



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIENCIAS  
DE LA VIDA Y DE LA NATURALEZA (ILACVN)**

**LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA NATURALEZA  
– BIOLOGIA, FISICA E QUÍMICA.**

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FÍSICA GENERAL EN LA EDUCACIÓN  
SUPERIOR. UN ANÁLISIS DIDÁCTICO.**

**JOSÉ DAVID RIQUELME MEDINA**

Foz do Iguazú

Año 2015



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIENCIAS  
DE LA VIDA Y DE LA NATURALEZA (ILACVN)**

**LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA NATURALEZA  
– BIOLOGIA, FISICA E QUÍMICA.**

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FÍSICA GENERAL EN LA EDUCACIÓN  
SUPERIOR. UN ANÁLISIS DIDÁCTICO.**

**JOSÉ DAVID RIQUELME MEDINA**

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latino-Americano de Ciencias de la Vida y de la Naturaleza de la Universidad Federal de Integración Latino-Americana como requisito parcial a la obtención del título de Licenciatura en Ciencias de la Vida y de la Naturaleza – Biología, Física y Química.

Orientador: Prof. Dr. Juan de Dios Garrido.

Foz do Iguazú

Año 2015

**JOSÉ DAVID RIQUELME MEDINA**

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FÍSICA GENERAL EN LA EDUCACIÓN  
SUPERIOR. UN ANÁLISIS DIDÁCTICO.**

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latino-Americano de Ciencias de la Vida y de la Naturaleza de la Universidad Federal de Integración Latino-Americana como requisito parcial a la obtención del título de Licenciatura en Ciencias de la Vida y de la Naturaleza – Biología, Física y Química.

Orientador: Prof. Dr. Juan de Dios Garrido.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Juan de Dios Garrido.

UNILA

---

Prof. Dr. Rodrigo Leonardo de Oliveira Basso

UNILA

---

Prof. Dr. Marcelo Goncalves Honnicke

UNILA

Foz de Iguazú, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

## DEDICATORIA

*A Dios, mi bien y amigo que siempre me concede fuerzas para nunca desistir. Y a mis padres, mis hermanos y hermanas, que siempre me estimulan a seguir los objetivos y metas de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a DIOS, padre supremo que nos creó y que ilumina mis pasos a cada día, que a través de su bendición, pueda seguir en frente de esta búsqueda constante de perfeccionamiento.*

*A mis padres, mis primeros maestros.*

*A mis hermanos y hermanas, que me animaron a recomenzar esta caminata.*

*A mis colegas de curso, por la fuerza y compañerismo de siempre.*

*A los profesores Juan, Catarina y Gustavo por sus orientaciones e infinita paciencia.*

*En fin, a todos quienes directa o indirectamente contribuyeron para la elaboración de este trabajo.*

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	3
<b>CAPÍTULO II ASPECTOS DIDÁCTICOS VINCULADOS AL MONTAJE DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b> .....	<b>5</b>
2.1 LA DIDÁCTICA EN UNA PERSPECTIVA CONTEMPORÁNEA .....	5
2.2 DIDÁCTICA Y ORGANIZACIÓN.....	8
2.2.1 Estructura de la unidad de enseñanza.....	11
2.3 DIDÁCTICA APLICADA A PRÁCTICAS DE LABORATORIO .....	13
2.3.1 ¿Qué persigue desde el punto de vista didáctico, de manera general, la realización de prácticas de laboratorio de Física?.....	13
2.4 ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS Y HABILIDADES DURANTE LA FORMACIÓN .....	14
2.4.1 ¿Qué implican las competencias y habilidades en la formación del estudiante? .....	14
<b>CAPÍTULO III FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LAS PRÁCTICAS</b> .....	<b>15</b>
3.1 BOBINAS DE HELMHOLTZ.....	15
3.1.1 Fundamentos teóricos de la práctica .....	16
3.1.2 El fenómeno de la inducción de Faraday y su utilización en la práctica. ....	25
3.2 RELACIÓN CARGA – MASA.....	33
3.2.1 Fundamentos teóricos de la práctica.....	33
3.3 EFECTO FOTOELÉCTRICO .....	42
3.3.1 Fundamentos teóricos de la práctica.....	43
3.3.2 Teoría cuántica de Einstein del efecto fotoeléctrico.....	46
<b>CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE LAS ADECUACIONES Y PROPUESTAS DE LAS PRÁCTICAS</b> .....	<b>51</b>
4.1 BOBINAS DE HELMHOLTZ.....	51
4.2 RELACIÓN CARGA MASA .....	56
4.2 EFECTO FOTOELÉCTRICO.....	59
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>65</b>

RIQUELME MEDINA, José David. Prácticas de laboratorio de física general en cursos de la educación superior. Un análisis didáctico. 2015. 61 pág. Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latino-Americano de Ciencias de la Vida y de la Naturaleza de la Universidad Federal de Integración Latino-Americana, Foz de Iguazú, 2015

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la aplicación de tres prácticas de laboratorio de Física general en los cursos de Licenciatura en Ciencias de la Naturaleza: Biología, Física y Química e Ingeniería en Energías Renovables, cursos de nivel superior de la Universidad Federal de Integración Latino-Americana – UNILA, situado en el municipio de Foz de Iguazú, estado de Paraná, Brasil. En las prácticas, que son: a) Bobina de Helmholtz b) Relación carga-masa del electrón c) Efecto Fotoeléctrico, se analiza y resalta que, aunque sus contenidos sean esencialmente los mismos, para su impartición en cada especialidad es fundamental tener en consideración los conocimientos previos del estudiante, como presupuesto básico, al mismo tiempo que no se pierdan de vista las competencias y habilidades exigidas para los citados cursos en su Plan Pedagógico del Curso (PPC). Las normas para este proceso de formación se definen en documentos de distintos niveles de especificidad, jerarquía y complejidad. En la práctica, se parte desde aspectos más específicos como los planes de aula hacia los más globales como el PPC. En puntos claves de esta estructura, el docente puede adquirir un rol muy importante durante el proceso, con una visión global de la organización de contenidos y jerarquías. Se discute, así, una didáctica aplicada al proceso educativo en la cual la función del profesor adquiere una dimensión fundamental como articulador del sistema organizacional de la educación, cuyo objetivo es la de un formador reflexivo y crítico, especialmente de su propia praxis, buscando la eficiencia del mismo. La gestión de articulador y organizador es concebida más allá de una práctica de canalización de conocimientos, desarrollando una comprensión más amplia de la pedagogía docente, de sus procesos, de la vinculación con la práctica, del desafío concreto de la congruencia y eficiencia. Para obtener respuestas de este análisis, se evaluaron los contenidos de las prácticas abordadas en las respectivas mallas curriculares obteniendo así, un esquema de matrices de los contenidos contemplados en las disciplinas que de alguna forma, permiten repensar la aplicación y organización de estas, teniendo como fundamento los presupuestos de habilidades y competencias previas, los posteriores por su finalidad a corto plazo así como, la afirmación para futuras competencias de formación. En el análisis se verificó la existencia de dificultades en las formas de organización que justifican el porqué de la necesidad de ser repensada. Se desea también que los profesores tengan la actitud de evaluar la didáctica de sus prácticas educativas, buscando por ejemplo no solo innovar físicamente los laboratorios, sino también, definir un enfoque de trabajo adaptado a las

características de cada grupo de estudiantes, colaborar para innovar la organización, trabajo en equipo, valorizar el conocimiento y especialmente, la organización del saber escolar. Se concluye el trabajo proponiendo modelos de prácticas adecuadas a estos fundamentos remarcando que la organización didáctica educacional tal vez sea uno de los caminos para construir una educación que forme profesionales de grado superior de forma eficiente y con calidad.

**Palabras - llave:** Prácticas de laboratorio, Didáctica organizacional, Pedagogía docente.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relación y orientación de los documentos .....	9
Figura 2: Unidad objetivo-contenido-método.....	12
Figura 3: Bobina de Helmholtz. ....	15
Figura 4: : Elemento de corriente que produce un elemento de campo de inducción magnética.....	16
Figura 5: Elemento de arco de una espira circular sobre su eje axial .....	18
Figura 6: Líneas de campo de inducción magnética alrededor .....	19
Figura 7: Par de espiras coaxiales .....	20
Figura 8: Líneas de campo magnético de las bobinas de Helmholtz. ....	24
Figura 9: Flujo de inducción magnética a través de un circuito cerrado C .....	25
Figura 10: Bobina de prueba .....	27
Figura 11: Corriente de electrones .....	30
Figura 12: Punta de Hall para la determinación del campo. ....	31
Figura 13: Dirección del campo de inducción magnética. ....	34
Figura 14: Sistemas de referencia.....	38
Figura 15: Trayectoria del electrón.....	39
Figura 16: Esquema del aparato .....	43
Figura 17: Corriente fotoeléctrica I en función de la diferencia de potencial V .....	44
Figura 18: Frecuencia de corte.....	45
Figura 19: Espectro electromagnético destacando longitud de onda, frecuencia y energía del fotón. ....	49

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Contenido, objetivos y método de la práctica bobinas de Helmholtz.....	15
Tabla 2: Competencias y habilidades que el estudiante necesita para una realización exitosa de la práctica de estudio del campo de inducción magnética generado por bobinas de Helmholtz.....	32
Tabla 3: Contenido, objetivos y método para la práctica determinación de la relación carga-masa del electrón.....	33
Tabla 4: Competencias en Física y Matemáticas y habilidades que el estudiante necesita para una realización exitosa de la práctica relación carga-masa del electrón .	41
Tabla 5: Contenido, objetivos y método para la práctica efecto fotoeléctrico.....	42
Tabla 6: Competencias en Física y Matemáticas y habilidades que el estudiante necesita para una realización exitosa de la práctica estudio del efecto fotoeléctrico. ....	50
Tabla 7: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 1.....	53
Tabla 8: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 2.....	54
Tabla 9: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 3.....	57
Tabla 10: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 4.....	58
Tabla 11: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 5.....	60
Tabla 12: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 6.....	61

## LISTA DE MATRICES

Matriz 1: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales.	
Práctica 1 – LCN .....	52
Matriz 2: . Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales.	
Práctica 1 - IER .....	53
Matriz 3: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales.	
Práctica 2 – LCN .....	57
Matriz 4: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales.	
Práctica 2 - IER .....	58
Matriz 5: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales.	
Práctica 3 - LCN .....	60
Matriz 6: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales.	
Práctica 3 – IER .....	61

## LISTA DE ANEXOS

Anexo I: Manual de práctica de laboratorio para la Bobina de Helmholtz – LCN

Anexo II: Manual de práctica de laboratorio para la Bobina de Helmholtz – IER

Anexo III: Manual de práctica de laboratorio para la Relación Carga-Masa del electrón – LCN

Anexo IV: Manual de práctica de laboratorio para la Relación Carga-Masa del electrón – IER

Anexo V: Manual de práctica de laboratorio para el Efecto Fotoeléctrico – LCN

Anexo VI: Manual de práctica de laboratorio para el Efecto Fotoeléctrico – IER

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>PPC</b>	Plan Pedagógico del Curso
<b>LCN</b>	Licenciatura en Ciencias de la Naturaleza
<b>IER</b>	Ingeniería de Energías Renovables

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

En la formación de profesionales correspondientes a las áreas de Ciencias e Ingenierías, la Física, ocupa un lugar muy importante. Por supuesto, la intensidad de la importancia depende de la especialidad concreta de que estemos hablando. Esta idea general es válida tanto para la enseñanza de los aspectos teóricos de las Ciencias Físicas como en el proceso de enseñanza a través de las prácticas de laboratorio, sin embargo la vida indica que se presta menos atención al trabajo didáctico sobre las prácticas de laboratorio que el que se dedica a la adecuación de los contenidos teóricos que se imparten (LÓPEZ, 2012, pág.148). Esta realidad, en numerosas oportunidades está presionada por limitaciones materiales que obligan a utilizar los mismos equipos y locales de laboratorio para atender a estudiantes de diferentes cursos, no obstante, probablemente una atención más estrecha a este problema pudiera aumentar la eficiencia del proceso de enseñanza-aprendizaje vinculado a la realización de prácticas de laboratorio de Física.

En el presente trabajo pretendemos discutir aspectos didácticos vinculados a la impartición de prácticas de laboratorio en Física. Utilizaremos como modelos del trabajo tres prácticas de laboratorio vinculadas a los siguientes aspectos: campo magnético generado por bobinas de Helmholtz (REITZ and MILFORD, 1960), determinación de la relación carga masa del electrón (THOMSOM, 1897) y efecto fotoeléctrico (EINSTEIN, 1905). Aplicaremos esos modelos y las ideas didácticas vinculadas en los cursos de Licenciatura en Ciencias de la Naturaleza e Ingeniería en Energías Renovables.

Para orientar el trabajo, nos basaremos en uno de los principales documentos sobre el cual se establece y articula un curso de graduación de nivel superior en Brasil: el Proyecto Pedagógico del Curso (PPC) (Brasil, 2006, p. 35), específicamente en los capítulos denominados perfiles de curso y de egreso, estructura curricular de las disciplinas y programas de las disciplinas (*ementas*).

En el trabajo no se pretende evaluar la eficiencia del proceso de aprendizaje de los contenidos escogidos a partir de las prácticas elaboradas, lo que requeriría de un diseño de experimento didáctico, cuestión que sale de nuestros propósitos actuales quedando como propuesta para el futuro, sino que proponemos diseños de prácticas de laboratorio que estén en la mejor correspondencia posible, desde nuestro punto de vista, con las declaraciones del PPC.

Para eso, proponemos alternativas didácticas de las prácticas adaptadas para cada curso en forma de manual de laboratorio, basados y respetando lo mejor posible a criterios de rigor en cuanto a coherencia, pertinencia, viabilidad y consistencia (HAWES, p. 7) de cada perfil declarado para el curso en su respectivo documento.

## 1.1 OBJETIVOS

El **objetivo general** es:

Analizar la coherencia de tres prácticas experimentales de Física en la adecuación de los contenidos inherentes a la formación del estudiante de los cursos de nivel superior en Licenciatura en Ciencias de la Naturaleza: Biología, Física y Química (LCN) e Ingeniería en Energías Renovables (IER) de la Universidad Federal de Integración Latino-Americana – Municipio de Foz de Iguazú, Estado de Paraná.

Los **objetivos específicos** son respectivamente:

- a) Explicitar que las formas de organización académica pueden favorecer/dificultar una educación que procura eficiencia y calidad;
- b) Exponer un enfoque de la participación docente en este esquema, un radio de acción autónomo donde pueda crear mejoras en base a documentos que el sistema educativo le brinda;

c) Discutir la importancia del rol del profesor como articulador de competencias y habilidades de forma reflexiva y crítica;

d) Indicar puntos de falencias/virtudes de la estructura curricular de los cursos correspondientes a los contenidos trabajados.

e) Proponer material con contenido adecuado didácticamente.

## 1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El trabajo está dividido en cinco (5) capítulos, siendo que el *primero* comprende la Introducción, en la cual está contextualizado el problema en cuestión, los objetivos del mismo y una breve exposición del asunto.

El *segundo capítulo* expone algunos aspectos didácticos de la práctica docente desde una perspectiva contemporánea, revisando la relación de las formas organizativas de la educación con los principios de formación institucional, desde aspectos más específicos como la dinámica entre objetivos, contenidos y métodos para un plan de aula, hasta aspectos más genéricos como la relación de estos con un perfil de egreso definido. Todavía, en este capítulo, se concentra una breve reflexión sobre el alcance de la función del profesor como mediador del proceso, una reflexión de la praxis, así como una definición de las competencias y habilidades educativas perseguidas para, finalmente, presentar una breve exposición sobre la finalidad de las prácticas de laboratorio.

En el *tercer capítulo* se presentan las fundamentaciones teóricas de las prácticas mediante un estudio minucioso de los contenidos, intentando mantener el máximo rigor posible de los conceptos Físicos y Matemáticos que les atañen.

En el *cuarto capítulo*, para los cursos de LCN e IER, se presenta una compilación y análisis de la interacción entre el conjunto de competencias y habilidades presentes en las prácticas y las disciplinas que constan en la estructura curricular del



curso según su PPC, acompañadas de una discusión de las propuestas de adecuación al planeamiento de aulas prácticas de laboratorio de Física basada en esa interacción.

