



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL

**DISEÑO DE UN MODULO BASADO EN UNA  
HERRAMIENTA COMPUTACIONAL, PARA LA  
ENSEÑANZA DE CONCEPTOS PRELIMINARES DE LA  
MECÁNICA CUÁNTICA A PARTIR DEL EXPERIMENTO  
DE FRANCK-HERTZ**

**Autor:**

**Angie Carolay Rodriguez Cosme**

**Director:**

**Ignacio Alberto Monroy**


**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**BOGOTA D.C**


**2018**

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 1 de 4</b>	

<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>	Diseño De Un Módulo Basado En Una Herramienta Computacional, Para La Enseñanza De Conceptos Preliminares De La Mecánica Cuántica A Partir Del Experimento De Franck-Hertz
<b>Autor(es)</b>	Rodríguez Cosme, Angie Carolay
<b>Director</b>	Monroy Cañón, Ignacio Alberto
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2017. 52p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional.
<b>Palabras Claves</b>	MODELO ATOMICO DE BOHR, ESPECTROS ATÓMICOS, MOMENTUM ANGULAR, ESPÍN, COLISIÓN INELÁSTICA, TRANSICIONES, NIVELES DE ENERGÍA, ESTADO ESTACIONARIO, ESTADO EXCITADO, NUMERO CUÁNTICOS, ORBITALES.

<b>2. Descripción</b>
<p>Este trabajo presenta una propuesta para la enseñanza de conceptos preliminares de la mecánica cuántica a partir del experimento de Franck-Hertz para estudiantes de educación media. Este trabajo está enfocado al estudio de la estructura de la materia, desde el modelo atómico de Bohr hasta, el desarrollo de un modelo cuántico, a partir del cual estudiaremos, el comportamiento de los electrones en medio de colisiones inelásticas con átomos de mercurio. En este trabajo también se realiza un módulo que incluye un conjunto de actividades basadas en una herramienta computacional con la que se realizara una simulación de la curva característica del experimento de Franck-Hertz esta ira en el lenguaje de programación de C++.</p>

<b>3. Fuentes</b>
<p>R. R. F. AEDO, P. M. S. GARCÍA, and E. C. FADRAGA. El aprendizaje con el uso de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. OEI-Revista Iberoamericana de Educación, 1, 2001.</p> <p>M. Alonso. y finn, ej. Física: Fundamentos Cuánticos y Estadísticos, 3, 1978. [3] P. Baptista, C. Fernández, and R. Hernández. Metodología de la investigación. DF, México: Editorial The McGraw-Hill, 2010.</p> <p>R. Brun and F. Rademakers. Root—an object oriented data analysis framework. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 389(1-2):81–86, 1997.</p> <p>E. Cartmell and G. W. A. Fowles. Valencia y estructura molecular. Reverte, 1979.</p> <p>M. G. Castañeda and J. E. De-Geus. Introducción a la física moderna. Universidad Nacional de Colombia, Centro Editorial, 1997.</p> <p>S. Castillo. Propuesta pedagógica basada en el constructivismo para el uso óptimo de las tic en la</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 2 de 4</b>	

enseñanza y el aprendizaje de la matemática. Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa, 11(2):171–194, 2008.

E. García. Aprendizaje y construcción del conocimiento. Las plataformas de aprendizaje. Del mito a la realidad. Madrid: Biblioteca Nueva, 2009.

A. García-Carmona. La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. Educación Química, 17(4):414–423, 2006.

J. J. García Sanz. El ingenio en el experimento: el experimento de frank-hertz. 2008. 55 56

#### BIBLIOGRAFÍA

G. Hanne. What really happens in the franck–hertz experiment with mercury? American Journal of Physics, 56(8):696–700, 1988.

M. M. Kash and G. C. Shields. Using the franck-hertz experiment to illustrate quantization: Energy states of the neon atom by electron impact. J. Chem. Educ, 71(6):466, 1994.

H. Kragh. Conceptual objections to the bohr atomic theory—do electrons have a “free will”? The European Physical Journal H, 36(3):327– 352, 2011.

J. Lemmerich and A. Hentschel. Science and conscience: The life of James Franck. Stanford University Press, 2011.

M. D. Peña and A. R. Muntaner. Química física. Pearson Educación, 1989.

J. Y. Peña Triana et al. La espectroscopia y su desarrollo como una herramienta didáctica para comprender la estructura de la materia. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2012.

G. Rapior, K. Sengstock, and V. Baev. New features of the franck-hertz experiment. American journal of physics, 74(5):423–428, 2006.


M. P. Silvera and I. S. de Ciencias. Física cuántica. Editorial ISCTN, La Habana, Cuba, 1999.

G. Singh. Modeling bohr’s theory of hydrogen atom for physics and chemistry education, computational physics and chemistry, and computer science majors. 2010.

M. C. Teich and B. E. Saleh. Observation of sub-poisson franck–hertz light at 253.7 nm. JOSA B, 2(2):275–282, 1985. [23] D. Ward. The franck-hertz experiment. 1997.

#### 4. Contenidos

En el capítulo 1 se presenta la introducción, la problemática, los objetivos generales, específicos, y los antecedentes. En el capítulo 2 se desarrolla la primera parte del marco teórico: Modelo atómico de Bohr, postulados de Bohr, espectros atómicos. En el capítulo 3 se desarrolla la teoría de la mecánica cuántica en relación al experimento de Franck-Hertz, números cuánticos, espín, momentum angular y transiciones de los átomos de mercurio. De igual forma contiene el marco pedagógico, en el que se hace referencia a la metodología, al uso de herramientas computacionales en la enseñanza de la física y el desarrollo de la

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 3 de 4</b>	

simulación. El capítulo 4 contiene la descripción general del módulo, se presentan las actividades a realizarse en cada sesión, además, se expone los resultados de la implementación del módulo. El capítulo 5 contiene las conclusiones generales de trabajo. Finalmente se encuentran los anexos en el cual iran todas las actividades desarrolladas a lo largo del módulo.

### 5. Metodología

El trabajo de grado se enmarca en la investigación cualitativa, esta se relaciona con la creación de un módulo para la enseñanza de conceptos preliminares de la mecánica cuántica.

El tipo de investigación sugiere unas fases en el proceso metodológico:

- FASE I: Planteamiento del problema.
- FASE II: Desarrollo marco teórico.
- FASE III Programación de la simulación en el lenguaje C++.
- FASE IV Diseño e implementación del módulo.
- FASE V: Conclusiones.

### 6. Conclusiones

Se realizó una revisión de experimento de Frank-Hertz a partir de los principios de la mecánica cuántica, conectados al estudio de la configuración electrónica, asociada a los niveles de energía momentum angular y espín


Se elaboró el modulo como material didáctico, con una serie de actividades secuenciales, las cuales aportan al conocimiento de las teoría de la física moderna y la comprensión de conceptos claves en el estudio de la mecánica cuántica.

El uso de herramientas computacionales, permite fortalecer el conocimiento en las ciencias disciplinares, en este caso de la física, ayudando a la representación de fenómenos que comúnmente no se pueden recrear en un laboratorio de clases de las instituciones educativas.

La elaboración de la simulación resulto conveniente para la comprensión del experimento de Franck-Hertz incluir la simulación de la curva característica de este experimento. Esto contribuyó a entender la estrecha relación entre teoría y experimento; por otro lado, el uso de la simulación permitió darles un marco más amplio a las comprensiones de cada uno de los estudiantes sobre los conceptos asociados al fenómeno.

A partir de la explicación del experimento de Franck-Hertz pudimos asociar conceptos cuánticos con el estudio de la teoría atómica cumpliendo con el objetivo principal de este trabajo de grado.

Este primer acercamiento al experimento de Franck-Hertz y la mecánica cuántica en espacios académicos

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad en Educación</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación: 10-10-2012</b>	<b>Página 4 de 4</b>	

de educación media, abre las puertas a que nuevas iniciativas se enfoquen en temas relacionados y se profundicen en el mismo nivel de escolaridad y sea ejemplo a futuro en espacios de educación superior.

<b>Elaborado por:</b>	Rodríguez Cosme, Angie Carolay
<b>Revisado por:</b>	Monroy Cañón, Ignacio Alberto

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	29	01	2018
--	----	----	------

# Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>4</b>
1.1	Planteamiento del Problema . . . . .	5
1.2	Objetivos . . . . .	6
1.3	Antecedentes . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>9</b>
2.1	Modelo Atómico de Bohr . . . . .	9
2.1.1	Postulados de Borh . . . . .	11
2.2	Espectros Atómicos . . . . .	12
2.3	Experimento de Franck-Hertz con átomos de mercurio . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Mecánica Cuántica</b>	<b>17</b>
3.1	Números cuánticos . . . . .	18
3.2	Configuración electrónica de los átomos . . . . .	20
3.3	Estados del espín . . . . .	22
3.4	Momentum Angular . . . . .	22
3.5	Transición de los átomos en el experimento Franck-Hertz . . . . .	23
3.6	Marco Pedagógico . . . . .	25
3.6.1	Metodología . . . . .	25
3.6.2	El uso de herramientas computacinales para la enseñanza de la mecanica cuantica . . . . .	26
3.6.3	Diseño de la simulación . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Diseño del Modulo</b>	<b>30</b>
4.1	Sesión I: Ideas Previas . . . . .	30
4.2	Sesión II: Experimento de Franck-Hertz . . . . .	31
4.3	Análisis y resultados de la implementación . . . . .	33
4.3.1	Resultados Sesión I . . . . .	33
4.3.2	Resultados Sesión II . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>54</b>

<i>CONTENIDO</i>	3
<b>Bibliografía</b>	<b>56</b>
<b>6 Anexos</b>	<b>57</b>
6.1 Módulo Didáctico . . . . .	57
6.2 Código de la simulación C++ . . . . .	74

# Capítulo 1

## Introducción

La mecánica cuántica es la teoría de la física que estudia los fenómenos de la materia y la luz a una escala microscópica. De esta manera, procura analizar y explicar las propiedades características de la estructura de los átomos, además, del comportamiento de estos en diferentes contextos de la física.

En el siglo XIX, la gran mayoría de la comunidad científica pensaba que las leyes físicas estaban completamente desarrolladas, ya que estas explicaban los principales fenómenos de la naturaleza. Sin embargo, Hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX, una gran variedad de fenómenos físicos fueron observados durante diferentes experimentos, que lograron poner en evidencia las dificultades de la mecánica clásica, para analizar las propiedades del átomo y sus partes constituyentes, además, el estudio de los espectros electromagnéticos, comienzan abrir paso a la física cuántica, desarrollando una serie de teorías, hipótesis y técnicas, diseñadas para explicar e investigar fenómenos microscópicos. Convirtiéndose la estructura del átomo en el objeto directo de estudio.

Estos descubrimientos revolucionaron las nociones y teorías hasta entonces sustentadas por la mecánica clásica, replanteando los fundamentos y conceptos básicos de las ciencias [20]; es por esto, que el estudio de la física comienza adentrarse en el mundo de los átomos, replanteando no sólo su base conceptual, sino también el tipo de interpretación que se da a los fenómenos, generando cambios significativos en la representación realista del mundo. Es así, que fueron apareciendo nuevos conceptos físicos, los cuales influenciaron a nuevas teorías. En 1900, Max Planck explica el fenómeno de la radiación térmica de un cuerpo negro, y establece una de las ideas básicas que llevaron al desarrollo de la teoría cuántica. Los posteriores aportes de Niels Bohr, Schrodinger, entre otros, juegan un papel crucial en el desarrollo de la teoría

y modelo cuántico.

Hoy la mecánica cuántica se reconoce como una teoría fundamental de la física, la cual ha sido extendida a otros campos de conocimientos, como la química, física nuclear, física de partículas, entre otras.

De los trabajos realizados anteriormente para el estudio de la estructura atómica de la materia, se encuentra el experimento de Franck-Hertz, el cual demostró la existencia de niveles discretos de energía y la presencia de colisiones inelásticas con átomos de mercurio, una de las demostraciones claves del comportamiento cuántico. Por lo general, el experimento se limita, a determinar la energía requerida para excitar los primeros niveles de energía de los átomos de mercurio.[14]

En el experimento de Franck-Hertz, se estudian las características de los átomos, especialmente el comportamiento de los electrones y la transferencia de energía cinética por medio de las colisiones, proporcionando esto, una nueva técnica para estudiar la estructura atómica.

En este trabajo de grado se realiza el diseño de un módulo basado en una herramienta computacional, esto con el fin de brindarle al estudiante una experiencia más apreciable del fenómeno que ocurre en el experimento de Franck-Hertz, respondiendo a posibles dudas e inquietudes sobre este y reforzando la enseñanza y comprensión de conceptos básicos en la mecánica cuántica como: Cuantización de la energía, colisiones, spin, niveles de energía, números cuánticos, probabilidad, estados estacionarios, orbitales y demás concepciones claves para el desarrollo de la mecánica cuántica.

## 1.1 Planteamiento del Problema

Desde el origen de la mecánica cuántica ésta ha generado una problemática en su comprensión, debido, a que supone una nueva forma de percibir los fenómenos, donde las ideas y conceptos procedentes de nuestra experiencia cotidiana son cada vez, más reducidos. La conceptualización de la mecánica cuántica, requiere ingresar en un nuevo dominio argumentativo, aceptando las diferentes experiencias que desafían a los conceptos y explicaciones generadas a partir de la mecánica clásica, aquí es necesario replantearse la estructura y el comportamiento de la materia, convirtiéndose esto en su objeto principal de estudio.

Un factor que impide la correcta interpretación de la mecánica cuántica,

es el grado de abstracción que sus experimentos requieren, debido a la complejidad de estos. Este componente, hace que el aprendizaje de la mecánica cuántica no sea significativa, ya que, debido a la ausencia de las imágenes directas, el sujeto no logra relacionar la teoría con la realidad visual, siendo entonces señalada la mecánica cuántica como una teoría sin sentido en el mundo real. Como base para el estudio de la mecánica cuántica se realizaron una serie de experimentos los cuales consistían en estudiar la materia, muchos de estos desde una escala microscópica. El experimento de Frank-Hertz es uno de estos, el cual consiste, en explicar las propiedades físicas del átomo de mercurio, a partir de colisiones elásticas e inelásticas, demostrando la existencia de niveles discretos de energía e introduciendo conceptos de cuantización, además de ser una comprobación directa, para la teoría atómica de Bohr, la cual expone que los electrones solo pueden circular en niveles permitidos dentro del átomo. Es aquí donde el estudio de la mecánica cuántica, permite dar respuestas acertadas, a casi todos los problemas en los cuales se la ha aplicado. Además de ser una herramienta teórica básica para numerosas disciplinas de gran importancia.

Por otra parte, el uso de herramientas computacionales en el aula de clase han favorecido en el aprendizaje y enseñanza de la física, a partir de esto, se plantea el uso de una herramienta computacional, para la enseñanza de conceptos preliminares de la mecánica cuántica a partir del estudio de la estructura y comportamiento de los átomos.

Con base a los anterior y en busca de una contribución a la enseñanza de la mecánica cuántica, se plantea la siguiente pregunta problema.

## **Pregunta problema**

¿Cómo aproximar a los estudiantes a conceptos preliminares de la mecánica cuántica a partir del experimento de Frank-Hertz?

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar un módulo basado en una herramienta computacional para la enseñanza de conceptos preliminares de la mecánica cuántica a partir del experimento de Franck-Hertz.

## Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio teórico sobre las diferentes teorías que abarcan el experimento de Franck-Hertz.
2. Diseñar un módulo basado en una herramienta computacional, que amplíe la visualización del experimento de Franck-Hertz con átomos de mercurio y así ayudar a la construcción de los conceptos preliminares en la mecánica cuántica.
3. Implementar y analizar el modulo diseñado previamente para lograr identificar como favoreció a la comprensión de los conceptos preliminares en la mecánica cuántica.

