

# **PROPUESTAS PARA EL DISEÑO DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA DE POTENCIAL ELECTROSTÁTICO:**

*TRABAJO DE ELABORACIÓN DE PROPUESTAS E INVESTIGACIÓN, TENDIENTE A  
MEJORAR EL CONOCIMIENTO DEL POTENCIAL ELECTROSTÁTICO A NIVEL  
UNIVERSITARIO.*

**ÁLVARO FRANCO PEÑA**

Trabajo Final presentado como requisito parcial para optar  
al título de Magister en Enseñanza de las Ciencias  
Exactas y Naturales.

**DIRECTOR: JAIRO HUMBERTO MARÍN CADAVID Ph.D.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**SEDE MEDELLÍN**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**MAESTRÍA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**Medellín, marzo de 2012**

**TITLE IN ENGLISH**

---

**PROPOSALS FOR DESIGNING A TEACHING  
UNIT IN ELECTROSTATIC POTENTIAL:**

*PROPOSALS AND RESEARCH WORK AIMED TO IMPROVING THE KNOWLEDGE IN  
ELECTROSTATIC POTENTIAL AT UNIVERSITY LEVEL*

## **DEDICATORIAS**

---

Dedico este trabajo a todos los que han colaborado de una u otra manera a su realización, y en particular, a todas las personas que hacen parte de la Escuela de Física de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, incluyendo al personal de aseo y mantenimiento.

# AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco en primer lugar a Dios nuestro Señor que me ha permitido realizar este sueño.

Agradezco especialmente mi madre Soledad Peña y al doctor Gilberto Franco por su apoyo incondicionado, por el entusiasmo que siempre me transmitieron y por estar involucrados conmigo en esta etapa de mi vida.

Agradezco también al profesor Jairo Humberto Marín Cadavid (Ph.D. en Física, profesor de la Escuela de Física de la Universidad) por orientarme en todo el trabajo, por los numerosos aportes, por el sentido del compromiso y por su entusiasmo verdaderamente contagioso por la ciencia; al profesor Diego Luis Aristizábal Ramírez (M.Sc. en Física y profesor de la Escuela de Física de la Universidad) que ha sido un guía y un apoyo invaluable durante mi estancia en la Escuela de Física; al profesor Juan Carlos Salazar Uribe (Ph.D. en Estadística y profesor de la Escuela de Estadística), especialmente por las muchísimas horas de su apretada agenda que dedicó a este trabajo; las propuestas de análisis tan interesantes como acertadas que propuso y aplicamos, etc. se puede afirmar, y es un honor para mí decirlo, que el análisis estadístico de este trabajo es coautoría de los dos y nunca sin el profesor Juan Carlos; no puedo dejar de agradecerle además su permanente buen humor expansivo, que hizo cortas las largas y frecuentes jornadas que laboramos juntos para hacer realidad este proyecto. Le agradezco también a la Escuela de Estadística por su generosidad para poner a disposición varios recursos logísticos que fueron necesarios en la investigación.

Mis agradecimientos se dirigen también a la sra. Mónica Iral Palomino, secretaria de la Escuela de Física, por ser un apoyo siempre firme, amable y eficaz en muchas cosas, y en particular, en este trabajo, en facilitar la comunicación electrónica con los alumnos para la aplicación de los test.

Quiero agradecer también a los profesores Carlos Julio Uribe Garthner (Ph.D. en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas, profesor de la Universidad del Valle) y Héctor Antonio Botero Castro (Ph.D. en Control y profesor de la Facultad de Minas de la Universidad) por sus asesorías y su disponibilidad incondicional.

Agradezco a los estudiantes de la Universidad: Eduardo Daza, Maribel Ruiz Botero y Elizabeth Estrada Yepes por sus valiosos aportes y colaboración, entre otros muchos, al Test de Percepción. También agradezco la colaboración de los estudiantes de la Universidad: Sara López Montoya, Juan Pablo Villegas Gutiérrez que abordaron la laboriosa tarea de elaborar algunos textos, gráficas, etc., y a todos ellos por su apoyo incondicionado, con generosa dedicación de tiempo; también a Danilo Mejía, aunque solo nos pudo acompañar en una ocasión, cuando digitábamos los resultados del pretest.

No puedo dejar de agradecer a todos los alumnos que participaron resolviendo los test; indudablemente jugaron un papel decisivo en este estudio. Les agradezco especialmente el empeño y la seriedad con que resolvieron los aplicativos; es para mí muy grato poder mencionar a los participantes de esta investigación que aceptaron ser incluidos en este escrito:

Abad Danilo Silvera Silvera,  
Alejandro Cardona Ramírez,  
Alejandro Daniel José Gómez Flórez,  
Andrés Emilio Sepúlveda Rincón,  
Andrés Felipe Lopera González,  
Andrés Julián Rodríguez Vargas,  
Andrés Ramírez Vargas,  
Armando Díaz Lizarazo,  
Camilo Andrés Ortega Ramos,  
Camilo Gustavo Rivera Montezuma,  
Carlos Andrés Ruiz Zea,  
Cindy Johanna Bolívar Torres,  
Cristian Andrés Villa Vélez,  
Daniel Alejandro Betancur Monsalve,  
Daniel Builes Isaza,  
Daniel Fernando Rojo Rojas,

Daniel Palacio Espinosa,  
Daniel Valderrama Gómez,  
David Alejandro Marulanda Cardozo,  
David Fernando Latriglia Ramírez,  
Edison Alejandro Jaramillo Gómez,  
Edison Camilo Garatejo Vargas,  
Eduardo Luis Villegas Domínguez,  
Esteban Darío Chaves Ordoñez,  
Esteban Gómez Correa,  
Estefanía Orrego Restrepo,  
Felipe Mejía Álvarez,  
Gallón Bedoya Manuela,  
Geraldine Andrea Patiño Chaves,  
Guillermo Escobar Delgado,  
Hugo Alberto De La Espriella Correa,  
Jefferson Yarce Mazo,  
Jhon Fernando Sánchez,  
John Alexander León Fernández,  
Johnatan Ramírez Álvarez,  
Jorge Andrés López Torres,  
Juan Camilo Giraldo González,  
Juan David López Taborda,  
Juan Esteban Hernández Gómez,  
Juan Felipe Mafla García,  
Juan Gonzalo Cuartas Bouhot,  
Juan Harvey Sánchez Rodríguez,  
Juan José Arias Belduque,  
Juan Pablo Villegas Gutiérrez,  
Julio César Figueroa Bedoya,  
Karen Rangel Sotter  
Leidy Amparo Jiménez Salazar,  
Lorena Palacio Aguirre,  
Luis Fernando Guarín Cabrera,  
Luis Miguel Cataño Peláez,  
María Cristina Ocaña Reina,  
María José Benavides Bastidas,  
María Luisa Anaya Gómez,  
Medina Melán Felipe,  
Melisa Cardona Taborda,  
Mike Saavedra Cadavid,  
Omar Alberto Torres Santos,  
Óscar Alejandro Montoya Zapata  
Óscar Esteban Sepúlveda Serna,  
Paula Andrea Barrio Rodríguez,  
Paula Andrea Nevado Velásquez,