Para cerrar, en el *quinto capítulo*, se hacen las consideraciones finales y se presentan las reflexiones y críticas generadas.

En el acápite de Bibliografía están reportados los documentos y trabajos que sirvieron de apoyo para la elaboración del trabajo.

Al cuerpo central del trabajo se le añaden seis anexos que son los documentos que recogen los manuales propuestos para las prácticas de laboratorio

## **CAPÍTULO II ASPECTOS DIDÁCTICOS VINCULADOS AL MONTAJE DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO.**

En este capítulo se realiza un análisis de aspectos didácticos que pudieran ser llevados en cuenta por el docente durante la planificación y montaje de aulas prácticas de laboratorio. Durante el desenvolvimiento del capítulo, se procura destacar en la función de profesor, como a un elemento de su acción, la posibilidad de realizar propuestas educativas y en ese contexto, buscar una valorización e intervención más consciente de su rol.

Pensar sobre su función en la educación, muchas veces se limita erróneamente a creer que comienza y acaba solo “yendo al frente” en el aula. De esa forma se vuelve un “activo” muy limitado en su función. La figura del profesor también podría valorarse a partir de la capacidad de desarrollar su formación en la búsqueda de una enseñanza eficiente.

### **2.1 LA DIDÁCTICA EN UNA PERSPECTIVA CONTEMPORÁNEA**

¿Cuándo acaba el trabajo del profesor? ¿Qué realmente hace parte de su trabajo? ¿Qué será lo que caracteriza a un “buen profesor”? ¿Por qué muchos no consiguen cautivar a sus alumnos? Cordeiro (2007) explora los mitos y conflictos de la relación pedagógica profesor x alumno. Según el autor, la Didáctica lleva al docente a enseñar menos y al alumno a aprender más; literalmente, que haya menos barullo en las escuelas, menos trabajo inútil. Para él, la escuela necesita ser más acogedora, atractiva y menos confusa; con más luz, orden, paz y tranquilidad.

Educar para el futuro presupone, entender la historia en el sentido de desarrollo; comprender la acción de los hombres en el sentido individual y social al mismo tiempo, con carácter de clase y reconocer el carácter objetivo-subjetivo, revolucionario, de las transformaciones sociales (LIBANEO, 2013 p. 50, traducción nuestra).

La oscilación entre una tendencia psicológica que acentúa la relevancia de la comprensión de la inteligencia humana y su construcción, y otra que se apoya en la visión sociológica de las relaciones escuela-sociedad, parece que domina el contenido de la disciplina. Esta, en consecuencia, se va a familiarizar con teorías de origen epistemológico y social, sin perder, sin embargo, su compromiso con la práctica de la enseñanza (PIMENTA, 2010). Se percibe así la asociación entre la Didáctica y la búsqueda de la eficiencia de la enseñanza.

La Didáctica, desde su origen, en el siglo XVII, es asociada a un arte. Usada en el sentido derivado de la idea también griega de *tchnes* que más se asocia a “técnica” de que al “arte”. Por tanto, el sentido de arte, en ese contexto, es más bien entendido como una técnica, una forma específica de realizar una tarea, o sea, como el saber técnico del artesano, del operario, del trabajador. Cuando Comenius (1997) habla del arte de enseñar, parece estar definiendo el lugar propio del profesor como un profesional especializado que, por medio de su aprendizaje y de su experiencia, sería capaz de dominar su profesión y de realizarlo con competencia.

De acuerdo con Azanha (2009), la definición de la didáctica no es un consenso entre los estudiosos, siendo que muchos de ellos la imaginan como simple variedad del saber psicológico, sociológico o político. Para ese autor, la Didáctica, desde su origen, estuvo orientada por el propósito de tornar eficiente la enseñanza en términos de aprendizaje.

La didáctica propone una ética y una ascética para los docentes, interpela a los aprendices del trabajo docente con discursos y ejercicios, una condición indispensable a quien se propone a cuidar y educar a los otros (AZANHA, 2009).

No queda duda, además, que la eficiencia y la eficacia de la enseñanza mantienen una íntima relación con la organización didáctica de los contenidos enseñados (visto no solo como conceptos, sino también como habilidades, metodologías, aptitudes, y actitudes), bien como con las técnicas empleadas en su transmisión colaborando así para la causa inicial.

Así, teniendo por base concepciones pedagógicas, características de aprendizaje y de desenvolvimiento de los alumnos y el contexto en que debe actuar el educador, cabe a la Didáctica estimular a los futuros profesores a reflexionar y discutir acerca de cuestiones relativas a "que y como enseñar".

Pimenta (2010) afirma que en el área pedagógica, la didáctica tiene en la enseñanza su objeto de investigación. Considerarlo como una práctica en situaciones históricamente definidas, significa examinarlo en los contextos sociales en los cuales se hace efectivo en las aulas y demás espacios de enseñanza de las diferentes áreas del conocimiento, en las escuelas, en las culturas, en las sociedades, estableciéndose un enlace entre ellos. Las nuevas posibilidades de la didáctica están emergiendo de las investigaciones sobre la enseñanza como práctica social viva.

Tener didáctica es saber enseñar y muchos profesores saben la materia, mas no saben enseñar. Esa percepción trae en si una contradicción importante. De un lado, revela que los alumnos (*de docencia*) esperan que la Didáctica les ofrezca las técnicas a ser aplicadas en toda y cualquier situación para que la enseñanza funcione. De otro lado, revela que, de cierta manera, hay un reconocimiento de que, para saber enseñar, no bastan la experiencia y los conocimientos específicos, pero si se hacen necesarios los saberes pedagógicos (PIMENTA, 2010, p. 82, traducción nuestra).

A pesar de lo indicado, la preparación pedagógica y didáctica del profesor universitario en los países latinoamericanos es, en general, aún bastante precaria. Una buena parte de los profesores que enseñan en establecimientos de enseñanza superior en Latinoamérica no pasó un proceso sistemático de formación didáctico-pedagógica, limita su conocimiento didáctico al que vio como alumno, en sus profesores, y al que adquirió luego con la práctica académica a lo largo de los años de ejercicio, siguiendo un criterio intuitivo de acierto y error. Adicionalmente el incremento de centros de enseñanza superior, con el advenimiento de políticas públicas inclusivas, ha llevado a las aulas universitarias un gran conjunto de profesores recién graduados, con buena formación científica, pero sin formación didáctica-pedagógica. En muchos casos estos profesores se insertan en las estructuras de dirección académica y llevan a

las mismas estos problemas de falta de conocimiento didáctico que entonces se amplifican al no tener posibilidad de conseguir formas organizativas de la docencia que permitan el mejoramiento del trabajo didáctico.

Enseñar y aprender exige hoy mucha más flexibilidad, mayor espacio, convivencia personal y grupal, tal vez menos contenidos fijos y procesos más abiertos de pesquisa y de comunicación. Una de las dificultades actuales es conciliar la extensión de la información, la variedad de las fuentes de acceso, pues a cada día aumentan y surgen nuevos conocimientos, profundizando aún más la comprensión de aprender que resulta del aumento de la información disponible y la dificultad para escoger cuales de ellas son *significativas* al individuo.

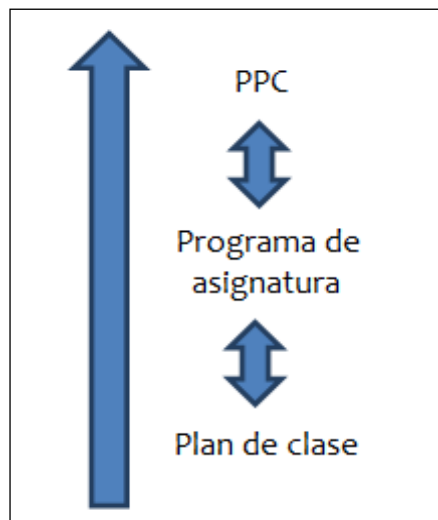
En la dialéctica del proceso pedagógico, la relación contenido/método es uno de entre los múltiples elementos que se implican y se determinan mutuamente. La superación de la dicotomía contenido versus método exige la comprensión de esa dinámica y la capacidad de cómo se expresa su unidad en un objetivo.

## 2.2 DIDÁCTICA Y ORGANIZACIÓN

Dentro de la estructura de un centro de educación, todos los documentos académicos relacionados a un determinado curso, desde los formularios de matrícula hasta el Plan Político Institucional (PPI) tienen interrelaciones, aunque de forma implícita, tienen una línea a seguir para la formación de un sujeto.

En el caso de nuestro interés, establecemos una relación de documentos de organización educativa en tres niveles (ver Figura 1) que van desde la concepción y planificación de una clase (*plan de clase*), basada en el programa de la asignatura y la coherencia de estos con el Plan Pedagógico del Curso (PPC), documento donde se establece la línea de formación del estudiante y nos sirve como elemento guía para la orientación de los demás documentos del curso.

En el PPC aparecen de manera clara las interdependencias existentes entre conocimientos a pasar, objetivos de los mismos y de alguna manera, las metodologías y medios de enseñanza a utilizar.



**Figura 1: Relación y orientación de los documentos. Fuente: El autor.**

Es innegable que uno de los actores más importantes en la dinámica educativa es el docente. El mismo, debería evitar “caer” en una práctica tecnicista; necesita abordar su desempeño cotidiano de forma reflexiva, consciente y crítica. Eso es observar y situarse en los proyectos, en los problemas reales que le plantea la tarea educativa. Dicho de otra forma, el docente debe estar interesado en el mejoramiento, tanto de su práctica educativa como del programa y la institución al que pertenece. Para esa intención se necesita organizar adecuadamente los conjuntos de saberes.

En ese contexto, un modelo pedagógico constituye un punto de referencia importante para la acción educativa del profesor ya que establece un vínculo organizacional entre él, el conocimiento y el estudiante, relación intrínseca de la educación (LIBÂNEO, 2001, p. 7). Permite escoger un referencial desde el cual abordar la selección, preparación y tratamiento de los contenidos. Lleva a cuestionarse asuntos como: ¿Qué tipo de alumno se desea formar? ¿Qué objetivos se desea alcanzar? ¿Cuál es el tipo de actividades y contenidos que nos permitirán eso? ¿En qué

momento, con qué medios y bajo que normas se propiciarán las actividades? Se espera que todos estos planteamientos simplifiquen el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Ausubel<sup>1</sup> (RIVAS, 2008, p. 82) por ejemplo, en su teoría cognitiva de la asimilación, dirige sus fundamentos y métodos del conocimiento científico (epistémico) sobre las estructuras cognitivas del estudiante. Defiende el desarrollo de etapas sucesivas en forma progresiva, procurando una capacidad de operar conceptos a niveles más complejos en conexión recíproca con el aprendizaje. Toma el aprendizaje como un proceso mental de vinculación del conocimiento nuevo al previo (aprendizaje significativo). Para él, la función del docente es facilitar y estimular ese desarrollo creando *condiciones y actividades* para ello.

Partiendo de la importancia que hace recaer la pedagogía sobre conocer lo que el alumno sabe previamente, Libâneo afirma que:

Ninguna enseñanza puede ser eficaz si no se analiza a partir de la condición previa del alumno para asimilar nuevos conocimientos; por tanto, es indispensable conocer los conocimientos previos del mismo de tal forma que ocurra la unión de objetivo-contenido durante el acto didáctico propuesto. (LIBANEO, 2010, p. 24, traducción nuestra).

Que el estudiante aprenda un conocimiento es lo que se busca en el proceso de enseñanza. Adquirir y asimilar definen conjuntamente el significado de ese proceso y para ello es indispensable tener en cuenta lo que el alumno ya sabe sobre aquello que se quiere enseñar. Desde este punto de vista se vuelve importante y necesario para la acción docente tener a mano de forma clara el punto de partida y hacia dónde se dirige, una especie de puentes cognitivos a partir de los cuales se puedan establecer relaciones significativas con los nuevos contenidos y gradualmente, producir variaciones en las estructuras conceptuales del alumno mediante dos procesos que según Ausubel, son claves:

---

<sup>1</sup> David P. Ausubel: psicólogo y pedagogo estadounidense que aportó significativamente al constructivismo con su teoría mediante un modelo de enseñanza por exposición para promover el aprendizaje significativo en lugar del aprendizaje memorístico.

- i. **Diferenciación progresiva:** donde se espera que a lo largo del proceso los conceptos vayan ampliando su significado así como su ámbito de aplicación.
- ii. **Reconciliación integradora:** se espera establecer progresivamente nuevas relaciones entre los conceptos.

Queda claro la importancia de saber lo que se sabe previamente para luego orientar hacia nuevas afirmaciones eficientemente; entiéndase como una forma de no empobrecer la formación ni de recargar con asuntos innecesarios.

También como una de las condiciones fundamentales y necesarias para un proceso de enseñanza podríamos remarcar la siguiente:

**Sistematización:** en ella se propone que los materiales de enseñanza estén estructurados lógicamente con una jerarquía conceptual, situando en la cima los más generales, inclusivos y poco diferenciados, para luego abrirse en sentido hacia los más específicos.

Libâneo destaca ese aspecto como:

Una exposición y una ordenación de los conocimientos que tengan una clara definición de los objetivos, secuencia lógica conforme a las series a que se destina (LIBÂNEO, 2002, p. 128, traducción nuestra).

La dirección de un proceso, como lo es el de la enseñanza-aprendizaje, debe partir de una metodología secuencial, por etapas y momentos organizados a través de las cuales pueda discurrir fluidamente hacia su objetivo. Es nuestra intención que todas estas ideas nos brinden la posibilidad de basar sobre ellas lo que queremos tratar.

### **2.2.1 Estructura de la unidad de enseñanza.**

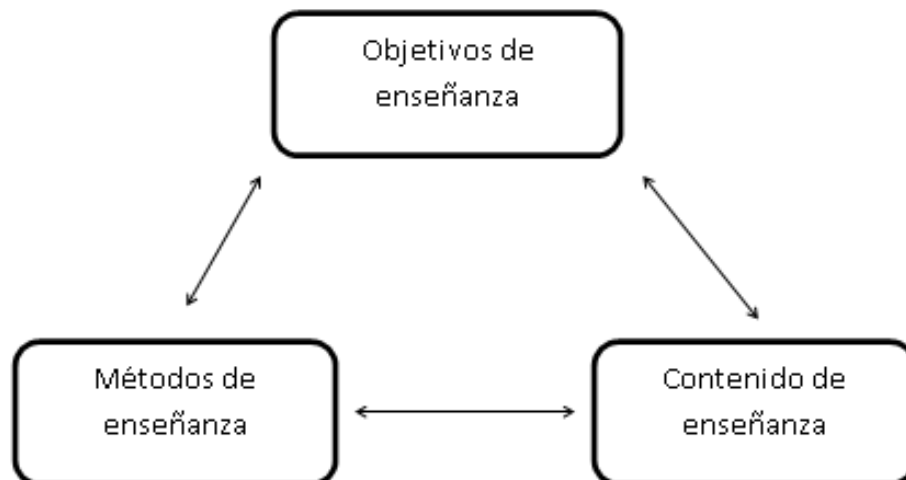
Claro está que un método de enseñanza debe estar en correspondencia con el contenido y objetivo de enseñanza, incluso a las formas de



organización en ese espacio y a las condiciones específicas de la situación didáctica (LIBANEO, 2010, p. 167)

Si se analiza esta idea en la estructura de una unidad organizacional educativa, vemos que el método de enseñanza depende inicialmente de los objetivos inmediatos, como la introducción de nuevos tópicos, conceptos, desarrollo de habilidades, consolidación de conocimientos, etc. pero también depende de los objetivos finales de la formación profesional que, como ya dijimos, están previstos en el PPC.

Al surgir el método, se crea la relación entre el objetivo-contenido-método, y esto es clave a nuestro entender en el proceso de enseñanza. Esquemáticamente esta relación podríamos verlo como una organización que se retroactiva:



**Figura 2: Unidad objetivo-contenido-método. Fuente: El autor.**

Queda claro que esta relación tiene como característica la interdependencia mutua. Los objetivos y contenidos en esa relación indisoluble, son los que dan vida al método pero este, como fue presentada de forma retroactiva, también puede influir en los objetivos y contenidos (LIBANEO, 2010, p. 169).