## 1.3 Antecedentes

Al realizar la investigación bibliográfica se encontraron algunos artículos a nivel internacional de gran relevancia para el trabajo de grado; además se encontraron dos monografías locales que atienden a la problemática en la enseñanza de la mecánica cuántica y a su vez proponen el uso de herramientas computacionales como una posible solución.

Estas investigaciones se convierten en antecedentes de la presente investigación ya que aportan elementos que permiten aclarar, explicar y conceptualizar sobre el objetivo principal del trabajo de grado. Entre los artículos internacionales se encuentra:

Artículo del Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares. La Habana Cuba (1999). *Física Cuántica*. En este se realiza un estudio teórico y matemático sobre el desarrollo de la estructura de la materia y la mecánica cuántica.

Artículo de la Universidad de Oklahoma (1988) *What really happens in the Franck-Hertz experiment with mercury*. Hanne, G. F. Este artículo se enfoca en el estudio matemático del experimento de colisiones con átomos de mercurio, desde una estructura atómica.

En cuanto a la búsqueda nacional se encontraron dos trabajos de grado que atienden a la problemática de la enseñanza de la mecánica cuántica y el uso de herramientas computacionales:

*Una propuesta para enseñanza de la interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica versus la realista, considerando estados enredados de espines de*

*dos partículas por medio de un algoritmo de Monte Carlo*; Santiago moreno (2008), el cual presenta una propuesta alternativa para la enseñanza de la mecánica cuántica desde el uso de herramientas computacionales.

*Diseño de una herramienta computacional basada en el experimento de Stern-Gerlach para la enseñanza de preparación de estados y naturaleza probabilística de la mecánica cuántica*, Oscar Ruiz (2012), el cual presenta un software educativo para la enseñanza de los experimentos de Stern-Gerlach en la mecánica cuántica.

# Capitulo 2

## Marco Teórico

### 2.1 Modelo Atómico de Bohr

En 1913, Niels Bohr desarrolló un modelo atómico, el cuál incorporaba nuevos conceptos de cuantización, para el análisis experimental de los espectros de hidrógeno. Esto con el fin, de explicar por qué el modelo atómico de Rutherford, falla al relacionarlo con la teoría electromagnética, la cuál dice, que, toda carga en movimiento acelerado emite energía en forma de radiación, este proceso ocasionara la pérdida de energía por parte del electrón, por lo cuál su radio sería cada vez más pequeño, produciéndose una caída de este, hacia el núcleo, con una emisión continua de radiación. [20]

A partir de esto, Bohr, en la construcción de un nuevo modelo atómico, propone que los electrones giran a grandes velocidades alrededor del núcleo atómico, estos son colocados en diversas órbitas circulares, las cuales determinarían los diferentes niveles de energía, lo que ayudaría a explicar la estabilidad del átomo.

Para realizar la construcción del modelo atómico, se opta por el escoger al átomo de hidrógeno, debido a que esta formado por un protón en el núcleo, y un electrón a su alrededor, por lo tanto, este, solo se puede encontrar en una de las órbitas del átomo [21]. Cada órbita corresponde a un nivel de energía, el nivel de energía mas bajo  $n=1$ , es el nivel más cercano al núcleo, a medida que se aleja del núcleo, mas grande sera su energía. (Ver figura 2.1)

Según este modelo, cuando un electrón quiera saltar de un nivel de energía ( $n=1$ ), a un nivel ( $n=2$ ), el electrón tiene que ganar energía, la cuál puede ganar absorbiendo fotones, estos deben poseer exactamente la energía necesaria, es decir la diferencia de energía entre el nivel final e inicial. Si el

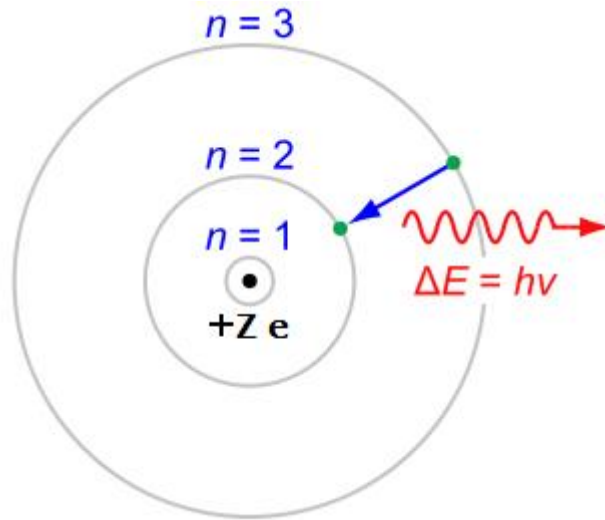


Figura 2.1: diagrama modelo atómico de Borh

electrón cae de un nivel superior ( $n=2$ ), a un nivel de menor energía ( $n=1$ ), este debe deshacerse de parte de su energía emitiendo fotones. Mientras el electrón este en una órbita, este no emitirá ni absorberá luz. Por lo cuál podemos decir que el electrón se encuentra en un estado estacionario.

Cuando el electrón pasa de un estado estacionario a otro emite o absorbe luz con una frecuencia de:

$$v = \frac{\Delta E}{h} \quad (2.1)$$

Donde  $\Delta E$  es la diferencia de energía entre los dos estados. Cuando el electrón hace una transición del estado inicial al final. La frecuencia correspondiente a una transición sera:

$$v = \frac{\Delta E}{h} \quad (2.2)$$

Si  $\Delta E$  es negativo, se trata de un fotón emitido. Si  $\Delta E$  es positivo, se trata de un fotón absorbido.

La diferencia de energía entre los niveles ( $n = 2$ ) y ( $n = 1$ ), se puede obtener, a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta E = E_{n_2} - E_{n_1} = E_0 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (2.3)$$

Donde  $E_0$  es la energía del nivel base. Reemplazando  $E_0$  en la ecuación

(1.2) obtenemos:

$$v = \frac{E_0}{h} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (2.4)$$

Por tanto, podemos ver que la frecuencia depende de las energías de las capas iniciales y finales de un electrón. La relación entre la longitud de onda y los niveles de energía, iniciales y finales, se puede reescribir usando la constante de Rydberg:

$$R_H = \frac{E_0}{hc} \quad (2.5)$$

Obtenemos la ecuación para la longitud de onda escrita con la constante de Rydberg:

$$\frac{1}{\lambda_{m,n}} = R_H = \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (2.6)$$

El modelo de Bohr, predijo con éxito las energías para el átomo de hidrógeno, pero tuvo fallas significativas en átomos mucho más complejos.

### 2.1.1 Postulados de Borh

En el año 1913 Niels Bohr, propuso una serie de postulados de naturaleza cuántica, para explicar el comportamiento de los electrones, en diferentes niveles de energía, para esto fue necesario basarse en la teoría cuántica de Planck, el efecto fotoeléctrico y los espectros atómicos.

El primer postulado propone que el electrón solo, se puede mover en ciertas órbitas permitidas alrededor del núcleo, la energía que posee un electrón en uno de estos niveles energéticos, se debe a su energía cinética y su energía potencial eléctrica. Con este postulado, Bohr, explica cómo los electrones pueden tener órbitas estables alrededor del núcleo, solucionando el principal problema del modelo atómico de Rutherford con la electrodinámica clásica.

Para explicar el fenómeno de emisión o absorción de la radiación de un átomo, Bohr introdujo otro postulado, en el cuál, establece que el electrón para desplazarse de un nivel a otro debe absorber o liberar fotones cuyo valor está relacionado con la frecuencia ( $\nu$ ), de las ondas estacionarias  $\Delta E = h\nu$ ; Este postulado hace referencia a la conservación de la energía, si los electrones emiten fotones de energía, la pérdida o ganancia de fotones debe ser proporcional a la energía irradiada o absorbida. [13]

Por ultimo, Borh expone que los electrones describen orbitas circulares

donde el momento angular ( $L$ ) es :  $L = n\hbar$  pudiendo este asumir solamente valores múltiplos enteros de  $\frac{\hbar}{2\pi}$ , donde  $\hbar$  es la constante de Planck y  $n$  es un numero cuántico principal. Así, Este postulado Bohr propone que las orbitas circulares de un átomo solo son posibles, si el momento angular de un electrón es un múltiplo de  $\hbar$ .

## 2.2 Espectros Atómicos

El espectro electromagnético, es la radiación electromagnética que produce una sustancia, al ser estimulados mediante calentamiento o radiación, respectivamente [16]. Este consta de una serie de líneas, que indican las frecuencias a las que el átomo, emite o absorbe la luz.

Cuando un gas atómico es sometido a una excitación muy potente, ya sea por una diferencia de potencial eléctrico, o por diferencias de temperatura, este, emitirá luz a frecuencias determinadas, las cuales son distintas en cada elemento. Estas frecuencias de emisión o absorción determinan una serie de líneas que recogidas en un diagrama reciben el nombre de espectro de emisión o de absorción del átomo correspondiente. La intensidad de las radiaciones emitidas depende del numero de átomos excitados, cada elemento tiene su propia línea espectral. [6]

Según el modelo atómico de Borh un átomo se puede excitar, mediante la absorción de un fotón, cuya energía debe ser exactamente, la diferencia entre las energías de los estados inicial y final. Como la mayoría de los átomos estan, a temperatura ambiente, en su estado fundamental, el espectro de absorcion presenta solamente las lineas correspondientes a transiciones desde el estado fundamental a estados excitados. Sin embargo, cuando un electrón salta desde su estado fundamental a niveles de mayor energía (estado excitado) y cae de nuevo a niveles de menor energía se produce la emisión de un fotón de una longitud de onda definida que aparece como una raya o línea concreta en el espectro de emisión. [18]

Para calcular la longitud de onda, de cualquiera, de las líneas que forman el espectro y otras radiaciones electromagnéticas, emitidas por cambios de energía, de un electrón en un átomo, en 1888 Rydberg(1854-1919) Rydberg encontró una fórmula equivalente a la fórmula de Balmer. en la cual se podian estudiar las diferentes lineas espectrales [17],

Usando la serie de Balmer la ecuación queda expresada de la siguiente manera:

### 2.3. EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ CON ÁTOMOS DE MERCURIO 13

$$\frac{1}{\gamma} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (2.7)$$

- $\gamma$ : longitud de onda de cada línea del espectro.
- $\frac{1}{\gamma}$  = Número de ondas
- $n_1, n_2$ , niveles de energía.
- R: constante de Rydberg =  $109677, 7 \text{ cm}^{-1}$

## 2.3 Experimento de Franck-Hertz con átomos de mercurio

El experimento se realizó por primera vez en 1914, por los físicos James Franck y Gustav Hertz, por el cual, ganan el Premio Nobel de física en 1925, y se convierte en uno de los experimentos claves en la comprobación del modelo atómico de Bohr. En este experimento se colisionan electrones con alta energía, sobre átomos de un elemento gaseoso, con el cual demuestran que los átomos pueden absorber energía sólo en porciones cuantizadas, confirmando los postulados de Bohr.[11]

Este experimento, consiste en medir la corriente de electrones, que alcanzan la placa en función del voltaje acelerador. El montaje experimental, consta de un tubo el cual contiene átomos de mercurio en estado gaseoso, en el interior de este, se encuentra un triodo, conformado por, un cátodo, una rejilla de control polarizada y un ánodo. Un diagrama básico del experimento, se muestra en la figura 2.2.

Inicialmente, los electrones son emitidos desde el cátodo, hacia el ánodo, con una modesta cantidad de energía cinética, el cátodo, al ser calentado, actúa como fuente de electrones de baja energía, estos electrones, son acelerados hacia el ánodo, debido a una diferencia de potencial, al atravesar la rejilla polarizada, los electrones comienzan a adquirir mayor energía cinética y en tránsito colisionan con los átomos de mercurio que se encuentran en el tubo.

Cuando la energía cinética de los electrones, sea menor, a la energía requerida para excitar un átomo de mercurio, la colisión no puede producir la excitación del átomo y solo se presentará un intercambio de energía a partir de colisiones elásticas. Si en el sistema, solo se presentan colisiones

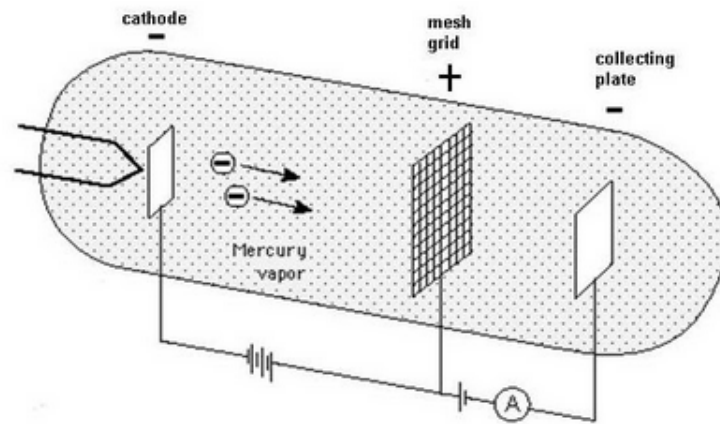


Figura 2.2: Montaje experimental de Franck-Hertz tomada del texto *What really happens in the Franck-Hertz experiment with mercury?*, Hane, 1987]

puramente elásticas, la cantidad total de energía cinética en el sistema, sigue siendo igual y la corriente solo aumentara en pequeñas porciones. [22]

Sin embargo, para los electrones que adquieren una energía cinética mayor a la del átomo, esta producirá un aumento de la energía interna y se presentaran colisiones inelásticas, las cuales registran cambios de energía y caídas en la medición de corriente. Si dentro del tubo, no existieran los átomos de mercurio, la corriente se comportaría según la figura 2.3. [11]

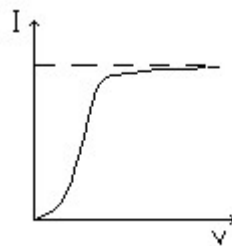


Figura 2.3: Dependencia de la corriente  $I$  en el potencial acelerador  $V$  en el vacío. Tomada del texto [What really happens in the Franck-Hertz experiment with mercury, 1987]

La existencia, de este tipo de colisiones, puede evidenciarse a partir de la gráfica de corriente vs voltaje (Figura 2.4). Según este experimento, el valor de energía, para excitar un átomo de mercurio es de 4,86 eV. Es decir, que

### 2.3. EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ CON ÁTOMOS DE MERCURIO 15

los electrones que llegan a la placa de medida con energía cinética de 4,86 V o más, serán capaces de alcanzar el ánodo y ser incluidos en la corriente medida (I). Los electrones con una energía de menos de 4,86 V no alcanzaran a llegar al ánodo y caerán de nuevo a la rejilla de control, estos, no serán incluidos en la corriente medida (I). La primera caída en la medición de la corriente, corresponde a los electrones que perdieron toda su energía cinética después de una colisión inelástica con un átomo de mercurio, quedando este en un estado excitado. La segunda caída corresponde a los electrones que sufrieron dos colisiones inelásticas con dos átomos de mercurio, perdiendo toda su energía cinética y así sucesivamente. Cuando continua aumentando el voltaje; un mismo electrón puede adquirir energía suficiente para provocar dos excitaciones o más. [23] Esto explica la aparición de los máximos en las energías que duplican el valor de 4,86 eV, lo que indica que los electrones pierden energía en múltiplos enteros de 4,86 eV. [19]

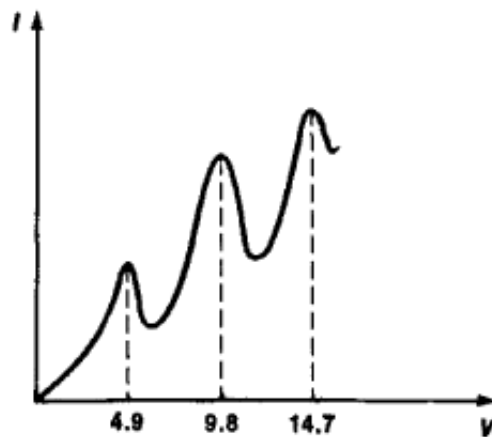


Figura 2.4: Curva típica registrada en el experimento de Franck- Hertz con mercurio

Aparentemente había dos tipos de colisiones elásticas e inelásticas en las que se intercambiaba una energía bien definida. Esto contrastaba con la estructura atómica aparentemente compleja que mostraban los espectros atómicos.[19]. Según la electrodinámica clásica esto solo podía deberse a movimientos complejos de cargas eléctricas dentro del átomo. [10]

Los átomos excitados de mercurio vuelven a su estado fundamental por emisión de un fotón, conforme a  $Hg^* \rightarrow Hg + h\nu$  donde  $h\nu = E_2 - E_1$ . El vapor de mercurio excitado emite radiación de longitud de onda 2,536 Å, el cual correspondería a un fotón de energía  $h\nu$  igual a 4,86 eV.[11].

