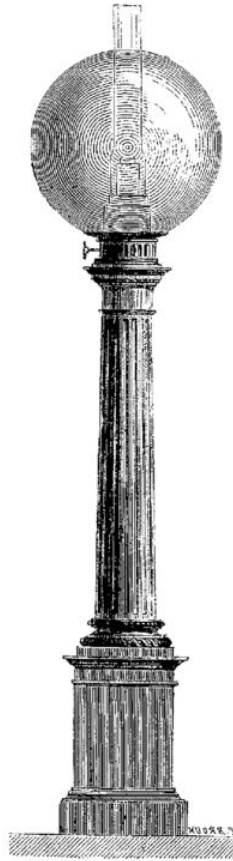


Ilustración 02: Lámpara de Carcel inventada en 1800 (Imagen tomada del libro *Les Merveilles de la science*, 1867 - 1891, Volumen 4)

Con el pasar del tiempo surgieron diferentes tipos de lámparas de aceite o gas que se desarrollaron durante este siglo. El ingeniero suizo Isaac Ami Bordier-Marcet (1768 - 1835), discípulo de Ami Argand, desarrolló lámparas con reflectores parabólicos para el uso doméstico, que luego se hicieron populares en la iluminación urbana y en especial en los faros por ser un diseño llamativo y elegante. La patentó con el nombre de lámpara ‘astral’ en el año de 1809, y tuvo un amplio desarrollo en la iluminación urbana de París en 1810, aunque su intensidad lumínica era relativamente baja en el alumbrado público o al aire libre. Estas lámparas empezarían a ser reemplazadas seis años después de las calles parisinas con la llegada de la iluminación a gas a manos de la compañía inglesa *Light y Coca-Cola Company Westminster Gas*, de la cual el inventor alemán Frederick Winsor era su fundador.

En el año de 1836 el ingeniero francés Charles-Louis Franchot (1809 - 1881), patentó su lámpara ‘moderadora’ (*Ilustración 03*), que a diferencia de otras lámparas mecánicas, se caracterizaba por la simplicidad del mecanismo que solo se limitaba a un resorte, ya que a través de la acción

directa de la fuerza elástica, el aceite subía y con un regulador esta fuerza se mantenía constante. Pero la iluminación era muy limitada, debido a que tocaba de forma seguida recargarla por el alto consumo aceite, sumado a que la mecha ya se encontraba carbonizada.

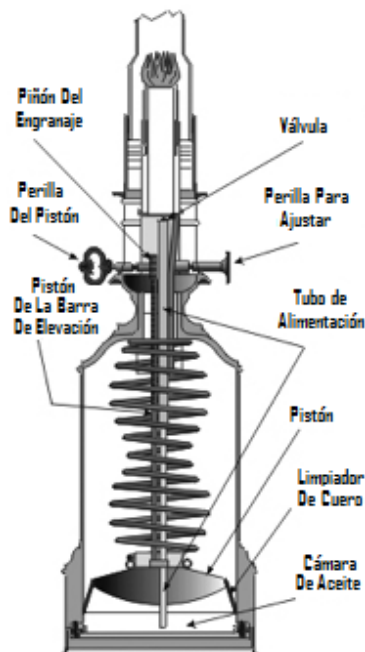


Ilustración 03: Partes de la lámpara diseñada por Franchot en 1836 (Imagen tomada del sitio web <http://uslhs.org/>)

Las lámparas de queroseno, que fueron modernizadas por el farmacéutico polaco Ignacy Łukasiewicz (1822 - 1882) en el año de 1853, nacieron del trabajo que el desarrollaba al experimentar con diferentes técnicas de destilación tratando de mejorar el proceso del queroseno que existía en aquella época. Su trabajo logro importancia en la ciudad de Lwów donde Łukasiewicz residía, ya que el hospital local vio lo efectividad que lograba esta lámpara a la hora de iluminar al llevar a cabo los médicos sus operaciones de emergencia, que era prácticamente imposible de hacer con velas. Esta lámpara y en especial su combustible que era más limpio y barato que los diferentes aceites que se usaba, logro rápidamente popularidad, ya que su funcionamiento era sencillo e incluso se podía ajustar el tamaño de la llama. Sin embargo el queroseno al ser un hidrocarburo inflamable, se exigía saber regular la presión que se le aplicaba al tanque que lo contenía para desalojar la presión que pudiera generarse, ya que se corría peligro de que este explotara (6).

(6) Un informe realizado en la ciudad de New York en el año 1880 reveló que casi dos de cada cinco incendios en esta ciudad eran causados por las lámparas de queroseno. Fuente: [http://www.chowenepanor.com/queroseno-usos-info\\_369639/](http://www.chowenepanor.com/queroseno-usos-info_369639/)

El físico inglés Joseph Wilson Swan (1828 - 1914) había empezado en el año de 1850 en trabajar con bombillas usando filamentos de papel carbonizado dentro de un bulbo de cristal. En 1860 Swan fue capaz de hacer que el dispositivo funcionara como una lámpara incandescente de filamento de carbono (*Ilustración 04*), pero la falta de una buena fuente de electricidad y de un buen vacío en su bulbo, hacía que la lámpara fuera ineficiente por su corto tiempo de vida.



Ilustración 04: Lámpara incandescente de filamento de carbono diseñada por Swan (Imagen tomada del sitio web <http://www.sciencemuseum.org.uk/>)

Luego de 15 años Swan retomó su trabajo de la bombilla con un mejor vacío y un hilo carbonizado como filamento, que contaba con una característica peculiar de contener una pequeña cantidad residual de oxígeno en el tubo de vacío para encender el filamento que brillaba intensamente hasta llegar casi a blanco, pero su filamento tenía muy baja resistencia, lo que hacía corta su duración. Vendrían más inventos novedosos relacionados con lámparas incandescentes o que requirieran consumo de electricidad, una de ellas en el año de 1867 por el físico francés Edmond Becquerel (1820 - 1891) al hacer una lámpara eléctrica que constaba de un tubo de vidrio lleno de diferentes polvos fluorescentes, claro está, que por su baja intensidad de luz no tuvieron aplicación alguna.

Esta cantidad de lámparas expuestas en este escrito, no tendrían un gran impacto en reemplazar la lámpara Carcel como patrón absoluto de la intensidad luminosa en Francia durante todo el siglo XIX, ya que su complejidad y la poca invariancia que sufría su llama la hacía para los franceses un buen patrón de medida. Pero las lámparas de Carcel eran lámparas muy frágiles y algo costosas, se devolvía a los fabricantes para sus respectivas reparaciones, lo cual en su tiempo no era muy rentable. Sumado a la dificultad para ajustar la altura de la mecha y la llama, la inestabilidad de la misma la hacía un patrón estándar muy irregular. A pesar de muchas mejoras hechas por varios científicos a la lámpara durante el siglo XIX, la invariancia en su llama persistía.

Eso no impediría a las empresa gasíferas o eléctricas en Francia que el Carcel fuera su patrón para el cobro del servicio de iluminación en Carcel-Años, Carcel-Meses o Carcel-Horas. Pero ¿Este patrón de medida es de utilidad para el desarrollo científico, en este caso el campo de la fotometría?, a pesar de los acuerdos firmados por las naciones en la Convención del Metro en 1875, no fue relevante discutir sobre un único patrón para la medición de la intensidad luminosa. El problema estaba lejos de ser solucionado ya que cada científico trabaja por su cuenta un patrón útil para el cobro de la iluminación, para Jules Violle era la oportunidad de darle un importante espacio a la comunidad científica lo que son las medidas fotométricas usando de base la física experimental.

## Capítulo II

### Las Experiencias De Jules Violle Para El Establecimiento De Un Patrón Absoluto

#### Exposición Internacional De Electricistas (1881)

Las exposiciones internacionales que se desarrollaron en el siglo XIX, eran una forma donde los estados del mundo exponían su poder técnico y económico. Sin embargo, la realizada en 1881 en París fue una de las más innovadoras.

La *Exposition Internationale d'Électricité* de 1881 fue iniciada por Adolphe Cochery, que en ese entonces era ministro de correos y telégrafos de Francia, y esta era presidida por el químico Jean-Baptiste Dumas, donde por primera vez una exposición internacional se dedicaría por entero a la electricidad y sus aplicaciones, al tiempo que se celebraba un congreso internacional de electricistas.

La exposición realizada entre el 11 de agosto hasta el 20 de noviembre fue visitada por casi 750.000 personas. Según Gérard Borvon en su artículo *Histoire de l'électricité: l'histoire des unités électriques* (2009) afirmaba que “al entrar en el Palacio de los Campos Elíseos el espectáculo era genial. En el centro de la planta baja, un modelo de faro eléctrico de los que se debe instalar en las costas, iluminaba la habitación con luces giratorias de diferentes colores. Este faro simbolizaba los dos grandes temas de la exposición: la iluminación y el uso de generadores eléctricos de alta potencia.”

Durante la exposición se presentaron diferentes tipos de lámparas, telégrafos, dinamos, pilas eléctricas, tratamiento de minerales por electroquímica, etc. Las mentes más brillantes en aquel entonces se hacían presentes en exhibir sus inventos y estudios relacionados a la rama de la electricidad.

Mientras tanto en el congreso internacional de electricistas se discutía variedad de trabajos relacionados a temas eléctricos y de iluminación; sin embargo, uno en particular trataba sobre establecer un único patrón para medir la intensidad de las fuentes luminosas, esta exposición la realizaba el físico francés Jules Violle.

## ¿Quién Era Jules Violle?

Para conocer más de nuestro protagonista, mostrare una breve biografía de este físico matemático y sus aportes en las ciencias.



Ilustración 05: Jules Louis Gabriel Violle (Imagen tomada del sitio web <https://sites.google.com/site/electricalia/>)

Jules Louis Gabriel Violle (1841 - 1923), era hijo y nieto de matemáticos, estudio en la *École Normale Supérieure* en París donde se tituló como licenciado en ciencias físicas y matemáticas, trabajo como docente en muy respetadas instituciones de ciencias en Francia. En el año de 1867 volvió a la *École Normale Supérieure* como preparador de laboratorios, para luego convertirse en el encargado de los montajes experimentales del laboratorio de física. Presento en 1870 su tesis doctoral que se basaba en el equivalente mecánico del calor cuando se aumenta la temperatura que produce las corrientes de Foucault de una masa metálica en movimiento en un campo magnético. En el año de 1875 realizó una expedición al Mont Blanc para realizar mediciones de la constante solar. Después, se dedicó a realizar actividades experimentales para definir un único patrón para poder realizar mediciones fotométricas, pero en particular que fuera un patrón que no dependiera de las propiedades de una vela y/o lámpara determinada como siempre se había venido haciendo.

Buena parte de los estudios y experimentos realizados por Jules Violle para definir este patrón, los desarrolló en el laboratorio de física de la *École Normale Supérieure*, para luego exponerlos

en el congreso de electricistas que se estaba celebrando en 1881. Violle expuso el resultado de sus experimentos que fueron en crear un patrón de medida (el cual llamo *violle*) para definir la intensidad luminosa como la luz emitida por el platino en su punto de fusión. Pero, ¿Cuáles fueron esos argumentos que Jules Violle tenía para proponer un único patrón para medir la intensidad luminosa que no dependiera de las propiedades de una vela, lámpara de aceite o incandescente? Esto lo publicaría en el libro *Annales De Chimie Et De Physique* en el año de 1884 en un artículo llamado *Sur L'Étalon Absolu De Lumière*, donde menciona los problemas y las dificultades que tenía cada fuente de luz patrón que usaba ciertos estados europeos para realizar mediciones fotométricas, al tiempo de defender su patrón como idóneo y coherente ante la comunidad científica.

## **El Problema De Las Fuentes De Luz Patrón En La Medida**

### **El Problema De La Llama**

Jules Violle argumenta que la vela usada como patrón estándar en países como Inglaterra y Alemania, o en el caso de Francia que usaba como patrón estándar la lámpara de Carcel, eran útiles en su momento para hacer mediciones fotométricas ordinarias, ya que eran solicitadas en ocasiones por las industrias de gas para el cobro de la iluminación en diferentes países, y aunque la vela era inferior a la Carcel en su luminosidad, el color de su llama no era significativamente diferente. La llama al estar adecuada en perfectas condiciones, ya sea la de una vela, lámpara de aceite o de gas, su tamaño y coloración no varían. Sin embargo, Violle dice que estas fuentes luminosas ofrecen algunas dificultades, lo cual hace que estas fuentes de luz patrón no deberían ser tenidas en cuenta como patrones de medida.

Violle comenta que para el caso de la vela, en primer lugar, es difícil tener materia prima de composición constante para su fabricación, ya que el método para la fabricación de la estearina, que es un ácido derivado de la grasa animal y utilizado como sebo en la manufactura de velas, hacia complicado que el producto final sea invariable. En aquella época, la vela alemana hecha con parafina ofrecía mejores condiciones de iluminación, pero según experimentos hechos por Gérard Monnier (7), esta vela variaba entre un 3% a 4 % su iluminación, mientras que la vela

---

(7) Experimentos hechos por Gerard Monnier referenciados por J. Violle en el libro '*Annales De Chimie Et De Physique*' en la pg. 374; 1884 en su artículo '*Sur l'étalon absolu de lumière*'.

inglesa hecha con esperma de ballena (espermaceti) presentaba variaciones del casi 15% (Violle, 1884 pg. 374).

Otro inconveniente de la vela era su mecha, ya que el material licuado que llega a la llama por acción capilar depende de la forma, el tamaño y la textura de la mecha, y estas variables se presentan en una sola vela, en otras velas estas variables cambian por la misma razón de que las componentes para su fabricación, ya que estas no son constantes, lo cual influye en la intensidad luminosa. Bajo esos criterios, la vela no podía cumplir esa condición esencial para ser un patrón absoluto para la iluminación.