Aquí es importante hacer alusión al siguiente comentario de Libâneo:

El contenido enseñado no es una materia en sí, sino una materia de enseñanza pensada y preparada *pedagógica y didácticamente* para ser absorbida por los alumnos. No basta con llevar en cuenta las condiciones previas del alumno. Debemos considerar que la materia de enseñanza es determinada por un conjunto de aspectos políticos-pedagógicos, lógicos y psicológicos. (LIBÂNEO, 2010, p. 169, traducción nuestra).

que indica la necesaria consideración de las condiciones reales donde se enseña además de la relación de subordinación de los métodos a los objetivos generales y específicos.

## 2.3 DIDÁCTICA APLICADA A PRÁCTICAS DE LABORATORIO

De forma breve, se intentará, definir algunos aspectos relacionados a la didáctica aplicada a prácticas de laboratorio.

### **2.3.1 ¿Qué persigue desde el punto de vista didáctico, de manera general, la realización de prácticas de laboratorio de Física?**

En (BAROLLI, LABURÚ, GURIDI, 2010), son presentados varios puntos de vistas de la finalidad didáctica del laboratorio de ciencias. Los autores indican diferentes concepciones sobre el objetivo de las prácticas de laboratorio y tal parece que el asunto es y será una cuestión polémica y de difícil consenso. Algunos puntos de vistas indicados son: como un medio para explorar la relación entre Física y realidad; para el desarrollo de conceptos y habilidades experimentales; como ambiente para problematizar diferentes dominios de conocimiento; lugar privilegiado para trabajo en equipo; como estrategia motivadora para la enseñanza de la ciencias; como ambiente cognitivo fértil para aprender ciencias, etc.

Lo que respecta al interés del trabajo, queda claro que el “espacio” para la realización de prácticas experimentales se presenta como uno con múltiples

posibilidades de momentos didácticos, evidenciadas con las diferentes apreciaciones que fueron indicadas.

## 2.4 ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS Y HABILIDADES DURANTE LA FORMACIÓN

### 2.4.1 ¿Qué implican las competencias y habilidades en la formación del estudiante?

La educación de un sujeto, sea dentro de la escuela o de su casa, se revela como un elemento clave que proporciona valores y actitudes sociales, así como experiencias constructivas que en un futuro le permita beneficiarse de oportunidades que favorezca activamente para él, la creación de nuevos espacios de vida social. En ese contexto, aparecen usualmente demandas de conjuntos de habilidades y competencias que se ajustan al conocimiento adquirido durante su educación.

Pero en fin, ¿cómo se entienden estas habilidades y competencias? En un artículo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) analizando las competencias y habilidades del siglo XXI, aparece la siguiente definición:

Se define habilidad como la capacidad de realizar tareas y solucionar problemas, mientras que una competencia es la capacidad de aplicar los resultados del aprendizaje en un determinado contexto (educación, trabajo, desarrollo personal o profesional). Una competencia no está limitada a elementos cognitivos (uso de la teoría, conceptos o conocimiento implícito), además abarca aspectos funcionales (habilidades técnicas), atributos interpersonales (habilidades sociales u organizativas) y valores éticos (OCDE, 2010, p. 7)

Es evidente que una competencia es un concepto más amplio e inclusivo pudiendo componerse de habilidades, actitudes, conocimientos, etc. Además es claro en cuanto a su importancia para la proyección de formación del individuo.

## CAPÍTULO III FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LAS PRÁCTICAS

### 3.1 BOBINAS DE HELMHOLTZ

La primera práctica a discutir es el estudio del campo generado por la instalación denominada bobinas de Helmholtz. En la Tabla 1 se indican el contenido, los objetivos y el método a seguir en la práctica.

Práctica	Contenido	Objetivos	Método
Bobinas de Helmholtz(1)	Campo magnético e Inducción magnética.	En la práctica se estudiará: la región de uniformidad del campo magnético creado por las bobinas; la inducción magnética en una bobina de prueba y se realizará el cálculo de la f.e.m. inducida por la variación del flujo magnético.	Práctica de laboratorio utilizando bobinas de Helmholtz junto a bobinas de prueba. Sensor de campo magnético.

Tabla 1: Contenido, objetivos y método de la práctica bobinas de Helmholtz

Las bobinas de Helmholtz (REITZ and MILFORD, 1960) resultan ser un instrumento utilizado en las investigaciones experimentales de física que se caracteriza por un arreglo de espiras, colocadas de manera tal, que garantizan una región de campo magnético constante entre ellas.



Figura 3: Bobina de Helmholtz. Fuente: PHYWE Systeme GMBH. Operating instructions. Gottingen Narrow-beam tube Pair of Helmholtz coils, Robert-Bosch-Breit 10. D-37079. 4 p.

La presente práctica de laboratorio tiene el objetivo de estudiar los principios de su funcionamiento y la verificación experimental de la región de campo magnético uniforme.

### 3.1.1 Fundamentos teóricos de la práctica

En 1819 Øersted observó que cuando circulaba corriente eléctrica por unos cables aparecían fuerzas sobre pequeños imanes permanentes colocados en las cercanías (ØERSTED, 1819). La acción de los imanes permanentes sobre otros imanes y sustancias ferromagnéticas se conocía desde la antigüedad y, por tanto, se desprendía del experimento una vinculación de la corriente con los fenómenos magnéticos. Esta vinculación se reforzó al observar Ampère en 1820 efectos similares entre dos cables con corriente (AMPÈRE, 1820). En ese mismo año Biot y Savart enunciaron la ley de fuerza para la interacción del elemento de corriente con el dipolo magnético del imán permanente (BIOT, SAVART, 1820), ley que fue perfeccionada por Laplace poco después al indicar que la intensidad de la interacción caía con el inverso del cuadrado de la distancia que separaba al elemento de corriente del dipolo magnético. Por su parte Ampère realizó un conjunto de experimentos con corrientes que le permitieron establecer la ley dinámica de interacción entre ellas (AMPÈRE, 1825, 1826). Esta ley quedó establecida definitivamente en el 1826 (AMPÈRE, 1826).

La descripción matemática de esa interacción fue establecida en el 1844 por H. G. Grassman (GRASSMAN, 1844).

En una versión contemporánea de la ley de Biot - Savart (BIOT, SAVART, 1820) pudiéramos

escribir la relación entre el elemento del vector de inducción magnética  $d\vec{B}$  en el punto  $\vec{r}$  del espacio y el elemento de corriente que lo provoca de la siguiente manera.

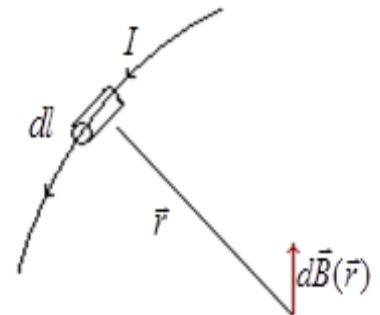


Figura 4: Elemento de corriente que produce un elemento de campo de inducción magnética. Fuente: JACKSON, John David. Classical Electrodynamics, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

$$d\vec{B} = kI \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{|\vec{r}|^3} \quad (\text{III.1.1})$$

donde la constante  $k$  depende del sistema de unidades que se emplee,  $I$  es la corriente en el circuito y  $d\vec{l}$  es el elemento de arco sobre el circuito. En el sistema Gaussiano,  $k = \frac{1}{c}$  donde  $c$  es la velocidad de la luz, en el sistema internacional de unidades  $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$  donde  $\mu_0$  es la constante de permeabilidad magnética del vacío. Entonces el campo de inducción magnética generado en el punto  $\vec{r}$  por un circuito  $C$  con corriente vendría dado por la suma de las contribuciones de todos los elementos de corriente del circuito, lo que equivale a una integral de línea (JACKSON, 2001)

$$\vec{B}(\vec{r}_1) = \frac{1}{c} \oint_{C_2} \frac{I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|^3} = \frac{1}{c} \iiint_V \frac{\vec{J}(\vec{r}') \times (\vec{r}_1 - \vec{r}')}{|\vec{r}_1 - \vec{r}'|^3} dV' \quad (\text{III.1.2})$$

donde  $I$  es la corriente en el circuito y  $\vec{J}(\vec{r}')$  es la densidad de corriente en el punto  $\vec{r}'$  (equivalente a la corriente cuando es colocado un cable conductor) que generan un campo de inducción magnética  $\vec{B}(\vec{r})$  en el espacio que rodea la región en donde se encuentra el sistema de corrientes o de densidad de corrientes.

Por otra parte la ley de Ampère se escribe modernamente como

$$\iint_{\Sigma} [\nabla \times \vec{B}(\vec{r})] d\vec{S} = \oint_C \vec{B}(\vec{r}) \cdot d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} \iint_{\Sigma} \vec{J}(\vec{r}) \cdot d\vec{S} = \frac{4\pi}{c} I \quad (\text{III.1.3})$$

Las dos leyes mencionadas permiten, en principio, calcular el campo magnético generado pero, mientras la ley de Biot-Savart puede aplicarse a cualquier distribución de corrientes o densidades de corriente para calcular el campo de inducción magnética de manera directa, la ley de Ampère permite realizar eso de manera indirecta, siempre que se tengan situaciones con simetría pues, en verdad, ella calcula

la circulación del campo de inducción magnética, es decir, la integral de línea del campo de inducción magnética a lo largo de un circuito de integración.

Las bobinas de Helmholtz son dos bobinas con  $n$  espiras de metal, por donde circula corriente, colocadas una frente a la otra (ver Figura 3). Para calcular el campo de inducción magnética generada por este arreglo podemos utilizar la ley de Biot-Savart para calcular el campo generado por una espira de corriente y luego aplicar el principio de superposición para sumar los campos provocados por el conjunto de espiras. Calculemos el campo de inducción magnética generado por una espira de radio  $a$ .

El cálculo del campo de inducción magnético en cualquier punto del espacio es complicado y requiere el conocimiento de las llamadas integrales elípticas. Haremos el cálculo para puntos sobre el eje de simetría de la espira aplicando la ley de Biot-Savart. Ya vimos que la ley de Biot-Savart tiene la forma

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{I}{c} \oint d\vec{l} \times \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

Considerando la Figura 5, el elemento de arco indicado en la integral anterior tomaría la forma

$$d\vec{l} = -dl \sin\theta \hat{i} + dl \cos\theta \hat{j}$$

y el denominador en el integrando

$$\begin{aligned} \vec{r} - \vec{r}' &= -a \cos\theta \hat{i} - a \sin\theta \hat{j} + z \hat{k} \\ |\vec{r} - \vec{r}'| &= \sqrt{a^2 + z^2}, \end{aligned}$$

sustituyendo las expresiones anteriores en la ley de Biot-Savart llegamos a:

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{I}{c} \int_0^{2\pi} \frac{ad\theta(-\sin\theta \hat{i} + \cos\theta \hat{j}) \times (z\hat{k} - a\cos\theta \hat{i} - a\sin\theta \hat{j})}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \quad (\text{III.1.4})$$

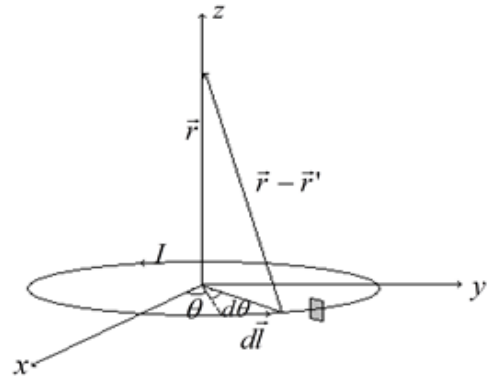


Figura 5: Elemento de arco de una espira circular sobre su eje axial. Fuente: El autor

y efectuando el producto vectorial incluido en la integral tendríamos:

$$\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -a\cos\theta & -a\sin\theta & z \end{vmatrix} = \hat{i}z\cos\theta + (a\sin^2\theta + a\cos^2\theta)\hat{k} + z\sin\theta\hat{j} = z\cos\theta\hat{i} + a\hat{k} + z\sin\theta\hat{j}$$

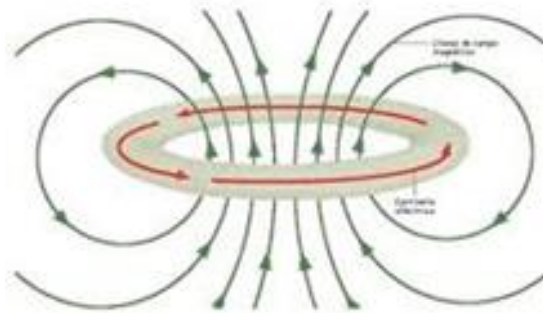
de modo que para la integral (III.1.4) se obtiene

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{I}{c} \frac{a}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \left\{ \int_0^{2\pi} z\cos\theta d\theta \hat{i} + \int_0^{2\pi} z\sin\theta d\theta \hat{j} + \int_0^{2\pi} a d\theta \hat{k} \right\} \quad (\text{III.1.5})$$

En (III.1.5) las dos primeras integrales son cero, luego:

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{I}{c} \frac{2\pi a^2}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \hat{k} \quad (\text{III.1.6})$$

Este sería el valor del campo de inducción magnético para cualquier valor de la coordenada  $z$  a lo largo del eje de simetría de la espira considerando el sentido de la corriente indicado en la Figura 5. Un diagrama para las líneas de fuerza del campo de inducción magnético producido se incluye en la Figura 6.



**Figura 6: Líneas de campo de inducción magnética alrededor.** Fuente: <http://blog.espol.edu.ec/josmvala/category/energias-renovables/page/32/>

Calculemos ahora el campo de inducción magnética para dos espiras coaxiales, colocadas de manera que sus centros estén separados la distancia  $2b$ , como las indicadas en la Figura 7. Para la espira inferior el campo será:

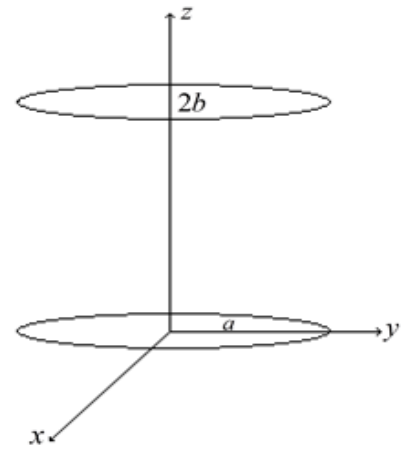


$$\vec{B}_1(z) = \frac{I}{c} \frac{2\pi a^2}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \hat{k} \quad (\text{III.1.7})$$

Para la espira superior será igual pero desplazada la  $z$  en  $2b$ , es decir  $z' = z - 2b$ , luego:

$$\vec{B}_2(z) = \frac{I}{c} \frac{2\pi a^2}{[a^2 + (z - 2b)^2]^{3/2}} \hat{k} \quad (\text{III.1.8})$$

Como cada bobina tiene  $N$  vueltas se superponen los campos generados por cada una de ellas, luego obtenemos que  $\vec{B}_T = N(\vec{B}_1 + \vec{B}_2)$  (despreciando el espesor de cada vuelta):



**Figura 7: Par de espiras coaxiales.**  
**Fuente: El autor**

$$\vec{B}_T(z) = \frac{NI}{c} 2\pi a^2 \left\{ \frac{1}{[a^2 + z^2]^{3/2}} + \frac{1}{[a^2 + (z - 2b)^2]^{3/2}} \right\} \hat{k} \quad (\text{III.1.9})$$

Estas bobinas se utilizan para obtener pequeñas regiones con campos magnéticos uniformes y para eso se separan a distancias convenientes. ¿Cómo encontrar estas distancias? (REITZ and MILFORD, 1960)

$$\frac{dB_z}{dz} = 2\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ -\frac{3}{2} (a^2 + z^2)^{-5/2} (2z) - \frac{3}{2} [a^2 + (z - 2b)^2]^{-5/2} [2(z - 2b)] \right\}$$

$$\frac{dB_z}{dz} = 2\pi a^2 \frac{NI}{c} (-3) \left\{ \frac{z}{(a^2 + z^2)^{5/2}} + \frac{(z - 2b)}{[a^2 + (z - 2b)^2]^{5/2}} \right\},$$

donde para  $z = b \Rightarrow \frac{dB_z}{dz} = 0$ .