A la luz de la teoría de Bohr, los resultados de Frank-Hertz tienen una

nueva y precisa interpretación. Un átomo solo puede absorber la energía precisa que le permita pasar de un nivel de energía a otro. Así pues, en el átomo de mercurio debe haber un nivel excitado de 4,86 eV por encima de la energía del nivel fundamental. Cuando un electrón colisiona con un átomo de mercurio en el estado fundamental, cede 4,86 eV al átomo y éste pasa al estado excitado. El estado excitado es inestable y el átomo cae de nuevo al estado fundamental, devolviendo los 4,86 eV en forma de radiación de frecuencia

$$n = \frac{\Delta E}{h} \quad (2.8)$$

que traducido en longitudes de onda da

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 253,7nm. \quad (2.9)$$

En el siguiente capítulo, estudiaremos los conceptos cuánticos del experimento de franck-hertz, desde una teoría atómica. Esto, con el fin de comprender el comportamiento de los electrones, en medio de las transiciones, de un estado fundamental a un estado excitado.

# Capitulo 3

## Mecánica Cuántica

Como se pudo evidenciar en el experimento del Franck-Hertz con los átomos de mercurio, el comportamiento de los electrones en medio colisiones inelásticas, se debe a la estructura interna del átomo. Para esto es necesario empezar a estudiar las características principales del átomo de mercurio, desde un modelo cuántico.

Como hemos visto en la descripción del modelo atómico de Borh, este modelo es únicamente aplicable al átomo de hidrógeno. Es por esto que se hace necesario profundizar mas en el conocimiento de la estructura atómica y establecer un nuevo modelo que permitiese describir, no solo el átomo de hidrógeno, si no, átomos mas complejos. De esta forma en 1926 Schrödinger, planteo una ecuación considerando la hipótesis de Broglie, la cual establece que la materia presenta características tanto ondulatorias como corpusculares comportándose de uno u otro modo dependiendo del experimento específico [20]. Si el electrón tiene un comportamiento ondulatorio, puede ser posible describirlo a partir de las ecuaciones de ondas estacionarias, así, se establece la función de onda  $\Psi$  la cual nos describe la probabilidad de encontrar el electrón alrededor del núcleo. La ecuación de Schrödinger aplica sobre la función de onda  $\Psi$ , el operador hamiltoniano ( $H$ );

$$H\Psi = E\Psi \quad (3.1)$$

$$H = \frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \quad (3.2)$$

Desarrollando la ecuación de Schrödinger (3.2) obtenemos:

$$\frac{-\hbar^2}{2m_e} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V\psi = E\psi \quad (3.3)$$

Ecuacion de Schrödinger para un espacio dimensional Ecuacion de Schrödinger para un espacio tridimensional.

$$\frac{-\hbar^2}{8\pi^2m_e} \left( \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} \right) + V\psi = E\psi \quad (3.4)$$

A diferencia del modelo de Borh, en el modelo cuántico, el electrón debido a su carácter ondulatorio, no se puede desplazar en órbitas definidas alrededor del núcleo, lo que hace imposible determinar su posición exacta. En el modelo cuántico, los electrones no se desplazan en trayectorias definidas alrededor del núcleo, si no, en orbitales.

Mientras que el modelo de Bohr utilizaba un número cuántico ( $n$ ) para definir una órbita, el modelo de Schrödinger utiliza tres números cuánticos para describir un orbital:  $n$ ,  $l$  y  $m_l$

### 3.1 Números cuánticos

El estado energético de cada orbital viene definido por tres números cuánticos  $n$ ,  $l$  y  $m$ . Existe un cuarto numero cuántico  $s$ , el cual, caracteriza al electrón.

**Número Cuántico Principal ( $n$ ):** Este número cuántico nos indica el nivel de energía, ( $n= 1, 2, 3, \dots$ ), en el que se encuentra el electrón.

Cada nivel del átomo en el que se encuentre el electrón posee una energía distinta. En las capas muy próximas al núcleo, la fuerza de atracción es mas fuerte, por lo cual estarán fuertemente ligados al núcleo. En los niveles alejados, la fuerza de atracción sera menor y por lo tanto resultará más fácil realizar intercambios de electrones. El hecho de que los electrones de un átomo tengan diferentes niveles de energía, nos lleva a clasificar los por el nivel energético en el que se encuentre cada uno de ellos ( $n= 1, 2, 3, \dots$ ). [16]

**Número Cuántico Secundario ó azimutal ( $l$ ):** Este número cuántico indica el tipo de orbital donde de posiblemente se encuentra el electrón. De acuerdo con esto, ( $l$ ) toma valores enteros entre 0 y  $(n - 1)$ , cada valor designa un subnivel al cual se le asigna una letra: (s,p,d,f).

Si  $n = 1; l = 0 = s$

Si  $n = 2; l = 1 = p$

Si  $n = 3; l = 2 = d$

Si  $n = 4; l = 3 = f$

Cada subnivel ó orbital, tiene su propia capacidad para almacenar electrones ( $s = 2, p = 6, d = 10, f = 14$ ).

**Número Cuántico Magnético ( $m$ ):** Este número cuántico nos indica las orientaciones del orbital. Los valores que puede tomar depende del valor del número cuántico azimutal, ( $l$ ), variando desde  $-l$  hasta  $+l$ .

Si el número cuántico azimutal vale 0,  $l = 0$ , el número cuántico magnético sólo puede tomar el valor 0. Así, sólo hay un orbital s.

Si el número cuántico azimutal vale 1,  $l = 1$ , el número cuántico magnético puede tomar los valores  $-1, 0$  y  $1$ . Por lo tanto, hay tres orbitales p.

Si el número cuántico azimutal vale 2,  $l = 2$ , el número cuántico magnético puede tomar los valores  $-2, -1, 0, 1, 2$ . Por lo tanto, hay cinco orbitales d.

Si el número cuántico azimutal vale 3,  $l = 3$ , el número cuántico magnético puede tomar los valores  $-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ . Por lo tanto, hay siete orbitales f.

tipo de orbital ( $l$ )	orientaciones ( $m$ )	número de orbitales
<b>0 (s)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>1 (p)</b>	<b>-1, 0, 1</b>	<b>3</b>
<b>2 (d)</b>	<b>-2, -1, 0, 1, 2</b>	<b>5</b>
<b>3 (f)</b>	<b>-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3</b>	<b>7</b>

Figura 3.1: Diagrama número cuántico magnético

**Número Cuántico de Spin ( $s$ ):** Este número cuántico nos indica el sentido de rotación en el propio eje de los electrones en un orbital. Define los dos estados posibles del electrón sobre si mismo toma valores de  $+\frac{1}{2}$  hasta  $-\frac{1}{2}$ .

La combinación de todos los números cuánticos, define el tipo de orbital en el que se encuentra el electrón, y los niveles de energía del mismo.

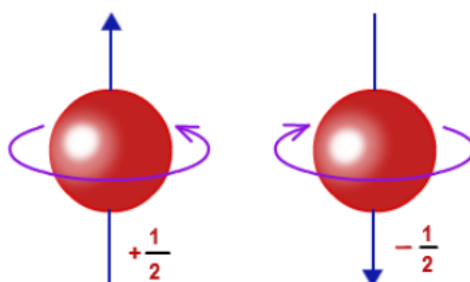


Figura 3.2: Diagrama número cuántico spin

### 3.2 Configuración electrónica de los átomos

Si excitamos un electrón irradiando al átomo una cantidad de energía suficiente, se logra que el electrón suba de un nivel a otro de mayor energía. Para comprender los niveles de energía  $n = (0, 1, 2, 3\dots)$  y los subniveles ( $s, p, d, f$ ) en los que se puede encontrar un electrón es necesario estudiar cómo se colocan estos electrones en los distintos orbitales, es decir, conocer su configuración electrónica.

Para establecer una configuración electrónica procedemos a realizar el siguiente diagrama:

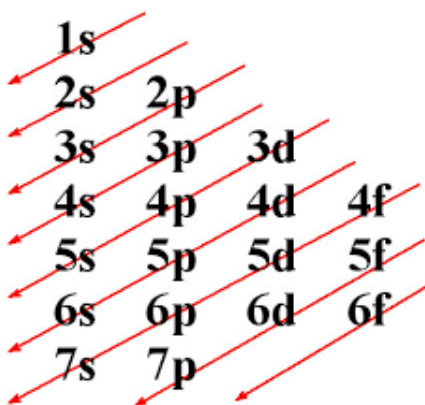


Figura 3.3: Diagrama configuración electrónica de los átomos

Este indica la manera que los electrones se estructuran, comunican u organizan en un átomo, los niveles de energía ( $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ) y tipo de orbitales ( $l = s, p, d, f$ ), se ubican de acuerdo al diagrama. Para entender el concepto de configuración electrónica es necesario analizar los siguientes principios:

**Principio de construcción:** Todos los electrones, que forman parte de un átomo, adoptan los 4 números cuánticos con el fin de obtener la menor energía posible. En este principio se establece que los electrones comienzan a ubicarse en orbitales de menor a mayor energía.

**Principio de exclusión de Pauli:** Establece, que en un átomo, no pueden existir dos electrones, cuyos cuatro números cuánticos sean iguales. Esto significa que en un orbital solo puede haber un máximo de dos electrones, cuyos spin respectivos serán:  $+1/2$  y  $-1/2$ . Cada electrón con diferente spin se representa con flechas  $\uparrow\downarrow$  respectivamente.

**Regla de multiplicidad de Hund:** Cuando hay orbitales de igual energía, la distribución más estable de los electrones, es aquella que tenga mayor número de espines paralelos ( $\uparrow$ )( $\uparrow$ ), es decir, electrones desapareados.

El orden energético sigue un orden específico que se resume en el diagrama de la Figura 3.3.

En una configuración electrónica, un electrón puede ser representado simbólicamente por de la siguiente manera:

$$nl^x \quad (3.5)$$

Donde (n) es el número cuántico principal, (l) es el número cuántico secundario y (x) indica la cantidad de electrones existente en un orbital, recordemos que cada orbital y/o subnivel tiene una capacidad máxima de albergar electrones.

### Configuración electrónica del mercurio

De acuerdo al diagrama de configuración electrónica (Figura 3.3). Si el mercurio tiene un número de 80 electrones. su configuración electrónica quedaría establecida de la siguiente manera:  $Z = 80$

$$1s^2, 2s^2 2p^6, 3s^2 3p^6 3d^{10}, 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14}, 5s^2 5p^6 5d^{10}, 6s^2$$

La suma total, de todos los electrones existentes, en los diferentes orbitales, dan como suma el total del número electrónico. los números cuánticos, correspondientes se obtienen, al analizar al último electrón de la configuración.

El último electrón del mercurio se encuentra en un estado  $6s^2$ , sus respectivos números cuánticos son  $n = 6$ ,  $l = 0$  y  $x = 2$ .

En los átomos con más de dos electrones, como el átomo de mercurio, la interacción entre los electrones no están simplemente relacionadas con las

diferencias de energías entre los orbitales si no también de las orientaciones relativas del espín de los electrones.

### 3.3 Estados del espín

Una descripción completa, del estado del átomo, requiere que tomemos en cuenta el espín de los electrones. Según el número cuántico ( $s$ ). Cada electrón tiene un espín de  $+\frac{1}{2} - \frac{1}{2}$  respectivamente.

La regla de Hund establece que la configuración del electrón con un espín paralelo ( $\uparrow\uparrow$ ), es una energía más baja que la configuración con espines ( $\uparrow\downarrow$ ), ya que sus espines individuales se cancelan unos a otros. [5]

Si el espín es igual a cero ( $\uparrow\downarrow$ ). Solo hay una orientación que el vector espín puede tomar y, por lo tanto, esta configuración se conoce como estado singlete. Cuando el espín de los electrones son paralelos ( $\uparrow\uparrow$ ), sus momentos de espín individuales se suman para dar  $S = 1$ , y su vector espín resultante puede tomar tres orientaciones  $(-1, 0, 1)$ . Por lo tanto, el estado se conoce como un estado triplete.

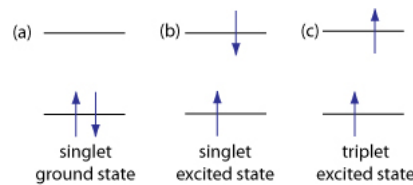


Figura 3.4: Representación gráfica de los estados singlete y triplete de un átomo.

Los primeros estados excitados en mercurio se sabe que tienen carácter principalmente triplete, es decir, que da un estado total en el que los espines están acoplados ( $\uparrow\uparrow$ ). [11]

### 3.4 Momentum Angular

El momentum angular total de un átomo es una propiedad muy importante porque determina las propiedades magnéticas del átomo y las probabilidades de transición en los procesos radiativos [2].

En los átomos con mas de dos electrones, los momentos angulares orbitales de los electrones individuales, se suman para formar un momentum angular orbital resultante  $L$ . Del mismo modo, los momentos angulares de

### 3.5. TRANSICIÓN DE LOS ÁTOMOS EN EL EXPERIMENTO FRANCK-HERTZ<sup>23</sup>

espín individuales, se acoplan para producir un momentum angular de espín resultante  $S$ . Posteriormente  $L+S$  formaran el momentum angular total  $J$ .

Si ( $S$ ) es el momentum angular total de espín de la partícula y ( $L$ ) es el momentum angular total orbital, el momentum angular total  $J$  es:

$$J = S + L \quad (3.6)$$

Cuando deseemos describir un estado de energía, tenemos que tomar en cuenta las posibles orientaciones del spin, es decir su multiplicidad  $2s+1$ , este termino se designa a partir de el momentum orbital ( $L$ ), con un superíndice a la izquierda. Algunas veces se añade un subíndice a la derecha para indicar el valor de  $J$ . [2]

$${}^{2s+1}L_J \quad (3.7)$$

Cuando se acoplan dos electrones con espines paralelos ( $\uparrow$ )( $\uparrow$ ), el espín tendrá un valor de  $S = 1$ , y su multiplicidad tendrá un valor de  $2s+1 = 3$ . Por lo cual el estado de energía es un estado triplete  ${}^3L_J$ . Si los electrones tienen los espines apareados ( $\uparrow\downarrow$ ), el espín tendrá un valor de  $S = 0$ , su multiplicidad será  $2s + 1 = 1$  y será un estado singlete  ${}^1L_J$ . Para conocer el estado fundamental, es necesario además de esto, conocer su nivel de energía.