Ramírez Restrepo Uberney,  
Samuel Arboleda Arias  
Santiago Cortes Ocaña,  
Santiago Echeverri Galeano,  
Santiago Gómez Giraldo,  
Sara Isabel Pérez Osorio,  
Sebastián Caro Aguirre  
Sebastián Palacio Arango,  
Serna Serna Horacio Antonio,  
Tatiana Brome Uribe,  
Welmer Herrón Cardona,  
Wilson Ariel Martínez Ruiz.

Finalmente, agradezco a todos los que de una u otra forma hicieron aportes al presente estudio y que no los tengo presentes en este momento. Les ofrezco disculpas por el olvido. Para todos y todas mil y mil gracias.

# RESUMEN

---

Este trabajo se realizó en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín entre junio de 2011 y febrero de 2012. El objetivo es tratar de disminuir el número de estudiantes desertores y reprobados en la asignatura Física Electricidad y Magnetismo.

Se trata pues de hacer propuestas pedagógicas en relación con la presentación del tema voltaje eléctrico y de los conceptos relacionados: carga y campo eléctrico, finalizando con la evaluación de las diferentes propuestas.

Entre las discusiones que se abordan en este trabajo, se analiza el capítulo de potencial eléctrico en algunos libros de texto de Física universitaria de uso corriente en nuestras universidades, como fuentes importantes de errores conceptuales; se presenta la discusión apoyada en seis ejemplos concretos.

Se desarrolló un tipo de Test de Conceptos propio, que permitió desarrollar propuestas de medición del error conceptual y de la apropiación del conocimiento por el alumno, específicas para este trabajo.

Las propuestas, tanto temáticas como pedagógicas, fueron incorporadas por el autor a una unidad didáctica que aplicó al grupo 2 –de 5 en total que participaron en el estudio. Con el fin de evaluar el impacto de la unidad didáctica en el grupo 2 con relación a las demás, se aplicaron pretest y posttest de conceptos a los 5 grupos. Luego se invitó a todos los participantes a resolver un test adicional denominado “Test de Percepción”. Con este test se pide a los participantes en la investigación hacer valoración de 19 aspectos, relacionados, en su mayoría, con la manera como percibieron el desarrollo de la unidad didáctica y, su trabajo personal.

Se propone aquí una manera, novedosa en el medio, de evaluar unidades y estrategias didácticas creando un indicador que aúna las mediciones de la apropiación del conocimiento y del error conceptual. Finalmente, se demostró, con

significancia estadística, que algunas estrategias pedagógicas hacen que los estudiantes se sientan más a gusto durante el desarrollo de la unidad didáctica.

## **PALABRAS CLAVES**

---

Unidad didáctica, analogía, medición del error conceptual, medición de la apropiación del conocimiento, medición combinada de la apropiación del conocimiento y del error conceptual, actividades pedagógicas, subsunsores, experimentos en video.

# ABSTRACT

---

The purpose of this research is to reduce the student dropout and failure rate in the course Physics Electricity and Magnetism. This work was conducted at the Universidad Nacional de Colombia in Medellín from June 2011 to February 2012.

The research consists of proposing and evaluating several pedagogical practices relating to the teaching of electric voltage and associated concepts: charge and electric field.

One of the discussions advanced within this work is an analysis of the electric potential chapter in certain college-level Physics textbooks commonly used in our universities, as an important source of misconceptions. The discussion is supported by six concrete examples.

A particular Concepts Test was developed that allowed the development of proposals to measure both misconception and appropriation of knowledge by the student; specific to this work.

The suggestions, both thematic and pedagogical, were incorporated by the author in a teaching unit implemented in test group 2 of 5 overall groups who participated in the study. In order to assess the impact of the teaching unit in group 2 compared with the rest, concept pretests and posttests were administered to all 5 groups. Then, all participants were invited to solve an additional test called "Test of Perception". In this test, research participants were asked to rate 19 aspects related, mostly, with the way they perceived the implementation of the teaching unit and their personal work.

This work proposes an innovative way of evaluating teaching units and teaching strategies by creating an indicator that blends measurements of knowledge appropriation and misconception. Finally, it was demonstrated with statistical significance, that some teaching strategies allow students to feel more comfortable during the teaching unit development.

## KEY WORDS

---

Teaching unit, analogy, misconception measurement, knowledge acquisition measurement, mixed measure of knowledge acquisition and misconception, pedagogical activities, subsensor, experiments in video.

# CONTENIDO

---

	pág.
DEDICATORIAS .....	III
RESUMEN .....	VIII
PALABRAS CLAVES .....	X
KEY WORDS .....	XII
INTRODUCCIÓN .....	1
1 MARCO REFERENCIAL .....	7
1.1 EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE AUSUBEL .....	7
1.1.1 Conceptos	8
1.1.2 Adquisición de conceptos.	8
1.1.3 Aprendizaje significativo	8
1.1.4 El error conceptual	9
1.2 LA ANALOGÍA: HERRAMIENTA PEDAGÓGICA .....	10
1.3 USO DE EXPERIMENTOS EN VIDEO O EN VIVO .....	13

1.4	LA INTERACCIÓN PROFESOR - ALUMNO .....	15
1.5	ERRORES CONCEPTUALES POR LOS LIBROS DE TEXTO .....	16
2	DISEÑO METODOLÓGICO .....	23
2.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.2	CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DE LA UNIDAD DIDÁCTICA .....	24
2.2.1	Composición de la materia	24
2.2.2	Carga y portador de carga	25
2.2.3	La carga de prueba $q_0$	25
2.2.4	Fuerzas de acción a distancia vs. Concepto de campo	26
2.2.5	Conceptos de potencial eléctrico y voltaje eléctrico	28
2.2.6	¿En electrostática todo debe estar estático?	30
2.2.7	Por qué es conveniente introducir el voltaje eléctrico	32
2.2.8	Otras analogías sugeridas para la unidad didáctica	35
2.2.9	Sistema - energía - voltaje- trabajo	40
2.3	TEST ELABORADOS EN ESTE ESTUDIO.....	41
2.3.1	Test de Conceptos	41
2.3.1.1	Justificación de los criterios del diseño	46
2.3.2	Contenido del Test de Conceptos	47
2.3.3	Test de Percepción	49
2.4	VARIABLES E INDICADORES.....	50
2.4.1	Variables creadas a partir del Test de Percepción	51