Encontremos entonces la segunda derivada

$$\frac{d^2 B_z}{dz^2} = -6\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ \frac{1}{(a^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{5z^2}{(a^2 + z^2)^{5/2}} + \frac{1}{[a^2 + (z-2b)^2]^{3/2}} - \frac{5(z-2b)^2}{[a^2 + (z-2b)^2]^{5/2}} \right\}$$

Para  $z=b$ :

$$\left. \frac{d^2 B_z}{dz^2} \right|_{z=b} = -6\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ \frac{1}{(a^2 + b^2)^{3/2}} - \frac{5b^2}{(a^2 + b^2)^{5/2}} + \frac{1}{[a^2 + b^2]^{3/2}} - \frac{5b^2}{[a^2 + b^2]^{5/2}} \right\}$$

$$\left. \frac{d^2 B_z}{dz^2} \right|_{z=b} = -12\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ \frac{1}{(a^2 + b^2)^{3/2}} - \frac{5b^2}{(a^2 + b^2)^{5/2}} \right\}$$

$$\left. \frac{d^2 B_z}{dz^2} \right|_{z=b} = -12\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ \frac{a^2 + b^2 - 5b^2}{(a^2 + b^2)^{5/2}} \right\}$$

$$\left. \frac{d^2 B_z}{dz^2} \right|_{z=b} = -12\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ \frac{a^2 - 4b^2}{(a^2 + b^2)^{5/2}} \right\}$$

y esta derivada se anula sí  $a^2 - 4b^2 = 0 \Rightarrow 2b = a$ , es decir, cuando la separación entre las bobinas sea igual al radio de una de ellas, se anulan la primera y segunda derivadas. Para esta separación entre las bobinas se obtiene un valor de campo magnético en el punto medio entre ellas igual a:

$$\vec{B}_T \left( z = \frac{a}{2} \right) = \frac{NI}{c} 2\pi a^2 \left\{ \frac{1}{\left[ a^2 + \frac{a^2}{4} \right]^{3/2}} + \frac{1}{\left[ a^2 + \frac{a^2}{4} \right]^{3/2}} \right\} \hat{k}$$

$$\vec{B}_T \left( z = \frac{a}{2} \right) = \frac{NI}{c} 2\pi a^2 \frac{16}{(5a^2)^{3/2}} \hat{k}$$

$$\vec{B}_T\left(z = \frac{a}{2}\right) = 4\pi \frac{8}{5^{3/2}} \frac{NI}{c} \frac{1}{a} \hat{k}. \quad (\text{III.1.10})$$

Este valor del campo es relativamente constante en la región próxima al punto medio de separación. En efecto desarrollando la componente  $z$  del campo en

serie en el entorno de  $z = \frac{a}{2}$  obtenemos:

$$B_z(z) = B_z\left(\frac{a}{2}\right) + \left.\frac{\partial B_z}{\partial z}\right|_{z=\frac{a}{2}} \left(z - \frac{a}{2}\right) + \frac{1}{2!} \left.\frac{\partial^2 B_z}{\partial z^2}\right|_{z=\frac{a}{2}} \left(z - \frac{a}{2}\right)^2 + \frac{1}{3!} \left.\frac{\partial^3 B_z}{\partial z^3}\right|_{z=\frac{a}{2}} \left(z - \frac{a}{2}\right)^3 + \\ + \frac{1}{4!} \left.\frac{\partial^4 B_z}{\partial z^4}\right|_{z=\frac{a}{2}} \left(z - \frac{a}{2}\right)^4 + \dots$$

pero tanto la primera como la segunda derivada en  $z = \frac{a}{2}$  se anulan y puede demostrarse que la tercera también se anula. Comprobemos esta afirmación. Para esto derivemos nuevamente a la expresión para la segunda derivada:

$$\frac{d^3 B_z}{dz^3} = -6\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ -\frac{5z}{(a^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{10z}{(a^2 + z^2)^{3/2}} + \frac{35z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{5(z-2b)}{[a^2 + (z-2b)^2]^{3/2}} - \frac{10(z-2b)}{[a^2 + (z-2b)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. + \frac{35(z-2b)^3}{[a^2 + (z-2b)^2]^{3/2}} \right\}$$

$$\frac{d^3 B_z}{dz^3} = -6\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ -\frac{15z}{(a^2 + z^2)^{3/2}} + \frac{35z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}} - \frac{15(z-2b)}{[a^2 + (z-2b)^2]^{3/2}} + \frac{35(z-2b)^3}{[a^2 + (z-2b)^2]^{3/2}} \right\}$$

Para  $z = b$ :

$$\left.\frac{d^3 B_z}{dz^3}\right|_{z=b} = -6\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ -\frac{15z}{(a^2 + b^2)^{3/2}} + \frac{35b^3}{(a^2 + b^2)^{3/2}} + \frac{15b}{[a^2 + b^2]^{3/2}} - \frac{35b^3}{[a^2 + b^2]^{3/2}} \right\} = 0$$

Ya que las tres primeras derivadas se anulan para  $z=b$  y  $b = \frac{a}{2}$  podemos llevar el desarrollo en serie de potencias hasta el término de cuarto orden. Para eso precisamos encontrar la cuarta derivada.

$$\begin{aligned} \frac{d^4 B_z}{dz^4} &= -6\pi a^2 \frac{NI}{c} \left\{ -\frac{15}{(a^2 + z^2)^{3/2}} + \frac{210z^2}{(a^2 + z^2)^{5/2}} - \frac{315z^4}{(a^2 + z^2)^{7/2}} - \frac{15}{[a^2 + (z-2b)^2]^{3/2}} \right. \\ &+ \left. \frac{105(z-2b)^2}{[a^2 + (z-2b)^2]^{5/2}} + \frac{105(z-2b)^2}{[a^2 + (z-2b)^2]^{5/2}} - \frac{315(z-2b)^4}{[a^2 + (z-2b)^2]^{7/2}} \right\} \\ \frac{d^4 B_z}{dz^4} \Big|_{z=b} &= -6\pi a^2 \frac{NI}{c} 2 \left\{ -\frac{15}{(a^2 + b^2)^{3/2}} + \frac{210b^2}{(a^2 + b^2)^{5/2}} - \frac{315b^4}{(a^2 + b^2)^{7/2}} \right\} \end{aligned}$$

y evaluando la expresión anterior para  $b = \frac{a}{2}$  obtenemos

$$\begin{aligned} \frac{d^4 B_z}{dz^4} \Big|_{z=b; b=\frac{a}{2}} &= -6\pi a^2 \frac{NI}{c} 2 \left\{ -\frac{15}{\left(a^2 + \frac{a^2}{4}\right)^{3/2}} + \frac{210\frac{a^2}{4}}{\left(a^2 + \frac{a^2}{4}\right)^{5/2}} - \frac{315\frac{a^4}{16}}{\left(a^2 + \frac{a^2}{4}\right)^{7/2}} \right\} \\ \frac{1}{4!} \frac{d^4 B_z}{dz^4} \Big|_{z=b; b=\frac{a}{2}} &= -\frac{1}{4!} 6\pi a^2 \frac{NI}{c} 2 \frac{8(1152)}{5^{3/2} a^7} = -4\pi \frac{8}{5^{3/2}} \frac{NI}{c} \frac{1144}{a} \frac{1}{125 a^4} \end{aligned}$$

de modo que substituyendo todas las derivadas hasta la cuarta en el desarrollo en serie de potencias, y sacando el factor común correspondiente, obtenemos

$$B_z(z) = B_z\left(\frac{a}{2}\right) \left\{ 1 - \frac{144}{125} \frac{1}{a^4} \left(z - \frac{a}{2}\right)^4 \right\}, \quad (\text{III.1.11})$$

$$\text{Si } \left| z - \frac{a}{2} \right| < \frac{a}{10} \Rightarrow \frac{1}{a} \left| z - \frac{a}{2} \right| < 10^{-1} \Rightarrow \frac{1}{a^4} \left| z - \frac{a}{2} \right|^4 < 10^{-4}$$

En este caso  $B_z(z) \approx B_z\left(\frac{a}{2}\right)$ , lo que ocurre para:

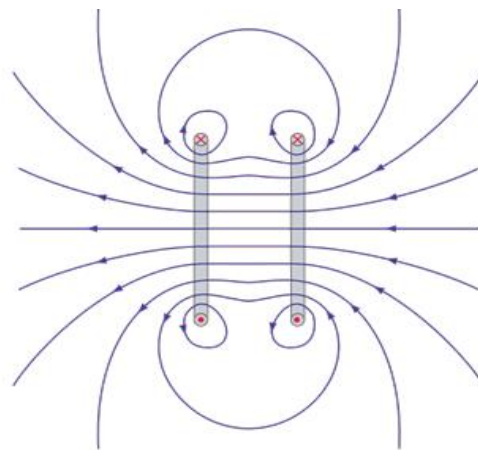
$$\left|z - \frac{a}{2}\right| < \frac{a}{10} \Rightarrow \frac{2}{5}a < z < \frac{3}{5}a.$$

Suponiendo para  $a = 20\text{cm}$ , entonces:

$$8 < z(\text{cm}) < 12.$$

Si la corriente que pasa por las bobinas es continua el campo de inducción magnética producida será constante en el tiempo y uniforme en el espacio, dentro de la región determinada aquí, por otra parte, si la corriente varía en el tiempo el campo de inducción magnética se mantendrá siendo uniforme dentro de la región señalada pero cambiará en el tiempo, aunque de la misma manera en todos los puntos para mantener la homogeneidad en el espacio.

El análisis realizado resulta válido para las bobinas de Helmholtz de la práctica que se pueden ver en la Figura 3. Una representación de las líneas de fuerzas del campo de inducción magnética provocado por las bobinas de Helmholtz se muestra en la Figura 8.



**Figura 8: Líneas de campo magnético de las bobinas de Helmholtz.**  
Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/helmholtz.html>

Esta característica de las bobinas de Helmholtz de producir una región de campo magnético con valores de campo de inducción magnético aproximadamente uniformes permite su utilización en experimentos físicos. Resulta, por tanto, interesante corroborar experimentalmente esta característica del campo magnético producido. Ese será uno de los objetivos de la actual práctica de laboratorio: estudiar el campo de inducción magnético generado entre las bobinas de Helmholtz (mapeamiento). También utilizaremos el diseño experimental para caracterizar a bobinas exploratorias.

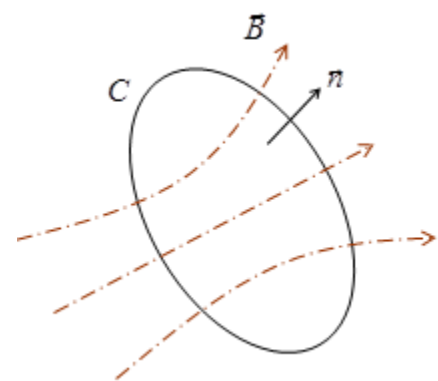
### 3.1.2 El fenómeno de la inducción de Faraday y su utilización en la práctica.

Para estudiar el campo de inducción magnética creado por las bobinas de Helmholtz utilizaremos el fenómeno denominado de inducción de Faraday. En experimentos realizados en 1831, Faraday (1839) observó la aparición de una fuerza electromotriz (manifestada en una corriente) en un circuito conductor cerrado  $C$  (Figura 9) colocado en una región del espacio donde existía un campo de inducción magnética variable en el tiempo. La interpretación de estos resultados experimentales llevó a relacionar la fuerza electromotriz (*f.e.m.*), en el circuito cerrado, con el flujo del campo de inducción magnética existente en la superficie limitada por dicho circuito. Llevemos a un lenguaje matemático estas ideas expresadas.

Llamemos  $\Sigma$  a la superficie limitada por el circuito cerrado  $C$  y sea  $\vec{n}$  el vector unitario normal a dicha superficie, entonces el flujo del campo de inducción magnética por esa superficie sería:

$$\phi = \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} dS \quad (\text{III.1.12})$$

y la fuerza electromotriz que aparece en este circuito  $C$  vendría dada por:



**Figura 9: Flujo de inducción magnética a través de un circuito cerrado  $C$ .** Fuente: JACKSON, John David. *Classical Electrodynamics*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

$$\varepsilon = \oint_C \vec{E}' \cdot d\vec{l} \quad (\text{III.1.13})$$

donde  $\vec{E}'$  es el campo eléctrico inducido. La observación experimental indicada por Faraday puede ser expresada como (en c.g.s.):

$$\varepsilon = -\frac{1}{c} \frac{d\phi}{dt}, \quad (\text{III.1.14})$$

donde el signo menos refleja la llamada ley de Lenz, según la cual, la inducción actúa en el sentido de disminuir la causa que la provoca.

Combinando las expresiones (III.1.12)- (III.1.13) y (III.1.14) podemos obtener:

$$\oint_C \vec{E}' \cdot d\vec{l} = -\frac{1}{c} \frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} dS, \quad (\text{III.1.15})$$

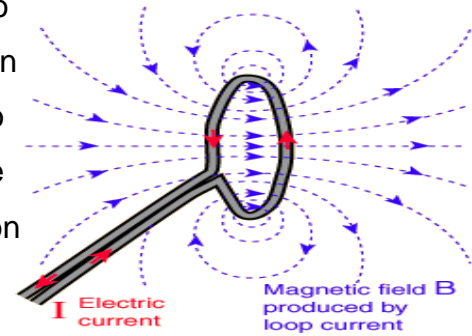
donde queda clara la posibilidad de obtener una variación del flujo de inducción magnética cambiando el valor del campo o variando la forma del circuito de integración.

En (III.1.15)  $\vec{E}'$  es el campo eléctrico en el elemento  $d\vec{l}$  en un sistema de referencia donde  $d\vec{l}$  está en reposo. Supongamos ahora que  $C$  está en movimiento con velocidad constante  $\vec{v}$  entonces (JACKSON, 2001)

$$\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} dS = \iint_{\Sigma} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} dS + \iint_{\Sigma} (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{B} \cdot \vec{n} dS, \quad (\text{III.1.16})$$

Aplicamos la teoría anterior, cuya formulación matemática se debe a James C. Maxwell (1865) al desarrollo de una metodología para el estudio del campo magnético generado por la bobina de Helmholtz.

Supongamos que el circuito  $C$  lo formamos con una espira circular hecha con un conductor (Figura 10), y que esta tenga un radio suficientemente pequeño como para garantizar que por el área de la espira pase un campo de inducción magnética que pueda considerarse uniforme en toda el área, aunque pueda cambiar al transcurrir el tiempo entonces, de (III.1.14)-(III.1.16) podemos encontrar:



**Figura 10: Bobina de prueba.** Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/curloo.html>

$$\varepsilon = -\frac{1}{c} \frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} dS = -\frac{1}{c} \iint_{\Sigma} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} dS - \frac{1}{c} \iint_{\Sigma} (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{B} \cdot \vec{n} dS \quad (\text{III.1.17})$$

Consideremos primero que la espira exploratoria se coloca entre las espiras de Helmholtz sin moverla y que hacemos pasar por la bobina una corriente variable en el tiempo entonces el campo de inducción magnética en el centro entre las bobinas de Helmholtz variaría en el tiempo según

$$\vec{B}_T \left( z = \frac{a}{2} \right) = 4\pi \frac{8}{5^{3/2}} \frac{NI(t)}{c} \frac{1}{a} \hat{k} \quad (\text{III.1.18})$$

y en la región cercana al centro variaría según (III.1.11), y en la espira, con las condiciones descritas (es decir manteniendo la bobina inmóvil y la corriente en las bobinas de Helmholtz variando en el tiempo), aparecería una *f.e.m.* dada por:

$$\varepsilon = -\frac{1}{c} \iint_{\Sigma} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} dS = -\frac{A}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} = -\frac{A}{c} \frac{\partial \vec{B}_T}{\partial t} \cdot \vec{n} = -\frac{AB}{c} \frac{\partial I(T)}{\partial t} \hat{k} \cdot \vec{n} = -\frac{AB}{c} \frac{\partial I(T)}{\partial t} \cos \theta \quad (\text{III.1.19})$$

donde  $A$  es el área de la espira,  $\theta$  es el ángulo entre la dirección del campo  $\hat{k}$  y la dirección perpendicular al área de la espira dada por  $\hat{n}$  y  $B$  es un parámetro dependiente de la posición  $z$  dado por:



$$B = 4\pi \frac{8}{5^{3/2}} \frac{N}{c} \frac{1}{a} \left\{ 1 - \frac{144}{125} \frac{1}{a^4} \left( z - \frac{a}{2} \right)^4 \right\} \quad (\text{III.1.20})$$

Las expresiones (III.1.19) - (III.1.20) permiten encontrar una relación entre la *f.e.m.* inducida y la corriente que pasa por la bobina. Esto puede ser verificado experimentalmente. Por otro lado, si la corriente en la bobina es constante, las expresiones (III.1.11) - (III.1.18) indican la región en la cual la espira exploratoria no daría una señal de *f.e.m. apreciable* por ser el campo de inducción prácticamente constante y a partir de cuál posición el movimiento de la espira conducirá a la aparición de una *f.e.m.* dada por:

$$\varepsilon = -\frac{1}{c} \iint_{\Sigma} (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{B} \cdot \vec{n} dS \quad (\text{III.1.21})$$

La *f.e.m.* engendrada en el proceso de variación temporal del flujo del campo de inducción magnética genera una corriente en la espira exploratoria metálica, que puede ser medida mediante un amperímetro o una diferencia de potencial que se determine en un osciloscopio.