Lo mismo sucede con las ya famosas lámparas de Carcel, que habían sido mejoradas por personajes como Jean-Baptiste Dumas y Henri Regnault durante el siglo XIX, que eran mejores que la velas a la hora de iluminar. Violle mencionó que estas lámparas de Carcel al ser alimentadas con el mismo aceite, fabricadas con las mismas piezas, y siempre ajustadas por el mismo fabricante u operador, proporcionan resultados muy consistentes a la hora de iluminar.

Pero que dos lámparas con diferentes fechas de fabricación, alimentados con diferentes aceites y regulada por dos personas diferentes, generan brechas significantes a la hora de ser tomada como un estándar absoluto de iluminación. Era necesaria una unidad más precisa donde no existiera tantas variables, y esta necesidad dice Violle, se hacía más fuerte con el nacimiento de una novedosa forma de generar luz, ya que en la década de 1870 estaba en surgimiento una nueva luz que era de manera eléctrica por parte de las lámparas incandescentes.

En aquel entonces, diferentes ciudades de Europa, entre ellas Londres, estaban empezando a usar la luz eléctrica para iluminar sus calles o edificios emblemáticos, aunque la iluminación por gas estaba todavía muy presente. La competencia de esta nueva luz había causado entre las compañías de gas y los electricistas la necesidad del establecimiento de una unidad fotométrica estándar que fuera más precisa de las que se usaban en aquellos días. Violle referencio a estudiosos como Methven en Inglaterra y Giroud en Francia que intentaron usar la llama que producía el gas ordinario de estas compañías gasíferas para establecer un patrón, Giroud al tiempo quería tener como una manera conveniente de poder controlar la fabricación de gas (8).

---

(8) Trabajos hechos por Methven y Giroud referenciados por J. Violle en el libro '*Annales De Chimie Et De Physique*' en la pg. 375; 1884 en su artículo '*Sur l'étalon absolu de lumière*'.

Pero el químico Inglés Vernon-Harcourt fue más allá al emplear un gas como el pentano de composición constante y que al ser quemado, su llama se mantenía casi idéntica (9). Pero para Violle su trabajo presentaba muchas dificultades, una de ellas era que debido a que el pentano casi siempre en su mezcla había otros hidrocarburos volátiles que no lo hacen perfectamente puro.

Según Violle establecer una unidad absoluta de la luz, no es suficiente con quemar una composición constante de un material en particular, es necesario que la llama sea siempre la misma, por lo tanto el aire como el gas que se está quemando (el oxidante y combustible), debe tener una composición constante, y esta proporcionara unas condiciones invariantes. Las llamas, cualesquiera que sean, se ven afectadas por cualquier cambio en el estado del oxidante. Este fenómeno es especialmente notable cuando se compara una de estas llamas al estándar propuesto por Violle, o por lo menos en una lámpara incandescente que no está influenciada por los cambios en el aire exterior. Bajo estas premisas, Violle afirma que (1884, pg. 376) “para que exista una llama invariable se debe utilizar un combustible constante a densidad constante y la combustión constante en densidad constante, planteados esos términos el problema está lejos de ser simple”.

En si dejar como unidad absoluta una llama representa muchas dificultades, donde no solo se tendría que tener en cuenta el materia del que procede esa llama, sino también la temperatura de la llama, su espesor y su intensidad luminosa, y esta a su vez no debe sufrir ninguna variación. Para Violle proporcionar una unidad absoluta a partir de una llama es imposible, ya que además tiene que satisfacer un conjunto de condiciones de manera integral. Esto tampoco significa que una parte de la llama pueda perfectamente ser un estándar adecuado, sólo porque esta se alimente cuidadosamente por un combustible y un oxidante de composición y densidad constante.

### **El Problema De Las Lámparas Incandescentes**

Al ver tantos problemas a la hora de buscar un patrón para hacer mediciones fotométricas, Violle pensó que con un sólido brillante se evita la mayoría de estos inconvenientes, una lámpara incandescente al recibir una determinada cantidad de energía podría ser una unidad fotométrica

---

(9) El patrón de Vernon-Harcourt era equivalente a 0,125 Carcel, o sea que 1 Carcel = 8 Vernon-Harcourt.

ideal. Pero al igual que el resto de lámparas enfrenta otras dificultades.

Existían lámparas incandescentes que en aquella época se componía de una placa de platino de dimensiones predeterminadas, iluminado por el paso de una corriente eléctrica de intensidad dada. La brillantez de esta lámpara, Carl Louis Schwendler a finales de la década de 1870 la fijó como patrón, si, después de algún tiempo la placa de platino debido a la propia acción eléctrica no sienta un cambio en su estructura física. Pero para Violle la desintegración que sufría el hilo de platino (un obstáculo contra el que Edison y Swan fracasaron al tratar de fabricar este tipo de lámparas incandescentes) mostraba que la resistencia que tenía este material era muy baja, lo cual hacía que solo soportara cierta corriente durante varios días, luego este hilo de platino se rompería por la tensión de la misma corriente. Violle tenía en cuenta otro aspecto, la unión de un alambre a los dos polos de una batería experimenta una modificación continua con cambios que corresponden a la resistencia eléctrica y, por lo tanto, habrá cambios en la temperatura así halla una misma corriente. Además, se tiene en cuenta que si hay cambios de la superficie al igual que su emisividad, la intensidad luminosa no será la misma. El patrón Schwendler tampoco respondía a los requerimientos para ser tomada como unidad fotométrica.

Violle también tenía en cuenta que al ser fabricadas estas lámparas incandescentes salían con algunos de estos defectos. La intensidad luminosa que correspondería a un esquema eléctrico constante variaría bastante y lentamente si se observaba en una larga sesión de varias horas, incluso las que están hechas con filamento de carbono, su intensidad varía con el tiempo. Violle añadió que el pequeño tamaño de la superficie radiante es un problema, por lo que sería imposible medir el brillo, es decir, su cantidad de luz emitida por unidad de superficie, es una desventaja real de las lámparas incandescentes que, por estas razones, no podrían servir como un estándar absoluto.

### **Experimentando Con Platino**

Violle menciona que en aquel entonces, se habían hechos experimentos que demostraban que el poder de la iluminación de cualquier cuerpo luminoso dependía principalmente de la temperatura del cuerpo. El físico Inglés John Draper hizo estos experimentos con un hilo de platino calentándolo a altas temperaturas y con el paso de corriente eléctrica la intensidad aumentaba gradualmente. Se reconocía fácilmente que el brillo estaba creciendo mucho más rápido que la

temperatura (10). Hecho que fue confirmado por experimentos realizados por el mismo Jules Violle con su amigo Edmond Becquerel, y de lo que arrojó este experimento, Violle comentó que solo transcribió las intensidades de color amarillo claro, emitido por una placa de platino llevado sucesivamente a diferentes temperaturas.

Al ver esta particularidad, en especial con un metal como el platino, Violle expone que toma como patrón la intensidad luminosa que emite una placa de platino a una temperatura de punto de fusión, y hace la comparación con diferentes metales (*Ilustración 06*).

Donde el punto de fusión de la plata es de 954°C, el punto de fusión del oro es de 1045°C, el punto de fusión del paladio es de 1500°C y el punto de fusión del platino es de 1775°C (11).

| Températures. |                     | Intensités. |
|---------------|---------------------|-------------|
| 954°          | fusion de l'argent  | 0,0012      |
| 1045°         | fusion de l'or      | 0,0045      |
| 1500°         | fusion du palladium | 0,271       |
| 1775°         | fusion du platine   | 1           |

*Ilustración 06: Datos recopilados experimentalmente por Jules Violle y Edmond Becquerel de la temperatura de fusión de determinados metales y su intensidad luminosa tomando como patrón la temperatura de fusión del platino. (Imagen tomada del libro 'Annales De Chimie Et De Physique' en la pg. 377; 1884)*

Estas cifras que fueron el resultado de los primeros experimentos hechos por Violle y que eventualmente fueron publicados en el libro *Annales De Chimie Et De Physique* de 1884, muestra cómo la intensidad luminosa aumenta rápidamente a medida que la temperatura también aumenta. En este caso la temperatura de fusión del platino esta alrededor de mil veces mayor que el punto de fusión de la plata. Pero lo que quiere mostrar Violle es que, cuanto mayor sea la temperatura de una fuente de luz, es más difícil mantenerla constante. Violle pone como ejemplo cuando ocurre un incendio (1884, pg. 378) “En el caso de un incendio, la estabilidad de la temperatura no es fácil de conseguir, ya que requiere de la mezcla de dos elementos, el combustible y el oxidante, estos siempre se realiza bajo condiciones idénticas. Si la mezcla no es perfecta e idéntica para sí mismo, la temperatura y brillo varían en cada momento”.

(10) Experimentos de John Draper publicados en el *Phil. Mag.* XXX pg. 345; 1847.

(11) Cabe resaltar que en la actualidad está definido que los puntos de fusión de la plata están en 961, 8°C, del oro en 1064°C, del paladio en 1555°C y el punto de fusión del platino en 1768°C.

Por ello, Jules Violle al ver las dificultades que tenía los diferentes patrones de iluminación, propone que la unidad absoluta de la luz sea el platino llevado a una temperatura de fusión. Ya que los experimentos e instrumentos utilizados para el diseño de este patrón en particular para el estudio de la intensidad luminosa, tenía la ventaja de ser coherente, ya que el punto de fusión es constante para cada cuerpo perfectamente determinado. Además, el platino es un metal inalterable, que siempre tiene la misma emisividad, ya que en un área determinada emite la misma cantidad de luz, su calidad de luz depende de la temperatura y al ser el platino el metal más refractario (12), en su punto de fusión, producirá una luz blanca. Por lo tanto, para Violle era necesario que este patrón se formalizara como una norma absoluta para medir las intensidades luminosas de cualquier fuente de luz.

La propuesta hecha por Jules Violle en las conferencias que se celebraron en la *Exposition Internationale d'Électricité* fue bien recibida por la mayoría de asistentes al evento, y aunque existía muchas dudas por aclarar, preguntas sin ser completamente resueltas e inconformismo por parte de algunos asistentes, se tomó la decisión de discutir con más serenidad esta propuesta en la *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques* (Conferencia Internacional para la Determinación de Unidades Eléctricas) que se celebraría en el mes de octubre del siguiente año. Jean-Baptiste Dumas, que precedía el evento, vio con buenos ojos la idea de Jules Violle, y se abrió un espacio para que esta reunión se celebrara el 17 de octubre de 1882.

## **Determinación De Un Patrón De Medida Para La Intensidad Luminosa (1882)**

### **La Necesidad De Un Patrón Coherente**

Pasada ya la *Exposition Internationale d'Électricité* de 1881, al siguiente año se celebraría en París la *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*, la cual tenía como objetivo determinar patrones como el *ohm*, para la medición de resistencias eléctricas propuesta por el danés Ludvig Lorenz, y una que no tenía esa particularidad de ser en si una unidad eléctrica, que era el *violle*, para la medición de la intensidad luminosa propuesta que hizo Jules Violle.

---

(12) El término refractario se refiere a la propiedad de ciertos materiales de resistir altas temperaturas sin descomponerse. Éstos, se utilizan para hacer crisoles y recubrimientos de hornos, e incineradoras.

Para estudiar el patrón *violle*, se reunió el 17 de octubre de 1882 una comisión en el ministerio de correos y telégrafos para discutir la determinación de este patrón de medida para estudio de la intensidad luminosa. Esta comisión estaba conformada por científicos, inventores y políticos de diferentes estados de Europa, América y Asia de la talla de Gustav Heinrich Wiedemann, Hermann von Helmholtz, Werner von Siemens, Sir William Thomson, Wilhelm Eduard Weber, Heinrich von Wild, entre otros, que conformaban este selecto grupo.

La comisión por unanimidad nombro como presidente al físico, matemático y político noruego Ole Jacob Broch, y como vicepresidentes al físico belga Gustave Van der Mensbrugge y al físico alemán Gustav Heinrich Wiedemann (conocido por la ley de la conductividad de Wiedemann-Franz). Broch comienza esta reunión exponiendo que esta tiene como propósito elegir un patrón estándar definitivo para la intensidad de la luz, ya que la lámpara de Carcel se había vuelto insuficiente para las necesidades de la industria dedicada al cobro de la iluminación, y era necesario disponer de un patrón con mejores condiciones en su brillo. Ya que varias opiniones se habían manifestado en el congreso de 1881 sobre esta propuesta hecha por Jules Violle, el ministerio de correos y telégrafos de Francia brindo un espacio para que se iniciara la discusión sobre este nuevo patrón.

El primero en manifestarse fue Wiedemann; creía que no se podía tener una unidad absoluta para la intensidad luminosa, debido a que existen variedad colores brillantes que son difíciles de comparar a la hora de medirlos. Además, le parecía complicado que cada vez que se necesitara hacer una medición fotométrica se tuviera que fundir siempre una placa de platino. A Wiedemann le parecía más práctico el uso del patrón hecho por John Draper y Carl Schwendler, que consistía en el resplandor de un alambre o tira de platino a través del cual pasa una corriente eléctrica con una intensidad luminosa ya definida. Una mínima variación en la corriente eléctrica no generaba mucho cambio en la intensidad y en la calidad de su luz.

Otro método que a Wiedeman le parecía práctico a la hora de medir, era la lámpara hecha por Vernon-Harcourt, que contaba con una mezcla de composición constante como el pentano, que podía mantener una temperatura fija en su llama. La luz que producía esta lámpara era casi blanca, y según él, era capaz de compararse con lámparas de luz incandescentes. Patrones que Jules Violle consideraba que no eran útiles por múltiples dificultades de invariancia.

Jean-Baptiste Dumas conocía en parte el trabajo realizado por Jules Violle, le existía un gran interés en buscar garantizar una absoluta coherencia en definir un patrón de medida para la intensidad luminosa. Bajo ese punto de vista, las experiencias que Violle había realizado en definir esta como la luz emitida por el platino en su punto de fusión, Dumas consideraba era una solución al problema que se presenta al hacer mediciones fotométricas.