## 3.5 Transición de los átomos en el experimento Franck-Hertz

Según la configuración electrónica del átomo de mercurio, este contiene un total de 80 electrones, de los cuales 78 ocupan completamente los estados iniciales, los dos electrones restantes ocupan el estado  $6s^2$ . Si sus electrones restantes tienen un espín de  $S = 0$ , y un momentum orbital de  $L = 0$ , su momentum angular total será  $J = S+L = 0$ . A partir de esto podemos describir el estado fundamental del átomo de mercurio como  $n^{2s+1}L_J$  obteniendo:

$$6^1S_0 \quad (3.8)$$

Como se muestra en la gráfica de la Figura 3.5, los niveles por encima del estado fundamental  $6^1S_0$  son estados tripletes,  $6^3P_0$ ,  $6^3P_1$  y  $6^3P_2$ , correspondientes a estados de electrones individuales donde su espín es  $S = 1$ . El estado siguiente  $6^1P_1$  es un estado singlete, con una energía más alta debido a que su espín es de  $S = 0$ .

En este experimento, los electrones son emitidos por un cátodo caliente y se aceleran hasta llegar a la placa colectora. Cuando la tensión de acel-

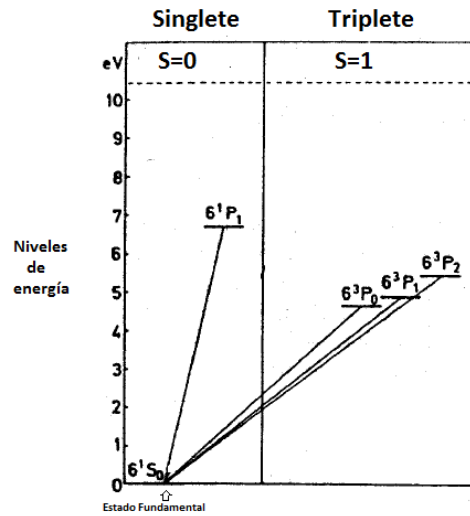


Figura 3.5: Representación gráfica de los estados singlete y triplete del átomo de mercurio.

eración se incrementa a 4.86 V, la medición de la corriente disminuirá, debido al inicio de la pérdida de energía de los electrones, a partir, de las colisiones inelásticas, con los átomos de mercurio. Estas producirán transiciones del estado fundamental  $6^1S_0$  a un estado excitado  $6^3P_0$ . En este estado excitado, sólo unos pocos electrones adquirieron la energía cinética suficiente, para generar colisiones inelásticas y generar una caída en la medición de la corriente, los electrones que superan su medición de 4,86 eV, logran excitar completamente el estado  $6^3P_0$ . Los electrones restantes siguen ganando energía cinética y al llegar a 4,86 eV o más, muchos de estos electrones excitan al estado  $6^3P_1$ , evidenciándose la cantidad de energía cinética que recibe en esta excitación. Algunos electrones que perdieron su energía cinética, continuaron viajando hacia la rejilla de control y al ganar 5,5 eV o más, lograron excitar el estado  $6^3P_2$ . Los estados más bajos del mercurio a los que puede hacer una transición el estado fundamental  $6^1S_0$ , son los estados  $6^3P_0$ ,  $6^3P_1$ ,  $6^3P_2$  y  $6^1P_1$  [12].

Si la tensión aumenta más, la corriente aumentará nuevamente hasta 9.7 V, donde la corriente caerá de nuevo. Esto es debido a los electrones, que han perdido la mayor parte de su energía cinética, en la primera colisión son nuevamente acelerados a 4.86 eV, para que en una segunda colisión puedan volver a excitar el estado  $6^3P_1$ . Este proceso se repetirá cada vez que la energía de los electrones aumente, sin embargo, el espacio entre los máximos seguirá siendo igual a 4.86 eV (Ver figura 3.6). La cantidad de energía cinética

suficiente para excitar los estados  $6^3p_1$  y  $6^3p_2$ , aumenta al disminuir la presión de vapor de mercurio y depende del diseño de tubo [11].

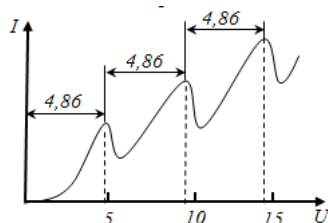


Figura 3.6: Representación de los máximos y mínimos en la curva característica del experimento de Franck-Hertz

El potencial de excitación en el experimento de Franck-Hertz es de 0.05 eV. Este valor está de acuerdo con el valor esperado de 4.86 eV correspondiente a la transición  $6^1S_0 \rightarrow 6^1P_1$  [11]. Esta determinación del potencial de excitación del mercurio también nos da una estimación de la constante de Planck,  $h$ .

$$\frac{hc}{\lambda} = eV_0 \quad (3.9)$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz emitida,  $c$  es el velocidad de la luz,  $e$  es la carga de un electrón y  $V_0$  es la potencial de excitación para la transición del estado fundamental  $6^1S_0 \rightarrow 6^3P_1$ . Resolviendo la ecuación 2.5 para  $h$  y usando el espectro conocido valor de para la longitud de onda del primer estado excitado de mercurio, 253.7 nm, concordando con lo descrito en la ecuación 1.9 de la sección anterior.

## 3.6 Marco Pedagógico

### 3.6.1 Metodología

El trabajo de grado se enmarca en la investigación cualitativa, en la cuál se "utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación para un proceso de interpretación" [3].

En relación con lo expresado anteriormente el trabajo de grado se relaciona con la creación de un modulo para a la enseñanza de conceptos preliminares de la mecánica cuántica a partir del experimento de Franck-Hertz para la población de educación media.

El tipo de investigación sugiere unas fases en el proceso metodológico:

**FASE I:** Planteamiento del problema.

**FASE II:** Desarrollo marco teórico.

**FASE III** Programación de la simulación en el lenguaje C++.

**FASE IV** Diseño e implementación del modulo.

**FASE V:** Conclusiones.

### **3.6.2 El uso de herramientas computacionales para la enseñanza de la mecánica cuantica**

Una de las propuestas usadas para subsanar las dificultades en la enseñanza de la mecánica cuántica, es el uso de herramientas computacionales, pues estas, permiten brindarle al estudiante experiencias mas didácticas, y ayuda a la construcción de imágenes mentales, las cuales son necesarias para entender los fenómenos a escala microscópica. El reconocer su importancia y su aval en los procesos de enseñanza, abren las puertas, para explorar nuevas alternativas, la cuáles, permitan apropiarse de conceptos, y construir, alrededor de ellos, una propuesta de trabajo, en pro de la educación. [1]

El uso de herramientas computacionales en la enseñanza y en el aprendizaje puede proporcionar ventajas tanto al docente como al estudiante, ya que, promueve la participación e interacción directamente con el fenómeno físico, enriqueciendo el campo de la pedagogía, al incorporar la tecnología como herramienta didáctica para la formación del estudiante.[7]

En la actualidad, cada vez, tiene más acogida aquellas teorías, que proponen la enseñanza y el aprendizaje, con una computadora o nuevas tecnologías, se ve como una herramienta intelectual; en la que básicamente se pone en práctica la propuesta del aprendizaje por descubrimiento, la computadora actúa como medio facilitador del desarrollo de los procesos cognitivos. [8]

### **3.6.3 Diseño de la simulación**

En este trabajo de grado, se desarrollo un modulo, el cual, tiene como objetivo principal, estudiar los conceptos preliminares de la mecánica cuántica, a partir del experimento de Franck-Hertz. Para esto fue necesario la construcción de una simulación la cuál nos permitió hacer la representación gráfica de la curva característica del experimento, esto con el fin de explicar la existencia de niveles discretos de energía y la presencia de colisiones inelásticas en los

átomos de mercurio, una de las demostraciones clave del comportamiento cuántico.

Para esto hacemos uso del programa ROOT a Data analysis Framework, el cuál, es un lenguaje de programación para el desarrollo de aplicaciones de análisis de datos científicos a gran escala desarrollado por el CERN <sup>1</sup>. Este programa fue dirigido originalmente al análisis de datos en la física de partículas, utilizando el lenguaje de programación C++, Cuenta con herramientas avanzadas de análisis estadístico, clases para histogramas y herramientas de visualización [4].

### Construcción de la gráfica

La construcción de la simulación, se basa en estudiar la curva característica del experimento de Franck-Hertz, la cual nos evidencia a partir del registro de corriente y voltaje, La naturaleza de máximos y mínimos, estos aparecen cuando los electrones colisionan con los átomos de mercurio en medio de un campo eléctrico.

En este experimento, pueden ocurrir dos tipos de colisiones, cuando la energía cinética de los electrones es menor, a la energía requerida para excitar un átomo de mercurio, estos se encuentran inmersos en colisiones puramente elásticas, las colisiones elásticas no cambian la energía de los electrones acelerados porque el momentum debe ser conservado durante la breve colisión[12]. Sin embargo, para los electrones que adquieren una energía cinética mayor a la del átomo, esta producirá un aumento de la energía interna y se presentaran colisiones inelásticas, registrando cambios en la medición de la corriente y por lo tanto en la gráfica.

Los electrones son acelerados desde el catodo, hacia la placa colectora con una velocidad final de

$$V_f^2 = V_0^2 + 2ad \quad (3.10)$$

hacia la placa colectora.

En mecánica clásica la fuerza esta descrita por la ecuación:

$$F = ma \quad (3.11)$$

Despejando la aceleración con la que se desplazan los electrones de la ecuación (3.5) y describiéndola en términos del campo eléctrico obtenemos que:

$$a = \frac{f}{m} = \frac{q}{m}E \quad (3.12)$$

---

<sup>1</sup>Organización Europea para la Investigación Nuclear, 1995

Remplazando en la aceleración en la ecuación (3.4) obtenemos:

$$V_f^2 = V_0^2 + 2\frac{q}{m}Ed \quad (3.13)$$

La curva característica del experimento esta en termino de voltios es por esto que la velocidad final queda representada por la siguiente ecuación:

$$V_f^2 = V_0^2 + 2\frac{q}{m}\Delta V \quad (3.14)$$

Cuando los electrones son acelerados en medio del experimento de Franck-Hertz, los electrones emitidos ganan energía debido al voltaje de aceleración  $V_0$  aplicado entre el cátodo y ánodo. Los electrones que tienen una energía menor a la requerida para excitar a los átomos de mercurio son repelidos y no son registrados en la corriente. La corriente, medida en la gráfica, indica cuántos electrones pasaron el ánodo y alcanzaron la placa colectora.

Si  $V_0$  es más pequeño que la diferencia de energía entre el estado fundamental y el primer estado de excitación de los átomos en el tubo, las colisiones entre los electrones y los átomos permanecen elásticos, por lo que los electrones cambian su dirección y pierden muy poca energía cinética.

La energía de los electrones puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$K_e = \frac{1}{2}mv^2 + q\Delta V \quad (3.15)$$

donde:

$$\frac{1}{2}mv^2 = K_0 \quad (3.16)$$

Remplazando y dividiendo por la carga para que las unidades queden el voltios con el fin de obtener la gráfica de corriente vs voltaje:

$$\frac{K_e}{q} = \frac{K_0}{q} + \Delta V \quad (3.17)$$

obtenemos:

$$V_f = V_0 + \Delta V \quad (3.18)$$

En esta simulación  $V^0$ , es un número aleatorio que nos da como resultado de una variable al azar, en este caso, es el número de partículas que se desplazan dentro del experimento, este tiene un valor máximo de 200 partículas,  $\Delta V$ , son los voltajes correspondientes a cada una de las diferentes distancias, estos valores ya vienen establecidos. A partir de esto, y de los parámetros necesarios en el lenguaje de programación C++, se logra graficar, la curva característica del experimento de Franck-Hertz Figura 3.7. Con esta gráfica

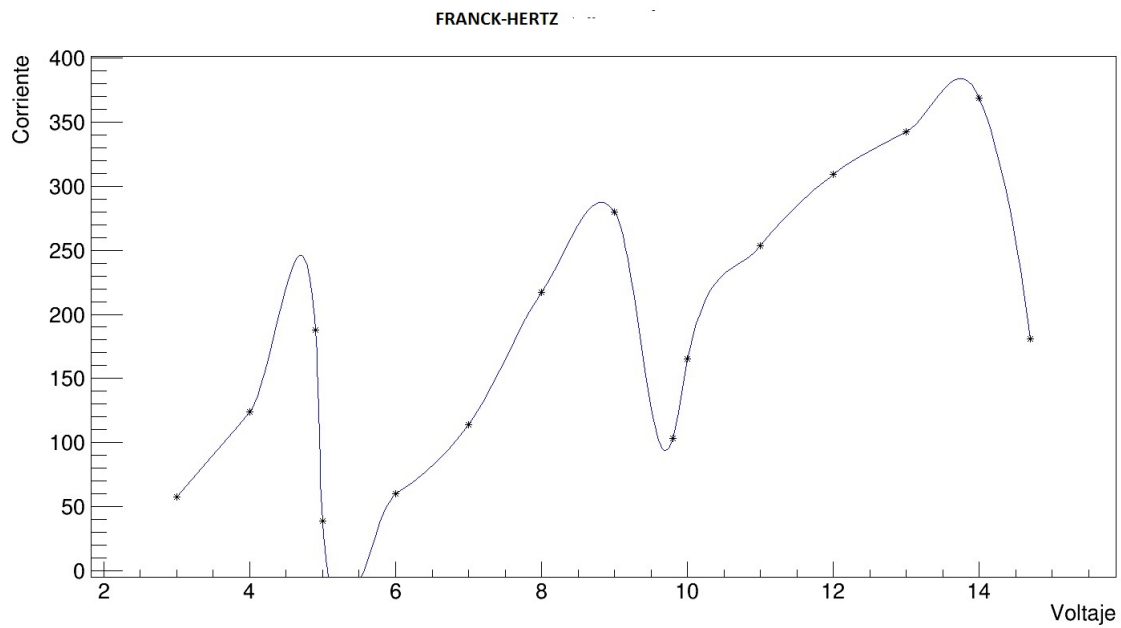


Figura 3.7: Curva generada en el programa de simulación ROOT

se pretender estudiar el comportamiento de los electrones en medio de colisiones inelásticas con átomos de mercurio desde una mirada cuántica.

En el siguiente capítulo se presentara la descripción de las actividades del modulo, creadas a partir de la simulación en el programa ROOT. Los códigos de la simulación en el lenguaje de programación *C++*, se encuentran en Anexos.

# Capítulo 4

## Diseño del Módulo

A continuación, se presenta la estructura planteada para cada una de las sesiones, en las que se llevo a cabo el módulo, orientadas con los objetivos del trabajo de grado. Ver el modulo en Anexos.

### 4.1 Sesión I: Ideas Previas

**Temática:**

1. Los átomos y la estructura de la materia
2. Modelo atómico de Bohr
3. Espectros Atómicos

**Objetivos:**

1. Analizar las teorías que rodean el modelo atómico de Niels Borh.
2. Comprender la estructura del modelo atómico de Bohr.
3. Analizar la teoría de espectros atómicos.

**Duración:** 3 horas

**Desarrollo:**

En un primer momento, se va a identificar, las ideas principales que tienen los estudiantes frente a la estructura de la materia y la teoría del átomo, (características y componentes), para ello, se les pide desarrollar la actividad 1 (Ver en Anexos). La cuál tiene como objetivo principal conocer las ideas

previas de los estudiante frente a los principales modelos atómicos. La evaluación de esta actividad, se realiza a partir de las respuestas escritas por los estudiantes y los debates, preguntas, dudas e inquietudes sobre la temática a desarrollar.

Posteriormente, el profesor introducirá de manera teórica, la temática sobre la estructura y modelos atómicos de la materia, por medio de una clase magistral, la idea es abordar a grosso modo los conceptos fundamentales sobre las características del átomo enfocándonos principalmente en el desarrollo teórico de modelo atómico de Bohr, Finalmente, se realizara la actividad 2 y 3 (Ver Anexos), las cuáles permitirán profundizar los conceptos básicos de la estructura de la materia desde una mirada clásica.