2.4.2	Medición del error conceptual	52
2.4.2.1	Variable “Total Error Conceptual Alumno”	53
2.4.3	Medición del conocimiento	53
2.4.3.1	Variable “Total Conocimiento Alumno”	57
2.5	HIPÓTESIS.....	58
2.6	HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS UTILIZADAS.....	59
2.7	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	60
2.8	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	62
2.9	PROCEDIMIENTO.....	62
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
3.1	TEST DE PERCEPCIÓN.....	66
3.1.1	Descriptivos de las variables	66
3.1.2	Diferencias en las variables, entre grupos.	70
3.2	VARIABLES “RECEXINV”, “RECEXAPP” Y “AGUSTO”.....	71
3.2.1	Variables “RECEXINV” y “AGUSTO”	72
3.2.2	Variables “RECEXAPP” y “AGUSTO”	72
3.2.3	Validación de los postest resueltos por Internet	73
3.3	TEST DE CONCEPTOS.....	74
3.3.1	Pretest	74
3.3.2	Postest	75

3.4	COMPARATIVO ENTRE PRETEST - POSTEST .....	76
3.5	ANÁLISIS COMBINADO CONOCIMIENTO - ERROR CONCEPTUAL .....	78
3.6	NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS.....	84
3.6.1	En “Total Error Conceptual Alumno” en pretest	84
3.6.2	En “Total Conocimiento Alumno” en pretest	87
3.6.3	En “Total Error Conceptual Alumno” en postest	89
3.6.4	En “Total Conocimiento Alumno” en postest	91
3.6.5	En “Total Conocimiento Alumno” entre pre y postest.	94
4	CONCLUSIONES .....	95
4.1	LAS HIPÓTESIS NULAS .....	95
4.2	RESULTADOS GENERALES.....	97
5	RECOMENDACIONES.....	103

# LISTA DE TABLAS

---

	pág.
Tabla 1: Analogía sugerida para exponer la necesidad de introducir el concepto de voltaje.	32
Tabla 2: Otras analogías sugeridas para la unidad didáctica.	36
Tabla 3: Errores conceptuales base para la elaboración del Test de Conceptos	48
Tabla 4: Breve descripción de las variables del Test de Percepción	50
Tabla 5: Variables creadas para cada alumno y utilizadas en el análisis estadístico.	51
Tabla 6: Medición del error conceptual para cada pregunta aislada.	52
Tabla 7: Explicación de los valores de la Tabla 6.	53
Tabla 8: Medición del grado apropiación del conocimiento.	56
Tabla 9: Presentación comprehensiva de los criterios de evaluación de la apropiación del conocimiento.	57
Tabla 10: Estadísticos descriptivos de la percepción de la exposición de las unidades didácticas, por los estudiantes	68
Tabla 11: Diferencias en las variables de la Tabla 10, analizadas comparando todos los grupos. Solo se recogen las diferencias estadísticamente significativas.	70
Tabla 12: Análisis “Suma de Rangos de Wilcoxon” para la variable “POREXANA” analizada por grupos.	71

Tabla 13: Análisis comparativo de los resultados de la variable “Total Conocimiento Alumno”.	77
Tabla 14: ODDS RATIO para la variable “PRINTR1”	82
Tabla 15: Logits para la variable “PRINT1”	82
Tabla 16: Interpretación de los resultados de la Tabla 15.	83

# LISTA DE GRÁFICAS

---

	pág.
Gráfica 1: Ejemplo en un conocido texto de Física universitaria en el que no se menciona el nivel de potencial nulo.	19
Gráfica 2: Problema de potencial eléctrico propuesto en un curso de Física del MIT.	20
Gráfica 3: Problema propuesto en el texto de Halliday.	31
Gráfica 4: Problema propuesto en el MIT Physics Course, 8-02t-spring-2005 Chapter 3 el literal c). Después de la gráfica se presenta la traducción.	32
Gráfica 5: Ampliación gráfica de la analogía 4.	37
Gráfica 6: Representación de la analogía 5 de la Tabla 2.	40
Gráfica 7: Una pregunta típica del test de Vatansver O.	43
Gráfica 8: Primera pregunta corta para evaluar el error conceptual 11 de la Tabla 3.	45
Gráfica 9: Segunda pregunta corta para evaluar el error conceptual 11 de la Tabla 3.	45
Gráfica 10: Histograma de los Errores Estadísticos de “Total Error Conceptual Alumno” en Pretest.	85
Gráfica 11: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de la variable “Total Error Conceptual Alumno” en Pretest.	86

Gráfica 12: Histograma de los Errores Estadísticos de los datos de “Total Conocimiento Alumno” en Pretest	88
Gráfica 13: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de los “Total Conocimiento Alumno” en Pretest.	89
Gráfica 14: Histograma de los Errores Estadísticos de los Datos de “Total Error Conceptual Alumno” en Postest	90
Gráfica 15: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de “Total Error Conceptual Alumno” en Postest.	91
Gráfica 16: Histograma de los Errores Estadísticos de los datos de “Total Conocimiento Alumno”	92
Gráfica 17: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de los Datos de “Total Conocimiento Alumno”, en Postest.	93

# LISTA DE APÉNDICES

---

	pág.
Apéndice 1: Test de conceptos aplicado como postest.	110
Apéndice 2: Test de Percepción.	124

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

El curso de Física Electricidad y magnetismo en la Universidad Nacional Sede Medellín y en general en las universidades públicas del país ha presentado durante mucho tiempo, altas tasas de alumnos reprobados. El temor por la asignatura ha llevado a muchos estudiantes, que deben cursarla obligatoriamente, a retrasar su matrícula hasta el penúltimo o último semestre de la carrera ante el temor de perder la calidad de estudiantes. Varios programas de Ingeniería de nuestra Universidad han pasado la asignatura Física Electricidad y Magnetismo del grupo de asignaturas básicas del pensum al grupo de asignaturas de libre elección. El hecho de que un buen número de alumnos y alumnas de Ingeniería estén dejando de lado el estudio de la Electricidad y el Magnetismo no deja de ser deplorable, pues hoy más que nunca el electromagnetismo está presente en la vida de las personas, tanto en la industria como en la oficina y en el hogar; y hasta en la cartera o el bolsillo. Incluso dentro de cada persona. en el funcionamiento del cuerpo humano tiene un importante componente de electricidad, corrientes, voltajes, etc. (el corazón, el cerebro, los músculos... todo él).