Aunque Wiedeman en sus apreciaciones, defendía el método de usar fuentes de luz patrón lámparas como la de Vernon-Harcourt por la intensidad que estas emitían, el inventor alemán Werner von Siemens argumentaba que mantener una temperatura fija en la llama de esa lámpara requiere de una bastante rigurosidad, sumado a que no se sabe que tan constante sea ese combustible que se está usando. Mientras que el platino fundido, solo es necesario protegerse de la radiación y ver en una superficie la masa fundida a través de un agujero muy pequeño. Según Siemens, los métodos que propone Wiedeman para medir la intensidad luminosa, tiene muchas dificultades.

Apreciaciones a las que se le sumó el físico alemán Hermann von Helmholtz, en decir lo difícil que es mantener una mezcla de aire e hidrogeno en una proporción constante con respecto al combustible que se esté usando (en este caso pentano), al tiempo de mantener una temperatura invariable, ya que este líquido se evapora bajo la influencia de la corriente de gas. Además, si esta combustión se lleva a cabo en el aire atmosférico, los movimientos del aire influyen en la llama como en las lámparas Carcel. Helmholtz considera que el platino fundido puede dar excelentes resultados, siempre y cuando que la superficie del platino esté libre de impurezas, ya que al emplear un alambre de platino como lo hace el patrón de Draper y Schwendler, se presentan irregularidades en ciertas superficies del alambre que dan una luz mucho más intensas que otras superficies del mismo.

Helmholtz, creía que las lámparas incandescentes de Swan tenían la ventaja de estar libres de corrientes de aire, y al ajustar a esta la intensidad de la corriente con la ayuda de un galvanómetro bien equilibrado, se puede controlar á que haya una menor variación, por lo tanto se puede obtener una fuente estacionaria. Helmholtz consideraba que las lámparas de Swan se podían utilizar como estándares.

A pesar de los argumentos de Siemens y Helmholtz, aun Wiedeman consideraba que la lámpara de Vernon-Harcourt daba resultados satisfactorios. Para él, ciudades que tiene iluminación a gas necesitan un sistema de medición de fácil aplicación como lo hace esta lámpara. Dio su visto bueno en que la lámpara incandescente de Swan podría ser adoptada en los laboratorios como un patrón absoluto para usos comunes, algo en lo que Siemens estaba en desacuerdo. Siemens ya había realizado experimentos con este tipo de lámparas incandescentes, creyendo que podrían servir como un buen medio de comparación. Pero la luz emitida por estas lámparas estaba sometida a constantes cambios, y estos cambios se veían reflejados cuando la superficie iluminada cambia con el tiempo, al igual que su temperatura.

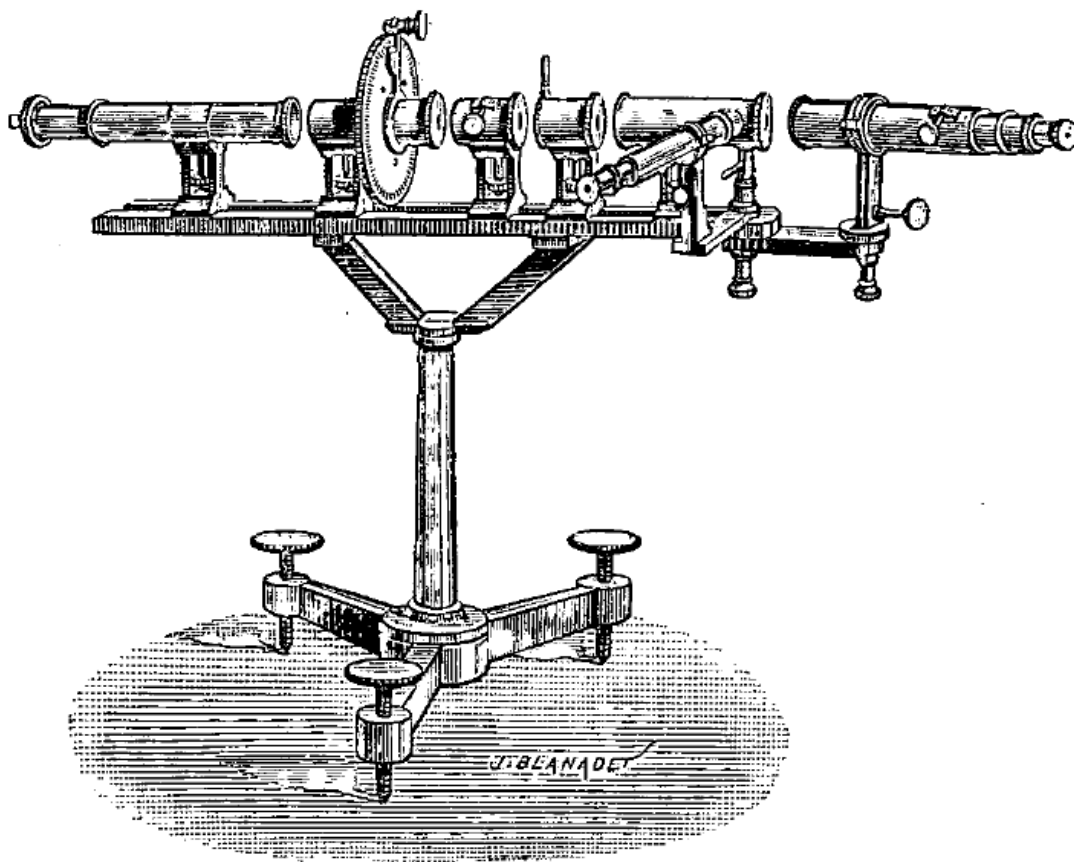
Cada vez las discusiones reflejaban que las fuentes de luz patrón, de ese entonces, tenían muchos problemas y dificultades a la hora de realizar mediciones fotométricas. Por ello, Jean-Baptiste Dumas consideraba que el platino en su punto de fusión satisfacía esas condiciones para ser un patrón. Dumas afirmó en aquella conferencia que (1882, pág. 128) "El recurso de dejar en su punto de fusión el platino, el oro o la plata, es un fenómeno de fijeza absoluta, cuya pureza se da porque este fenómeno es una lámpara incandescente y sin combustión". Dumas sugiere a la comisión que Jules Violle sea invitado a dar explicaciones orales sobre sus experiencias. Por unanimidad, la comisión reconoce el valor que tiene este patrón de medida en la práctica, ya que buena parte de sus miembros ya habían observado los experimentos que realizó Violle para definir su patrón.

### **Explicaciones De Jules Violle Ante La Comisión Sobre Su Patrón**

La comisión aprobó que Jules Violle hablara sobre las experiencias que llevaron a proponer como patrón la luz que emite el platino fundiéndose. Explico que los experimentos fueron diseñados para utilizar diferentes metales y llevarlos a su punto de fusión, en particular el platino. Según Violle, se fundió una cantidad considerable de platino puro en un horno hecho por el químico francés Jules Henri Debray (1827 - 1888), donde se le eliminó cualquier tipo de gas que se encontrara adentro para evitar impurezas. Al ser llevado el platino a una temperatura de punto de fusión, la tapa de este horno se sustituía por una pantalla de hoja de metal doble ennegrecida con un agujero de un  $1\text{cm}^2$  de superficie. Después se tomó esa radiación emitida del platino fundiéndose que salía de ese agujero, para luego al tiempo compararla con la radiación que emitía una lámpara Carcel que serviría como fuente patrón. Esos dos haces de luz se

midieron con un espectrofotómetro diseñado por el ingeniero óptico francés Jules Duboscq (1817 - 1886).

Este espectrofotómetro (*Ilustración 07*), utilizaba un prisma de nicol para eliminar las franjas en la región del espectro que quería estudiar (13), ya que al mover lentamente este prisma, las franjas no volvían a aparecer cuando el platino se empezaba a refrigerar. Cuando empezó a solidificarse el platino, se observaba que la intensidad luminosa emitida por este se mantuvo constante, y fácilmente se pudo establecer con exactitud la posición en la que debía estar el prisma de nicol, con ello logar el objetivo de medir el brillo exacto cuando el platino se solidificaba utilizando como fuente patrón la lámpara Carcel, para así establecer este nuevo patrón al que llamo *violle*.



*Ilustración 07: Espectrofotómetro construido por Jules Duboscq, utilizado en los experimentos que realizó Jules Violle para la construcción de un patrón de medida para la intensidad luminosa. Este comprendía de una ranura en la mitad superior y en la mitad inferior, donde recibían la reflexión total de dos prismas de nicol respectivamente para comparar dos haces de luz. (Imagen tomada del libro 'Annales De Chimie Et De Physique' en la pg. 391; 1884)*

(13) Un prisma de Nicol, es un tipo de prisma óptico polarizador, es decir, crea un haz de luz polarizada a partir de un haz de luz sin polarizar. Fue inventado en 1828 por el físico escocés William Nicol.

Al pasar unos pocos minutos, se podía iniciar nuevas mediciones en las mismas condiciones con los instrumentos de medida que fueron usados y el platino que se estaba fundiendo. Estas experiencias fueron observadas por miembros de la comisión que asistieron ese día, verificaron que el crisol donde se encontraba el platino fundiéndose no sufrió cambio alguno, al igual que el horno hecho por Debray; además que las mediciones hechas por el espectrofotómetro fueron siempre las mismas. Por ello, Violle con mucha confianza recomendó este patrón de medida, para que fuera el único usado por los países miembros de la Convención del Metro.

Después de lo expuesto por Jules Violle, La comisión cree que está lo suficientemente informada para poder aceptar esta unidad patrón que Violle había propuesto el año anterior, ya que les parecía un prototipo que presentaba las garantías suficientes por ser el platino un material inalterable, y que la temperatura de este cuando está en su punto de fusión ya era algo que estaba definido. La única dificultad que manifestó la comisión, era obtener platino puro, pero el presidente de la comisión aseguro que la industria de aquel entonces lograba un metal libre de cualquier material extraño, además que el platino es un material que no se desgasta, y puede ser usado varias veces para establecer este patrón.

Al final la comisión vio con buenos ojos la idea de Jules Violle, y expresó su complacencia y deseo de que los experimentos ya realizados en esta dirección debieran continuar. Ya por orden del Ministerio de Correos y Telégrafos que era el ente encargado de estas conferencias, se confió a Jules Violle los recursos necesarios para que empezara a trabajar y mejorar su propuesta. Violle de nuevo se instaló en el laboratorio de la *École Normale Supérieure* para seguir desarrollando su nuevo patrón.

### **Determinación De Un Patrón De Medida Para La Intensidad Luminosa (1884)**

Jules Violle tuvo en cuenta algunos sugerencias que los miembros de la comisión le recomendaron para llegar bien preparado al hacer valer su propuesta dentro de dos años. Una de ellas hecha por el presidente de la comisión Ole Jacob Broch, fue la de comparar la luz que produce las lámparas incandescentes con la del platino fundiéndose, ya que sólo lo hizo con una lámpara Carcel; también que estos experimentos se estuvieran desarrollando en un ambiente practico y seguro, para que parte de los miembros o testigos que observen de nuevo estas experiencias no les afecte la radiación que emita el platino al este estar siendo fundido; por

último, y unas de las discusiones que Helmholtz consideraba importante, era lograr la total pureza en el platino que se vaya a fundir, ya que algunos miembros de la comisión consideraba algo difícil de conseguir.

### **Nuevas Discusiones Para Definir El Patrón *Violle***

La comisión se volvió a reunir el 30 de abril de 1884. Ole Jacob Broch continuaba como presidente, y de nuevo nombro a Gustave Van der Mensbrugge y a Gustav Heinrich Wiedemann que estuvieron a cargo de la vicepresidencia anteriormente sobre la definición de un patrón para la intensidad luminosa. Esta vez Jules Violle no contaba con su mayor defensor Jean-Baptiste Dumas, que 20 días antes había fallecido a los 83 años de edad. Broch leyó parte de las resoluciones adoptadas por la conferencia que se había celebrado en 1882, donde en ellas se había considerado la propuesta de Jules Violle del uso del platino para dar una norma absoluta al brillo de la luz; una investigación que la comisión aprobó para que continuara en esa dirección. La comisión le abre el espacio a Violle para que exponga los resultados producto de la sugerencias hechas por parte de ciertos miembros de la comisión en 1882, y enseñar las mejoras que tuvo en sus experimentos e investigaciones en el laboratorio de la *École Normale Supérieure*.

Jules Violle había desarrollado unos primeros experimentos que fueron dirigidos para comprobar la coherencia de la radiación emitida por el platino fundido durante la solidificación. Lo hizo primero con plata, para comprobar que tan efectivo era este metal y su brillo al estar fundiéndose, pero esa radiación que emitía era muy corta y poco constante. Esto lo desvela en su artículo *Sur L'Étalon Absolu De Lumière* de 1884, ya que con el espectrofotómetro notaba que la reflectancia del metal disminuía bastante, sumado a que no era un metal tan refractario como lo era en si el platino.

Ya Violle al experimentar con platino, pudo establecer la radiación constante cuando se derretía cierta cantidad de este metal en el horno a gas hecho por Debray, claro está, dejando expuesta una pequeña abertura. Al detener el consumo de gas, se observaba una disminución de la intensidad de su luz y la consistencia de esta se mantuvo durante un tiempo. Esta misma operación podría repetirse varias veces con este mismo metal, algo que la plata no era capaz de hacer.

Teniendo ya esa intensidad de luz, procedió a comparar la luz que producía el platino con lámparas Carcel y lámparas incandescentes. Para este fin, Violle usó los fotómetros de Rumford, Foucault y Bunsen.