## SEGUNDA PARTE

Al terminar con el taller, se inicia con la temática de espectros, inicialmente se proyectara el vídeo *Física - La luz y el espectro electromagnético*, el cuál nos permitirá analizar los conceptos característicos, del estudio de la luz y la electroscopía. Finalizado el vídeo, se realizaran alguna preguntas abiertas, esto con el fin de conocer dudas o conceptos que tienen ellos sobre los diferentes espectros atómicos. Terminado el cuestionario, se realizara la explicación a cargo de la docente con el fin de enlazar la teoría vista al estudio microscópico de la materia y así complementar la temática vista. Finalmente se realizara la actividad 4(Ver en Anexos). Con el objetivo de observar los conocimientos adquiridos frente a temática de espectros atómicos.

### Video:

#### 1. *Física - La luz y el espectro electromagnético*

En este vídeo, se hace una pequeña recopilación, de los estudios sobre la luz y los espectros atómicos, a partir del análisis experimental, lo cuál permite que los estudiantes asocien la teoría electromagnética, con el estudio de la estructura atómica de materia. ([www.youtube.com/watch?v=m5encne1tw](http://www.youtube.com/watch?v=m5encne1tw))

Es importante resaltar, que para el buen desarrollo de este modulo, el material que se utilizaría en esta sesión, son dispositivos electrónicos, tales como computador, vídeo beam o televisor.

## 4.2 Sesión II: Experimento de Franck-Hertz

### Temática:

1. Números Aleatorios y Probabilidades
2. Experimento de Franck-Hertz
3. Simulación del Experimento en el lenguaje C++

**Objetivos:**

1. Comprender la distribución de los números aleatorios.
2. Analizar las características del experimento de Franck-Hertz y su importancia en a teoría atómica.
3. Identificar como es el comportamiento de la corriente en función del voltaje acelerador en el experimento de Franck-Hertz.
4. Comprender el comportamiento microscópicamente de los electrones en medio de colisiones inelásticas.

**Duración:**3 horas**Desarrollo:**

Inicialmente, se realizara la actividad 5 (Ver en Anexos), sobre números aleatorios, la cuál tiene como objetivo, complementar la simulación de la gráfica, realizada en el lenguaje de programación C++, esta actividad es necesaria, para el desarrollo favorable de la segunda sesión del modulo. Terminado el taller, se realizara la explicación pertinente, sobre el *Experimento de Franck-Hertz*, la cuál se irá complementado con la simulación, realizada con el lenguaje de programación de C++, finalizado esto, se realizara la actividad 6 (Ver en Anexos). La cuál nos permitirá analizar la configuración electrónica de los átomos. Finalizado esto se realizara la actividad 7 la cual nos permite analizar la curva característica del experimento de Franck-Hertz, a partir del estudio de los niveles discretos de energía, estados excitados del átomo, transición de los electrones, probabilidad, momentum, spin, y demás concepciones cuánticas. A continuación, realizamos un pequeño cuestionario, el cuál tiene como objetivo, profundizar los conceptos adquirido a lo largo de la segunda sesión.

Finalmente, se recolectará la información, que tienen los estudiantes y se realizara, una socialización en mesa redonda, en la que el docente guiará a los estudiantes, en la construcción de los conceptos preliminares de la teoría

cuántica. La actividad número 9, quedara como actividad complementaria al módulo.(Ver en Anexos).

Es importante, resaltar que el material, que se utilizaría en esta sesión, son dispositivos electrónicos, tales como computador, vídeo beam o televisor.

### 4.3 Análisis y resultados de la implementación

El siguiente módulo, ha sido estructurado por medio de una serie de actividades, las cuales desarrollan temáticas importantes en el estudio, del experimento de Franck-Hertz. A partir de esto se pretende adquirir conceptos sobre la estructura y el comportamiento de los electrones, siendo estos fundamentales, en el momento de enseñanza y aprendizaje de la mecánica cuántica. Así mismo, cuenta con herramientas tecnológicas, las cuales son un apoyo para la comprensión de los temas, enriqueciendo el proceso de aprendizaje.

Durante el segundo semestre del 2017 se realizó la implementación del módulo, en el colegio, Liceo Nuestra Señora de las Nieves, ubicado en la localidad de Kennedy, con el grado 1004 el cual cuenta con una población de 40 estudiantes que oscilan entre los 15 y 18 años de edad.

#### 4.3.1 Resultados Sesión I

En esta sesión, se desarrolló las cuatro primeras actividades del módulo, las cuales, tienen como objetivo, reforzar las ideas y conceptos previos, que tienen los estudiantes con respecto a la estructura de la materia y espectros atómicos.

Antes de iniciar, con la explicación, se realizó un pequeño cuestionario, el cual tenía como objetivo analizar las ideas previas que tienen los estudiantes frente a la estructura y modelos atómicos de la materia. Analizando las respuestas procedimos a realizar la tabla de porcentajes para cada pregunta.

1. ¿Cuál de las siguientes descripciones se corresponde con el modelo de Thomson?

Las respuestas de los estudiantes, de acuerdo a la pregunta número 1, evidencia la falta de conocimientos previos, que tienen los estudiantes, sobre los modelos atómicos, muchos de los estudiantes no tenían claro las definiciones más importantes de estos modelos. El 67,5%, 27 de los 40 estudiantes respondieron incorrectamente a la pregunta, lo cual nos

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	10	25
Incorrecto	27	67,5
No responde	3	7,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.1: Resultados pregunta 1, ideas previas

indica que desconocen la teoría del modelo atómico de Thomson, el 25 % respondió acertada mente y solo el 7,5% no supo dar respuesta a la pregunta.

- Según el modelo de Thomson, cómo es el átomo, ¿ divisible o indivisible?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	0	0
Aproximada	10	25
Errónea	22	55
No responde	8	20
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.2: Resultados pregunta 2, ideas previas

En la respuestas de la pregunta número 2, evidenciamos que los estudiantes tuvieron confusión con esta pregunta, ya que asocian al átomo con una esfera indivisible. el 55% de la población no conocía, como esta conformada la estructura del modelo atómico de Thomson, llevándolo a una respuesta errónea, el 25% de la población escribió una respuesta la cuál puede considerarse como aproximada la respuesta esperada, y el 20% de los estudiantes no pudieron responder a la pregunta.

- ¿ Cómo adquiere un cuerpo eléctricamente neutro carga positiva? ¿ Y carga negativa?

En la pregunta número 3, la mayoría de los estudiantes tenían idea del proceso de carga de una partícula, sin embargo existen conceptos lo cuáles crearon confusión a la hora de responder la pregunta. El 37,6% de los estudiantes pudieron responder a la pregunta de manera confusa, el 40% de la población respondió erróneamente y el 22,5% de los estudiantes prefirieron no responder.

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	0	0
Aproximada	15	37,5
Errónea	16	40
No responde	9	22,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.3: Resultados pregunta 3, ideas previas

## 4. La carga del electrón es: Opción múltiple

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	5	12,5
Incorrecto	25	62,5
No responde	10	25
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.4: Resultados pregunta 4, ideas previas

En la pregunta número 4, un 12,5% de los estudiantes respondieron pregunta correctamente, lo que evidencia que una parte de los estudiantes conocen las características del electrón, un 62,5% respondieron incorrectamente y un 25% no respondieron a la pregunta, evidenciando que los estudiantes no poseen claro los conceptos sobre las partículas atómicas.

## 5. Según Thomsom: Opción múltiple

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	12	30
Incorrecto	22	55
No responde	6	15
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.5: Resultados pregunta 5, ideas previas

De acuerdo a los resultados de la pregunta numero 5, el 55% los estudiantes no tienen claro el modelo atómico de Thomson, ni sus características principales, el 30% de los estudiantes conocen las nociones básicas de este modelo y un 15% no respondieron a la pregunta.

6. De acuerdo al modelo atómico de Ernest Rutherford, ¿quien presenta carga eléctrica positiva, concentra casi la totalidad de la masa del átomo y su tamaño es unas cien mil veces menor que el átomo es?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	8	20
Incorrecto	20	50
No responde	12	30
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.6: Resultados pregunta 6, ideas previas

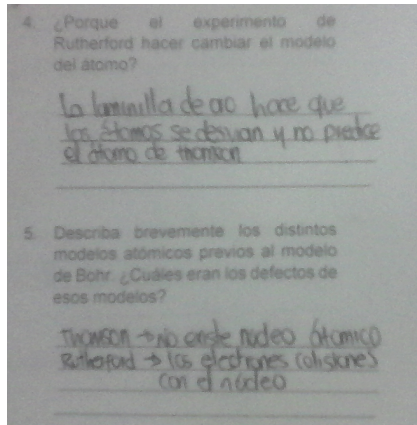
En la pregunta número 6, se evidencia que la mitad de los estudiantes no conocen claro el modelo atómico de Rutherford, el 20% tiene algún conocimiento sobre este modelo y el 30% de la población no respondió lo que indica el poco conocimiento de los estudiantes frente a los modelos atómicos.

Cabe resaltar que esta actividad pretendía evaluar las conocimientos previos de los estudiantes en cuanto a los modelos atómicos y la estructura del átomo. La cuál se realizó con total éxito, ya que, a partir de los conocimientos previos se da inicio a la temática establecida y se puede desarrollar con éxito todas las actividades del modulo. Una evidencia de las respuestas se presenta en la figura 4.1.

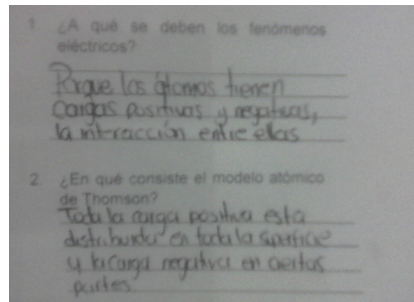
Posteriormente se da inicio al desarrollo de la temática a cargo de la docente. Terminada esta se le pide a los estudiantes formarse en grupos de trabajo con el fin de discutir la temática vista y realizar la actividad número 2, la cual tiene como objetivo profundizar las teorías sobre la estructura de la materia y sus transformaciones a través del tiempo a partir de un mapa mental. (Ver figura 4.2).

A continuación se le pide a los estudiantes que respondan un pequeño cuestionario, en el cual podemos evidenciar los conocimientos que adquirieron los estudiantes durante el desarrollo de la primera parte del modulo. Analizando las respuestas individuales procedemos a realizar la tabla de porcentaje para cada pregunta:

1. El modelo atómico de Niels Bohr falla al suponer que: Opción múltiple

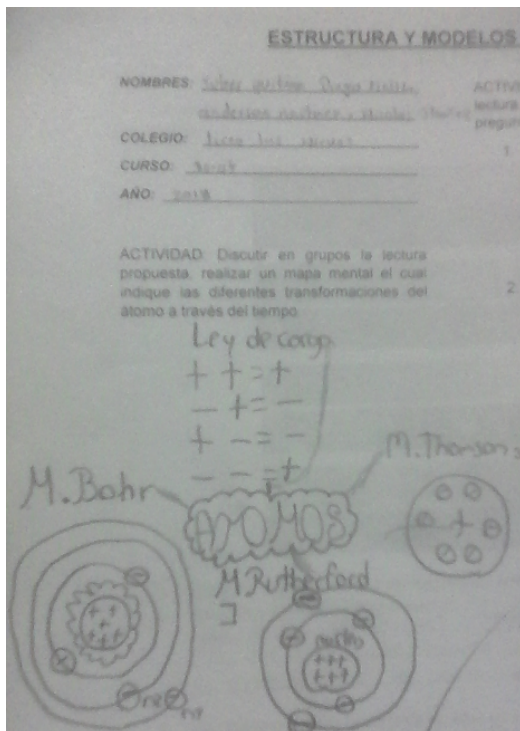


(a)

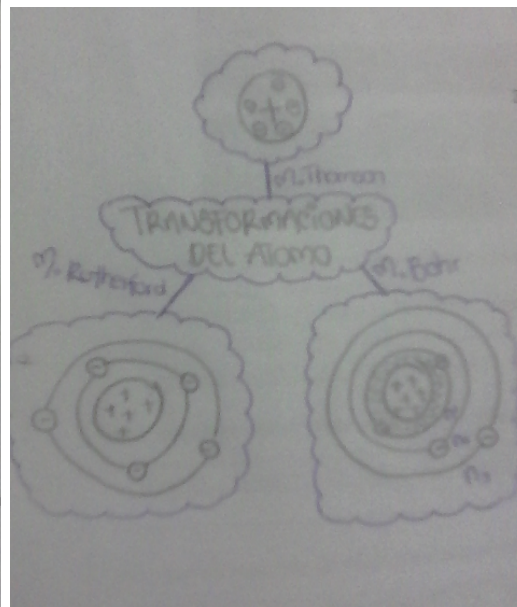


(b)

Figura 4.1: Actividad modelos atómicos. Ana suarez 1004



(a) Mapa mental. Ana suarez 1004



(b) Mapa mental. Joan Casas 1004

Figura 4.2: Actividad Mapa mental

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	29	72,5
Incorrecto	8	20
No responde	3	7,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.7: Resultados pregunta 1, modelos atómicos

De acuerdo a la pregunta numero 5, el 72,5% de los estudiantes adquirieron conocimientos en medio del desarrollo de la primera parte de modulo, lo que permitió responder correctamente a la pregunta, el 20% de los estudiantes, tuvieron confusiones con los conceptos de cada uno de los modelos equivocándose en su respuesta y un 7,5% decidieron no responder a la pregunta.

2. El modelo atómico de Niels Bohr se denominó estacionario porque:  
Opción múltiple

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	31	77,5
Incorrecto	4	10
No responde	5	12,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.8: Resultados pregunta 2, modelos atómicos

Como se pudo observar en la pregunta número 2, los conceptos adquiridos sobre los modelos atómico fueron buenos, el 77,5% de la clase respondió correctamente a la pregunta, el 10% tuvo confusiones en medio de la temática y no acertaron en su respuesta y un 12,5% prefirió no responder a la pregunta

3. Según el modelo atómico de Bohr, se justifica la necesidad de introducir un modelo cuántico?

En la pregunta número 3, 8 estudiantes respondieron la pregunta perfectamente, un 62,5% de los estudiantes respondieron adecuadamente sobre la interacción y/o existencia de los niveles de energía, y un 17,5% de los estudiantes no respondieron correctamente.

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	8	20
Aproximada	25	62,5
Errónea	7	17,5
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.9: Resultados pregunta 3, modelos atómicos

4. Según el modelo atómico de Bohr Que entiende por niveles de energía?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	19	47,5
Aproximada	10	25
Errónea	8	20
No responde	3	7,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.10: Resultados pregunta 4, modelos atómicos

Se puede evidenciar que la mayoría de los estudiante del grado 1004 responden perfectamente sobre el modelo atómico de Bohr y los niveles de energía. el 25% de los estudiantes respondieron acertadamente los introducen mediante el modelo de Bohr o las capas electrónicas , un 20% de los estudiantes responde erróneamente y 7,5% no saben cual es la respuesta.

5. Según el modelo atómico de Bohr que se entiende por orbital?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	9	22,5
Aproximada	26	65
Errónea	3	7,5
No responde	2	5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.11: Resultados pregunta 5, modelos atómicos

El 22,5% de los estudiantes respondieron perfectamente a la pregunta sobre los orbitales del modelo atómico de Bohr. 65% de los estudiantes

respondieron aproximadamente, la mayoría de estos describieron al orbital como una zona del espacio que los electrones pueden ocupar, un 7,5% de los estudiantes respondieron erróneamente, y solo un 5% de estudiantes no respondieron a la pregunta.(ver Figura 4.3).

6. Según el modelo atómico de Bohr que imagen se da del electrón??

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	11	27,5
Aproximada	18	45
Errónea	7	17,5
No responde	4	10
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.12: Resultados pregunta 6, modelos atómicos

En la pregunta número 6, el 27,5% de los estudiantes respondieron correctamente con la explicación del modelo atómico de Bohr, donde el electrón tiene una dualidad onda-partícula. 45% se aproximaron en su respuesta, un 17,5% de los estudiantes no pudieron explicar acertadamente y solo un 10% de estudiantes se abstuvieron de responder.(ver Figura 4.4).