## MOTIVACIÓN

Considera el autor que una de las causas de las altas tasas de reprobación en esta asignatura, puede estar en la falta de subsensores adecuados en los alumnos, que les permita apropiarse el nuevo conocimiento. Ausubel [1] llama subsensores a las ideas que cumplen el papel de anclajes del nuevo conocimiento. Si faltan los subsensores adecuados, el aprendizaje se vuelve

problemático e incluso estéril. De acuerdo con la teoría del Aprendizaje Significativo, los nuevos conceptos que el alumno debe apropiarse, necesitan de ideas adecuadas ya presentes en la estructura cognitiva del alumno. La dificultad para encontrar subsunsores tiende a crecer con el grado de abstracción del tema tratado.

Cuando no se tienen los subsunsores necesarios, pueden crearse en la estructura cognitiva del estudiante. Más adelante se propone recurrir a algunas analogías cómo medio para crear subsunsores adecuados en el estudiante.

La Física Electricidad y magnetismo tiene un alto grado de abstracción; esto lleva al menos a que, al no comprender los conceptos de la asignatura, un número no pequeño de estudiantes se vean abocados a aprender de memoria las ecuaciones y la resolución de los problemas para aprobar la asignatura. Este procedimiento desmotiva al alumno y le hace penosa la asistencia a clase, y termina por generar en el alumno una actitud de rechazo hacia la asignatura.

Otra de las causas que dificulta la comprensión del tema potencial eléctrico es, en opinión del autor, que en los textos universitarios falta un adecuado entronque de los conceptos de sistema, trabajo del sistema, trabajo sobre el sistema, etc., con el concepto voltaje eléctrico.

Se echa de menos también una explicación convincente (habitualmente no se da ninguna explicación) de por qué es conviene introducir la variable “voltaje” ( o “potencial”) en lugar de utilizar las variables trabajo y la energía como se hace en la Física Mecánica.

Por otra parte, es claro para cualquier docente que, una presentación ordenada y coherente, por sí sola, no basta para conseguir que el alumno se apropie el conocimiento. Es necesario complementar la presentación del tema con estrategias que permitan despertar el interés, mantener la motivación y la atención, y garantizar, en alguna medida, que los estudiantes se apropien de los conceptos.

Hay permanentes intentos de hacer más comprensibles los temas de Electricidad y Magnetismo. Una de las propuestas es recurrir a experimentos en vivo en el aula de clase teórica. En el MIT (Massachusetts Institute of Technology), al menos algunas clases de Física, se organizan en salones provistos de ayudas audiovisuales, dos tableros dobles y equipos de laboratorio, además de un gran mesón para hacer experimentos en vivo mientras el profesor presenta los temas. En Youtube se pueden ver muchas clases filmadas en MIT. Para la muestra se sugiere consultar las siguientes direcciones:

<http://www.youtube.com/watch?v=qgkUeQ0nsF8&feature=related> y  
[http://www.youtube.com/watch?v=3omwHv3Cmog&feature=autoplay&list=SPC2CEECD938FD494&f=list\\_related&playnext=2](http://www.youtube.com/watch?v=3omwHv3Cmog&feature=autoplay&list=SPC2CEECD938FD494&f=list_related&playnext=2)

## **JUSTIFICACIÓN**

La situación de altas tasas de reprobación en la asignatura Física Electricidad y Magnetismo en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín no es una excepción. Varios autores han estudiado las dificultades que tienen los alumnos de Ciencias e Ingeniería para comprender los conceptos de carga eléctrica, campo eléctrico y potencial eléctrico [2–5] .

Sobre el tratamiento que se hace del concepto “potencial eléctrico” en los libros de texto para los primeros cursos de física universitaria en facultades de Ingeniería, se puede resaltar lo siguiente:

Analizando, por ejemplo, el texto clásico de Física universitaria de Serway Jewitt [6] en la página 711 comienza la presentación del tema con una integral que define la energía potencial eléctrica. Acto seguido presenta la ecuación del voltaje (diferencia de potencial). Inmediatamente se pasa al cálculo del voltaje en un campo eléctrico uniforme. Un análisis del capítulo muestra que la presentación es básicamente matemática, acudiendo casi exclusiva y pobremente al subsunor energía potencial gravitacional, que los alumnos deben haber adquirido en el curso de Física Mecánica.

Por otra parte, los textos presentan pero no enfatizan la diferencia que existe entre los conceptos “energía potencial eléctrica” y “potencial eléctrico”. Se genera confusión cuando, al hablar, no se hace hincapié en el hecho de que el potencial eléctrico es el efecto de la capacidad que la carga eléctrica tiene de modificar las características del espacio que la rodea, asignando a cada punto de su entorno un valor numérico; el valor del potencial (que es un campo escalar). Por otra parte, la energía es una propiedad de un sistema en el que hay al menos dos objetos que pueden interactuar, como por ejemplo la carga “fuente” y la “carga de prueba”.<sup>1</sup>

Infortunadamente tampoco se hace hincapié en el hecho de que, al medir el potencial eléctrico siempre se está midiendo respecto a un nivel de referencia de potencial eléctrico nulo, sea porque es realmente nula o sea porque se define como nula arbitrariamente. Adicionalmente no se indica que el nivel escogido de energía potencial eléctrica nula es a la vez el nivel de potencial eléctrico nulo necesariamente.

Las presentaciones del mismo tema en textos universitarios de Física de autores diferentes siguen esquemas similares [7], [8]

## **OBJETIVOS GENERALES**

1. sugerir criterios para la elaboración de una unidad didáctica del tema Potencial Eléctrico, que sea alternativa a la presentación clásica que se encuentra hoy en día en los textos universitarios de Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería de primeros semestres. Los criterios sugeridos deben ayudar a disminuir el error conceptual y a aumentar el conocimiento adquirido por el alumno.