### **El Uso De Fotómetros Visuales En Sus Experiencias**

Jules Violle utilizó como es sabido en sus experimentos una lámpara Carcel que producía una llama de 35mm de ancho y 15mm de alto para que fuera usada como fuente patrón para establecer su prototipo de patrón estándar. El único método que encontró Violle para comparar una luz con otra, fue con el prisma de nicol midiendo la intensidad de cada color del espectro de luz emitido por el platino fundiéndose, con respecto a la intensidad del mismo color que emitía la fuente de luz patrón (en este caso la lámpara Carcel). Esa luz que emitía la lámpara Carcel tenía una composición espectral diferente a la de la luz emitida por el platino al fundirse. Sin embargo, Violle usa como instrumentos los fotómetros de Foucault y Rumford, que logran determinar la magnitud de la lámpara Carcel de acuerdo con la que del patrón estándar que Jules Violle quería establecer.

*Fotómetro de Rumford:* Violle utilizó primero un modelo del fotómetro de Rumford (**P**), que fue construido por los ingenieros Sautter y Lemonnier (*Ilustración 08*). Este fotómetro tenía la ventaja de tener la lámpara Carcel en una especie de vehículo manejado por un tornillo (**V**), con el fin de igualar la intensidad luminosa de esta lámpara con la de platino fundiéndose. La luz del platino se emitía en un ángulo de 45° donde se encontraba debajo de la lámpara y del fotómetro el horno (**F**) y los sopletes para fundir el platino (**O** y **H**).

Otro requisito importante era saber que la lámpara Carcel que se utilizó en este experimento (**L**), quemaba 42 gramos de aceite por hora, la cual iluminaba 0,791C según ya experiencias hechas por Violle (14). Otro dato tenido en cuenta era la distancia que existía entre el fotómetro y la lámpara Carcel de 752mm, y también, la distancia entre este fotómetro con la del diafragma (**D**) cuya abertura era de 3cm<sup>2</sup> que era la encargada de proveer la luz producida por el platino fundiéndose de 1792mm.

---

(14) C era utilizado como símbolo para definir el patrón de la lámpara Carcel.

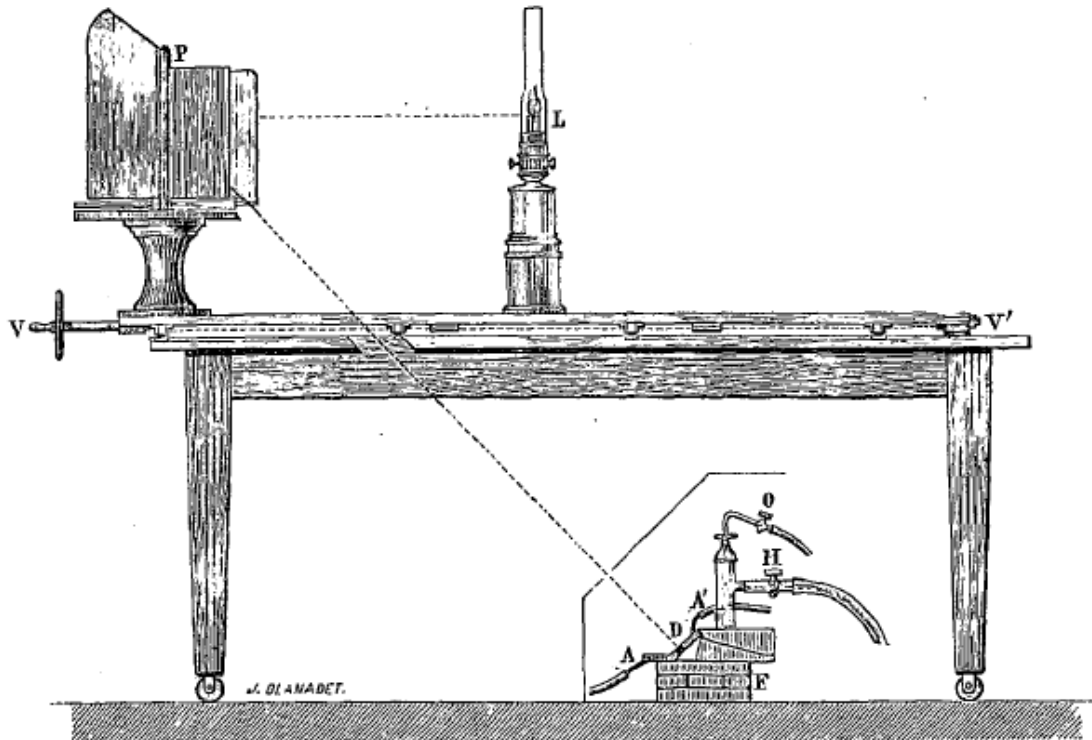


Ilustración 08: Fotómetro de Rumford construido por Sautter y Lemonnier, utilizado en los primeros experimentos que realizó Jules Violle para comparar la luz emitida de una lámpara Carcel con la del platino fundiéndose. (Imagen tomada del libro 'Annales De Chimie Et De Physique' en la pg. 398; 1884)

A partir de estos datos, teniendo en cuenta la oblicuidad de la luz proporcionada por el platino, se calcula que la intensidad luminosa del platino fundiéndose era de  $1/2,118$  Carceles.

Se realiza una segunda actividad experimental con este mismo fotómetro, pero ya el diafragma tenía una abertura de  $6\text{cm}^2$ . La distancia entre el fotómetro con respecto a la lámpara Carcel cambió a  $761\text{mm}$ , como también la distancia entre este fotómetro con respecto al diafragma que provee la luz producida por el platino fundiéndose a  $2740\text{mm}$ . Se calculó en este caso que la intensidad luminosa del platino fundiéndose era de  $1/2,077$  Carceles.

Fotómetro de Foucault: El segundo grupo de experimentos se iban a realizar con un fotómetro de Foucault (**K**), construido por el ingeniero Deleuil (*Ilustración 09*), que era muy usado para comprobar el poder con el que iluminaba el alumbrado a gas en París. En este caso, el horno (**F**) y los sopletes para fundir el platino (**O** y **H**) se encontraban al frente de la lámpara Carcel que servía de patrón (**C**).

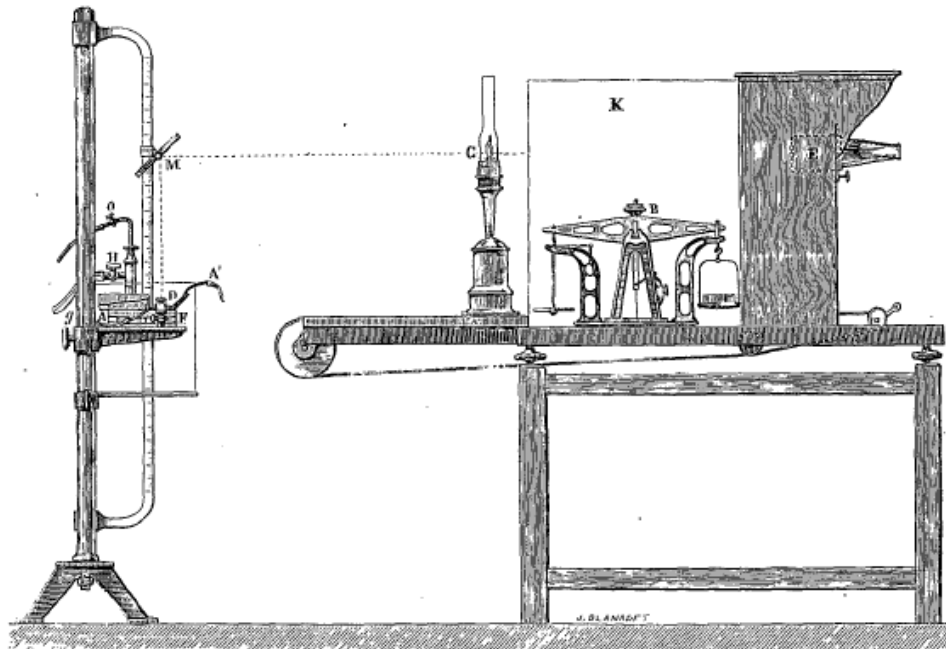


Ilustración 09: Fotómetro de Foucault construido por Deleuil, utilizado en los segundos experimentos que realizó Jules Violle para comparar la luz emitida de una lámpara Carcel con la del platino fundiéndose. (Imagen tomada del libro 'Annales De Chimie Et De Physique' en la pg. 401; 1884)

Los resultados obtenidos por este fotómetro fueron muy similares a los que arrojó el fotómetro de Rumford. Con el diafragma (D) que tenía una abertura de  $3\text{cm}^2$ , La distancia entre el fotómetro de Foucault con respecto a la lámpara Carcel era de  $1278\text{mm}$ , y la distancia entre este fotómetro con respecto al diafragma que provee la luz producida por el platino fundiéndose estaba a  $3218\text{mm}$ . Se calculó que la intensidad luminosa del platino fundiéndose era de  $1/2,078C$ . Con este fotómetro, se realizaron varias series de experimentos que arrojaban que el platino fundiéndose estaba entre  $1/2,077C$  a  $1/2,079C$ .

En una serie de siete experimentos que están registrados por Violle en su artículo *Sur L'Etalon Absolu De Lumière* de 1884, saco un promedio donde determino que su patrón violle equivalía a  $1/2,078C$  (0,481 Carceles).

Fotómetro de Bunsen: Los experimentos con lámparas incandescentes Violle los desarrolló en el laboratorio de *l'Association pour l'étude de l'électricité* con el ingeniero Gérard Monnier, que presto su ayuda dirigiendo las medidas eléctricas y las frecuencias de estas lámparas para comprobar que las observaciones fotométricas no tuvieran inconvenientes ni fallos.

Para Violle, las experiencias con lámparas incandescentes para hacer las comparaciones con su patrón estándar fueron mucho más sencillas, ya que no hubo dificultades en la consistencia de su brillo y color. Así que para realizar esta comparación, utilizó un fotómetro de Bunsen que se podía mover entre las dos fuentes que estaban separadas entre sí una distancia horizontal de 4m.

Después de utilizar múltiples tipos de lámparas incandescentes, se decidió por la lámpara de filamento de carbón diseñada por Joseph Wilson Swan, que estaba conectada a una batería que la alimentaba de manera constante. Esta contaba con un potenciómetro que variaba su intensidad luminosa, logrando obtener mejores y variados resultados a diferencia de los logrados con la lámpara Carcel.

Realizó diversos cálculos con tres observadores que le proveían a Violle las distancias en las que se encontraba el fotómetro de Bunsen con respecto al diafragma que tenía una abertura de  $3\text{cm}^2$  que proveía la luz producida por el platino fundiéndose y la lámpara incandescente de Swan, al tiempo de lograr tener la intensidad luminosa de la lámpara Swan en Carceles graduando su intensidad luminosa.

Entre los tres observadores se desarrollaron 18 experiencias para sacar un valor promedio de la intensidad luminosa del platino fundiéndose en una primera sesión, y de los resultados de esta se promediaría con la segunda sesión experimental que contó con 12 experiencias. El resultado final con la lámpara de Swan usando el patrón Carcel fue de  $1/2,069\text{C}$  (0,483 Carceles). Una diferencia que Jules Violle considera mínima, sumado a que el punto de fusión del platino satisfacía todas las condiciones para poder definir un estándar absoluto a la intensidad de la luz, ya que se trataba de un fenómeno físico bien definido y constante, y que produce un mismo brillo en todos los puntos de una superficie.

Por lo tanto, para Violle estas experiencias mostraban que el desarrollo de este patrón se realizó en un ambiente práctico y seguro, y que, por su consistencia y calidad en su color, la radiación emitida por una superficie de platino fundiéndose, perfectamente cumplía con los requisitos que fueron dictados en esta misma comisión hace dos años.

Terminada las explicaciones por parte de Jules Violle, se empezó a discutir de nuevo esta propuesta ante la misma comisión, pero esta vez estaba conformada por antiguos y nuevos

miembros como Jules Jamin, William de Wiveleslie Abney, David Edward Hughes, John Hopkinson, entre otros.

### **Análisis De La Comisión Sobre El Patrón *Violle***

Esta discusión la iniciaría el belga Ernest Rousseau, que tuvo dos observaciones con respecto las experiencias realizadas por Violle y en la definición del patrón: ya que primero, los rayos de luz enviados a la pantalla fotométrica por parte del platino fundiéndose y por la lámpara Carcel, llegaron bajo diferentes impactos, por ende, hubiera sido preferible, según Rousseau, que llegaran al tiempo a esta pantalla; y segundo, el patrón absoluto de la intensidad luminosa debía ser definida como "la intensidad luminosa normalmente emitida por  $1\text{cm}^2$  de platino en su punto de fusión..." pero agregando, "compara con la lámpara Carcel". Observaciones que no tuvieron eco en la comisión, ya que al considerar en la definición una lámpara sea cual sea con la que fue comparado el fenómeno, no tendría sentido.

Continuó el físico francés Jules Jamin, al comentar que la intensidad luminosa dependía de dos elementos: la superficie radiante y el brillo de la radiación. El segundo elemento que el menciona es el único necesario, ya que la superficie es siempre fácil de medir. Para Jamin, un cuerpo como el metal en su punto de fusión sería un patrón adecuado, ya que tener la temperatura como un punto de referencia, se podrían reproducir este experimento, claro está, realizando estas experiencias en las mismas condiciones en las que experimentaba Violle en su momento; pero para Jamin, tal elección de este patrón como norma absoluta, no debe impedir el uso de otros patrones secundarios que hayan sido comparados con este.

William de Wiveleslie Abney que era un químico británico y un pionero en varios aspectos técnicos sobre fotografía, estaba en desacuerdo con Jamin en varios aspectos. Ya que consideraba que la cantidad y la calidad de la luz (que incluían su color) son inseparables, y que debe haber una gran precisión en definir un patrón absoluto para la intensidad luminosa como se hizo con el *ohmio*. Abney menciona, que siendo secretario del comité de la asociación británica para fijar un tipo de luz blanca, narro que al usar pentano se puede llegar a unos rayos de luz de igual intensidad que los del platino fundiéndose.