7. Describan brevemente los distintos modelos atómicos previos al modelo de Bohr. ¿Cuáles eran las deficiencias de esos modelos?

Respuesta	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	24	60
Aproximada	10	25
Errónea	6	15
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.13: Resultados pregunta 7, modelos atómicos

En esta pregunta se puede evidenciar que un 60% de la población pudieron describir correctamente los modelos anteriores al modelo atómico de Bohr con sus respectivas deficiencias, un 25% de los estudiantes respondieron a la pregunta pero les faltaba escribir o uno de los modelos o sus respectivas fallas es por esto que las respuestas se tomaron como aproximada, y el 15% de los estudiantes respondieron incorrectamente.

## SEGUNDA PARTE

Posteriormente, se inicia con la temática de espectros, inicialmente se proyectara el vídeo *Física - La luz y el espectro electromagnético*, el cuál nos permite analizar los conceptos característicos del estudio de la luz y la electroscopía. Posteriormente se realizara la explicación a cargo de la docente con el fin de complementar la temática vista y se realizara la actividad 4 (Ver en Anexos). Analizando las respuestas procedemos a realizar la tabla de porcentaje para de cada pregunta:

1. ¿ Cuáles son las diferencias y semejanzas que puedes establecer entre los espectros de absorción y emisión del mismo átomo?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	11	27,5
Aproximada	28	70
Errónea	1	2,5
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.14: Resultados pregunta 1, espectros atómicos

De acuerdo a la pregunta número 1, el 27,5% gracias a la temática vista en clase puedo contestar correctamente, el 70% de los estudiantes respondió adecuadamente, aunque la mayoría tubo confusión con los conceptos de longitud onda, y el 2,5% se equivoco en su respuesta. esto evidencia que los estudiantes saben diferenciar entre un espectro de emisión, el cual es el que emiten su propia luz y un espectro de absorción, el cual absorbe su propia luz, la mitad del total de los estudiantes del grado 1004 no respondieron adecuadamente.

2. El orden creciente de los colores de acuerdo a su frecuencia es: Opción múltiple

De acuerdo a lo observado en el vídeo y la explicación docente, el 60% de los estudiantes respondieron correctamente a la pregunta, el 25% de los estudiantes se confundieron con el orden de los espectros y el 15% no respondio.

3. Cuando las distintas emisiones de ondas se ordenan por frecuencia y longitudes forman: Opción múltiple

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	24	60
Incorrecto	10	25
No responde	6	15
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.15: Resultados pregunta 2, espectros atómicos

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	24	60
Incorrecto	16	40
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.16: Resultados pregunta 3, espectros atómicos

En la pregunta número 3, el 60% de los estudiantes responde correctamente a la pregunta evidenciado el desarrollo del conocimiento sobre los espectros, el 40% de los estudiantes respondieron incorrectamente debido a confusiones que generaron la definición de onda electromagnética.

- Si una onda tiene una mayor frecuencia, entonces es correcto afirmar que: Opción múltiple

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	28	70
Incorrecto	12	30
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.17: Resultados pregunta 4, espectros atómicos

El 70% de los estudiantes respondieron correctamente a la pregunta número 4, evidenciado los conocimientos que tienen los estudiante sobre los conceptos de espectro electromagnético, solo el 30% de los estudiantes respondieron incorrectamente.

- Considerando la luz visible, el color que tiene menor frecuencia es el: Opción múltiple

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Correcto	31	77,5
Incorrecto	7	17,5
No responde	2	5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.18: Resultados pregunta 5, espectros atómicos

En la pregunta número 5, el 77,5% de los estudiantes respondieron correctamente, el 25% respondieron incorrectamente pues en esta se debía estudiar las frecuencias de colo, y el 15% no respondió.

6. ¿Por qué crees que es importante estudiar los espectros de los distintos átomos?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	9	22,5
Aproximada	25	62,5
Errónea	4	10
No responde	2	5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.19: Resultados pregunta 6, espectros atómicos

En esta pregunta, se puede evidenciar como solo el 22,5% de los estudiantes llegaron al acuerdo de que los espectros atómicos son las características propias de cada elemento único e irrepetible, el 62,5% de los estudiantes tuvieron una respuesta muy aproximada sobre la importancia de este campo de la física y el 10% de los estudiantes no pudieron responder a la importancia del estudio de los espectros atómicos.

7. ¿Por qué los espectros de absorción muestran casi todos los colores del arco iris?

El 37,5% de los estudiantes comprenden como esta compuesta la luz blanca y logran responder acertada y el 50% aproximadamente, solo el 10% de los estudiantes se equivocan con su respuesta y el 2,5% se abstienen de responder. Una evidencia de las respuestas se presenta en la figura 4.3.

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	15	37,5
Aproximada	20	50
Errónea	4	10
No responde	1	2,5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.20: Resultados pregunta 7, espectros atómicos

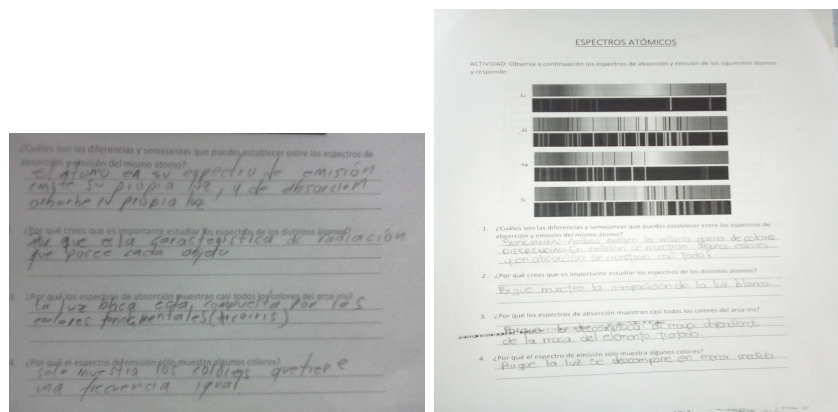


Figura 4.3: Actividad modelos atómicos espectros atómicos

El objetivo principal en la primera sección era conocer los conceptos mas relevantes de la teoría sobre la estructura de la materia desde el modelo atómico de Bohr y los espectros atómicos. Esto era necesario estudiarlo ya que a partir de aquí podemos empezar a estudiar el experimento de Franck-Hertz con átomos de mercurio. El desarrollo de esta primera sección fue exitoso ya que pudimos afianzar los conocimientos previos de los estudiantes y enlazarlos a una teoría cuántica.

### 4.3.2 Resultados Sesión II

La segunda sesión inicia con una actividad complementaria al módulo, la cuál tiene como objetivo, analizar el funcionamiento de los números aleatorios, en la simulación de la curva característica de Franck-Hertz.

0.1 = 10				
01	011	013	020	022
015	027	031	037	033
025	042	054	049	029
064	059	056	058	041
047	057	060	055	053
039	028	048	026	066
038	034	040	032	045
061	043	016	062	050
079	051	035	052	089
038	046	074	062	090
025	056	030	044	012

Figura 4.4: Actividad números aleatorios. Joan Casas 1004.

Con los valores obtenidos de  $V_0$ , es posible realizar el análisis estadístico, de una amplia muestra, cuyo histograma nos permita estudiar su valores máximos y mínimos.

La actividad siguiente, tenía como objetivo, conocer la configuración electrónica atómica, esto con el fin de, analizar las características de, cada uno de los cuatro, números cuánticos. Una evidencia de las respuestas se presenta en la Figura 4.5.

Para poder, realizar el objetivo principal, de este trabajo de grado, fue necesario estudiar las principales, características del comportamiento atómico

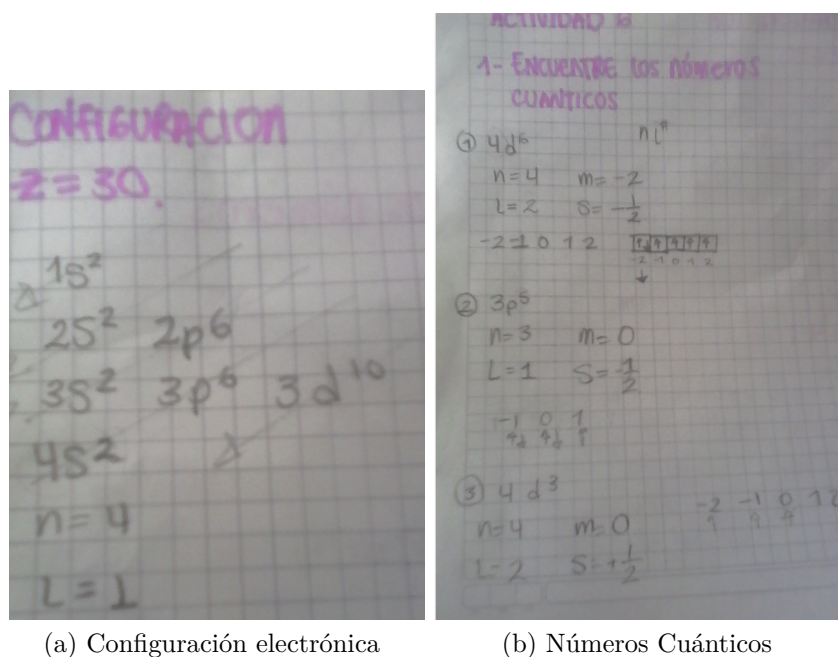


Figura 4.5: Actividad números cuánticos y configuración electrónica. Andrea Casas 1004

de los átomos, con mas, de dos electrones, aquí profundizamos en analizar los niveles de energía, los diferentes estados, números cuánticos, transiciones, momentum, con el fin de relacionarlos, al estudiar la curva característica del experimento desde una teoría atómica.

Posteriormente, se inicia con la temática, sobre el experimento de Franck-Hertz, durante la explicación de este, se puede evidenciar como el funcionamiento, de este experimento, es muy abstracto para muchos de los estudiantes, generando inconvenientes en su comprensión, es por esto, que la simulación de la gráfica en la herramienta computacional nos ayuda a estudiarlo desde su estructura atómica.

A partir, del análisis, de las gráficas, pudimos concluir como es el comportamiento, de los electrones cuando se alcanza el máximo de la curva. Cuando el potencial, de aceleración, es menor a la energía de excitación de los átomos de mercurio, los electrones estarán inmersos en en medio de colisiones elásticas, esto provoca que lo electrones cambien su dirección, sin embargo, pierden muy poca energía cinética debido al impacto y la corriente de electrones aumenta, al aumentar el potencial. A medida que este aumenta,

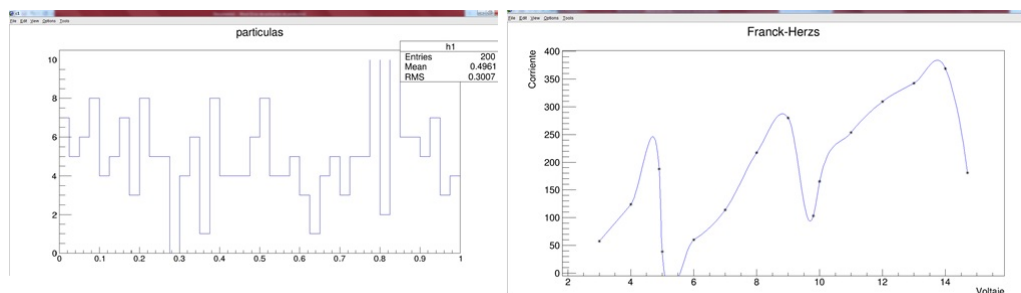


Figura 4.6: Simulación de la curva característica del experimento de Franck-Hertz

los electrones, adquieren la energía suficiente, para excitar a los átomos de mercurio, por lo que, se presentaran colisiones inelásticas, generando una gran perdida de energía y una caída en la medición de corriente. Si, el potencial, excede dos veces la energía de excitación, los electrones sufrirán una segunda colisión inelástica y, por consiguiente, la corriente caerá una vez más. Este patrón se repetirá a medida que se aumente el voltaje. En el mínimo de la curva algunos electrones empiezan a adquirir suficiente energía, aun después de los choques y pueden alcanzar al ánodo, observándose que en estos mínimos la corriente no disminuye totalmente a cero.

La siguiente actividad en realizarse, es la actividad número 8, la cual se basa, en la simulación de la gráfica y sus respectivas conclusiones.

A partir, de los números aleatorios, que se obtuvieron de la actividad número 5, se les pide a los estudiantes, que realicen la curva característica, del experimento de Franck-Hertz. Esta gráfica, debe hacerse, según los procedimientos que se realizaron en la simulación. Esta actividad, permite que se analice la formula utilizada en la simulación, la cual, nos especifica el comportamiento de los electrones en diferentes niveles de energía. Una evidencia de las respuestas se presenta en la figura 4.7.

A partir de esto, y la explicación, sobre la configuración electrónica de los átomos, pudimos concluir que el estado fundamental del mercurio es el estado  $6^1S_0$ , el estado más bajo es el estado  $6^3P_0$ , por lo tanto es un estado de equilibrio, es decir, que los electrones que se ubiquen en este nivel no podrán decaer al estado fundamental (Ver figura 4.8).

Durante el experimento, a medida que los electrones aceleran hacia la placa colectora alcanzan la suficiente energías para excitar el estado  $6^3P_0$ . su número aumenta hasta el punto donde la mayoría de las interacciones dentro del átomo de mercurio se vuelven colisiones elásticas. El estado  $6^3P_1$

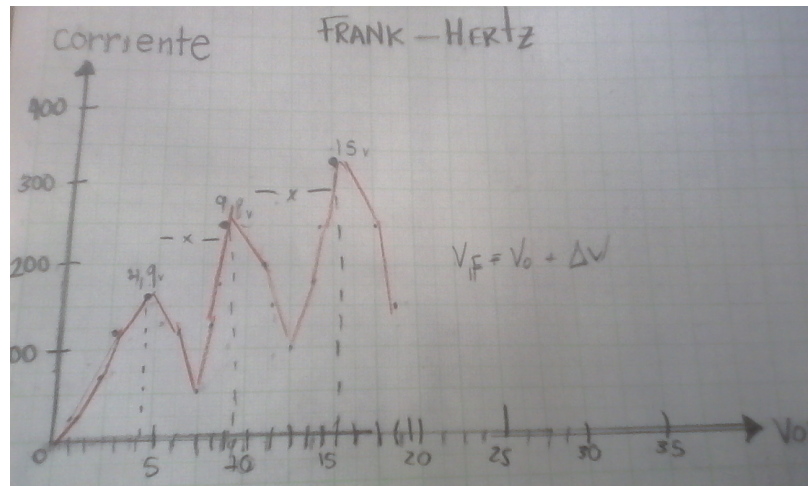


Figura 4.7: Actividad gráfica de Frank-Hertz. Andres vargas 1004.