---

<sup>1</sup> En este trabajo se utiliza la siguiente definición de energía: “la energía de un sistema es su capacidad de hacer trabajo”, que permite trabajar casi todos los temas de la asignatura. Sin embargo, es una definición en crisis que, al menos, no da razón de la energía por unidad de volumen asociada a cualquier campo eléctrico, incluso el producido por un solo objeto cargado y aislado:  $u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$ .

2. Aplicar y analizar estadísticamente el Test de Conceptos<sup>2</sup> para medir el impacto de una unidad didáctica basada en los criterios propuestos en este trabajo y desarrollada con el grupo 2 (grupo experimental), y comparar los resultados con los obtenidos en los demás grupos. La evaluación del impacto se hará midiendo y comparando, el error conceptual y el conocimiento adquirido; también se buscará evaluar el impacto con una medición simultánea de los dos factores (apropiación del conocimiento y error conceptual).

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar y/o escoger herramientas para la medición:
  - a. de la apropiación del conocimiento por parte del alumno,
  - b. del nivel de error conceptual y
  - c. de la percepción que tiene el alumno del desarrollo de las clases de potencial eléctrico que recibió (Test de Percepción).
2. Evaluar la influencia que tienen sobre la adquisición del conocimiento y el error conceptual las diferentes estrategias didácticas y pedagógicas medidas con el Test de Percepción<sup>3</sup>.
3. Evaluar si algunas de las estrategias pedagógicas propuestas ayudan a muchos estudiantes a superar el rechazo a la asignatura Física Electricidad y Magnetismo; más aun, indagar si se cuáles estrategias ayudan a que el alumno se sienta a gusto en el curso.

## PROCEDIMIENTO

Se hace aquí una descripción sucinta del procedimiento realizado en el desarrollo de este trabajo de investigación y más adelante se describirá con más detalle.

---

<sup>2</sup> Se puede consultar en el **Apéndice 1**.

<sup>3</sup> Se puede consultar en el **Apéndice 2**.

1. En primer lugar se hizo una revisión bibliográfica de los errores conceptuales más comunes en la enseñanza del campo eléctrico, del potencial eléctrico y conceptos afines. También se hizo una revisión de las críticas que se hacen al uso de las analogías y al uso de videos en la enseñanza de las ciencias.
2. Simultáneamente se preparó el Test de Conceptos para aplicarlo como pre y postest.
3. Luego se diseñó el Test de Percepción para aplicarlo después de efectuado el postest.
4. Se aplicó el pretest.
5. Se aplicaron las cinco unidades didácticas a igual número de grupos de estudiantes.
6. Se aplicó el postest.
7. Se aplicó el Test de Percepción
8. Se tabuló la información.
9. Se hizo el análisis estadístico y se obtuvieron y seleccionan los resultados más significativos.
10. Se elaboraron las conclusiones y recomendaciones.

# 1 MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se hará una breve reseña de los aspectos más relevantes para el estudio actual. Concretamente, del aprendizaje significativo de Ausubel, que se complementa con lo que se entiende en este trabajo por “error conceptual”. Adicionalmente se lleva a cabo una revisión crítica del uso de analogías y de experimentos en vivo o en video en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias dentro del aula de clase (se refiere a clases teóricas, no a clases de laboratorio). Se hace luego un análisis sobre la importancia de promover una relación viva entre el profesor y el alumno que genere seguridad en el estudiante y que lo lleve a participar en el desarrollo de la clase y a terminar involucrado en ella. La consecuencia que se espera es una mayor apropiación de conocimiento por parte del estudiante.

Termina el capítulo exponiendo seis ejemplos que tipifican otros tantos casos en los que los libros de texto universitarios inducen a errores conceptuales a los estudiantes.

## 1.1 EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE AUSUBEL

La teoría del aprendizaje significativo de Ausubel está catalogada dentro las varias propuestas constructivistas del aprendizaje [9]. Para comprender la teoría del aprendizaje significativo es necesario presentar brevemente lo que Ausubel entiende por concepto y cómo entiende él los procesos de adquisición de conceptos.

### 1.1.1 Conceptos

Ausubel<sup>4</sup> describe los conceptos como "objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen atributos de criterios comunes y que se designan mediante algún símbolo o signo" [10].

También se llama "concepto" a la abstracción o imagen mental que una persona elabora de una parte de la realidad[11] (ver p.9 de la referencia).

### 1.1.2 Adquisición de conceptos.

Los conceptos, según Ausubel, se pueden adquirir mediante uno de dos procesos: formación o asimilación.

En el proceso de *formación*, el concepto se va perfilando a través del tiempo mediante la experiencia directa.

En el aprendizaje por *asimilación* se identifican los atributos que son comunes únicamente al concepto, como por ejemplo ladrar en el caso del perro. A la vez se distinguen los atributos que pueden ser diferentes sin que se pierda la condición. Por ejemplo, si se habla de un perro, este puede ser de diferentes colores.

### 1.1.3 Aprendizaje significativo

Haciendo una síntesis muy apretada del principio de asimilación de Ausubel [1] tendremos que distinguir entre conceptos que ya están en la estructura cognitiva del aprendiz y conceptos fuera de su estructura y que van a ser aprehendidos por el proceso de asimilación.

Ausubel asegura que, para que el aprendiz pueda apropiarse los nuevos conceptos por el sistema de *asimilación*, este debe tener en su estructura

---

<sup>4</sup> David Paul Ausubel (1918 - 2008) Psicólogo y pedagogo, nacido en los Estados Unidos de América, reconocido por sus aportes al constructivismo.

cognitiva subsunsores<sup>5</sup> que funcionarán como anclajes de los nuevos conceptos en proceso de asimilación. Esto significa que el proceso de asimilación no parte de cero sino de los subsunsores que posee el aprendiz. Los subsunsores hacen parte de los conceptos adquiridos previamente.

De la interacción de los subsunsores con los conceptos en proceso de asimilación, el resultado incluye una mezcla de los conceptos anclaje (subsunsores) y los conceptos asimilados de modo que: los nuevos conceptos quedan en la estructura cognitiva del aprendiz pero modificados por los subsunsores. En el mismo proceso los conceptos anclaje o subsunsores quedan en la estructura cognitiva, pero no como estaban antes del proceso, sino modificados.

El aprendizaje significativo es ampliamente conocido y existe abundante bibliografía al respecto. Esta exposición se limita a presentar lo que tiene que ver más directamente con el presente trabajo.