Por otro lado, Abney también afirma que ese resultado es fácil lograrlo con el uso de lámparas incandescentes correctamente construidas suministrando una corriente eléctrica adecuada, para

así obtener un nivel de luz acorde a la que se produce al fundirse una placa de platino. Además para Abney, el platino le parece un metal con diversas dificultades, una de ellas es obtenerla de manera pura, y que su durabilidad es muy limitada debido a las pocas veces que este metal puede ser fundido. Para Abney, si dependemos de los patrones eléctricos como las lámparas incandescentes que producen luz blanca, no habrá dificultades en reproducir con precisión un patrón para cada país.

Abney hasta dio detalles de un método por el cual una réplica exacta de cualquier calidad de la luz se obtendría eléctricamente sin ninguna dificultad. Pero al ser resultados demasiado recientes, la comisión no los discutió, pero le fueron llegados a cada miembro. Insistió particularmente en el problema de poner en marcha experimentos para hacer mediciones fotométricas, ya que cuando se ponía en marcha en desarrollar estas experiencias se presentaba diferentes resultados al usar diferentes observadores, como lo hizo Violle en su momento al comparar su patrón con la lámpara incandescente de Swan. Por ello, concluye que sería imposible, por ejemplo, calibrar una lámpara Carcel que produzca una luz blanca y comparar esta con la que produce el platino fundiéndose, y que los resultados de estas mediciones hechas por dos individuos diferentes den los mismos valores.

Lo expresado por Abney se podría decir que ponía en jaque parte el trabajo hecho por Jules Violle. Después de todo, Abney tenía bastante experiencia sobre las intensidades de la luz y sus colores, ya que sus trabajos sobre la química de la fotografía produjeron productos fotográficos muy útiles, y esto ayudo en parte al desarrollo de la astrofotografía a finales del siglo XIX. Aunque habían miembros de la comisión que tenían mucha confianza a la propuesta que hizo Jules Violle.

Jamin al pedir la palabra, le responde a Abney diciendo que no se puede comparar intensidad de la luz con diferentes colores, ya que siempre hay que hacerlo con dos fuentes que tengan una radiación similar. También Jamin se refirió sobre la relación estrecha que según Abney existe entre cantidad y calidad de luz, recordándole que en este caso solo es necesario medir el brillo y no la cantidad total de la luz. Con estos argumentos, Jamin ponía entre dicho las palabras dichas por Abney en la comisión en relacionar la definición de luz con el color.

Al participar Hermann von Helmholtz en esta discusión, resalto de lo que expuso Abney, en decir que si se tiene varios observadores no se llega siempre a resultados que coincida con las luces que produzcan un color determinado. Para Helmholtz, puede existir en un gran número de personas con imperfecciones en la vista, ya que no todos tienen la misma sensibilidad para ver el color rojo, por ejemplo. Pero para Boch que presidía la comisión, no era relevante el color, ya que lo que se discutía era la definición de un patrón, y como lo dijo Jamin, siempre este tipo de mediciones hay que hacerlas con dos fuentes con una radiación similar. Aclarado el tema sobre la calidad que debe tener la intensidad de una luz, se procedió al tema central de definir un patrón a este fenómeno.

Así que volviendo el fondo de la discusión, Helmholtz considero que tomando una masa de metal cualquiera, que tiene un área determinada, le es posible medir su brillo en su punto de fusión, es decir, la cantidad emitida por unidad de área; mientras que esto sería imposible con la superficie mínima de un cuerpo, tales como las lámparas incandescentes de Edison o de Swan (que en la anterior comisión de 1882 había Helmholtz mencionado), que tenían un filamento delgado con algunos problemas de resistencia, entre otros.

Werner von Siemens recalco lo dicho por Abney, sobre si era posible obtener platino sin impurezas, ya que eso podría afectar el brillo que emite en su punto de fusión. De paso le comento a Helmholtz, que al realizar unos experimentos, comprobó que las lámparas incandescentes darían resultados precisos si las condiciones eléctricas no cambian, logrando que estas proporcionen una luz constante en el tiempo. Aclaro que no tenía planes de presentar en la comisión un patrón, pero puso a consideración una lámpara diseñada por la empresa Siemens & Halske que no contaba con los inconvenientes que ofrecían en ese entonces las velas, las lámparas de aceite, de gas e incandescentes. Para Siemens, esta lámpara podría ser muy útil en la práctica para calibrar otras fuentes luminosas, claro está, sin descartar el patrón propuesto por Violle.

Lo dicho por Siemens, contraría un poco lo que dijo hace dos años, en decir que la luz emitida por estas lámparas incandescentes como las de Edison y Swan, estaba sometida a constantes cambios en su iluminación ¿Acaso estas nuevas lámparas diseñadas por la empresa de la cual Werner von Siemens es dueño con Johann Georg Halske, no sufren de igual manera cambios en su iluminación? aun así, estas lámparas incandescentes promocionadas por Siemens contaba con

un imperfecto. El físico suizo Heinrich von Wild, que representaba los intereses del Imperio Ruso, preguntó si esta lámpara dependía de la temperatura ambiente, a lo que Siemens respondió que no, pero que esta lámpara contaba con un pequeño defecto al tener esta una luz un poco roja, según Siemens es muy difícil conseguir algo perfecto, pero creía que su lámpara serviría como un patrón práctico. Broch sin embargo, le preguntó a Siemens si esta lámpara la estaba proponiendo como un patrón, a lo cual Siemens respondió negativamente, solamente mencionó que su lámpara podría servir como un patrón práctico para mejorar las que existían en ese entonces. Seguido de eso, Broch toma en cuenta que el brillo del platino depende de su pureza y temperatura, y añade, que en estos tiempos se ha llegado a producir cantidades sustanciales de platino extremadamente puro y que este metal es de fácil acceso.

Abney y Siemens aún estaban incrédulos con respecto a obtener una pureza absoluta en el platino, a lo cual se le sumó Helmholtz, ya que creía que la impureza que podría existir en la superficie del platino sería un problema a la hora de fundirlo, pero Violle les comenta a los presentes que la limpieza a este fue muy cuidadosa, aparte de ello, resalta lo dicho por Broch sobre la facilidad de obtener el platino en un estado puro. Helmholtz expresó si existía una dificultad en medir el tiempo que tarda el platino para su solidificación, a lo cual dijo Violle que no la había, ya que los observadores que estaban presentes en su experimento apreciaban cuando se disminuía la intensidad luminosa hasta que se volvía constante en el punto en que este se solidificaba. Jules Violle en ese momento tenía los criterios y las bases suficientes para lograr consolidar su patrón; ya miembros de la comisión como Jamin y su presidente Broch estaban dando un visto bueno a las experiencias que había realizado Violle.

El presidente de la comisión Broch, expresó en su opinión, que en definitiva no es posible tomar una llama cualquiera como patrón, ya sea si viene de una vela o lámpara. Él cree que la única manera de llegar a la elección de un patrón como este sería tomar la cantidad de luz emitida por una superficie determinada de un material inalterable a una temperatura fija, y que esta debe ser muy alta para proporcione un buen brillo.

Broch recuerda que, en un orden similar de ideas, fue admitido originalmente como patrón el gramo para el peso, pero este patrón se tuvo que convertir a uno mucho más grande, y se adoptó el kilogramo. El platino en temperatura de fusión tiene la ventaja de que se puede reproducir con tener una gran precisión y mantenerla constante durante cierto tiempo. Insistió en que los

procesos para obtener platino puro son eficaces, ya que los estudios demostraban que la industria de aquel entonces lograba una perfección en la fabricación de este metal en particular. En cuanto al color, se observa que está muy cerca a la luz ordinaria que producen ciertas fuentes luminosas para poder ser comparadas. Así según Broch, la propuesta por Jules Violle es muy aceptable. Ya la cuestión de hacer normas secundarias que sea prácticas según Jamin, es algo en lo que Broch tenía sus reservas.

El físico inglés Sir William Thomson felicitó a Violle por lograr demostrar perfectamente que la superficie del platino fundido tiene una consistencia lo suficientemente grande como para dar lugar a crear un patrón para la intensidad luminosa, ya que para él, Violle tuvo que pasar grandes dificultades para lograr ello. Considera que repetir estas experiencias sería muy complicado para comprobar de nuevo sus resultados, pero sus estudios, según Thomson, mostraban lo bien calibrado que fue comparar esta intensidad luminosa del platino fundiéndose con las lámparas Carcel, para luego hacerlo con otras fuentes más convencionales.

Para Thomson, es muy importante las afirmaciones hechas por Jules Jamin y Ole Jacob Broch, en considerar la intensidad luminosa como la luz emitida por  $1\text{cm}^2$  de platino en su punto de fusión, y considera que este patrón *violle* puede ser aceptado como práctica habitual en Inglaterra o en Alemania como una norma absoluta.

### **Una Definición Final Para El Patrón *Violle***

Estos apoyos recibidos por Jules Violle, hacía que su propuesta fuera en definitiva formalizada. Aunque Abney mencionó en que el pentano usado en las lámparas de aquel entonces era más seguro de obtener en un estado puro que el platino, el mismo Gustav Heinrich Wiedemann que hacía dos años proponía la lámpara de Vernon-Harcourt como patrón, ya que esta le parecía muy práctica a la hora de medir porque contaba con una mezcla de composición constante como el pentano, considero que no lograba esa claridad para ser una llama constante.

Siemens desde que conoce esta propuesta hace dos años la considero idónea y comento a la comisión que sin duda él la adoptaría, pero tenía sus dudas si estas experiencias iban a arrojar los mismos resultados en los diferentes países como los obtenidos en Paris, ya que las condiciones para replicar estos experimentos posiblemente no van a ser exactamente iguales. Además considera que para algunas sustancias existen diferencias entre su punto de fusión y su punto de

solidificación, algo en lo que el físico inglés David Edward Hughes estaba de acuerdo, sumándole que estas experiencias deberían de nuevo ser repetidas por otros observadores antes de tomar una decisión.

Broch considera que no es necesario repetir estas experiencias, ya que se tiene la información suficiente para tomar una decisión. Pero lo dicho de Siemens en cambiarle la definición de punto de fusión a punto de solidificación, se tuvo en cuenta. Siemens argumento que no es tan claro que la temperatura de fusión del platino este suficientemente fija. Por ello, Jamin propone que en su definición no sea "la temperatura de fusión" sino "la temperatura de solidificación", algo en lo que Siemens y la comisión estuvieron de acuerdo.

Jamin considera que la definición que este patrón debe ser absolutamente responsabilidad de la comisión, con excepción de las convenciones que desarrollaran más adelante entre los diferentes países. Además agrega que esta no debe ser en su punto de vista puramente científico, por el contrario, que sea práctica para todos en general.

La comisión entre todos participan en darle una definición final al patrón propuesto por Jules Violle. Thomson considera que la definición que se logre en esta comisión debe ser de manera provisional, ya que unos miembros no estaban totalmente convencidos de la propuesta de Violle; aunque el presidente de la comisión Broch había discutido eso con Violle de hacer una serie de experimentos con la intención de explicar su patrón a el resto de miembros que aún no habían observado esas experiencias, por otro lado, Jamin considero que tener una definición provisional haría que la comisión se volviera a reunir y que muy seguramente no iban a estar los mismos que estuvieron presentes en aquella comisión.

Después de múltiples discusiones entre los miembros de esta comisión, se fueron desechando ideas, como también tomar algunas en cuenta para conseguir una definición final. Terminado el debate, el presidente Ole Jacob Broch leyó en pleno lo que seria y quedaría registrada en la historia, como el primer patrón diseñado en un laboratorio para poder definir y medir la intensidad luminosa, su lectura final fue:

*"La unidad de una luz simple, es la cantidad de luz del mismo tipo emitida a una dirección normal por un centímetro cuadrado de superficie de platino fundido a la temperatura de solidificación."*

*"La unidad práctica de luz blanca es la cantidad total de luz emitida por la fuente."*

Esta doble propuesta fue aprobada por unanimidad el 30 de abril de 1884. Quedaría registrada y resguardada en los archivos del ministerio de correos y telégrafos de Francia en el año de 1884.

### **El Legado De Jules Violle**

En el año de 1889, se realizó una nueva *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*. En ella se definió un nuevo patrón para la intensidad luminosa a la que llamarón *bujía decimal*. Este nuevo patrón, no sería el brillo que producía el platino en su punto de solidificación al salir de una superficie de  $1\text{cm}^2$ , ya que esta superficie sería reducida a  $1/20\text{cm}^2$ . Se podría decir que tuvo un corto tiempo de vida el patrón *violle*, pero Jules Violle logro en que se conservara la esencia principal en desarrollar el estudio de la intensidad luminosa bajo ciertas actividades y practicas experimentales para que esta sea medida. Cabe decir que sus experimentos definieron por primera vez el punto de fusión del paladio, el platino y el oro, y que en su momento desarrollo un instrumento de medida que era capaz de medir la radiación de la luz solar al que llamo actinómetro. En sí, su pasión en el campo de la fotometría dio forma a lo que más adelante seria este campo en el siglo XX.

Después de su trabajo para definir su patrón, Jules Violle en 1891 fue nombrado profesor de física en el *Conservatoire National des Arts et Métiers*, sustituyendo a su amigo Edmond Becquerel que había fallecido ese mismo año. Ingreso a la respetada *Académie Des Sciences* para reemplazar al gran físico Hippolyte Fizeau. Después de casi 33 años, Violle renuncio como profesor y como director del laboratorio de física de la *École Normale Supérieure* en 1900. En los años de 1906 a 1908 fue presidente de la *Société Française De Photographie*, que hoy en día mantiene una actividad muy relacionada a la historia de la fotografía. En 1920, fue uno de los fundadores de la *École Supérieure d'Optique* (conocida desde 2007 como *Institut d'Optique Théorique Et Appliquée*). A sus 77 años, fallece en la comuna francesa de Fixin el 23 de septiembre de 1923.