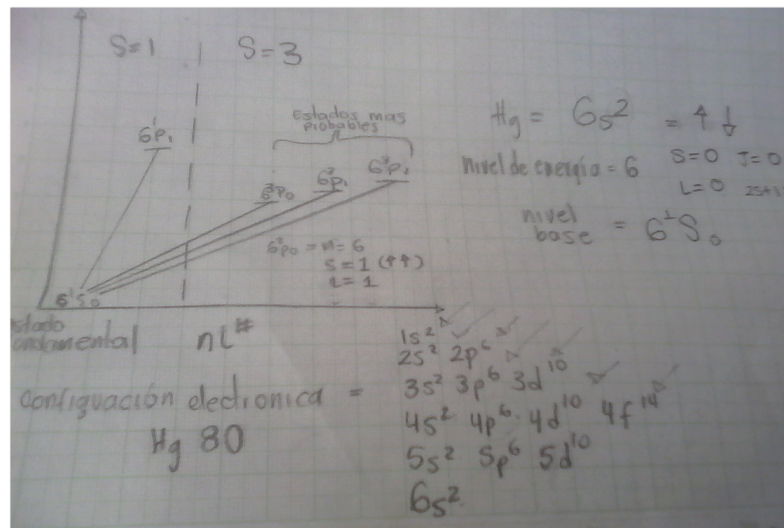


Figura 4.8: Análisis de los estados excitados del átomo de mercurio. Andres vargas 1004.

y  $6^3P_2$  no son metaestables y se pueden descomponer inmediatamente por la emisión de un  $2536 \text{ \AA}$  fotón. Conocer la estructura interna del átomo, su comportamiento y sus diferentes características, nos permiten entender los principios básicos de la mecánica cuántica, por lo tanto nos permite cumplir con nuestro objetivo principal del trabajo.

Posteriormente, los estudiantes realizan la actividad número 7. Analizando las respuestas procedemos a realizar la tabla de porcentaje para cada pregunta:

1. ¿ De que manera el experimento de Franck-Hertz comprueba el modelo atómico de Bohr?,

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	12	30
Aproximada	24	60
Errónea	4	10
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.21: Resultados pregunta 1, experimento de Franck-Hertz

El 30% de los estudiantes, respondieron correctamente el funcionamiento del experimento de Franck-Hertz, el 60% de los estudiantes tuvieron una respuesta aproximada, en la cuál, concluían que los electrones solo pueden ganar o perder energía en niveles permitidos, es decir que existe una cuantización de la energía, y el 10% de los estudiantes tuvieron una respuesta incorrecta.

2. ¿ Cual es la diferencia entre las colisiones elásticas e inelásticas?.

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	13	32,5
Aproximada	25	62,5
Errónea	0	0
No responde	2	5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.22: Resultados pregunta 2, experimento de Franck-Hertz

El 32,5% de los estudiantes respondieron que una colisión elástica es aquella en la que no hay pérdida de energía . Y una colisión inelástica

es aquella en la cual, parte de la energía cinética se cambia en alguna otra forma de energía, respondiendo correctamente a la pregunta. El 62% de los estudiantes tuvieron una respuesta cercana, ninguno de los estudiantes respondió fuera del tema o incorrectamente por confusión de términos (Elástica e inelástica) y solo el 5% de los estudiantes no respondieron.

3. ¿ Por que se utilizo los electrones para excitar los átomos de mercurio?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	9	22,5
Aproximada	29	72,5
Errónea	2	5
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.23: Resultados pregunta 3, experimento de Franck-Hertz

En la pregunta número 3, se puede evidenciar que es la pregunta que mas duda genera pues solo el 22,5% de los estudiante la pudieron contextualizar al experimento en estudio y lograron responder correctamente, el 72,5% de los estudiantes, respondieron de acuerdo a todas las teorías sobre la estructura de la materia y el átomo, sin contextualizarlo al experimento 5% respondieron incorrectamente.

4. ¿ Que entiende como números cuánticos?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	14	35
Aproximada	22	55
Errónea	4	10
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.23: Resultados pregunta 4, experimento de Franck-Hertz

En la pregunta número 4, se puede evidenciar que el 35% de los estudiantes señalaron que los números cuánticos determinan el tamaño, la forma y la orientación de la órbita en la que se encuentra el electrón, el 55% de los estudiantes, respondieron de acuerdo a todas las teorías

sobre la estructura de la materia y el átomo, sin contextualizarlo al experimento, y 10% respondieron incorrectamente.

5. ¿ Cuando habla del cuarto número cuántico dice que es ?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	25	62,5
Aproximada	12	30
Errónea	1	2,5
No responde	2	5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.23: Resultados pregunta 5, experimento de Franck-Hertz

En la pregunta número 5, el 62,5% de los estudiantes señalaron que el cuarto número cuántico es el espín con signo + ó -, el 30% de los estudiantes, respondieron que el cuarto número cuántico representa la forma y la orientación de la órbita en la que se encuentra el electrón, el 2,5% respondieron incorrectamente y un 5% no respondió a la pregunta.

6. ¿ Que entiende por spin?

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	30	75
Aproximada	2	5
Errónea	8	20
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.23: Resultados pregunta 6, experimento de Franck-Hertz

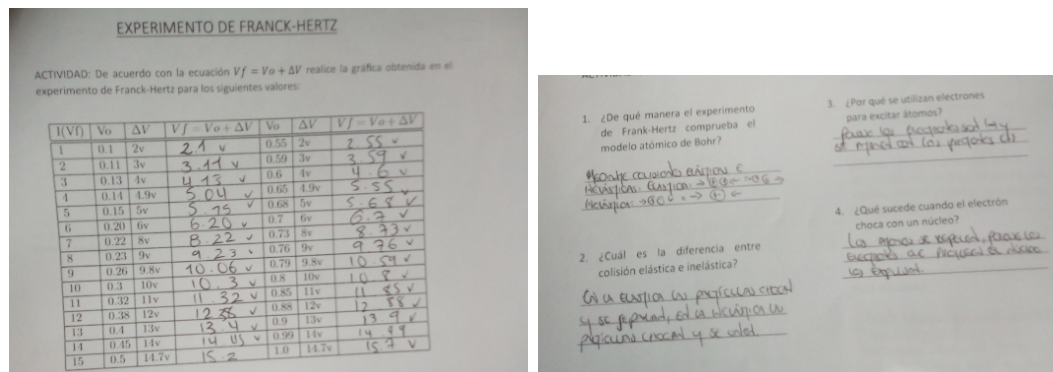
En la pregunta número 6, el 75% de los estudiantes señalaron que el spin va de acuerdo al momento angular, el 5% de los estudiantes, respondieron que el spin es la rotación del electrón sobre sí mismo, y el 20% respondieron incorrectamente a la pregunta.

7. ¿ Cómo explica la estructura electrónica de los átomos de mercurio?

En la pregunta número 7, el 70% de los estudiantes respondieron correctamente acerca de la configuración electrónica de los átomos, el 30% de los estudiantes, respondieron aproximadamente.

Respuestas	Número de estudiantes	Porcentaje del curso %
Excelente	28	70
Aproximada	12	30
Errónea	0	0
No responde	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Tabla 4.23: Resultados pregunta 7, experimento de Franck-Hertz



(a) Actividad gráfica experimento de Franck-Hertz. Ana suarez 1004 (b) Actividad experimento de Franck-Hertz

Figura 4.9: Actividad Franck-Hertz

Como último se realiza un pequeño resumen, de todas las temáticas vistas a lo largo del modulo. Finalmente se desarrolla la actividad número 8, la cuál tiene como objetivo profundizar todos las definiciones, conceptos, temáticas y experimentos vistos en el módulo.

El objetivo principal para esta segunda sección era dar una explicación del experimento de Franck-Hertz desde una teoría atómica enlazada a la mecánica cuántica. Es por ello que el resultado más sobresaliente de la implementación del modulo, está en relación con las comprensiones alcanzadas por los estudiantes sobre el experimento de Franck-Hertz y la estructura atómica de la materia. Las respuestas obtenidas por los estudiantes mostraron que el proceso obtenido durante la implementación fue positivo, ya que, se pudo comprobar explicar y concluir la importancia del experimento de Franck-Hertz en la teoría atómica.

Algunos comentarios de los estudiantes indicaron la experiencia de estos durante el desarrollo del modulo:

*“ Gracias al apoyo de herramientas computaciones en el aula de clase, se puede comprender mejor la teoría sobre la estructura de la materia me gustaría que a lo largo del semestre se realizaran mas actividades similares para comprender mejor los temas ”. Sara Leguizamón, 1004.*

*“ Me pareció agradable la actividad, ya que se enfoca es un campo de la física tan importante, como la mecánica cuántica, este es un tema que nosotros aun no comprendemos muy bien, pero gracias a apoyo de este tipo de actividades se puede comprender mejor ”. Salomón Jimenez, 1004.*

*“ Fue una actividad importante para posibles temáticas que se darrollaran en la materia de física , fue entretenido ver la gráfica en la simulación, ya que fue la mejor manera de comprende los niveles y los estados de energía.” Lizeth Bustos, 1004.*

# Capítulo 5

## Conclusiones

- Se elaboró el módulo como material didáctico, con una serie de actividades secuenciales, las cuales aportan al conocimiento de la teoría de la física moderna y la comprensión de conceptos claves en el estudio de la mecánica cuántica.
- El uso de herramientas computacionales, permite fortalecer el conocimiento en las ciencias disciplinares, en este caso de la física, ayudando a la representación de fenómenos que comúnmente no se pueden recrear en un laboratorio de clases de las instituciones educativas.
- La elaboración de la simulación resultó conveniente para la comprensión del experimento de Franck-Hertz incluir la simulación de la curva característica de este experimento. esto contribuyó a entender la estrecha relación entre teoría y experimento; por otro lado, el uso de la simulación permitió darles un marco más amplio a las comprensiones de cada uno de los estudiantes sobre los conceptos asociados al fenómeno.
- A partir de la explicación del experimento de Franck-Hertz pudimos asociar conceptos cuánticos con el estudio de la teoría atómica cumpliendo con el objetivo principal de este trabajo de grado.
- Este primer acercamiento al experimento de Franck-Hertz y la mecánica cuántica en espacios académicos de educación media, abre las puertas a que nuevas iniciativas se enfoquen en temas relacionados y se profundicen en el mismo nivel de escolaridad y sea ejemplo a futuro en espacios de educación superior.

# Bibliografía

- [1] R. R. F. AEDO, P. M. S. GARCÍA, and E. C. FADRAGA. El aprendizaje con el uso de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. *OEI-Revista Iberoamericana de Educación*, 1, 2001.
- [2] M. Alonso. y finn, ej. *Física: Fundamentos Cuánticos y Estadísticos*, 3, 1978.
- [3] P. Baptista, C. Fernández, and R. Hernández. Metodología de la investigación. *DF, México: Editorial The McGraw-Hill*, 2010.
- [4] R. Brun and F. Rademakers. Root—an object oriented data analysis framework. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 389(1-2):81–86, 1997.
- [5] E. Cartmell and G. W. A. Fowles. *Valencia y estructura molecular*. Reverté, 1979.
- [6] M. G. Castañeda and J. E. De-Geus. *Introducción a la física moderna*. Universidad Nacional de Colombia, Centro Editorial, 1997.
- [7] S. Castillo. Propuesta pedagógica basada en el constructivismo para el uso óptimo de las tic en la enseñanza y el aprendizaje de la matemática. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 11(2):171–194, 2008.
- [8] E. García. Aprendizaje y construcción del conocimiento. *Las plataformas de aprendizaje. Del mito a la realidad*. Madrid: Biblioteca Nueva, 2009.
- [9] A. García-Carmona. La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. *Educación Química*, 17(4):414–423, 2006.
- [10] J. J. García Sanz. El ingenio en el experimento: el experimento de frank-hertz. 2008.

- [11] G. Hanne. What really happens in the franck–hertz experiment with mercury? *American Journal of Physics*, 56(8):696–700, 1988.
- [12] M. M. Kash and G. C. Shields. Using the franck-hertz experiment to illustrate quantization: Energy states of the neon atom by electron impact. *J. Chem. Educ*, 71(6):466, 1994.
- [13] H. Kragh. Conceptual objections to the bohr atomic theory—do electrons have a “free will”? *The European Physical Journal H*, 36(3):327–352, 2011.
- [14] J. Lemmerich and A. Hentschel. *Science and conscience: The life of James Franck*. Stanford University Press, 2011.
- [15] O. Muñoz Cuartas et al. *Diseñar e implementar una estrategia didáctica para la enseñanza aprendizaje de la función lineal modelando situaciones problema a través de las TIC: Estudio de caso en el grado noveno de la Institución Educativa la Salle de Campoamor*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- [16] M. D. Peña and A. R. Muntaner. *Química física*. Pearson Educación, 1989.
- [17] J. Y. Peña Triana et al. *La espectroscopia y su desarrollo como una herramienta didáctica para comprender la estructura de la materia*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [18] R. H. Petrucci, W. S. Harwood, F. G. Herring, and C. P. G. Pumarino. *Química general*. Fondo Educativo Interamericano, 1977.
- [19] G. Rapior, K. Sengstock, and V. Baev. New features of the franck-hertz experiment. *American journal of physics*, 74(5):423–428, 2006.
- [20] M. P. Silvera and I. S. de Ciencias. Física cuantica. *Editorial ISCTN, La Habana, Cuba*, 1999.
- [21] G. Singh. Modeling bohr’s theory of hydrogen atom for physics and chemistry education, computational physics and chemistry, and computer science majors. 2010.
- [22] M. C. Teich and B. E. Saleh. Observation of sub-poisson franck–hertz light at 253.7 nm. *JOSA B*, 2(2):275–282, 1985.
- [23] D. Ward. The franck-hertz experiment. 1997.

# Capítulo 6

## Anexos

### 6.1 Módulo Didáctico

ENSEÑANZA DE CONCEPTOS PRELIMINARES DE LA  
MECÁNICA CUÁNTICA A PARTIR DEL EXPERIMENTO  
DE FRANCK-HERTZ

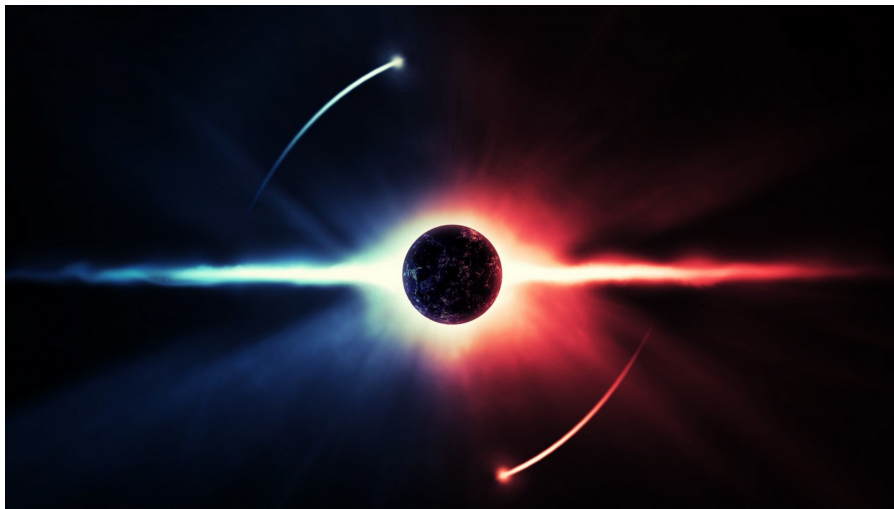


Figura 6.1: Portada

ANGIE CAROLAY RODRIGUEZ COSME  
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

# PRESENTACIÓN

El tema que se planea trabajar para el desarrollo de este modulo, hace alusión a uno de los campos de estudio que atañe y antecede a la cuestión que se realiza en la monografía de grado (Diseño de un modulo Basado en un herramienta computacional para la enseñanza de conceptos preliminares de la Mecánica Cuántica a partir del experimento de Franck-Hertz). Esta temática se propone, ya que el trabajo de grado es de carácter disciplinar y comprende áreas de la física moderna que en su mayoría no se abarcan en la escuela secundaria debido a su alto grado de abstracción y complejidad.

No obstante, es importante que desde la Universidad Pedagógica Nacional, se generen mecanismos o estrategias que permitan acercar a los estudiantes a reconocer las investigaciones que se han realizado en las ciencias a lo largo del siglo XIX y XX, de tal forma que se reconozca la relevancia que ésta a proporcionado en pro al avance científico y tecnológico.