Cuando se tiene una bobina la *f.e.m.* inducida en esta puede encontrarse a partir de una propiedad de la bobina denominada inductancia (que depende de las características geométricas de la bobina). Teniendo en cuenta la inductancia la *f.e.m.* inducida en la bobina sería igual a

$$\varepsilon = -\frac{dN\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt}, \quad (\text{III.1.22})$$

donde  $N$  es el número de espiras de la bobina y  $L$  es su inductancia (en el Sistema Internacional de Unidades la inductancia se mide en Henry  $1\text{H} = 1 \text{ volt segundo/Ampère}$ ). En (III.1.22) la ley de inducción de Faraday ha sido escrita considerando el sistema internacional de unidades, por eso no aparece la velocidad de la luz.

La inductancia de una bobina puede demostrarse ser igual a

$$L = \mu_0 n^2 Al, \quad (\text{III.1.23})$$

donde  $n$  es el número de espiras por unidad de longitud,  $A$  es el área de cada espira y  $l$  es la longitud de la bobina. Substituyendo (III.1.23) en (III.1.22) obtenemos

$$\varepsilon = -L \frac{di}{dt} = -\mu_0 n^2 Al \frac{di}{dt}, \quad (\text{III.1.24})$$

de manera que conociendo la dependencia temporal de la corriente, el área de cada espira, la longitud de la bobina y la diferencia de potencial inducida podemos encontrar experimentalmente el número de vueltas que tiene una espira desconocida.

Los efectos del fenómeno de inducción de Faraday pueden aumentarse convirtiendo a la espira exploratoria en una bobina exploratoria y colocando un núcleo ferromagnético en la bobina. Al colocar un núcleo ferromagnético la magnetización del medio producirá un campo magnético mayor al campo de inducción magnética que existe en el vacío de modo que se cumpliría

$$\vec{B} = \mu(\vec{H})\vec{H} \quad (\text{III.1.25})$$

donde  $\vec{H}$  es el vector de intensidad magnética y la magnitud  $\mu(\vec{H})$  es conocida como permeabilidad magnética del material y puede tomar valores muy grandes. Con esto mejoramos la señal y se pueden realizar determinaciones con mayor facilidad. Por otra parte, si conocemos el comportamiento de una bobina sin núcleo, podemos determinar la permeabilidad magnética de un material que coloquemos como núcleo utilizando esta metodología experimental.

El campo de inducción magnética, al provocar la fuerza de Lorentz sobre cargas en movimiento, puede llevar a la aparición de un interesante efecto sobre la corriente en conductores (y semiconductores) llamado efecto Hall (Hall, 1879) que puede utilizarse para determinar el valor del campo de inducción magnética.

Discutamos rápidamente este efecto de una manera simplificada siguiendo la metodología de (RESNICK, HOLLIDAY, KRANE, 2001)

Si en un conductor tenemos una corriente (vamos a suponer que los portadores de carga que forman la corriente son electrones) y se coloca el conductor en una región con un campo de inducción magnética uniforme donde cada electrón recibiría la acción de la fuerza de Lorentz (ver la Figura 11)

$$\vec{F}_m = \frac{e}{c} \vec{v} \times \vec{B} \quad (\text{III.1.26})$$

Para una corriente de electrones, como se muestra en la figura, la fuerza de Lorentz que aparece sobre cada electrón apuntaría en la dirección de  $y$  y los electrones se acumularían en la pared derecha (lado derecho en la gráfica mirando de frente) del conductor y del lado izquierdo quedaría una región cargada positivamente. Esta acumulación de cargas genera un campo eléctrico perpendicular al movimiento de las cargas (paralelo a la fuerza de Lorentz, pero en sentido contrario) que apunta del lado izquierdo al lado derecho y que, por tanto, ejerce una fuerza sobre los electrones en el sentido contrario a la fuerza de Lorentz

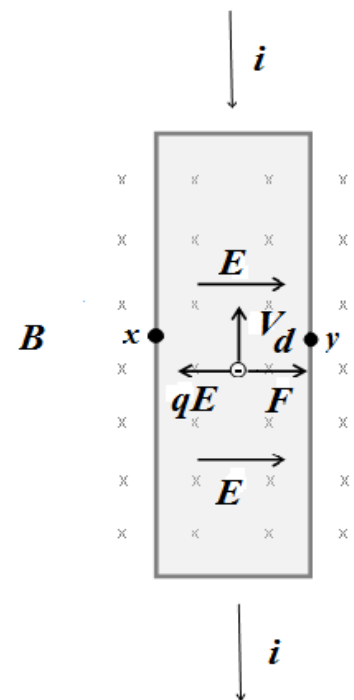


Figura 11: Corriente de electrones. Fuente: El autor.

$$\vec{F}_e = e\vec{E} \quad (\text{III.1.27})$$

La acumulación de electrones en el lado derecho se produce hasta que el módulo de la fuerza electrostática se iguala a la fuerza de Lorentz, es decir,

$$eE = \frac{e}{c} vB \quad (\text{III.1.28})$$

lo que lleva a un valor para el campo eléctrico igual a

$$E = \frac{1}{c}vB \quad (\text{III.1.29})$$

Para un conductor de ancho  $d$  este campo eléctrico produce una diferencia de potencial  $V$  entre los dos lados del conductor igual a

$$E = Vd \quad (\text{III.1.30})$$

y substituyendo ese valor del campo eléctrico en (III.1.29)obtenemos la expresión

$$Vd = \frac{1}{c}vB \quad (\text{III.1.31})$$

y de esta última se obtiene, para el campo de inducción magnética la expresión

$$B = \frac{cVd}{v} \quad (\text{III.1.32})$$

de modo que puede determinarse el campo de inducción magnética midiendo la diferencia de potencial entre los lados del conductor. Esta es la base teórica sobre la cual funciona el instrumento de medición denominado punta de Hall, para la determinación del campo de inducción magnética.



**Figura 12: Punta de Hall para la determinación del campo.**  
**Fuente:** <https://tecnoedu.com/Pasco/Magnetismo.php#PS2112>

En la Tabla 2 se muestran los conocimientos que deben convertirse en competencias de los estudiantes para la realización de la práctica descrita

anteriormente, tanto dentro de la Física como de la Matemática. Igualmente se incluyen habilidades que el estudiante deberá mostrar para la realización de la práctica.

<b>Competencias necesarias</b>	
<b>Físicas</b>	<b>Matemáticas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Campo de inducción magnética (B) estacionaria y no estacionaria</li> <li>. Ley de Faraday y de Lenz</li> <li>. Ley de Ampère y de Biot-Savart</li> <li>. Permeabilidad magnética</li> <li>. Corriente eléctrica (i)</li> <li>. Densidad de corriente (J)</li> <li>. Diferencia de potencial (V)</li> <li>. Inductancia (L)</li> <li>. Conexiones en serie y paralelo</li> <li>. Osciloscopio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Álgebra y aritmética elemental</li> <li>. Trigonometría</li> <li>. Geometría plana y espacial</li> <li>. Coordenadas polares</li> <li>. Vectores</li> <li>. Producto escalar y vectorial</li> <li>. Funciones vectoriales</li> <li>. Funciones de varias variables</li> <li>. Derivadas parciales</li> <li>. Integrales curvilíneas y múltiples</li> <li>. Serie de potencias en varias variables</li> </ul>
<b>Habilidades necesarias</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Seguridad en laboratorio</li> <li>. Medición de corriente y voltaje</li> <li>. Utilización de osciloscopio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Construcción de tablas y gráficos</li> </ul>

**Tabla 2: Competencias y habilidades que el estudiante necesita para una realización exitosa de la práctica de estudio del campo de inducción magnética generado por bobinas de Helmholtz**

### 3.2 RELACIÓN CARGA – MASA

La segunda práctica a discutir es la determinación de la relación carga-masa del electrón utilizando el campo de inducción magnética generado por bobinas de Helmholtz. En la Tabla 3 se indican el contenido, los objetivos y el método a seguir en la práctica.

Práctica	Contenido	Objetivos	Método
Relación carga-masa (2)	Interacción magnética. Fuerza magnética sobre una carga en movimiento.	Determinar la relación carga-masa del electrón. Comprender como se produce el movimiento de cargas en el seno de campos magnéticos uniformes.	Práctica de laboratorio. Cálculo de la relación carga eléctrica-masa ( $e/m$ ) del electrón en una ampolla de vacío situado en un campo magnético uniforme (bobina de Helmholtz)

**Tabla 3: Contenido, objetivos y método para la práctica determinación de la relación carga-masa del electrón.**

El cociente entre la carga elemental del electrón y su masa ( $e/m_e$ ) es una magnitud fundamental para la física experimental. Su importancia radica en la posibilidad de medir esta masa indirectamente. En el mundo de las partículas, realizar mediciones directas de estas masas es tarea difícil por lo que resulta más simple obtenerlo a partir de las medidas de la carga elemental y la relación carga-masa.

#### 3.2.1 Fundamentos teóricos de la práctica.

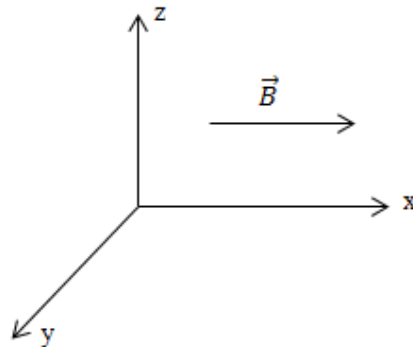
La fuerza magnética  $\vec{F}$  que actúa sobre una partícula cargada  $q$  moviéndose con una velocidad  $\vec{v}$  en un campo magnético  $\vec{B}$  está dada por la ecuación de Lorentz:

$$\vec{F} = \frac{q}{c} \vec{v} \times \vec{B}(\vec{r}) \quad (\text{III.2.1})$$

Supongamos que, en nuestro caso, sobre las partículas no actúa campo eléctrico, de manera que

$$\vec{E}(\vec{r}) = 0$$

Sea  $\vec{B}(\vec{r}) = B\vec{k}$ , es decir, tenemos un campo magnético constante a lo largo de z que va a actuar sobre las partículas cargadas y estas van a cumplir con el hecho que ingresarán a la región donde existe el campo magnético con  $v_z = 0$ .



**Figura 13: Dirección del campo de inducción magnética.**  
Fuente: El autor.

Sea que la velocidad de las partículas cargadas viene dada por la fórmula

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}$$

Entonces el producto vectorial en (III.2.1) se pudiera desarrollar de la siguiente manera:

$$\vec{v} \times \vec{B} = \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & 0 \\ 0 & 0 & B \end{bmatrix} = Bv_y\vec{i} - Bv_x\vec{j}$$

De acuerdo con la Segunda Ley de Newton y la ecuación (III.2.1)

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (\text{III.2.2})$$

$$\vec{F} = \frac{q}{c} \vec{v} \times \vec{B}(\vec{r}) = m\vec{a} \quad (\text{III.2.3})$$

$$\vec{a} = \frac{q}{mc} \vec{v} \times \vec{B}(\vec{r}) = \frac{q}{mc} (Bv_y\vec{i} - Bv_x\vec{j}) \quad (\text{III.2.4})$$

De acuerdo con (III.2.4) se obtienen para cada uno de los ejes las ecuaciones diferenciales

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{qB}{mc} \frac{dy}{dt}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{qB}{mc} \frac{dx}{dt}$$

Las ecuaciones (III.2.3) – (III.2.4) constituyen un sistema de ecuaciones diferenciales de segundo orden para las coordenadas. Vamos a convertir este sistema en uno de primer orden para las componentes de las velocidades teniendo en cuenta

$v_x = \frac{dx}{dt}$  y  $v_y = \frac{dy}{dt}$ . Por tanto tenemos:

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{qB}{mc} v_y \quad (\text{III.2.5})$$



$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{qB}{mc} v_x \quad (\text{III.2.6})$$

$$\frac{dv_z}{dt} = 0 \quad \Rightarrow v_z = 0 \quad (\text{III.2.7})$$

El sistema (III.2.5) – (III.2.7) es un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden para las componentes de las velocidades que puede ser resuelto elevando el orden de las derivadas, para esto, derivando la ecuación (III.2.5) respecto al tiempo llegamos a la ecuación diferencial

$$\frac{d^2 v_x}{dt^2} = -\left(\frac{qB}{mc}\right)^2 v_x \quad (\text{III.2.8})$$

Sea:

$$\frac{qB}{mc} = \omega \quad (\text{III.2.9})$$

entonces obtenemos para (III.2.8) la expresión

$$\frac{d^2 v_x}{dt^2} + \omega^2 v_x = 0 \quad (\text{III.2.10})$$

Propongamos como solución de la ecuación anterior la función

$$v_x = A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t$$

que al ser derivada dos veces conduce a

$$\frac{d^2v_x}{dt^2} = -\omega^2 v_x$$

con lo que se comprueba que es solución de (III.2.10). Aplicando las condiciones iniciales consideradas se obtiene

$$v_x(0) = v_{0x} = A_1$$

Supongamos ahora que

$$v_y(0) = 0$$

entonces llegamos a que

$$v_x = \frac{dx}{dt} = v_{0x} \cos \omega t \quad (\text{III.2.11})$$

e integrando la expresión anterior llegamos a

$$x(t) = \int v_{0x} \cos \omega t dt + C = \frac{v_{0x}}{\omega} \sin \omega t + C \quad (\text{III.2.12})$$

de modo que la condición inicial  $x(0) = 0$  nos lleva a la anulación de la constante quedando la solución

$$x(t) = \frac{v_{0x}}{\omega} \sin \omega t \quad (\text{III.2.13})$$

derivando la relación (III.2.13) y substituyendo esa derivada en (III.2.6) obtenemos

$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{qB}{mc} v_{0x} \cos \omega t = -\omega v_{0x} \cos \omega t$$

que integrada dos veces nos lleva a

$$y(t) = -v_{0x} \int \sin \omega t dt + C = \frac{v_{0x}}{\omega} \cos \omega t + C \quad (\text{III.2.14})$$

y con la condición inicial  $y(0) = 0$  se obtiene para la constante  $C = -\frac{v_{0x}}{\omega}$  quedando para (III.2.14) la expresión

$$y(t) = \frac{v_{0x}}{\omega} (\cos \omega t - 1) \quad \text{III.2.15}$$

Sumando los cuadrados de las fórmulas (III.2.13) y (III.2.15) se llega a la expresión

$$x^2 + y^2 = 2 \left( \frac{v_{0x}}{\omega} \right)^2 (1 - \cos \omega t) \quad (\text{III.2.16})$$

Aplicando a las ecuaciones (III.2.13) y (III.2.15) las transformaciones de coordenadas

$$x = x' \quad y = y' + \frac{v_{0x}}{\omega}$$

se llega a

$$x'(t) = \frac{v_{0x}}{\omega} \sin \omega t \quad (\text{III.2.17})$$

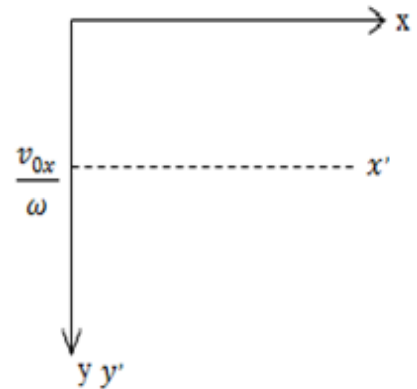


Figura 14: Sistemas de referencia. Fuente: El autor.

$$y'(t) = \frac{v_{0x}}{\omega} \cos \omega t \quad (\text{III.2.18})$$

de modo que elevando al cuadrado y sumando (III.2.17)-(III.2.18) se obtiene

$$x'^2 + y'^2 = \left( \frac{v_{0x}}{\omega} \right)^2 \quad (\text{III.2.19})$$

La expresión (III.2.19) indica que el movimiento de la partícula cargada dentro de la región con un campo de inducción magnética uniforme sigue una trayectoria en forma de circunferencia con un radio igual a  $\frac{v_{0x}}{\omega}$  (Figura 15)

de modo que midiendo el radio de la trayectoria, y conocido el campo de inducción magnética en la región donde se mueve la partícula cargada y la velocidad de ingreso de la partícula en la región,

se puede determinar la relación carga masa pues el parámetro  $\frac{qB}{mc} = \omega$  depende de esta relación.