Este trabajo resalta el gran esfuerzo y perseverancia que tuvo Jules Violle en poner en marcha un proyecto, donde utiliza como herramienta la física experimental para consolidar una idea que a él le rondaba, poniendo a su disposición instrumentos de medida construidos por grandes ingenieros de la época para lograr una mayor precisión al realizar sus mediciones, y lo más

importante, la gran colaboración que tuvo por parte de sus colegas y amigos que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

La enseñanza de fenómenos luminosos es un campo amplio, que cuenta con innumerables magnitudes y patrones para explicar cada hecho que sucede cuando está de por medio la iluminación de algo. Lo realizado por Jules Violle en iniciar construyendo un patrón para la intensidad luminosa, que hoy en día se conoce como *candela* (cd) (15), abrió las puertas para estudiar la luz como ese elemento fundamental para nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodea en nuestra vida diaria, pero que al estar tan acostumbrados a disponer de ella, damos por supuesta su labor. Algo en lo que personas como Pierre Bouguer y Jules Violle en su momento, consideraron que fenómenos como los de la iluminación debía tener estudios serios y complejos por medio de la experimentación, y que gracias a sus grandes aportes sus legados forman parte en el desarrollo de lo que es hoy en día la luminotecnia y la fotometría.

---

(15) El patrón “bujía nueva” se definió el 21 de octubre de 1948 por la Novena Conferencia General de Pesas y Medidas. Está basada en la luminancia del emisor de radiación de Planck (cuerpo negro) a la temperatura del punto de solidificación del platino. En 1979, debido a las dificultades experimentales en la realización de un radiador de Planck a altas temperaturas, se adoptó una nueva definición a la candela: “La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hertz y cuya intensidad energética en esa dirección de  $1/683$  vatios por estereorradián.”  
Fuente: <http://www.bipm.org/fr/publications/si-brochure/candela.html>

## **Capítulo III**

### **Experiencias En El Aula Para El Desarrollo De Un Patrón De Medida**

Con los análisis históricos sobre la construcción de un patrón de medida y las experiencias por las que paso Jules Violle para construir y formalizar su patrón para la intensidad luminosa, se desarrollaron actividades con la intención de reforzar en los estudiantes la idea que ellos tienen sobre las unidades o patrones de medida, que normalmente en las clases de ciencias se usan para resolver problemas ya sean físicos, químicos o biológicos, al tiempo de enseñar la importancia que tiene el uso de un patrón en la vida cotidiana. Para lograrlo, se resalta la actividad experimental como parte esencial en la construcción y comprensión de un fenómeno que se esté estudiando (en este caso la intensidad luminosa), con esto se tiene la intención de motivar al estudiante al estudio de este fenómeno y propiciar un buen ambiente de aprendizaje.

Por ello, es necesario plantear y diseñar actividades con el propósito de preparar un necesario óptimo para un aprendizaje apropiado de los fenómenos físicos, de manera que se genere curiosidad, se motive en el estudiante los deseos de interactuar con los objetos de estudio de la física (Moreno Peña, 2011). Esto hace que las prácticas experimentales que se realicen hagan que a partir de ciertas situaciones que se generen, puedan construir una magnitud para explicar un fenómeno en particular como la intensidad de una fuente de luz.

#### **Contextualización Para La Actividad En El Aula**

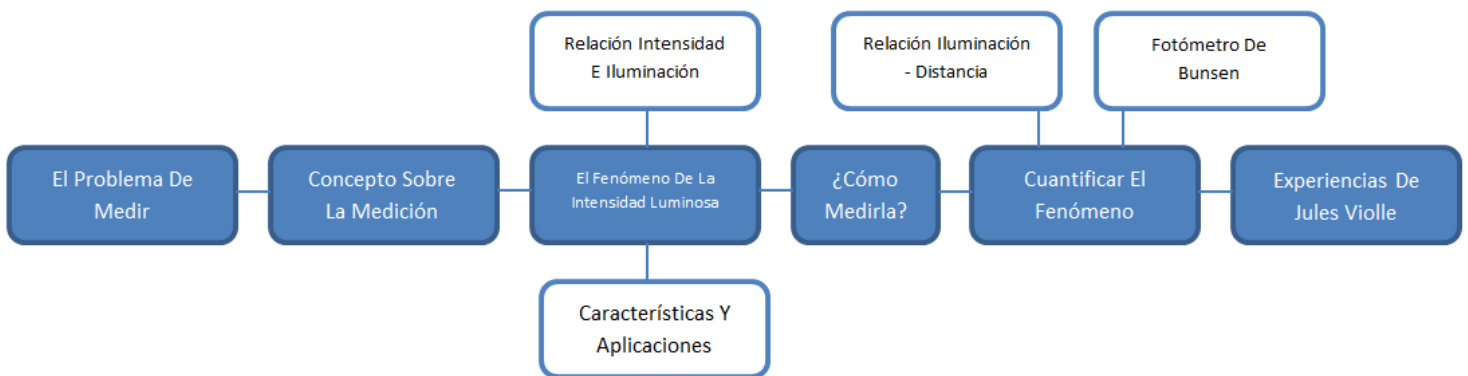
Esta actividad se desarrolló en los meses de agosto y septiembre de 2015 en la Institución Educativa Distrital Unión Europea en la ciudad de Bogotá, ubicada en el barrio Arabia en la localidad Ciudad Bolívar con 20 estudiantes de grado undécimo con edades de entre los 16 a 19 años.

Se pone en marcha desarrollar algunas experiencias que permiten cuestionar la forma como se aborda en el aula el fenómeno de la intensidad luminosa, ya que al brindarle herramientas como textos, guías e instrumentos para el desarrollo de actividades prácticas, se busca que los estudiantes expliquen algunos fenómenos estrechamente relacionados con el ya mencionado.

Esta cartilla llamada “*Medir La Intensidad De La Luz*” cuenta con tres actividades donde se busca, como se mencionó anteriormente, fortalecer la idea de lo que es un patrón de medida y su función en las ciencias, poniendo a disposición de los estudiantes actividades donde se trabaja el fenómeno de la intensidad luminosa, y de esta desarrollar criterios para una construcción y comprensión de la misma. De ahí, que los estudiantes con las concepciones y experiencias que desarrollen con cada actividad pueden hablar del fenómeno.

El recorrido conceptual, y las prácticas experimentales para la organización y realización de estas actividades, se resumen de la siguiente manera:

Este diseño da una organización a las actividades propuestas a los estudiantes e hizo que la ruta de trabajo se cumpliera en el desarrollo de cada una de estas tres actividades.



## Actividad # 01: Lo Práctico De Medir

En esta actividad se acercó a los estudiantes en grupos de cinco personas sobre el concepto de medición y patrón de medida. Como primer objetivo cada grupo midió cierta parte del cuerpo humano de uno de sus integrantes con algún patrón diferente al metro, para luego pasar a lecturas que refuerzan el concepto de medida y patrón. Se finaliza en enseñarle las características y la necesidad de medir la intensidad que emite cualquier fuente de luz.

El siguiente cuadro muestra el problema central, las preguntas vinculadas, relaciones conceptuales, situaciones propuestas y actividades específicas.

| Problema Central   | Preguntas Vinculadas  | Relaciones Conceptuales  | Situaciones Propuestas   | Actividades Específicas   |
|--|---|--|--|---|
| <p><i>Actividad #01</i></p> <p><u>Lo Práctico De Medir</u></p> <p>Reforzar el concepto de unidad o patrón de medida y su aporte en la física experimental.</p> | <p>¿Qué es la medición?</p> <p>¿Qué es un patrón de medida?</p> <p>¿Qué aporte tiene la medición en la física experimental?</p> <p>¿Podemos medir la intensidad de la luz?</p> <p>¿Qué es un fotómetro?</p> <p>¿Cuál es la función de un fotómetro?</p> <p>¿Podemos diseñar un fotómetro?</p> | <p>Breve concepto sobre la medición.</p> <p>La importancia del uso de patrones en un sistema de medidas.</p> <p>La contribución de las mediciones y los patrones en la física experimental.</p> <p>La luz y su influencia en la vida cotidiana.</p> <p>La importancia en medir la intensidad de luz.</p> <p>La función de la fotometría como campo de la física óptica.</p> <p>Experimento de Pierre Bouguer para la medición de la intensidad luminosa del sol.</p> | <p>Usar una unidad o patrón de medida creada por los integrantes del grupo para medir un cuerpo humano.</p> <p>Dos lecturas donde participe cada grupo y el docente para desarrollar las preguntas de la actividad.</p> <p>Leer la última lectura, y al igual que la anterior discutir sobre ella entre todos los participantes. Al final cada grupo se compromete a traer una fuente luminosa, en caso contrario el docente trae sus propias fuentes luminosas (velas, bombillas eléctricas, linternas, etc.)</p> | <p>1. Se desarrolla una actividad donde los estudiantes usen un patrón creado por ellos mismos para medir ciertas partes del cuerpo de uno de los integrantes del grupo.</p> <p>2. Se lee en entre todos los grupos la lecturas llamadas “¿Qué es la medición?” y “El origen del metro” que se discutirán con el docente como guía para resolver las preguntas planteadas en las páginas 4 y 5 de la actividad.</p> <p>3. Por último se procede a leer la lectura llamada “Características y necesidades para medir la intensidad de la luz” para que entre todos los grupos participantes, den su parte de opinión o resolver dudas que se presenten de la mismas, al tiempo de relacionar esta con los materiales que deben traer para hacer actividades experimentales la próxima clase.</p> |

### Registro De Aula: “Lo Practico De Medir”

A continuación se muestra los resultados de la primera actividad planteada a los estudiantes:

Observaciones: La actividad inicia con proponer a los estudiantes que midan a uno de sus integrantes del grupo y medir las partes de su cuerpo, ellos utilizaron como patrón la mano

abierta o sus dedos de uno de los integrantes del grupo. Cada uno definió su patrón como “cuarta” o “dedos”. En sus respuestas creían que al usar sus dedos, por ejemplo, daban una mayor exactitud o les parecía una mejor manera de medir sin usar el metro. Se planteó en la actividad algunas preguntas como ¿Por qué como patrón de medida usaron los dedos del compañero que midió y no el de otro? ¿Darán los mismos resultados si medimos de nuevo al compañero con otros dedos? Hubo variedad de respuestas pero se llegó a la conclusión entre los grupos que no iba ser similar los resultados de las medidas, debido a las diferencias que existen en los tamaños de sus dedos.

Terminada esta experiencia se procedió a las lecturas sobre “¿Qué es la medición?” y “El origen del metro”. Se leyó entre todos las lecturas y se empezó a resolver las preguntas que estaban en las cuarta y quinta página de la actividad. Al mostrarse en las lecturas la complejidad que conlleva la medición y la importancia de esta en la física experimental, se presentaron respuestas donde relacionaban medir solo con la longitud, en otros casos especifican que cualquier fenómeno natural puede ser medido con ciertos instrumentos y explicaron que ciertos patrones de medida deben tener unas características para ser tenidos en cuenta en la sociedad. Para evitar algún tipo de confusión, en un corto espacio de la clase se reiteró que necesariamente medir no solo se trata de longitudes, se puso como ejemplo el medir el peso de cada uno tiene o la pregunta de ¿Si la brillantes de una fuente luminosa como la de un bombillo, se puede medir?, en lo cual afirmaron positivamente todos los grupos, pero era algo que en la tercera actividad se iba desarrollar.

Para finalizar, se leyó la última lectura sobre “Características y necesidades para medir la intensidad de la luz” que tiene como propósito mostrar la importancia de la luz en la vida cotidiana, la necesidad de que esta sea medida para una buena labor en los cineastas, fotógrafos o astrónomos, y conocer el fotómetro como un instrumento para medir la intensidad de la luz. Terminada la lectura se resolvieron dudas sobre términos que algunos estudiantes tenía sobre lo que es la fotometría y la intensidad de la luz, aunque se resolvieron en las discusiones que hicimos, es necesario poner en marcha actividades experimentales para entender este fenómeno de la intensidad de la luz y diferentes términos que se generaran durante la siguiente actividad. Se les dejó como tarea la lectura sobre “Experimentando con una vela” y para la próxima clase cada grupo traía una fuente luminosa cualquiera (velas, linternas, bombillas, etc.).

Conclusiones: En esta actividad, los estudiantes trabajaron activamente y estuvieron atentos en el desarrollo de conceptos que eran necesarios para resolver las preguntas que habían sido planteadas. Las lecturas les parecieron interesantes y surgió variedad de preguntas sobre el porqué la complejidad de desarrollar un patrón como el metro y algunos términos que eran nuevos para ellos, que fueron resueltos entre los grupos y el docente. Con entusiasmo esperarían la próxima actividad, que sería en tener una experiencia con diferentes fuentes luminosas, para lograr en si los primeros pasos para entender fenómenos relacionados a la iluminación.

## Actividad # 02: Fenómenos Luminosos

Con los mismos grupos de 5 personas, los estudiantes contaban cada uno con diferentes fuentes luminosas como bombillas o velas, y también elementos como linternas que los estudiantes llevaron para desarrollar las experiencias. Esta actividad busca reforzar conceptos que rodean el fenómeno de la iluminación y que en cada uno de estos quede claro cuáles son sus definiciones y las diferencias que tienen, con el propósito de poder hacer las dos actividades experimentales, para que cada grupo vea la relación que existe distancia e iluminación y lo que es una fuente puntual de luz.