En este módulo, se hace énfasis particularmente al estudio de la estructura de la materia, para esto mencionaremos el primer modelo que se aparta de la mecánica clásica, el modelo atómico de Bohr, y hablaremos de las bases del modelo atómico actual, es decir, de la mecánica cuántica, la cuál estudia los fenómenos de la materia y la luz a una escala microscópica. De esta forma procura describir y explicar las propiedades y características de la estructura de los átomos, además del comportamiento de estas en diferentes contextos de la física. Por otro lado, se pretende analizar el experimento de Franck-Hertz, a partir de una simulación de la curva característica generada en el programa ROOT a Data analysis Framework, el cuál, es un lenguaje de programación para el desarrollo de aplicaciones de análisis de datos científicos a partir del lenguaje de programación C++; por ende, se realizan una serie de actividades que están encaminadas a que los estudiantes reestructuren y construyan nuevas ideas acerca de la comportamiento y características de los átomos. Y a su vez, conozcan algunas teorías que dieron lugar a dichas cuestiones.

# Objetivo General

Describir como es el comportamiento y estructura de los átomos con base a la teoría del modelo atómico de Bohr y el experimento de Franck-Hertz, a partir del diseño e implementación de un módulo para estudiantes de media secundaria.

## Objetivos Específicos

1. Reconocer los pre conceptos de los estudiantes frente al estudio del comportamiento de los átomos.
2. Identificar las diferentes nociones que tienen los estudiantes sobre la estructura de la materia y el átomo de Borh.
3. Describir las consideraciones que tienen los estudiantes acerca del experimento de Franck-Hertz
4. Evaluar los aprendizajes que tuvieron los estudiantes frente a las actividades propuestas.



Figura 6.2: Módulo

# Descripción de la población

La población con la cual se implementó el módulo, fue a estudiantes de grado décimo, del Colegio Liceo nuestra señora de las Nieves con los cuales se llevaron a cabo actividades entorno a la temática de estructura de la materia y los conceptos físicos que giran entorno a este fenómeno; además para llevar a cabo lo anteriormente mencionado se necesitó la colaboración de dispositivos electrónicos que nos permitieran desarrollar la simulación de la curva característica del experimento de Franck-Hertz.

El tiempo que se requirió para llevar a cabo dicho trabajo fue de dos sesiones, en las cuales se llevó a cabo la presentación del trabajo, desarrollo de la temática, presentación y explicación de la simulación y desarrollo de actividades.

# Sesión I : Ideas Previas

## Estructura y modelos atómicos

### ACTIVIDAD 1

Responde las siguientes preguntas de acuerdo a los conceptos que tienes sobre los modelos atómicos y la estructura de la materia.

1. ¿Cuál de las siguientes descripciones se corresponde con el modelo de Thomson?
  - A. El átomo está constituido por un núcleo central, con carga positiva, en el que está concentrada prácticamente toda su masa que aportan los protones y los neutrones y por una corteza electrónica donde los electrones, con carga negativa, giran a mucha velocidad en torno al núcleo y están separados de este por una gran distancia en relación a su tamaño.
  - B. El átomo es una especie de esfera de carga positiva continua y esponjosa que contiene casi toda la masa. Los electrones negativos están incrustados en ella de modo similar a como lo están las pasas en un bizcocho
  - C. El átomo consta de dos zonas diferenciadas, una zona central del átomo muy pequeña, muy densa y cargada positivamente donde se encuentran los protones y una zona periférica en la que los electrones, cargados negativamente, giran alrededor del núcleo y a cierta distancia del él.

2. Según este modelo, cómo es el átomo, ¿ divisible o indivisible?

---

---

- 
3. ¿Cómo adquiere un cuerpo eléctricamente neutro carga positiva? ¿Y carga negativa?

---

---

---

4. La carga del electrón es:
- A. Mayor que la del protón.
  - B. Menor que la del neutrón.
  - C. Igual que la del protón.
5. Según Thomsom
- A. los electrones no se repelen porque anulan sus cargas.
  - B. los electrones giran alrededor del núcleo atómico.
  - C. el átomo es la estructura más pequeña de la materia.
  - D. el átomo sólo se compone de electrones.
  - E. ninguna de las anteriores.
6. De acuerdo al modelo atómico de Ernest Rutherford, quien presenta carga eléctrica positiva, concentra casi la totalidad de la masa del átomo y su tamaño es unas cien mil veces menor que el átomo es
- A. el protón.
  - B. el núcleo atómico.
  - C. el electrón.
  - D. el neutrón.
  - E. la nube electrónica.

## ACTIVIDAD 2

Discutir en grupos sobre la temática *Estructura y modelos atómicos* vista en clase, realizar un mapa mental el cual indique las diferentes transformaciones del átomo a través del tiempo.

## Modelo atómico de Bohr

### ACTIVIDAD 3

A partir del análisis de la lectura anterior Responda las siguientes preguntas:

1. El modelo atómico de Niels Bohr falla al suponer que:
  - A. el electrón no tiene masa.
  - B. la trayectoria del electrón es fija y definida.
  - C. la energía del electrón no siempre es la misma.
  - D. la masa del electrón es despreciable.
  
2. El modelo atómico de Niels Bohr se denominó estacionario porque
  - A. los electrones siempre giran en las mismas regiones y por lo tanto se mantienen estacionados en ellas.
  - B. los electrones se mueven mientras el núcleo está estacionado.
  - C. al absorber energía un electrón deja de moverse para poder pasar a otro nivel.
  - D. a pesar del movimiento de los electrones los átomos no se mueven.
  - E. mientras los electrones se mantengan en el mismo nivel no ganan ni pierden energía.
  
3. Según el modelo atómico de Bohr, se justifica la necesidad de introducir un modelo cuántico?

---

---

---

4. Según el modelo atómico de Bohr Que entiende por niveles de energía?

---

---

---

5. Según el modelo atómico de Bohr que se entiende por orbital?

---

---

---

6. Según el modelo atómico de Bohr que imagen se da del electrón??

---

---

---

7. Describan brevemente los distintos modelos atómicos previos al modelo de Bohr. ¿ Cuáles eran las deficiencias de esos modelos?

---

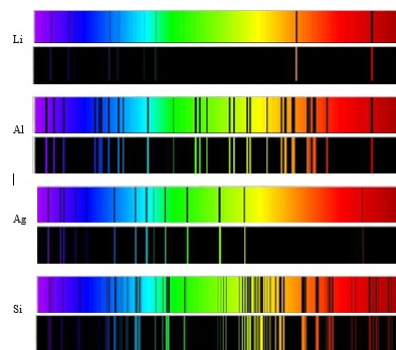
---

---

## Espectros Atómicos

### ACTIVIDAD 4

A partir del vídeo anterior y de la explicación de la docente. Observa a continuación los espectros de absorción y emisión de los siguientes átomos Y responde:



1. ¿Cuáles son las diferencias y semejanzas que puedes establecer entre los espectros de absorción y emisión del mismo átomo?

---

---

---

2. El orden creciente de los colores de acuerdo a su frecuencia es:
- A. rojo, amarillo, azul, violeta
  - B. rojo, azul, amarillo, violeta
  - C. violeta, azul, amarillo, rojo
  - D. azul, amarillo, violeta, rojo
  - E. amarillo, violeta, azul, rojo
3. Cuando las distintas emisiones de ondas se ordenan por frecuencia y longitudes forman:
- A. el átomo
  - B. el proceso de emisión cuántica
  - C. la nube eléctrica atómica
  - D. el núcleo del átomo
  - E. el espectro electromagnético
4. Si una onda tiene una mayor frecuencia, entonces es correcto afirmar que:
- A. tiene mayor energía
  - B. tiene menor longitud de onda
  - C. tiene mayor longitud de onda
  - D. a y b son correctas
  - E. a y c son correctas
5. Considerando la luz visible, el color que tiene menor frecuencia es el:
- A. azul
  - B. violeta

- C. verde
- D. amarillo
- E. rojo

6. ¿Por qué crees que es importante estudiar los espectros de los distintos átomos?

---

---

---

7. ¿Por qué los espectros de absorción muestran casi todos los colores del arco iris?

---

---

---

# Sesión II: Experimento de Franck-hertz

## Números Aleatorios

Un elemento importante en simulación es tener rutinas que generen variables aleatorias con distribuciones específicas: uniforme, normal, etc. Para ello la base es generar una secuencia de números aleatorios distribuidos uniformemente entre 0 y 1. Y para ello la clave es generar números enteros aleatorios y uniformemente distribuidos en un cierto intervalo de una manera eficiente.

La mayoría de los métodos (generadores) comienzan con un número inicial (semilla), a este número se le aplica un determinado procedimiento y así se encuentra el primer número.

La probabilidad de observar un valor en un particular intervalo es independiente del valor previo observado. Todo punto en el rango tiene igual probabilidad de ser elegido. Si el intervalo (0,1) es dividido en  $n$  sub-intervalos de igual longitud, el número esperado de observaciones en cada intervalo es  $N/n$ . ( $N$  número de observaciones totales).

El objetivo de cualquier esquema de generación (generador), es producir una secuencia de números entre 0 y 1 que simule las propiedades ideales de distribución uniforme y de independencia.

## ACTIVIDAD 5

A partir de la explicación preliminar, encuentre los números aleatorios en un intervalo de  $[0,1)$ . Tenga en cuenta que  $X_0=0$ .



- A. Se puede determinar exactamente
- B. No se puede determinar con exactitud, sólo se habla de probabilidad
3. Realice la configuración electrónica de los siguiente números atómicos.
- $Z= 49$
  - $Z= 50$
  - $Z= 80$
  - $Z= 30$
4. En el segundo nivel ( $n = 2$ ) podemos encontrar:
- A. 5 Orbitales tipo d
- B. 1 Orbital tipo s
- C. 3 Orbitales tipo p
5. Los orbitales 2p tienen como valores para los números cuánticos:
- A.  $n = 1$  y  $l = 0$
- B.  $n = 2$  y  $l = 1$
- C.  $n = 2$  y  $l = 0$
- D.  $n = 1$  y  $l = 1$

## Experimento de Franck-Hertz

El experimento de James Franck y Gustav Hertz, el cual les otorgó el premio Nobel de física en 1925 logro la demostración de los niveles de energía en los átomos. La finalidad de esta investigación se basaba en la necesidad de encontrar una prueba que demostrara el modelo atómico de Bohr.

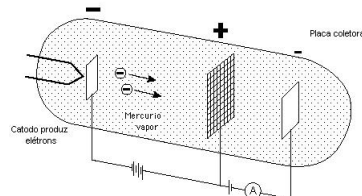


Figura 6.3: Diagrama Experimento de Franck-Hertz

El montaje experimental, consiste en un tubo de vidrio, donde previamente se incorporaron átomos de mercurio a una presión de vapor que se mantiene constante regulando la temperatura. En este experimento se estudia la pérdida de energía por parte de los electrones libres al dispersarse inelásticamente los átomos de mercurio, o sea, al sufrir éstos una excitación por colisión.

El experimento consiste en medir la corriente de electrones que alcanzan la placa como función del voltaje acelerador. Para potenciales bajos, los electrones acelerados adquirieron solamente una cantidad modesta de energía cinética. Cuando se encontraron con los átomos del mercurio en el tubo, participaron en colisiones puramente elásticas, y no marcaron diferencia en la corriente registrada. Los electrones que adquieran una energía mayor, presentarían colisiones inelásticas por lo cuál se presentaría una caída en el registro de corriente.

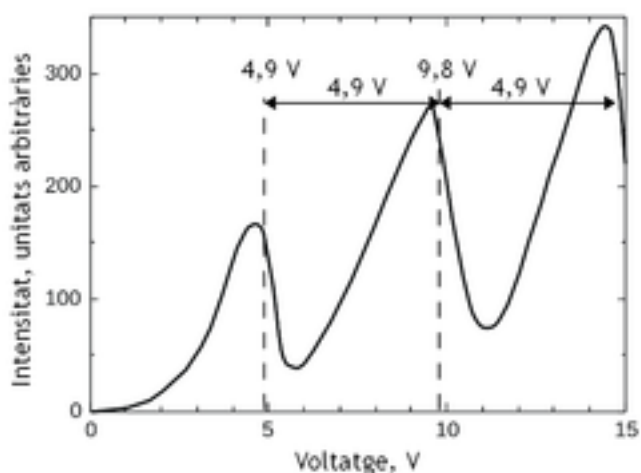


Figura 6.4: Curva característica del experimento de Franck-Hertz

## ACTIVIDAD 7

De acuerdo a la ecuación 7.9 y a la simulación presentada en el lenguaje de programación C++. Realice en una hoja milimetrada la gráfica obtenida en el experimento de Franck-Hertz y analice la configuración electrónica del átomo de mercurio para encontrar el estado fundamental y los estados de mayor probabilidad de transición en el átomo de mercurio.

I(Vf)	$V_o$	$V_f = V_o + \Delta V$	I(Vf)	$V_o$	$V_f = V_o + \Delta V$
1	0.1		41	0.92	
2	0.11		42	0.94	
3	0.13		43	0.84	
4	0.14		44	0.36	
5	0.15		45	0.37	
6	0.20		46	0.63	
7	0.22		47	0.36	
8	0.23		48	0.77	
9	0.26		49	0.52	
10	0.3		50	0.46	
11	0.32		51	0.78	
12	0.38		52	0.11	
13	0.4		53	0.93	
14	0.45		54	0.14	
15	0.5		55	0.15	
16	0.43		56	0.16	
17	0.32		57	0.17	
18	0.44		58	0.18	
19	0.83		59	0.19	
20	0.79		60	0.20	
21	0.39		61	0.33	
22	0.79		62	0.45	
23	0.93		63	0.78	
25	0.61		64	0.21	
26	0.42		65	0.66	
27	0.12		66	0.22	
28	0.73		67	0.56	
29	0.79		68	0.89	
30	0.28		69	0.99	
31	0.19		70	0.23	
32	0.15		71	0.34	
33	0.35		72	0.19	
34	0.78		73	0.26	
35	0.34		74	0.98	
36	0.32		75	0.84	
37	0.48		76	0.67	
38	0.24		77	0.53	
39	0.49		78	0.25	
40	0.99		79	0.88	

Table 6.2: Actividad 6. Grafica la curva representativa del experimento de Franck-Hertz

## ACTIVIDAD 8

De acuerdo a la explicación y simulación presentada sobre el experimento de Franck-Hertz, responda las siguientes preguntas:

1. ¿De que manera el experimento de Franck-Hertz comprueba el modelo atomico de Bohr?

---

---

---

---

---

2. ¿Cuál es la diferencia entre colisión elástica e inelástica?

---

---

---

---

---

3. ¿Por qué se utilizan electrones para excitar átomos?

---

---

---

---

---

---

4. ¿ Que entiende como números cuánticos?

---

---

---

---

---

5. ¿ Cuando habla del cuarto número cuántico dice que es ?

---

---

---

---

---

6. ¿ Que entiende por spin?

---

---

---

---

---

7. ¿ Cómo explica la estructura electrónica de los átomos de mercurio?

---

---

---

---

---

---

---

## ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA

De acuerdo a todas las temáticas desarrolladas en el transcurso del módulo; defina los siguientes conceptos:

Concepto	Definición
Radiación electromagnética	
Energía Potencial eléctrica	
Energía Potencial eléctrica	
Estructura de la materia	
Estados estacionarios	
Estructura electrónica	
Átomo de hidrógeno	
Ecuación de Schrodinger	
Espectros de emisión	
Espectro de absorción	
Niveles de energía	
Átomo de Hidrógeno	
Modelo de Bohr	
Número atómico	
Función de onda	
Número cuántico	
Momento Angular	
Mecánica cuántica	
Cuantización	
Borh	
Electrón	
Neutrón	
Núcleo	
Orbital	
Protón	
Espectros	
Colisión	
Electrón	
Hamiltoniano	
Ionizar	
Fotón	
Frecuencia	
Probabilidad	

## 6.2 Código de la simulación C++

Codigo c++