Para determinar la velocidad de arrastre  $v$  de los electrones recordemos que la velocidad de los electrones en el material se relaciona con la densidad de corriente  $j$  por la relación

$$v = \frac{j}{pe} \quad (\text{III.2.20})$$

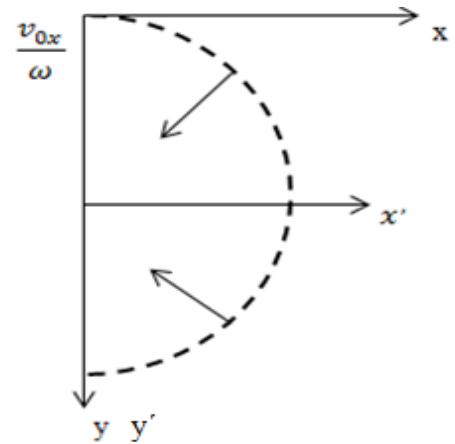


Figura 15: Trayectoria del electrón.  
Fuente: El autor.

donde  $p$  es el número de portadores por unidad de volumen y  $e$  es la carga del electrón. Por otro lado, la densidad de corriente es igual al cociente de la corriente entre el área de la sección transversal del conductor de modo que

$$j = \frac{i}{A} = \frac{i}{dt} \quad (\text{III.2.21})$$

donde  $d$  es el ancho del conductor (supuesto con sección transversal rectangular) y  $t$  su espesor. Substituyendo en la expresión para la velocidad obtenemos

$$v = \frac{i}{dtp e} \quad (\text{III.2.22})$$

y de esta última, combinando con la ecuación (III.1.32), se obtiene para el campo de inducción magnética la expresión

$$B = \frac{cVd^2tpe}{i} \quad (\text{III.2.23})$$

de modo que puede determinarse el campo de inducción magnética si se conoce el material del conductor (con lo cual se conocería  $p$ ), midiendo la diferencia de potencial entre los lados del conductor, la corriente y las características geométricas del mismo. Esta es la base teórica sobre la cual funciona el instrumento de medición denominado punta de Hall (Figura 12), para la determinación del campo de inducción magnética.

En la Tabla 2 se muestran los conocimientos que deben convertirse en competencias de los estudiantes para la realización de la práctica descrita anteriormente, tanto dentro de la Física como de la Matemática. Igualmente se incluyen habilidades que el estudiante deberá mostrar para la realización de la práctica relación carga-masa del electrón.

<b>Competencias necesarias</b>	
<b>Físicas</b>	<b>Matemáticas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Campo de inducción magnética (B) estacionaria y no estacionaria</li> <li>. Ley de Faraday y de Lenz</li> <li>. Ley de Ampère y de Biot-Savart</li> <li>. Fuerza de Lorentz. Permeabilidad magnética</li> <li>. Corriente eléctrica (i)</li> <li>. Densidad de corriente (J)</li> <li>. Diferencia de potencial (V)</li> <li>. Inductancia (L)</li> <li>. Conexiones en serie y paralelo</li> <li>. Osciloscopio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Producto escalar y vectorial</li> <li>. Funciones vectoriales</li> <li>. Funciones de varias variables</li> <li>. Derivadas parciales</li> <li>. Integrales curvilíneas y múltiples</li> <li>. Ecuaciones diferenciales</li> <li>. Serie de potencias en varias variables</li> </ul>
<b>Habilidades necesarias</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Seguridad en laboratorio</li> <li>. Manipulación del multímetro</li> <li>. Utilización de osciloscopio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Construcción de tablas y gráficos</li> </ul>

**Tabla 4: Competencias en Física y Matemáticas y habilidades que el estudiante necesita para una realización exitosa de la práctica relación carga-masa del electrón**

### 3.3 EFECTO FOTOELECTRICO

La tercera práctica se refiere al estudio del efecto fotoeléctrico. En la Tabla 5 se indican el contenido, los objetivos y el método a seguir en la práctica.

Práctica	Contenido	Objetivos	Método
Efecto fotoeléctrico (3)	Efecto Foto eléctrico. Cuantización de la energía.	Conocer el alcance y algunas limitaciones de la física clásica. Enunciar y aplicar la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico. Entender como la cuantización de la energía es capaz de explicar el efecto fotoeléctrico. Calcular el trabajo de extracción y la frecuencia umbral en problemas simples del efecto fotoeléctrico. Entender la dualidad onda-partícula	Simulación interactiva por computador del efecto fotoeléctrico utilizando un software de la PHET <sup>2</sup> .

**Tabla 5: Contenido, objetivos y método para la práctica efecto fotoeléctrico.**

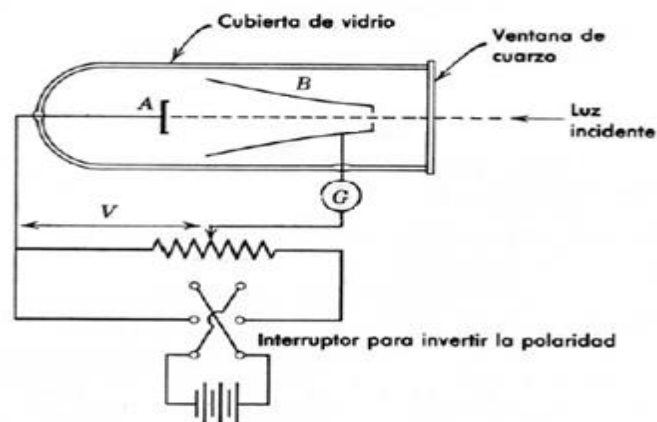
Discutamos rápidamente este efecto siguiendo la metodología de (EISBERG, RESNICK, 2004).

Uno de los procesos mediante el cual la radiación interacciona con la materia se denomina efecto fotoeléctrico (EINSTEIN, 1905). En esencia, el efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones desde una superficie por la acción de la luz. En

---

<sup>2</sup> PHET Interactive Simulation: sitio web de la University of Colorado Boulder, que posee software aplicado a las ciencias.

la práctica, para su estudio, frecuentemente se utiliza un aparato de un esquema similar al de la Figura 16. Este sistema contiene elementos que emiten y reciben fotoelectrones. Estos elementos se sitúan dentro de una cápsula de vidrio al vacío. La luz externa que incide es monocromática, penetra a través de una ventana de cuarzo, incide sobre la placa de metal **A** y libera electrones (*fotoelectrones*). Estos electrones liberados son atraídos a la placa de metal **B** mediante una diferencia de potencial  $V$



**Figura 16: Esquema del aparato. Fuente: EISBERG, Robert M. RESNICK, Robert. Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. Ed. Limusa Wiley. p. 48.**

aplicada entre las placas **A** y **B**. Los electrones capturados por **B**, forman una corriente que es posible medirla mediante el amperímetro **G**. Con luz visible o en el visible cercano, este es un fenómeno exclusivamente de superficie.

### 3.3.1 Fundamentos teóricos de la práctica.

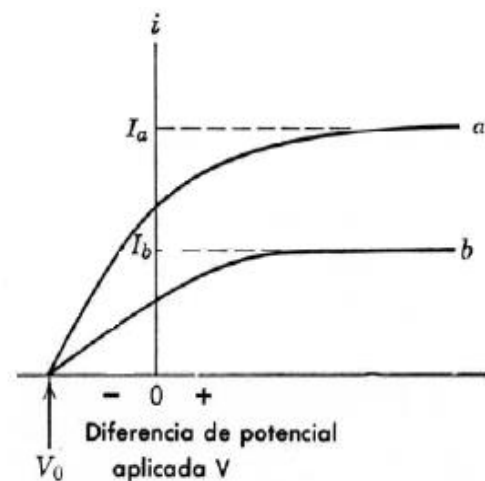
La curva *a* de la figura 17 representa un gráfico de la corriente fotoeléctrica como función de la diferencia de potencial  $V$  para un determinado experimento. Si  $V$  se hace lo suficientemente grande, la corriente alcanza un valor límite o de *saturación*. Si se invierte la polaridad de  $V$ , es posible observar que la corriente no cae a cero instantáneamente. Significa que los electrones se mueven no



solo por la diferencia de potencial, sino que además que son emitidas desde la placa A con cierta energía cinética. Sin embargo, si esta diferencia de potencial se vuelve lo suficientemente grande se alcanzará un valor de potencial invertido  $V_0$  donde la corriente cesa. Este valor de potencial  $V_0$  es conocido como *potencial de frenado*. El valor de potencial  $V_0$  multiplicado por la carga del electrón es una medida de la energía cinética máxima  $K_{m\acute{a}x}$  de los fotoelectrones más rápidos. Es decir:

$$K_{\max} = eV_0 \quad (\text{III. 3. 1})$$

La cantidad de  $K_{\max}$  es independiente de la intensidad de la luz utilizada como se observa en la Figura 17. Con la mitad de la intensidad de la luz, se obtiene la curva *b* y el *potencial de frenado* queda bien definido que es igual para ambas curvas. No así la corriente de saturación ( $I_a$  e  $I_b$ ) que se muestran directamente proporcionales. Por otro lado, para cada superficie, existe una frecuencia mínima característica por debajo de la cual no sucede el efecto fotoeléctrico. Esta frecuencia mínima es denominada frecuencia de corte ( $\nu_0$ ).



**Figura 17: Corriente fotoeléctrica  $I$  en función de la diferencia de potencial  $V$ . Fuente: EISBERG, Robert M. RESNICK, Robert. Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. Ed. Limusa Wiley. p. 48.**

Siguiendo el procedimiento propuesto, indicamos tres hechos experimentales y fundamentales del efecto fotoeléctrico que la teoría clásica ondulatoria

de la luz no puede explicar además de como Einstein encara estos puntos con la teoría cuántica del fotón.

Primero, para la teoría clásica:

1. La energía cinética  $K_{\max}$  de los fotoelectrones se espera que aumente con el incremento de la intensidad del haz luminoso puesto que la energía transmitida al electrón es proporcional a  $e\vec{E}$ , donde  $\vec{E}$  es el vector campo eléctrico oscilante de la onda luminosa y esta aumenta en amplitud conforme aumenta la intensidad del haz luminoso. En la Figura 17 vimos que  $K_{\max}$  es independiente de la intensidad luminosa.

2. El efecto fotoeléctrico debería ocurrir para cualquier frecuencia de la luz siempre que la intensidad del haz luminoso fuera lo suficientemente grande como para transmitir la energía necesaria y emitir los fotoelectrones. En la Figura 18 se ve que existe una frecuencia de corte característica para cada superficie por debajo de la

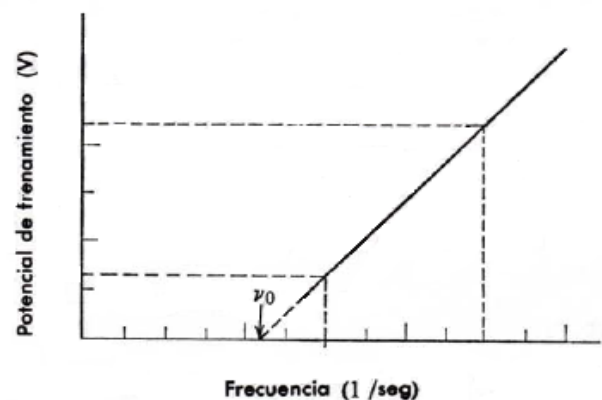


Figura 18: Frecuencia de corte. Fuente: El autor

3. La energía luminosa se encuentra distribuida sobre el frente de onda. Si la luz es débil y, a partir del instante en que el haz luminoso incide, existirá un intervalo de tiempo relativamente grande para que el electrón acumule suficiente energía para conseguir escapar de la atracción electrostática de la superficie. Pero *nunca se ha conseguido medir tal considerable tiempo de retraso.*

### 3.3.2 Teoría cuántica de Einstein del efecto fotoeléctrico.

Einstein, en 1905, colocó en duda la teoría clásica de la luz. Coloco en discusión una nueva teoría diciendo que la energía radiante estaba cuantizada en pequeños paquetes de energía. A estos pequeños paquetes de energía luego se los llamó *fotones*.

Einstein, dando continuidad a las ideas de Planck (1901), no solo admitió la existencia de generadores de radiación electromagnética con estados energéticos discretos, sino que extendió la idea a la propia radiación suponiendo cambios energéticos en el emisor en forma de pulsos de energía de valor  $h\nu$  que se convierten en energía electromagnética capaz de propagarse por el espacio con velocidad  $c$  localizada en un pequeño volumen espacial (fotón). De esta manera, de acuerdo con Einstein, la energía del fotón está relacionada con su frecuencia  $\nu$  mediante la ecuación:

$$\varepsilon = h\nu \quad (\text{III. 3. 2})$$

y en el proceso fotoeléctrico, el fotón es completamente absorbido por un átomo de la superficie del metal (*fotocátodo*) el cual se excita y pierde esa energía de excitación mediante la emisión de un fotón.

Cuando el electrón es emitido desde el fotocátodo, su energía cinética es:

$$K = h\nu - W \quad (\text{III. 3. 3})$$

donde  $h\nu$  es la energía del fotón incidente;  $W$ , el trabajo necesario para arrancar al electrón del metal contra el efecto de los campos atractivos de los átomos en la superficie, como de las pérdidas de energía cinéticas debidas a las colisiones internas

del electrón. En el caso en que no existan pérdidas internas por colisiones, el fotoelectrón emergerá con una energía cinética máxima  $K_{\max}$ .

$$K_{\max} = h\nu - W_0 \quad (\text{III. 3. 4})$$

donde  $W_0$  es una energía característica del metal denominada *función trabajo*.  $W_0$  representa la energía mínima necesaria para que el electrón pase a través del material metálico y escape a las fuerzas atractivas de sus enlaces.

Einstein encara los tres puntos indicados anteriormente como no explicados por la teoría ondulatoria de la luz. Para la teoría cuántica:

1. Aumentando la intensidad de la luz, simplemente se aumenta el número de fotones, consecuentemente el número de fotoelectrones y por ende la corriente fotoeléctrica; esto no cambia la energía  $h\nu$  de los fotones.
2. Si  $K_{\max} = 0$ , se obtiene  $h\nu_0 = W_0$  de manera que un fotón de frecuencia  $\nu_0$ , posee justamente la energía suficiente para extraer los fotoelectrones y nada extra que aparezca como energía cinética. Si la frecuencia se reduce por debajo de  $\nu_0$ , los fotones, sin importar cuantos hayan (sin importar la intensidad de la luz), no tendrán individualmente energía suficiente para extraer fotoelectrones. Lo que explica la existencia de la frecuencia de corte.
3. En la teoría del fotón, el punto 3 se hace a un lado debido a que la energía necesaria se suministra en paquetes discretos y no se esparce uniformemente sobre un área grande. Si existe cualquier luz incidiendo sobre el cátodo, entonces los fotones incidentes pueden ser absorbidos en un acto instantáneo por algún átomo resultando en la emisión inmediata de un electrón.