El siguiente cuadro muestra el problema central, las preguntas vinculadas, relaciones conceptuales, situaciones propuestas y actividades específicas.

| Problema Central  | Preguntas Vinculadas   | Relaciones Conceptuales   | Situaciones Propuestas   | Actividades Específicas  |
|---|--|---|--|--|
| <p><i>Actividad #02</i></p> <p><u>Fenómenos Luminosos</u></p> <p>Conocer diferentes conceptos sobre el fenómeno de la iluminación de manera teórica y experimental.</p> | <p>¿Qué es el flujo luminoso?</p> <p>¿Qué es la intensidad luminosa?</p> <p>¿Cuál es la diferencia entre luminancia e iluminancia?</p> <p>¿Qué relación hay entre intensidad e iluminación?</p> <p>¿Qué es una fuente puntual?</p> <p>¿Qué relación hay entre distancia e iluminación?</p> | <p>Definición de flujo luminoso e intensidad luminosa.</p> <p>Diferencias que existen entre flujo luminoso e intensidad luminosa.</p> <p>Definición y diferencias entre luminancia e iluminancia.</p> <p>¿El sol es o no es una fuente puntual?</p> <p>Relación intensidad - iluminancia.</p> <p>Relación distancia - luminancia.</p> | <p>Lectura con conceptos necesarios para entender fenómenos luminosos.</p> <p>Actividad experimental para buscar la relación entre intensidad e iluminación con herramientas que el docente le brinda.</p> <p>Salir al patio de la escuela para que se discuta si el sol es o no una fuente puntual.</p> <p>Actividad experimental que busca esta vez la relación entre distancia e iluminación con las mismas herramientas que el docente brinda.</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se lee entre todos la lectura “¿Qué es la intensidad luminosa?” donde se puede encontrar diferentes términos, sus definiciones y las diferencias de cada uno, para tener en claro el estudio de esos fenómenos relacionados a la iluminación.</li> <li>2. Se procede a realizar una actividad experimental con el aula completamente a oscuras, para encontrar la relación intensidad e iluminación con el uso de los implementos brindados a los estudiantes (vela o bombillas, cinta métrica y una caja de cartón totalmente negra). Esto con el fin de solucionar parte de la segunda actividad entre la páginas 2 y 3.</li> <li>3. Se saca a los estudiantes al patio de la escuela para discutir sobre lo que es y no es una fuente puntual, esto poniendo de ejemplo al sol.</li> <li>4. Se finaliza con una última actividad experimental con el aula completamente oscura, pero esta vez para encontrar la relación entre distancia e iluminación, ya en esta diseñada una fuente puntual que me puede mostrar que sucede con el radio que se ilumina en una pantalla si alejo o acerco la fuente luminosa.</li> </ol> |

## Registro De Aula: “Fenómenos Luminosos”

A continuación se muestra los resultados de la segunda actividad planteada a los estudiantes:

Observaciones: Se inicia hablando sobre lo que les dejó la lectura “Experimentando con una vela”, mencionaron lo interesante e impresionante de poder lograr Pierre Bouguer medir la intensidad luminosa del sol. Se retomó las ideas que se sacaron sobre lo que fue el metro y su diseño como patrón, para ya en forma iniciar la lectura “¿Qué es la intensidad luminosa?”.

La lectura se lee en conjunto con los grupos, y en ese momento el concepto y las diferencias que existen entre flujo luminoso e intensidad luminosa no tuvieron problema alguno, la primera página de la actividad contaba con unas definiciones claras sobre ambos fenómenos. Estos conceptos se reforzaron usando una bombilla incandescente de halógeno, explicándoles que esta produce una energía radiante, y que solo aproximadamente el 10% de esta energía es percibida por el ojo humano, la cual es llamada *flujo luminoso*. Pero lo más importante era estudiar cómo se distribuye ese flujo luminoso en cada dirección, así que se puso en contexto que ese flujo luminoso que va en una determinada dirección es la *intensidad luminosa*.

Al pasar las definiciones sobre luminancia e iluminancia, se presentaron las dificultades que eran predecibles, ya que son conceptos que podía llevar a confusiones. Se procedió a poner el aula a oscuras lo máximo posible para entender las diferencia que existe entre luminancia e iluminancia. Así, que con una linterna se ilumino una pared estando el aula prácticamente oscura. Los estudiantes observaban una superficie iluminada con un cierto tamaño, y esto conlleva a explicarle a los grupos de trabajo que la cantidad de flujo luminoso que incidía sobre esta una superficie en un área determinada (en este caso parte de la pared) es la *iluminancia*, es decir, la cantidad de luz que estaba llegando de la linterna a esa pared. En el caso de la *luminancia*, es la que indica la cantidad de luz procedente de un objeto iluminado (en este caso parte de la pared) que el ojo humano percibe desde un punto de vista en particular, es decir, la cantidad de luz que refleja la pared que esta iluminada hacia nuestra vista. Hubo dificultades en este espacio debido al casi parecido de la palabras *iluminación* y *luminancia*, o se presentaba que aun en algunos estudiantes en confundir *iluminancia* con *luminancia* en las definiciones.

Para reforzar los conceptos de luminancia e iluminancia se les entrego una caja ennegrecida, un espejo y una linterna, para que las experiencias que desarrollaran las dibujaran y pudieran

mostrar lo que es luminancia y lo que es iluminancia. Al usar el espejo y darle iluminación a la caja ennegrecida, sabían que la superficie iluminada era su iluminancia y lo que llegaba a sus ojos era la luminancia.

Teniendo claro ciertos términos que están estrechamente relacionados al fenómeno de la iluminación, se procedió experimentar con una bombilla incandescente o una vela sobre la relación que existe entre distancia e iluminación. Con el aula prácticamente a oscuras y preguntándole a los grupos si ¿la iluminación aumenta o disminuye según la distancia en que se encuentre la fuente de luz?, se desarrolla la experiencia que se muestra en la tercera página de esta actividad, un ejemplo de lo que sucedería si alejo o acerco una fuente luminosa de una pantalla, o en este caso una pared.

Realizan esta actividad con tres diferentes distancias, y según los grupos con los datos que obtuvieron, observaron que cada vez que alejaban la fuente de la pared se reducía la iluminación, pero si la acercaba esta aumentaba. Al preguntarle si denotaban otro aspecto en la experiencia, mencionaron que al estar cerca la bombilla o la vela de la pared, se ve un área pequeña iluminada, y cuando se aleja esta fuente luminosa, el área se hacía mucho más grande. Este experimento tiene como intención que los estudiantes observen, que cada vez que alejo una fuente luminosa a una cierta distancia  $x$ , el área iluminada se duplica  $x^2$ , esto con el fin de que entender la ley del inverso del cuadrado que se tiene que discutir en la tercera actividad.

Terminada esta experiencia con la bombilla incandescente y velas, se empezó un ejercicio al aire libre para conocer lo que es una fuente puntual de luz. La actividad en la cuarta página, cuenta con una definición de lo que es una fuente puntual de luz, leía esta definición se les pide resolver esta la pregunta si ¿el sol es una fuente puntual?, y debido a que eran respuestas muy variadas, todos los grupos salimos al patio de la institución para poder resolver la pregunta. Se aclara que el sol no puede ser una fuente puntual de luz, pero que podríamos aprovechar su luz para hacer una. Con esto claro, se procede a la actividad “Hagamos una fuente puntual de luz”, que debe contar con una bombilla incandescente, que es la fuente luminosa más potente para que el experimento tenga mejores resultados.

Esta actividad se puede desarrollar con una pantalla que tenga una abertura de 1cm, pero es recomendable una caja ennegrecida para que no exista una dispersión de la luz en el aula donde

se está desarrollando el experimento. En este caso el grupo tenía la tarea de más o menos cuanto era el radio que la fuente puntual de luz hacía en la pared a una cierta distancia. No necesariamente los datos obtenidos tenían que ser precisos, pero reafirma la anterior actividad de que aumenta la superficie iluminada por la fuente luminosa cada vez que la alejo, al tiempo que los estudiantes decían que el brillo en la pared se reducía, pero cuando se acercó esta fuente el brillo de la superficie aumentaba, pero la superficie era más pequeña. También concluyeron que con una fuente puntual de luz se podía ver con más precisión la iluminación y su intensidad, a diferencia de una bombilla incandescente que iluminaba casi todo el aula que se encontraba a oscuras y hacia más difícil medir su área.

Finalizada estas actividades, se les asigno como tarea averiguar sobre lo que es la ley del inverso del cuadrado, que rige en parte lo que se desarrolló con los grupos en las experiencias. Para la próxima reunión se comprometieron en traer su definición y un ejemplo de lo que es esta ley.

Conclusiones: Se presentaron muchas dificultades con respecto a los términos que se manejaron para entender bien los fenómenos que se presentan en la iluminación. Buena parte de los estudiantes se les hizo complicado denotar las diferencias que existían entre luminancia e iluminancia, las experiencias que se vivieron con las linternas con el aula totalmente a oscuras pudo reforzar la idea, pero aun persistía la confusión que duraría hasta terminada la actividad con algunos de los estudiantes participes de ella. Los dos siguientes experimentos sobre la relación que existía entre distancia e iluminación, y de cómo cada vez que alejaba el foco de luz de la pared se duplicaba, no tuvo mayor inconveniente y fueron experiencias muy activas. Lo previsto era que esta actividad tomada 2 horas, pero debido al inconvenientes sobre definiciones y manejo de términos, esta culminó casi en un tiempo de 4 horas. Con la tarea que les fue asignada se resolvería algunas dudas sobre lo que se hizo al finalizar la actividad y retomar parte del trabajo hecho en la siguiente actividad.

## Actividad # 03: Construyamos Un Fotómetro Visual

Esta actividad tiene como propósito hacer en primer lugar un cuestionario relacionado a lo visto en las dos primeras actividades, para retomar algunas definiciones que se habían venido trabajando, para luego proseguir al sentido de la actividad en como algunos personajes del siglo XIX proponían diferentes patrones de medida a la intensidad de una fuente de luz. Se culmina con el diseño de un fotómetro visual (en este caso un fotómetro de Bunsen) mostrando de nuevo algunos términos, lo que son las fuentes de luz patrón, los cuidados que debe tener este tipo de experiencias en el aula, para así pasar a la construcción de este y su uso como instrumento de medida.

El siguiente cuadro muestra el problema central, las preguntas vinculadas, relaciones conceptuales, situaciones propuestas y actividades específicas.

| Problema Central  | Preguntas Vinculadas   | Relaciones Conceptuales  | Situaciones Propuestas  | Actividades Específicas  |
|---|--|--|---|--|
| <p><i>Actividad #03</i></p> <p><u>Construyamos Un Fotómetro Visual</u></p> <p>Conocer y Construir un instrumento de medida para medir la intensidad de la luz de una fuente luminosa.</p> | <p>¿Las velas, las lámparas o las bombillas eléctricas pueden ser buenos patrones de medida?</p> <p>¿El patrón violle porque resulto ser un buen patrón de medida?</p> <p>¿Qué es una sensación visual?</p> <p>¿Qué función tiene una fuente de luz patrón?</p> <p>¿Qué es un fotómetro visual?</p> <p>¿Cómo construir un fotómetro de Bunsen?</p> | <p>Contexto histórico sobre los patrones diseñados durante el siglo XIX para la intensidad de una fuente luminosa.</p> <p>El fotómetro como instrumento para el estudio de la luminancia.</p> <p>La función de una fuente de luz patrón en un fotómetro visual.</p> <p>Cuidados que se deben tener con la luz dispersa.</p> <p>Las experiencias de Bunsen para su diseño de un fotómetro visual.</p> <p>Ley del inverso del cuadrado para mediciones fotométricas.</p> | <p>Un Quiz con respecto a lo desarrollado en las dos anteriores actividades.</p> <p>Lectura sobre los patrones de medida usados para medir fuentes luminosas en el siglo XIX y resolver en los grupos las preguntas relacionadas esta.</p> <p>Lecturas sobre la importancia de la luminancia y las fuentes de luz patrón el diseño de un fotómetro visual u construir uno similar al hecho por Bunsen.</p> <p>Utilizar el fotómetro visual construido por cada grupo y obtener datos utilizando una fuente de luz patrón que cada grupo le parezca pertinente y medir diferentes intensidades de luz.</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se lee la lectura “En busca de un patrón absoluto para a intensidad de la luz” para conocer cómo fue su desarrollo y las diferentes fuentes de luz patrón que se usaron durante el siglo XIX hasta la creación del patrón <i>violle</i> en 1884. De esta lectura se procede a resolver 4 preguntas relacionadas a la lectura.</li> <li>2. Se procede a leer la página 4, donde se discute los criterios de la luminancia y la función que cumple una fuente de luz patrón, para así mismo entender lo que es un fotómetro visual.</li> <li>3. Expresar como fueron las experiencias de Bunsen para construir su fotómetro, para luego por medio de una guía construir cada grupo uno propio con las herramientas que se le brindan para medir fuentes luminosas.</li> <li>4. Obtener datos con diferentes fuentes luminosas con el fotómetro que cada grupo diseño definiendo una fuente de luz patrón y compararla con diferentes intensidades de luz.</li> </ol> |

## **Registro De Aula: “Construyamos Un Fotómetro Visual”**

A continuación se muestra los resultados de la tercera actividad planteada a los estudiantes:

Observaciones: Se comienza con unas preguntas que están relacionadas con respecto a las dos actividades que se desarrollaron en el curso. Entre ellas sobre la medición, instrumento de medida, la luminancia, la intensidad luminosa, etc. Con la intención de si había necesidad de reforzar algún aspecto, pero las respuestas fueron satisfactorias, de paso parte de los estudiantes llevaron su tarea sobre la ley del inverso del cuadrado, aunque tenían dudas sobre la relación que esta tenía con la última experimentación en clase. Se recordó repitiendo de manera corta con una linterna, pero que esas dudas se resolverían al construir un fotómetro visual durante la clase.

La lectura sobre “En busca de un patrón absoluto para la intensidad de la luz”, muestra una pequeña mirada de cómo durante el siglo XIX se pretendió usar diferentes fuentes de luz como patrón, así mismo, como estas se fueron mejorando al usar fuentes mucho mejores que no tuvieran mucha invariancia a la hora de medir cualquier fuente luminosa. No fue hasta en 1881 que Jules Violle propone que para medir la intensidad de la luz se use como patrón la luz que produce el platino cuando este se funde. Terminada la lectura que fue leída entre todos, se resuelven las preguntas propuestas con el fin de saber si deben existir criterios suficientes para definir un patrón como el de la intensidad de la luz.