#### **1.1.4 El error conceptual**

Se habla de error conceptual cuando la abstracción o imagen mental o conjunto de imágenes mentales que una persona elabora de una parte de la realidad no coincide con lo universalmente aceptado en la comunidad científica. Por ejemplo en alguna parte del mundo podría existir alguien con el error conceptual de que la Tierra es plana.

---

<sup>5</sup> Aunque el vocablo *subsunsores* no existe en el diccionario de la RAE, puede comprenderse a partir de un vocablo similar: *subsumir* que tiene dos acepciones **1.** tr. Incluir algo como componente en una síntesis o clasificación más abarcadora. y **2.** tr. Considerar algo como parte de un conjunto más amplio o como caso particular sometido a un principio o norma general.

## 1.2 LA ANALOGÍA: HERRAMIENTA PEDAGÓGICA

La palabra analogía procede del griego ἀναλογία – *analogia*, que significa *proporción*. [12]. Cuando se habla de una analogía se está afirmando que existe alguna o algunas relaciones de semejanza entre cosas distintas. El recurso a la analogía implica un esfuerzo intelectual para detectar atributos semejantes en objetos diferentes.

El uso de las analogías en la docencia aprovecha, al menos, dos maneras de conocimiento que tiene el ser humano: la intuición y el razonamiento.

En la práctica pedagógica se encuentran casos de estudiantes que entienden un concepto de electricidad, pero no lo aceptan porque les parece irreal. En estos casos ha resultado eficaz presentarle el mismo concepto o un concepto similar en un análogo mecánico que sea conocido por el alumno.

En todo caso, la discusión sobre la conveniencia o inconveniencia del uso de las analogías en la docencia supera las dos decenas de años y aún continúa [13], [14].

Muchos consideran que la analogía es una espada de doble filo, pero que, cuando se utiliza adecuadamente es una valiosa herramienta pedagógica [15][16]

Las posibilidades de comparación entre cosas dan nombre a igual cantidad de analogías, por ejemplo las de atribución, de relación, la estructural, la funcional, etc. Bástenos mencionar brevemente la *analogía funcionalista* pues se acomoda al tipo de analogías que se proponen en este trabajo.

Pereda y Tagle [17] en 1992 presentaron la llamada *Analogía funcionalista* dentro de la descripción de lo que es un argumento por analogía. El argumento por analogía se basa en un objeto –que denomina *análogo*– para llegar a una conclusión en un objeto real o imaginario –que denomina *analogado*–; su discusión utiliza muchos de los argumentos expuestos por Putnam [18] [19].

La utilidad de la argumentación analógica funcional está en que: el análogo es mejor conocido que el analogado; hay similitudes importantes en el funcionamiento de los dos (análogo y analogado) y no hay diferencias tan marcadas de modo que hagan inútil la comparación.

Entre las críticas que suelen hacerse al uso de analogías en la docencia es que generan errores conceptuales en los estudiantes porque los alumnos transfieren indebidamente al analogado características del análogo. Es importante entonces señalar que el análogo y el analogado no son dos cosas distintas. Aunque parece de Perogrullo afirmarlo, es necesario hacerlo porque, al argumentar analógicamente, lo que se aprovecha son las similitudes entre análogo y analogado, conscientes de que son distintos. Conviene por tanto —y esto hay que hacerlo siempre y reiteradamente en las clases— indicar con claridad en qué son analogables el análogo y el analogado y en qué no lo son.

Aunque parezca, no es exagerada la insistencia: hay que hacer comprender al alumno que una analogía no explica **todas las facetas** del analogado [15]; por esta razón algunos han planteado la necesidad de utilizar múltiples analogías para explicar un mismo fenómeno [13].

Pero el uso de múltiples analogías ha sido criticado incluso por los mismos alumnos; que se utilice más de una analogía les incomoda: prefieren “una sola explicación para un solo fenómeno”<sup>6</sup> [20]

Una crítica adicional al uso de cierto tipo de analogías es que, en ocasiones, el análogo resulta ser más difícil de comprender que el mismo analogado [21].

Tomando las precauciones necesarias, el uso de analogías es especialmente útil cuando lo que se quiere explicar no se puede ver directamente, como sucede con la electricidad y el magnetismo [14]. Los electrones y los protones están en la base del estudio del voltaje eléctrico; el electrón no tiene estructura interna conocida y tiene una masa de  $9,11 \times 10^{-31}$  kg; la masa del protón es  $1,67 \times 10^{-27}$  kg.

---

<sup>6</sup> La traducción es del autor de este trabajo.

Por tanto, el uso de las analogías está plenamente justificado siempre y cuando se utilice con las debidas precauciones.

Para obviar las dificultades que plantea el uso de la analogía, además de las precauciones que se han mencionado, se viene trabajando desde hace bastantes años en el desarrollo de métodos y estrategias que hagan más científico el uso de las analogías. Algunos de los métodos reportados son las “*Analogías Puente*” (*Bridging Analogies*) [22]) y el método de validación de analogías mediante *conerving transformations* y *dual simulations* propuestos por Clement y su equipo.[23] [24]

Los experimentos llevados a cabo por el equipo de Clement [14] han demostrado que el uso de las analogías incrementa significativamente la capacidad apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes. Sin embargo, los métodos propuestos por Clement implican una dedicación importante de tiempo de la clase para demostrar por qué la analogía escogida es válida o para hacer una serie de analogías puente antes de llegar al analogado.

Otros estudios [25] distinguen entre analogía interna o externa; analogías equivalentes o compartidas; analizan cuándo un análogo es visual, cuándo es multisensorial; se estudia cuándo las analogías refuerzan el análogo y crean coincidencia, etc. El tema de las analogías ha sido ampliamente estudiado y son muchas las cosas que se pueden decir al respecto; pero, con lo dicho hasta ahora, el autor considera que se tiene información suficiente para el objetivo trazado al presente estudio.

Resumiendo lo dicho hasta el momento, podríamos decir que está demostrada la eficacia del buen uso de las analogías en las ciencias y que se debe cuidar especialmente:

- Escoger certeramente el análogo, que debe ser bien conocido por el estudiante. Se recomienda, para asegurar el éxito del proceso, recordar y/o volver a explicar las características, funcionalidades, parámetros, etc. del

análogo y cómo estas cosas se trabajan en el análogo, antes de pasar a hacer la analogía.

- Determinar en qué son similares el análogo y el analogado.
- Acotar la parte del análogo que se va a tomar para hacer la analogía.
- Transferir del análogo al analogado la información semejante.
- Resaltar reiteradamente hasta dónde llegan las similitudes entre análogo y analogado y cuáles características del análogo ***no son transferibles al analogado***.
- Reforzar las características del analogado creando paulatinamente distancia con el análogo.