Al reescribir la ecuación de Einstein sustituyendo (III.3.1) en:

$$K_{\max} = h\nu - W_0 \quad (\text{III. 3. 5})$$

se obtiene

$$V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_0}{e} \quad (\text{III. 3. 6})$$

En esta última ecuación se observa que la teoría de Einstein predice una relación lineal entre el potencial de frenado  $V_0$  y la frecuencia  $\nu$  en completa concordancia con el gráfico 14. La pendiente de la curva es:

$$\frac{\Delta V}{\Delta \nu} = \frac{h}{e} \quad (\text{III. 3. 7})$$

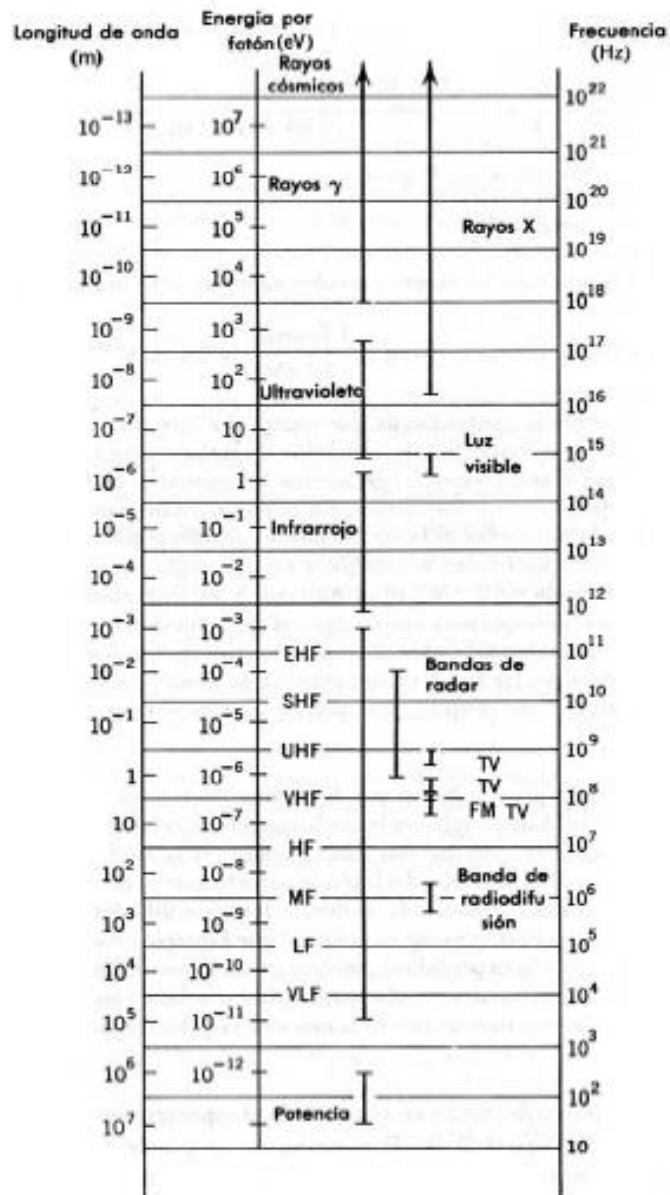
Multiplicando el valor de la pendiente por la carga electrónica  $e$  es posible determinar  $h$ .

$$h = e \frac{\Delta V}{\Delta \nu} \quad (\text{III. 3. 8})$$

Un valor de  $h$  obtenido experimentalmente actualmente es:

$$h = 6.6262 \times 10^{-34} \text{ joule.seg} \quad (\text{III. 3. 9})$$

La hipótesis del fotón se utiliza actualmente en todo el espectro electromagnético. Para rayos  $X$  o rayos  $\gamma$ , que son de alta energía, sus fotones pueden extraer electrones internos ligados a átomos pesados.



**Figura 19: Espectro electromagnético destacando longitud de onda, frecuencia y energía del fotón. Fuente: EISBERG, Robert M. RESNICK, Robert. Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. Ed. Limusa Wiley. p. 54.**

En el proceso fotoeléctrico, los fotones son absorbidos. Esto exige que los electrones estén ligados a los átomos o a los sólidos para que sus ligaduras sirvan para transferir el impulso al átomo o al sólido ya que un electrón realmente libre, no

puede absorber un fotón y conservar en el proceso, tanto su energía relativista total como su impulso.

En la Tabla 6 se muestran los conocimientos que deben convertirse en competencias de los estudiantes para la realización de la práctica descrita anteriormente, tanto dentro de la Física como de la Matemática. Igualmente se incluyen habilidades que el estudiante deberá mostrar para la realización de la práctica estudio del efecto fotoeléctrico.

<b>EFFECTO FOTOELÉCTRICO – PRÁCTICA 3</b>	
<b>Conceptos necesarios</b>	
<b>Físicos</b>	<b>Matemáticos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Partículas subatómicas</li> <li>. Corriente eléctrica (i)</li> <li>. Diferencia de potencial ( V)</li> <li>. Campo eléctrico</li> <li>. Energía y trabajo</li> <li>. Colisiones y cantidad de movimiento</li> <li>. Corpúsculo.</li> <li>. Radiación electromagnética: onda, frecuencia de onda, longitud de onda, amplitud de onda, etc.</li> <li>. Radiación del cuerpo negro</li> <li>. Teoría cuántica de Planck; <math>E = h\nu</math></li> <li>. Teoría del fotón de Einstein; <math>h\nu = h\nu_0 + E_c</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Algebra y aritmética elemental</li> <li>. Vector</li> </ul>
<b>Habilidades necesarias</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Manipulación del computador</li> </ul>	

**Tabla 6: Competencias en Física y Matemáticas y habilidades que el estudiante necesita para una realización exitosa de la práctica estudio del efecto fotoeléctrico.**

## **CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE LAS ADECUACIONES Y PROPUESTAS DE LAS PRÁCTICAS**

En este capítulo serán presentadas las propuestas de tres prácticas de laboratorio para el curso de LCN e IER siguiendo los criterios metodológicos de adecuación de prácticas de laboratorio al contenido del PPC desarrollados anteriormente. Las matrices que aparecen a continuación, describen, en forma matricial, la conexión de los contenidos que son necesarios para el desarrollo de la práctica y las disciplinas en las que aparecen estos contenidos.

La matriz 1, se refiere al curso de LCN y la matriz 2 al curso de IER. En ambas matrices están indicadas las disciplinas que oficialmente aparecen en los cursos y donde aparecen los contenidos que son exigidos para el desenvolvimiento de la práctica 1. Sobre estas dos matrices serán basadas en adelante las adecuaciones realizadas en la práctica de laboratorio 1 para los cursos de LCN e IER respectivamente.

Siguiendo el mismo criterio, un poco más adelante, las matrices 3 y 4, correspondientes a los cursos de LCN e IER respectivamente, ayudarán para discutir las propuestas de adecuaciones de la práctica de laboratorio 2. De la misma manera, las matrices 5 y 6, para la práctica de laboratorio 3.

Una vez adecuada la introducción teórica, se adecuan los procedimientos, los ejercicios y las evaluaciones. En todos los casos, las matrices serán una herramienta que nos ayude para realizar las adecuaciones. Vamos a pasar a ver como esto se materializa.

### **4.1 BOBINAS DE HELMHOLTZ**

En esta práctica, las adecuaciones están descritas en el anexo donde se disponen las propuestas para el curso de LCN e IER respectivamente. Las



conexiones entre disciplinas y contenidos a ser impartidos en la práctica 1 para el curso de LCN se pueden ver en la matriz 1. Las conexiones entre disciplinas y contenidos a ser impartidos en la práctica 1 para el curso de IER se pueden ver en la matriz 2.

Competencia y/o habilidad	Disciplinas LCN												
	EC	NSL	EF	EQ	ETMF	QGI	FSLG	QGIE	CI	QA	EOPO	QAE	FQ
<i>Corriente eléctrica (i)</i>					X	X	X	X		X	X	X	X
<i>Diferencia de potencial (V)</i>				X	X	X		X		X	X		X
<i>Densidad de corriente (J)</i>											X		
<i>Inductancia (L)</i>											X		
<i>Campo de inducción magnética (B) e/n</i>											X		
<i>Ley de Faraday y de Lenz</i>											X		
<i>Ley de Ampère y de Biot-Savart</i>											X		
<i>Conexiones en serie y paralelo</i>					X						X		
<i>Algebra y aritmética elemental</i>	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Trigonometría</i>	X		X		X		X		X		X		
<i>Geometría plana y espacial</i>	X		X		X		X		X		X		
<i>Coordenadas polares</i>	X		X		X				X		X		X
<i>Vector</i>	X		X		X	X	X		X	X	X		X
<i>Producto Escalar y vectorial</i>	X		X		X				X		X		X
<i>Funciones vectoriales</i>	X		X		X				X		X		
<i>Funciones de varias variables</i>	X						X		X		X		
<i>Derivadas</i>			X		X		X		X		X		X
<i>Integrales múltiples</i>									X		X		
<i>Serie de potencias en varias variables</i>											X		
<i>Seguridad en laboratorio</i>		X						X					
<i>Manipulación del multímetro</i>					X			X			X	X	
<i>Utilización de osciloscopio</i>					X						X		

**Matriz 1: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales. Práctica 1 – LCN**

Las siglas superiores de la matriz 1 se corresponden a:

Semestre	Disciplinas	Sigla
1	Elementos de Calculo	EC
	Normas y Seguridad de Laboratorio	NSL
2	Elementos de Física	EF
	Elementos de Química	EQ

3	Espacio, Tiempo y Mediciones en Física	ETMF
	Química General e Inorgánica	QGI
4	Física de los Sólidos, Líquidos y Gases	FSLG
	Química General e Inorgánica Experimental	QGIE
	Calculo I	C1
	Química Analítica	QA
5	<b>Electromagnetismo, Óptica y Propagación de Ondas</b>	<b>EOPO</b>
	Química Analítica Experimental	QAE
	Físico Química	FQ

Tabla 7: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 1.

Competencia y/o habilidad	Disciplinas IER												
	PC	QG	GA	AL	C1	F1	F1E	IPIE	C2	MA	CM	F2	F2E
<i>Corriente eléctrica (i)</i>		X										X	X
<i>Diferencia de potencial (V)</i>		X										X	X
<i>Densidad de corriente (J)</i>												X	X
<i>Inductancia (L)</i>												X	X
<i>Campo de inducción magnética (B) e/n</i>												X	X
<i>Ley de Faraday y de Lenz</i>												X	X
<i>Ley de Ampère y de Biot-Savart</i>												X	X
<i>Permeabilidad magnética</i>												X	X
<i>Conexiones en serie y paralelo</i>													
<i>Algebra y aritmética elemental</i>	X		X	X	X				X				
<i>Trigonometría</i>	X		X		X				X				
<i>Geometría plana y espacial</i>	X		X			X	X		X			X	X
<i>Coordenadas polares</i>			X			X	X		X			X	X
<i>Vector</i>	X		X	X		X	X		X	X		X	X
<i>Producto Escalar y vectorial</i>	X		X	X						X		X	X
<i>Funciones vectoriales</i>				X					X			X	X
<i>Funciones de varias variables</i>				X					X			X	X
<i>Derivadas</i>					X	X	X		X	X		X	X
<i>Integrales múltiples</i>									X			X	X
<i>Serie de potencias en varias variables</i>					X				X			X	X
<i>Seguridad en laboratorio</i>												X	X
<i>Manipulación del multímetro</i>							X					X	X
<i>Utilización de osciloscopio</i>							X					X	X

Matriz 2: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales. Práctica 1 – IER

Las siglas superiores de la matriz 2 se corresponden a:

Semestre	Disciplinas	Sigla
1	Pre Cálculo	PC
	Química General	QG
	Geometría Analítica	GA
2	Algebra Lineal	AL
	Cálculo I	C1
	Física I	F1
	Física I Experimental	F1E
	Introducción a Proyectos en Ingeniería de Energía	IPIE
3	Cálculo II	C2
	Mecánica Aplicada para IER	MA
	Ciencia de los Materiales	CM
	Física II	F2
	<b>Física II Experimental</b>	<b>F2E</b>

**Tabla 8: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 2.**

Como se habrá podido notar en el trabajo, las fundamentaciones teóricas de las prácticas poseen de alguna manera un alto nivel de conocimientos físicos y matemáticos.

¿Sería coherente para el curso de LCN comenzar enunciando las Leyes de Biot-Savart y de Ampère utilizando el cálculo vectorial como el del trabajo central? (pág. 18 del trabajo). Observemos que nos dice la matriz 1. La disciplina en destaque (por ejemplo, EOPO en la matriz 1), es la disciplina en la cual se aplicaría la práctica. Pensemos que en un caso ideal donde un estudiante pueda llegar a ese semestre, a esa disciplina, con las competencias y habilidades apuntadas como requeridas para encarar un contenido de ese tipo. Si es el caso, llegado el momento, el mismo tendría todas las competencias y habilidades necesarias tal como se ve en la columna de EOPO para el caso de la matriz 1 nuevamente.

La intersección de estas competencias y habilidades con las disciplinas, se enmarcan dentro de un análisis de los contenidos del programa de la disciplina. De otra forma, si entre los contenidos de enseñanza del programa de la disciplina existen

momentos de utilización de estas competencias y habilidades, se procura verificar con ayuda del plan de enseñanza, la forma en que aquello se da para inferir el grado de profundidad, especificidad y aprovechamiento posible del mismo. En el caso del curso de LCN, puede notarse que la competencia de integrales múltiples se encuadra dentro de C1 (matriz 1). Al realizar una revisión más detallada del programa de la disciplina, encontramos que como contenido aparece solo con la definición de *Integrales definidas e indefinidas* (PPC LCN, pág. 60 2014). De alguna forma eso dice mucho y a la vez poco para nuestras intenciones. Más específicamente, en el programa de estudios de la disciplina, encontramos que no está “programado integrales múltiples y curvilíneas”. Es lógico para casi una sola disciplina de matemáticas, con varios otros contenidos de enseñanza y una carga horaria de 60 horas semestre, la imposibilidad de desenvolver con esa especificidad.

¿Y para los estudiantes de ingeniería? En el semestre “actual”, en la disciplina de C2, ellos deberían estar conociendo estas herramientas matemáticas por lo que resulta totalmente coherente utilizar una introducción teórica a ese nivel tal como lo refleja el manual del anexo V, siempre y cuando se lo aplique al final del semestre que de paso, es un refuerzo del contenido y de la matemática reconociendo el momento.

Al comparar los manuales de la práctica 1 del curso de LCN e IER en el anexo V con la introducción teórica del TCC, podemos percibir que hemos adecuado la valoración de las leyes de Biot-Savart que fueron introducidas en este caso evitando la utilización del análisis vectorial integral. En la propuesta para LCN, fue discutida con una visión intuitiva diferencial y utilizando la discusión física para eliminar el aspecto matemático y de esta manera, dejar toda la matemática en cálculo de una variable acorde a los estudiantes de LCN.

El ejemplo anterior correspondería a la adecuación del contenido de enseñanza visando el nivel del conocimiento previo. ¿Ahora? ¿Y los objetivos de formación? En ese caso, recurrimos a adecuar el procedimiento y evaluación de las

prácticas. Por ejemplo, siempre en la práctica 1, podemos notar las adecuaciones en el enfoque de la evaluación de la actividad. La actividad 4 de la práctica 1 del manual en el Anexo I, está en perfecta consonancia con lo estipulado en el perfil de egreso y área de actuación del formado en el curso de LCN (PPC LCN, pág. 9-12, 2014). De la misma forma las actividades para el curso de IER.

A partir de aquí, con el mismo criterio, analizamos las prácticas 2 y 3 para los citados cursos respectivamente.

#### 4.2 RELACIÓN CARGA MASA

En esta práctica, las adecuaciones están descritas en los anexos III y IV donde se disponen las propuestas para el curso de LCN e IER respectivamente. Las conexiones entre disciplinas y contenidos a ser impartidos en la práctica 2 para el curso de LCN se pueden ver en la matriz 3. Las conexiones entre disciplinas y contenidos a ser impartidos en la práctica 2 para el curso de IER se pueden ver en la matriz 4.