Las respuestas fueron similares en decir que la vela no podría ser útil como patrón debido a que no todas las que se fabrican alumbran igual. Pero consideraban que en el caso de una lámpara como la Carcel, tenía una muy buena precisión al igual que una bombilla eléctrica. Con respecto al patrón hecho por Jules Violle, consideraron que era un patrón que era más complejo, debido al que fundir platino lo consideraban difícil de hacer para lograr ese objetivo de que la luz que producía fuera un patrón.

Aun así se abrió un espacio de discusión donde se les pregunto si era posible que todas las bombillas eléctricas que usábamos en nuestros hogares alumbraran para siempre, la respuesta fue negativa ya que tienen un limitado tiempo de vida. También se debatió que a veces puede existir como en las velas, imperfectos en su fabricación, así que los grupos en general concluyeron que al igual que medir con los dedos, pueden existir errores al medir con bombillas, por ejemplo. Pero esta actividad no tenía como objetivo buscar una gran precisión en lo que vayamos a medir,

era de buscar que de manera sencilla y práctica se entienda el fenómeno que se va trabajar como lo es la intensidad luminosa y esta ser medida bajo unos criterios claros.

En las siguientes lecturas se refuerza lo que es la luminancia, la función que tiene una fuente de luz patrón, y en especial que es un fotómetro visual. Se enseña en la cuarta página de manera gráfica lo que fue un fotómetro de Bunsen y una lámpara Hefner que para ese entonces, en Alemania servía como fuente de luz patrón para este fotómetro. La lectura nos habla de cómo fueron las experiencias de Bunsen en principio y final para crear su famoso fotómetro, y bajo lo aprendido, cada grupo contaría con el material necesario para empezar a diseñar su propio fotómetro con casi las mismas características como lo construyó Robert Bunsen ( aunque debido a que parte del material de daño realizando la construcción, y realizar ciertas medidas, por seguridad solo se diseñó uno solo, y que cada grupo viera la experiencia y obtuviera los datos que se necesitaran de la misma).

El diseño que se hizo fue muy sencillo de desarrollar, ya que como fuente de luz patrón todos los grupos estuvieron de acuerdo que se usara una vela, para poder medir diferentes fuentes de velas. Por ejemplo, se midió con este fotómetro la intensidad luminosa que producía dos velas, luego tres velas, hasta 5 velas. Los resultados fueron gratos para ellos, porque observaron que estaban muy ligado esta medición a la ley del inverso de los cuadrados, ya que al ver la mancha de aceite desaparecer a una cierta distancia la fuente luminosa que se quería medir, se podría hallar la intensidad luminosa que esta fuente emite. Al final el ejercicio se realizó 5 veces midiendo solo velas, pero ¿si usáramos otra fuente que no fuera una vela? ¿Podríamos hallar la intensidad luminosa teniendo en cuenta que nuestra fuente de luz patrón es una vela?, pues al poner en marcha el experimento con una bombilla eléctrica, y se observó que era imposible hacerlo, debido a que la intensidad era tan grande la que producía esta bombilla, que casi llegaba a ser de color blanca como lo definieron los estudiantes. Así que se llegó a ver que el color que emite la fuente de luz patrón debe ser igual a la emitida por la fuente de luz que se quiere medir, lo que sería una de las condiciones básicas para que el fotómetro que se esté diseñando funcione a cabalidad.

Para finalizar se les propuso a los grupos tres preguntas. Una de ellas fue si el fotómetro de Bunsen que se desarrolló en la clase era un instrumento útil para medir la intensidad luminosa, lo cual afirmaron positivamente, ya que podían medir el fenómeno, claro está, bajos los criterios en

los que cada grupo llevo, como el aceite que se usó para hacer la mancha en la hoja bond, el color de la llama de la vela y el uso de la ley del inverso del cuadrado. Cada grupo definió su patrón con un nombre en especial y esto culmino con algunas conclusiones que sacan los grupos con respecto al experimento realizado y lo medido, como por ejemplo, dudas con respeto a que la llama de la vela no era tan constante como se quería que fuera, o la luz que se dispersaba por toda el aula podría afectar la práctica experimental, entre otras.

Conclusiones: Las lecturas fueron de gran ayuda para entender lo importante que es tener un patrón para realizar mediciones, y en este caso para la realización de un fotómetro visual que requería de una fuente de luz patrón. Los estudiantes realizaron con facilidad la construcción del fotómetro de Bunsen, pero el espacio reducido, perdida de algunos de los materiales y por seguridad, hicieron mejor realizar uno solo, a pesar de todo, la experiencia fue desarrollada con éxito.

Se finiquita esta actividad hablando con los estudiantes de lo importante que puede ser realizar experimentos con diferentes tipos de instrumentos para el estudio y eventual medición de un fenómeno, en este caso la intensidad luminosa, y recordando el gran valor que la física experimental en el siglo XIX y su aporte en la enseñanza de las ciencias.

### **Reflexiones**

- Las actividades diseñadas y aplicadas en el aula de clase, tenían como objetivo reforzar la idea sobre lo que es un patrón de medida y no verlo como algo que da por hecha su función en los cálculos que son necesarios en la matemática, la física, la química o la biología.
- Los espacios de socialización con los estudiantes a partir de las preguntas que generada cada lectura planteada en las actividades, enriquecían las explicaciones y las conclusiones de lo que se estaba desarrollando con respecto a la funcionalidad de un patrón y los fenómenos que se presentan en la iluminación.
- El debate de ideas y el cuestionamiento entre unos con otros eran otro factor enriquecedor que lograba prestar más interés a los temas que se estaban estudiando en cada una de las actividades.

- Se logra a partir de actividades y experiencias cotidianas relacionadas a la iluminación, motivarse y al tiempo cuestionarse, lo que incita que busque las causas de dichas fenomenologías.
- El diseño de cada una de las situaciones experimentales específicas, permitió a los estudiantes entender más a fondo los fenómenos que se presentan en la iluminación, en vez de dar por hecha como una función natural en nuestras vidas, lo cual hace que se observe desde otra perspectiva este fenómeno y cuestionar lo que normalmente es evidente y obvio para tratar de construir una explicación.
- La elaboración de un fotómetro visual, con elementos sencillo como velas y papel bond con una mancha de aceite, ayuda a la comparación para medir otras fuentes luminosas que tengan las mismas características de su fuente de luz patrón para ser medidas. Aunque puede existir errores generados por la luz dispersa que se puede presentar en cualquier aula o laboratorio, se logra el objetivo de medirlo con un instrumento efectivo para entender el fenómeno.

# Conclusiones

- Enseñar una breve historia de la medida, ayuda al lector a tener ideas sobre la suma importancia en lo que esta actividad ha tenido y tiene en la humanidad, en especial en la comunidad científica para el desarrollo de las diferentes ciencias.
- Mostrar como parte del trabajo la importancia que en el siglo XIX tuvo del desarrollo de la física experimental para el avance de grandes investigaciones y descubrimientos, nos enseña que los pasos seguidos por Jules Violle para la construcción de su patrón de medida se basa en las herramientas con las que contaba gracias al ya existente avance de la experimentación a finales de siglo XIX, y pone en manifiesto que sus experiencias lograron el objetivo de establecer un patrón gracias a este tipo de actividades.
- A partir de textos originales sobre el arduo trabajo que tuvo que pasar el físico francés Jules Violle para la construcción de un patrón de medida a la intensidad luminosa, da una gran fortaleza al trabajo desarrollado con el fin de mostrar información verídica de lo sucedido entre la década de 1880. Sumado al gran esfuerzo de traducir y entender lo experimentado y discutido en las conferencias que conllevaron a la construcción y su eventual aval al patrón conocido como *violle*.
- Parte relevante del trabajo muestra lo importante que es la actividad experimental para resolver interrogantes que se plantean a partir de experiencias que los sujetos viven de situaciones que se le presenten. Diferentes reflexiones a las que llegó Jules Violle lo llevaron a desarrollar experimentos para establecer una mejor manera de estudiar el fenómeno de la iluminación, que hoy en día son parte en la enseñanza de las ciencias.
- Como parte del grupo de física y cultura, el trabajo da a entender la importancia de la práctica experimental para la construcción y comprensión de las fenomenologías en estudio. En este caso la construcción de un patrón de medida, que nos enseña el papel fundamental que cumple el experimento y el uso adecuado de instrumentos de medida para su buen desarrollo.
- El desarrollo de prácticas y actividades experimentales en el aula con estudiantes de grado undécimo, con el fin de reforzar en ellos la idea que se tiene sobre medida, unidad patrón y en este caso fenómenos relacionados a la iluminación, muestra el gran interés que despierta este tipo de actividades si se realizan de manera activa y práctica con el

buen uso del conocimiento y del manejo de cierto elementos como los instrumentos de medida que son parte fundamental para el desarrollo cognitivo del estudiante.

- Las reflexiones sacadas gracias a la implementación que se realizó en el IED Unión Europea con estudiantes de grado undécimo, logra el objetivo en ellos de la importancia que puede llegar a tener la práctica experimental con el uso de diferentes tipos de elementos físicos relacionados a fenómenos luminosos. El uso de un fotómetro visual como el de Bunsen, hace que exista un ambiente de ideas y el cuestionamiento entre unos con otros como factor enriquecedor y que el grupo participe de estas actividades prestara más interés a los temas que se estudian con gran interés y entusiasmo en aprender más sobre temas relacionados a las ciencias naturales.

# Bibliografías

- Chevreul, Dumas, Boussingault, Wurtz, Berthelot, Pasteur (1884). *Annales De Chimie Et De Physique*. Paris : Imprimerie De Gauthier-Villars. Gallica Bibliothèque Numérique.
- Ministere Des Affaires Etrangeres. (1882). *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*. Paris: Imprimerie Nationale. Gallica Bibliothèque Numérique.
- Ministere Des Affaires Etrangeres. (1884). *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*. Paris: Imprimerie Nationale. Gallica Bibliothèque Numérique.
- Malagón, J. F. (2011). *El experimento en el aula: Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Fondo editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Malagón, J. F. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: Un sentido para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Fondo editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Flórez, I. D. & Gómez, A. L. (2012). *Construcción de explicaciones desde la experiencia*. Tesis de maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.
- Ministere Des Affaires Etrangeres. (1889). *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques*. Paris: Imprimerie Nationale. Gallica Bibliothèque Numérique.
- Pachón, R. F. (2002). *Metrología en las civilizaciones de Mesopotamia, Egipto, Fenicia, Israel, Grecia, Cartago, Roma Y Otras Culturas De La Antigüedad*. Andalucía: Universidad De Almería.
- Borvo, G. (2009). *Histoire de l'électricité: l'histoire des unités électriques*. Disponible en: <http://seaus.free.fr/spip.php?article324> (Consultado el 14 de septiembre de 2014).
- Ayala, M. M., et al. (2011). *Magnitudes, medición y fenomenologías*. *Revista de enseñanza de la física*, 24(1), 43-54.
- Jaimes, H., Sandoval, F., Hernández, I. (2001). *El Sistema Internacional De Unidades (SI)*. México: Centro Nacional De Metrología.
- Piñero, M. E. (1995). *Las medidas en la época de Felipe II: La uniformación de las medidas*. Valencia: Universidad De Valencia.
- Agamador & Tiresias. (2001). *El origen del sistema métrico decimal*. Disponible en: [http://www.culturaclasica.com/cultura/sistema\\_metrico.htm](http://www.culturaclasica.com/cultura/sistema_metrico.htm) (Consultado el 13 de agosto de 2015).
- MCN Biografías. (2011). *Lavoisier, Antoine Laurent (1743-1794)*. Disponible en: <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=lavoisier-antoine-laurent> (Consultado el 2 de enero de 2015).
- Bureau International Des Poids Et Mesures. (2015). *La Convention du Mètre*. Disponible en: <http://www.bipm.org/fr/measurement-units/history-si/> (Consultado el 23 de octubre de 2014).
- Nelson, Robert A. (2000). *El Sistema Internacional de Unidades*. Disponible en: <http://www.jorgevenghipropiedades.8k.com/NOTA-SIUnidades.htm> (Consultado el 20 de agosto de 2015)

Knowles, W. E. (2008). Encyclopedia.com: Biography of Pierre Bougue. Disponible en:  
[http://www.encyclopedia.com/topic/Pierre\\_Bouguer.aspx](http://www.encyclopedia.com/topic/Pierre_Bouguer.aspx) (Consultado el 20 de agosto de 2015).

Silvestre, E. V. (1855). LXIII Ueber Eine Neue, Von Dem Lampenfabrikanten Neuburger Zu Paris erfundene Moderator-Lampe. Disponible En: <http://dingler.culture.hu-berlin.de/article/pj136/ar136063> (Consultado el 20 de agosto de 2015).

Thomasset., T. (2009). Tout Sur Les Unités De Mesure: Jules Violle. Disponible en:  
<http://www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/index.html> (Consultado el 22 de junio de 2014).

Fifield, B. (2012). Argand Lamp – A moment of pause for Barbara Carson. Disponible en:  
<http://thestillroomblog.com/2012/04/29/argand-lamp-a-moment-of-pause-for-barbara-carson/> (Consultado el 30 de septiembre de 2014).

Wikisource (2015). Les Merveilles de la science, 1867 - 1891, Tome 4. Disponible en:  
[https://fr.wikisource.org/wiki/Page:Figuiet\\_-\\_Les\\_Merveilles\\_de\\_la\\_science,\\_1867\\_-\\_1891,\\_Tome\\_4.djvu/41](https://fr.wikisource.org/wiki/Page:Figuiet_-_Les_Merveilles_de_la_science,_1867_-_1891,_Tome_4.djvu/41) (Consultado el 4 de agosto de 2015)

United States Lighthouse Society (2015). Lighthouse Lamps Through Time. Disponible en: <http://uslhs.org/lighthouse-lamps-through-time> (Consultado el 4 de agosto de 2015)

Liotard, J. F. (1954). La fenomenología. Barcelona: Paidós.