### 1.3 USO DE EXPERIMENTOS EN VIDEO O EN VIVO

En nuestra época más que en ninguna otra los alumnos viven inmersos en el mundo de la imagen, el video y los programas interactivos [26]. El video y los programas interactivos captan la atención mejor que muchas otras estrategias de motivación.

Sobre la conveniencia de presentar experimentos en video para introducir, explicar o ampliar conceptos de la física, se encuentran, en la literatura, opiniones favorables y desfavorables.

Se considera, entre otras objeciones, que en la presentación de experimentos en video el alumno se mantiene pasivo [27] y a cambio se recomienda el uso de material multimedia que permita al alumno interactuar y manipular experimentos de forma digital (simulaciones). La experiencia del autor en el uso de material multimedia interactivo es positiva con algunas objeciones: el uso de software interactivo por parte de todos los estudiantes o distribuidos en grupos de a dos en

las clases teóricas, requieren de muchos equipos que no suelen estar disponibles en los salones de clases teóricas en Colombia ni en muchos otros países. Utilizar estos medios digitales interactivos, si se tuvieran los computadores, requieren de un tiempo de aprendizaje del alumno; pero el tiempo en las clases teóricas es un recurso escaso; no parece práctico. El autor utiliza programas interactivos en las clases teóricas que dicta, pero quien manipula el programa es el profesor (que ya conoce el programa) y lo proyecta en una pantalla para que los estudiantes puedan seguir el desarrollo de la clase. Es decir que se vuelve a caer nuevamente en la actitud pasiva del estudiante. Sin embargo, la actitud pasiva del estudiante no es causada por los videos. La pasividad, podríamos decir que es una *enfermedad estudiantil endémica* que corresponde al profesor tratar y *curar*.

La presentación de un experimento en video sin formular previamente preguntas ni presentar antes conceptos físicos, sin detener el video para pedir a los alumnos que aventuren el resultado o para subrayar aspectos importantes del experimento; la presentación de un video que no genere un debate entre los alumnos sobre posibles explicaciones del fenómeno en cuestión, ciertamente hace que el alumno continúe pasivo.

Otras opiniones en cambio ven en la presentación de videos científicos una ayuda didáctica para las clases teóricas muy positiva [28] [26].

El experimento en video permite intercalar en el salón de clase experiencias reales que, al menos en Colombia, no es fácil llevar al aula. Un caso de muestra es el efecto de levitación diamagnética de una pequeña rana utilizando un electroimán superconductor. Algo similar sucede en otras áreas de la Física [29].

Despertar el interés de los alumnos, llevarlos a que analicen y discutan los conceptos de la física con base en experimentos en video es uno de los recursos pedagógicos que se recomiendan para llevar adelante una unidad didáctica en Electroestática.

## 1.4 LA INTERACCIÓN PROFESOR - ALUMNO

Los años de experiencia docente universitaria en la enseñanza de la Física del autor de la presente tesis, le han demostrado que la clase del profesor no debe ser inocua. La clase tiene que dar al alumno un valor agregado diferente al que le dan los textos guía o de consulta, y debe, por lo menos despertar la curiosidad del estudiante para que haga una búsqueda bibliográfica de algunos de los temas tratados en clase.

El aporte principal del profesor debe ser dar la visión de conjunto de la asignatura, la relación de estos conocimientos con los de otras áreas del saber, con el entorno inmediato del estudiante y con el ambiente que puede encontrarse en su actividad profesional. Otro aporte del profesor debe ser (es ya un lugar común) propiciar en el estudiante un aumento de su capacidad argumentativa, analítica y de síntesis; y esto a la hora de desarrollar un concepto, de presentar una experiencia que lleve a plantear y resolver un problema, etc.

Para conseguir los objetivos que se acaban de indicar, es necesario conseguir que el alumno se involucre en la clase; una manera de conseguirlo es mantenerlo intelectualmente activo. Para esto se puede emplear la antigua práctica del diálogo socrático o método de Elenchus ampliamente conocido y de reconocida eficacia.

Edward F. Redish y Richard N. Steinberg al recomendar la educación basada en la investigación (cuestión que está hoy en día en auge) mencionan la necesidad del diálogo profesor-estudiante en el desarrollo de la clase [30]. Argumentan que es una manera directa de hacerse cargo de cómo aprenden los estudiantes. Estos y muchos otros argumentos de conveniencia parecen decirnos —señalan— que, al menos en primeros semestres de la Universidad conviene sustituir la tradicional clase magistral por clases interactivas entre el profesor y sus estudiantes.

Por otra parte es usual que un grupo no pequeño de alumnos están en las clases más por llenar el requisito de aprobar la asignatura que por adquirir los

conocimientos: lo que realmente les interesa es aprobar la asignatura. Por esto no se debe descartar incentivar a los estudiantes a través de calificaciones *plus* para aquellos que hagan aportes significativos a la clase. Esta práctica tiene la ventaja adicional de mantener a los estudiantes concentrados alrededor del tema que se trata y a la espera de la siguiente pregunta.

No parece que sea válida la crítica que se hace a este tipo de métodos pedagógicos por considerar que son “motivaciones externas”. Buscar una compensación a lo que se hace o entrar en competencia con otros, etc. es algo que está en la naturaleza humana; prácticas análogas acostumbran aplicar las Universidades para conseguir incrementar el volumen de investigación de sus profesores: ofrecen puntos por cada publicación de investigación en revistas indexadas; los puntos significan estímulos económicos. Esto no descarta que muchos investigadores trabajen por amor al saber.

Para los estudiantes, obtener calificaciones sobresalientes conlleva posibles beneficios económicos que ofrece la Universidad.

## **1.5 ERRORES CONCEPTUALES POR LOS LIBROS DE TEXTO**

Los libros de texto de uso corriente en las universidades se utilizan presentaciones y expresiones que inducen errores conceptuales en los estudiantes. Algunos de ellos se relacionan a continuación mediante seis ejemplos.

Ejemplo 1: “Tenemos una carga puntual  $q$ ”

La experiencia ha enseñado que esta expresión hace que el estudiante no tenga clara la necesidad de un portador para que exista la carga (sea electrón, ion, etc.).

Se sugiere cambiar la expresión por otra que puede ser: “Tenemos una partícula con carga  $q$ ”.