Competencia y/o habilidad	Disciplinas LCN													
	EC	NSL	EF	EQ	ETMF	QGI	FSLG	QGIE	C1	QA	EOPO	QAE	FQ	
<i>Densidad de corriente (J)</i>											X			
<i>Inductancia (L)</i>											X			
<i>Campo de inducción magnética (B) e/n</i>											X			
<i>Ley de Faraday y de Lenz</i>											X			
<i>Ley de Ampère y de Biot-Savart</i>											X			
<i>Fuerza de Lorentz</i>											X			
<i>Conexiones en serie y paralelo</i>					X						X			
<i>Producto Escalar y vectorial</i>	X		X		X				X		X		X	
<i>Funciones vectoriales</i>	X		X		X				X		X			
<i>Funciones de varias variables</i>	X						X		X		X			
<i>Derivadas</i>			X		X		X		X		X		X	
<i>Integrales múltiples</i>									X		X			
<i>Ecuaciones diferenciales</i>											X			
<i>Serie de potencias en varias</i>											X			

<i>variables</i>												
<i>Seguridad en laboratorio</i>		x						x				
<i>Manipulación del multímetro</i>					x			x			x	x
<i>Utilización de osciloscopio</i>					x						x	

**Matriz 3: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales. Práctica 2 – LCN**

Las siglas superiores de la matriz 3 se corresponden a:

<b>Semestre</b>	<b>Disciplinas</b>	<b>Sigla</b>
1	Elementos de Calculo	EC
	Normas y Seguridad de Laboratorio	NSL
2	Elementos de Física	EF
	Elementos de Química	EQ
3	Espacio, Tiempo y Mediciones en Física	ETMF
	Química General e Inorgánica	QGI
4	Física de los Sólidos, Líquidos y Gases	FSLG
	Química General e Inorgánica Experimental	QGIE
	Calculo I	C1
	Química Analítica	QA
5	<b>Electromagnetismo, Óptica y Propagación de Ondas</b>	<b>EOPO</b>
	Química Analítica Experimental	QAE
	Físico Química	FQ

**Tabla 9: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 3.**

<b>Competencia y/o habilidad</b>	<b>Disciplinas IER</b>													
	PC	QG	GA	AL	C1	F1	F1E	IPIE	C2	MA	CM	F2	F2E	
<i>Diferencia de potencial (V)</i>		x										x	x	
<i>Densidad de corriente (J)</i>												x	x	
<i>Inductancia (L)</i>												x	x	
<i>Campo de inducción magnética (B) e/n</i>												x	x	
<i>Ley de Faraday y de Lenz</i>												x	x	
<i>Ley de Ampère y de Biot-Savart</i>												x	x	
<i>Ley de Lorentz</i>												x	x	
<i>Conexiones en serie y paralelo</i>														
<i>Producto Escalar y vectorial</i>	x		x	x						x		x	x	
<i>Funciones vectoriales</i>				x					x			x	x	
<i>Funciones de varias variables</i>				x					x			x	x	
<i>Derivadas</i>					x	x	x		x	x		x	x	

<i>Integrales múltiples</i>												X						X	X
<i>Ecuaciones diferenciales</i>																		X	X
<i>Serie de potencias en varias variables</i>						X						X						X	X
<i>Seguridad en laboratorio</i>																		X	X
<i>Manipulación del multímetro</i>										X								X	X
<i>Utilización de osciloscopio</i>										X								X	X

**Matriz 4: Conceptos y habilidades en relación a disciplinas precedentes y actuales. Práctica 2 - IER**

Las siglas superiores de la matriz 4 se corresponden a:

Semestre	Disciplinas	Sigla
1	Pre Cálculo	PC
	Química General	QG
	Geometría Analítica	GA
2	Algebra Lineal	AL
	Cálculo I	C1
	Física I	F1
	Física I Experimental	F1E
	Introducción a Proyectos en Ingeniería de Energía	IPIE
3	Cálculo II	C2
	Mecánica Aplicada para IER	MA
	Ciencia de los Materiales	CM
	Física II	F2
	<b>Física II Experimental</b>	<b>F2E</b>

**Tabla 10: Siglas de las disciplinas que contienen las competencias y habilidades indicadas en la matriz 4.**

El enfoque de la introducción teórica de la práctica 2, está resuelto con ecuaciones diferenciales cuyas soluciones llevaron a la trayectoria circular y este al radio de la trayectoria.

El conocimiento de ecuaciones diferenciales, aparece como contenido programático en la disciplina de Cálculo III (4° Semestre) para el curso de IER. Ya para el curso de LCN, ni siquiera consta en la estructura de conocimientos. Nada de eso ha sido posible utilizar en los manuales.

En ellas, fueron necesarias resolver el problema utilizando la Física. Incluso allí, se realiza una adaptación. Por un lado, para los ingenieros, se utiliza la

definición de trabajo  $W$  en forma integral, porque son conceptos de mecánica que no son desconocidos para los estudiantes de ingeniería. El mismo asunto para el curso de LCN, fue tratado utilizando el concepto de trabajo  $W$  como fuerza constante, para luego pasar a utilizar el concepto de diferencial de una variable, concepto conocido en el semestre anterior en Cálculo I.

Con el cálculo diferencial de la introducción teórica del TCC, se realiza el mismo análisis hecho que en el caso de las integrales para el curso de IER. La principal diferencia se realiza en este aspecto siendo el resto igual.

En el aspecto evaluativo, para el curso de LCN, se enfatiza en un enfoque fenomenológico. Ya para el curso IER, el interés pasa a ser más experimental.

#### 4.2 EFECTO FOTOELÉCTRICO

En esta práctica, las adecuaciones están descritas en los anexos V y VI donde se disponen las propuestas para el curso de LCN e IER respectivamente. Las conexiones entre disciplinas y contenidos a ser impartidos en la práctica 3 para el curso de LCN se pueden ver en la matriz 5. Las conexiones entre disciplinas y contenidos a ser impartidos en la práctica 2 para el curso de IER se pueden ver en la matriz 6.

Competencia y/o habilidad	Disciplinas LCN														
	EC	ID	EF	EQ	ETMF	QGI	FSLG	QGIE	C1	QA	EOPO	QAE	FQ	FQE	EMFC
<i>Manipulación de computador</i>		X													
<i>Algebra y aritmética elemental. Función</i>	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Partículas Sub atómicas</i>				X		X	X	X		X	X	X	X	X	X
<i>Corriente eléctrica (i)</i>					X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
<i>Diferencia de potencial (V)</i>						X					X		X		X
<i>Campo eléctrico</i>						X					X		X		X
<i>Trabajo y Energía</i>			X	X		X	X	X			X		X		X
<i>Colisiones y Cant. de movimiento</i>			X								X				X
<i>Ondas. Radiación electromagnética</i>											X				X







de energía. Sin embargo, para el curso de LCN no realizamos este tipo de discusiones porque importa más el conocimiento de “cómo funciona” el efecto.

## **CAPÍTULO V CONSIDERACIONES FINALES**

La práctica docente indica que hay una serie de insuficiencias que influyen en la eficiencia de la enseñanza. Sin haber realizado un estudio sistemático y exhaustivo, la práctica académica indica que las dificultades son de tipos como los mencionados arriba.

Ahora, este tipo de análisis no resultaría nada trivial para un profesor novato, ya que debe estructurar diversas informaciones en diferentes niveles lo cual, en gran parte, se consigue con la experiencia. Si el profesor no posee suficiente experiencia, procuraría un libro para impartir sus clases en el nivel deseado (enseñanza media, graduación, pos graduación, etc.). En este caso, el autor del libro ya hizo las adecuaciones que cree necesario para ese público. Las posibilidades para que aquello sea el más adecuado para el grupo de estudiantes son bien difíciles tal como lo enfatizamos al principio ya que la educación posee elementos socio-político únicos que lo determinan. En cambio, el docente, en mayor o menor grado, conoce estas realidades y puede ser partícipe directo de esta adecuación.

El primer uso práctico que brinda el presente estudio es la posibilidad de reconocer que competencias y habilidades son necesarias para el especialista, cuales introducir, profundizar, tratar, etc., a la hora de planificar su formación.

También queda claro que el nivel es diferente (en mayor o menor grado) para cada curso, por tanto, es totalmente lógico pensar en la posibilidad de adecuaciones para hacer más efectivo el estudio en los diferentes grupos. Las adecuaciones no son solo de los contenidos, sino también de los momentos en que son aplicados.

A partir de estas consideraciones e informaciones, suponemos estar en mejores condiciones para la planificación de un aula más efectiva, en particular, aulas de laboratorio adecuadas.

¿Qué otra información podríamos obtener aquí del método usado? ¿Qué nos dicen los otros elementos que aparecen en las matrices definidas? Por ejemplo, preguntas para ser respondidas con a ayuda del método podrían ser: ¿Están preparados los graduados para actuar eficientemente en las áreas estipuladas? ¿Es factible una pos graduación con esta base?, u otras más específicas, ¿Qué información nos da la frecuencia de algebra elemental en la matriz? O ¿Por qué el campo de inducción magnética solo aparece en una sola disciplina hasta el 5° Semestre? Para la primera, pudiéramos comentar que el hecho que se repita en todas las disciplinas hace suponer que es una competencia y habilidad más que dominada. Pero en la práctica, se sabe que es una de las principales dificultades de los estudiantes, especialmente en las disciplinas de Física, donde muchas veces el verdadero problema no es la Física sino las herramientas matemáticas básicas (algebra, aritmética, geometría y trigonometría). Entonces, el análisis, también brinda la posibilidad de mirar “para abajo”, para observar las bases.

Para la segunda pudiéramos preguntarnos: ¿Califica como competencia importante en la formación? ¿Califica como habilidad importante? ¿Es suficiente citarlo o es necesario profundizarlo? Esta matriz resulta interesante cuando se le ve como resultado de la aplicación de un contenido de enseñanza, sobre los “presupuestos” de lo que aquello implica, lo que se planea y con qué.

El docente, especialmente el que posea poca experiencia, necesita un punto de apoyo para construir su plan de enseñanza, un punto de apoyo desde donde pueda direccionar lo más claro y coherente posible a los principios de formación institucional y social. Conocer con lo que se cuenta es un buen principio de sistematización.

Estas dificultades extras se apartan de la intención del trabajo actual pero sabemos, influyen en ella por ser una realidad.

Tal vez hasta podría resultar un espacio interesante para conocer mejor las relaciones de multidisciplinaridad y transdisciplinaridad porque de alguna forma la idea didáctica es integradora.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMPÈRE, André-Marie. **Sur les effets des courans électriques** *Annales de chimie et de physique*, 1820, t. 15, p. 59-75, p. 170-218.

AMPÈRE, André-Marie. **Nouvelles scientifiques: expériences électro-magnétiques.** *Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts...*, 1820, t. 91, p. 151-152.

AMPÈRE, André-Marie. **Note sur les expériences de M. Ampère relatives à l'action mutuelle de deux fils conjonctifs, et à celle qui a lieu entre un fil conjonctif et un aimant ou le globe terrestre.** *Bulletin des sciences, par la Société philomatique de Paris*, 1820, p. 138-140.

AMPÈRE, André-Marie. **Mémoire sur une nouvelle expérience électro-dynamique, sur son application à la formule qui représente l'action mutuelle de deux éléments de conducteurs voltaïques, et sur de nouvelles conséquences déduites de cette formule:** lu à l'Académie royale des sciences le 12 septembre 1825. *Annales de chimie et de physique*, 1825, t. 29, p. 381-404; vol. 30, p. 29-41.

AMPÈRE, André-Marie. **Théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques: uniquement déduite de l'expérience**, Edit Méquignon-Marvis, Paris, 1826.

AZANHA, José Mario Pires. *Una reflexão sobre a Didática. 3º Seminário. A Didática em Questão.* V. 1, São Paulo: FEUSP, 2009.

BAROLLI, Elizabeth; LABURÚ, Carlos E; GURIDI, Verónica M. **Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación.** *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.* Vol9, nº 1, pp. 88-110. 2010

BIOT, Jean-Baptiste, SAVART, Félix, **Note sur le magnétisme de la pile de Volta,** *Annales de chimie et de physique*, 1820.

BRASIL. Ministério da Educação. Comissão Nacional de Avaliação da Educação Superior (CONAES). *Avaliação externa de instituições de educação superior.* diretrizes e instrumento. Brasília: MEC, 2006.

COMENIUS. **Didática Magna.** São Paulo: Martins Fuentes, 1997.

CORDEIRO, Jaime. **Didática.** São Paulo: Contexto, 2007.

- EINSTEIN, Albert. **Annalen der Physik** (in German) 17 (6): 132–148 (1905).
- EISBERG, Robert M. RESNICK, Robert. **Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas**. Ed. Limusa Wiley. p. 47 – 55. México, D.F., 2004.
- FARADAY, Michael, **Experimental researches in electricity**, 1839, 1844, 1855.
- GRASSMANN, von Hermann, **Die Lineale Ausdehnungslehre ein neuer Zweig der Mathematik dargestellt und durch Anwendungen auf die übrigen Zweige der Mathematik wie auch auf die Statik, Mechanik, die Lehre von Magnetismus und die Kristallonomie erläutert**, Lebrer an der Friedrich-Wilhelms-Schule zu Stettin, Mit 1 Tafel, Verlag von Otto Wigand, Leipzig, 1844.
- HALL, Edwin, "**On a New Action of the Magnet on Electric Currents**". American Journal of Mathematics vol 2, p. 287-292, 1879.
- HAWES, Gustavo. **Perfil de egreso**. *Dpto. de Educación en Ciencias de la Salud*. Facultad de Medicina, Universidad de Chile, p. 7, Documento .pdf disponible en: <http://www.gustavohawes.com/Educacion%20Superior/2010Perfil%20de%20egreso.pdf>
- JACKSON, John David. **Classical Electrodynamics**, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- LIBÂNEO. José Carlos. **Pedagogía e Pedagogos: inquietações e buscas**. Educar, nº 17, p. 7, Curitiba. 2001.
- \_\_\_\_\_. **Didática**. *Velhos e novos temas*. Edição do autor. p. 128, Maio, 2002.
- \_\_\_\_\_. **Didática**. 2ª ed. São Paulo: Cortez, p. 24, p.167, p. 169, 2010.
- \_\_\_\_\_. **Didática**. 3ª ed. São Paulo: Cortez, p. 50 2013.
- LÓPEZ, Ana M, TAMAYO, Óscar E. **Las prácticas de Laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales**. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*. N° 1, Vol. 8, p. 148, pp. 145-166. Colombia. 2012
- MAXWELL, James Clerk, **A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field**, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 155: 459–512, (1865).
- OCDE. **Habilidades y Competencias del siglo XXI para los nuevos aprendices del nuevo milenio en los países de la OCDE**. Paris, 2010, p. 7.
- ØRSTED, Hans Christian (1819). Karen Jelved, Andrew D. Jackson, and Ole Knudsen, translators from Danish to English. **Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted**, ISBN 0-691-04334-5, pp.421-445, 1997.

PHET Interactive Simulations. **El Efecto Fotoeléctrico**. *University of Colorado Boulder*.  
Aplic. disponible en: <http://phet.colorado.edu/es/simulations/category/physics/quantum-phenomena>

PHYWE Systeme GMBH. Operating instructions. Gottingen Narrow-beam tube Pair of Helmholtz coils, *Robert-Bosch-Breite* 10. D-37079. 4 p.

PIMENTA, G. Selma. **Didática e Formação de Professores: Percursos e Perspectivas no Brasil e em Portugal**. São Paulo: Ed. Cortez, p. 24; 82, 2010.

PLANCK, Max, **On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum**, *Annalen der Physik*, vol. 4, p. 553 (1901)

PROJETO Pedagógico do Curso de Engenharia em Energias Renováveis. *Universidade Federal de Integração Latino-Americana*. Prograd – Pro-Reitoria de Graduação. Foz do Iguaçu. Dez. 2013

PROJETO Pedagógico do Curso de Licenciatura em Ciências da Natureza: Biologia, Física e Química. *Universidade Federal de Integração Latino-Americana*. Prograd – Pro-Reitoria de Graduação. Foz do Iguaçu. 2014

REITZ, John R. MILFORD, Frederick J. **Foundations of Electromagnetic Theory**. Edit. Addison-Wesley, England, 1960.

RESNICK, Robert, HALLIDAY, David and KRANE, Kenneth S., **Física Vol. 1**, *Compañía Editorial Continental*, cuarta edición, México, 2001.

RIVAS N, Manuel. **Procesos Cognitivos y Aprendizaje Significativo**, *Inspección de Educación, DOCUMENTOS DE TRABAJO*, 19, Madrid, p. 82, 2008

THOMSON, J.J. **Cathode rays**, *Philosophical Magazine*, **44**, 293 (1897)