Ejemplo 2: Es habitual comenzar el estudio de la electricidad exponiendo la ley de Coulomb antes que el concepto de campo eléctrico.

Las fuerzas como la eléctrica y la gravitacional se catalogaron bajo el nombre de “Fuerzas de acción a distancia” y esto se aceptó hasta finales del siglo XIX. Actualmente la comunidad científica explica estas fuerzas mediante la interacción de un campo eléctrico con una carga eléctrica para el caso de la fuerza eléctrica, o por la interacción un campo gravitacional con una masa para el caso gravitacional. Pero la presentación de la ley de Coulomb previa a la de campo equivale a enfatizar primero una fuerza presentada como de acción a distancia, para luego comenzar el arduo camino de intentar comprender qué es un campo eléctrico y cómo interactúa con las cargas eléctricas. Si en la Física Mecánica se presentara la aceleración de la gravedad como un campo gravitacional, ciertamente facilitaría, no poco, la comprensión del campo eléctrico.

Ejemplo 3: suele decirse “Un objeto de masa  $m$  tiene una energía cinética  $K$ ”.

Es necesario recurrir más a definir sistemas antes de plantear ejercicios. En el caso que nos ocupa, si no se desea crear confusión, es necesario definir un objeto de referencia que sea parte del sistema junto con el otro objeto, entre otras cosas porque un objeto aislado no tiene energía cinética, como es bien sabido, porque la energía cinética depende de la velocidad del objeto y la velocidad solo se puede definir con relación a otro objeto. Alguien podría argumentar “pero eso se supone”. Tendría que decirle que es verdad que ya se ha mencionado (usualmente una vez, cuando se hace la presentación inicial), pero, el alumno necesita que se reiteren las condiciones básicas como la mencionada; de lo contrario terminan deformando sus conceptos hacia verdaderos errores conceptuales.

Ejemplo 4: “un objeto de masa  $m$  que está a una altura  $h$  tiene una energía potencial gravitacional  $mgh$ .”<sup>7</sup>

Si no se toma en cuenta la Tierra, el objeto aislado no tendrá ninguna energía potencial gravitacional. Alguno podrá decir “es que se supone que la Tierra está ahí” Es verdad, pero se está induciendo al estudiante a un error porque *lo que tiene la energía no son los objetos individuales, sino los sistemas*. Es importante aclarar que, implícita o explícitamente, se suele utilizar en la presentación de este y otros temas la siguiente definición de energía: “Energía es la capacidad de un sistema de hacer trabajo”<sup>8</sup> (Se toma el concepto “trabajo” en el sentido definido por la física mecánica). Así las cosas parece que sería preferible decir lo siguiente o algo parecido: “La energía potencial gravitacional del sistema objeto-Tierra es  $mgh$  cuando consideramos la superficie de la Tierra como el nivel de energía potencial gravitacional nulo y el objeto está una distancia  $h$  (tal que  $h \ll$  radio de la Tierra) por encima de la superficie de la terrestre,...”<sup>9</sup>.

Ejemplo 5: “El potencial eléctrico de una carga puntual a una distancia  $r$  de la carga está dado por la ecuación  $V_r = \frac{Kq}{r}$  (...y punto)”.

Se echa de menos que se complete lo dicho, con la expresión, “medido respecto a un nivel de potencial eléctrico (o de energía potencial eléctrica) que tiende a cero cuando “ $r$ ” tiende a infinito”.

Si el nivel de referencia, en vez de ser el infinito, fuera un cascarón esférico imaginario con centro en la carga y de radio “ $R$ ”, entonces el potencial eléctrico de la partícula cargada ya no estaría dado por la ecuación anterior. En esta situación sucede lo mismo que se mencionó al final del comentario al Ejemplo 3, es decir,

---

<sup>7</sup> Se habla aquí de gravitación porque en este trabajo se propone utilizar los conocimientos de la gravedad como subsunsores para abordar los conceptos los conceptos de campo eléctrico y voltaje eléctrico.

<sup>8</sup> Todavía no existe un consenso acerca de la definición de Energía.

<sup>9</sup> No se están tomando en consideración otros factores como la disminución de la aceleración de la gravedad cuando aumenta la altura, etc.

se menciona que el potencial tiende a cero cuando la distancia “r” tiende a infinito solamente en la definición de potencial; luego no se vuelve a mencionar. Resulta difícil encontrar un texto de este tipo que mencione que se puede escoger el nivel de potencial nulo arbitrariamente, tal como se hace con la energía potencial gravitacional.

En la Gráfica 1 se presenta la foto de un ejemplo del libro de Serway y Jewitt publicado en el 2009 [6] en el que no se menciona cuál es el nivel de referencia para el potencial nulo. Es una desafortunada práctica, casi universalmente extendida.

Gráfica 1: Ejemplo en un conocido texto de Física universitaria en el que no se menciona el nivel de potencial nulo.

**Example 25.5** Electric Potential Due to a Uniformly Charged Ring

**(A)** Find an expression for the electric potential at a point  $P$  located on the perpendicular central axis of a uniformly charged ring of radius  $a$  and total charge  $Q$ .

**SOLUTION**

**Conceptualize** Study Figure 25.15, in which the ring is oriented so that its plane is perpendicular to the  $x$  axis and its center is at the origin. Notice that the symmetry of the situation means that all the charges on the ring are the same distance from point  $P$ .

**Categorize** Because the ring consists of a continuous distribution of charge rather than a set of discrete charges, we must use the integration technique represented by Equation 25.20 in this example.

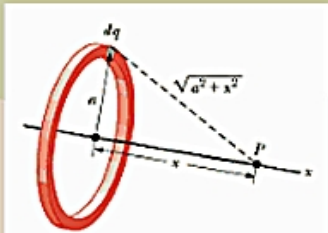
**Analyze** We take point  $P$  to be at a distance  $x$  from the center of the ring as shown in Figure 25.15.

Use Equation 25.20 to express  $V$  in terms of the geometry:

Noting that  $a$  and  $x$  are constants, bring  $\sqrt{a^2 + x^2}$  in front of the integral sign and integrate over the ring:

$$V = k_e \int \frac{dq}{r} = k_e \int \frac{dq}{\sqrt{a^2 + x^2}}$$

$$V = \frac{k_e}{\sqrt{a^2 + x^2}} \int dq = \frac{k_e Q}{\sqrt{a^2 + x^2}} \quad (25.21)$$



**Figure 25.15** (Example 25.5) A uniformly charged ring of radius  $a$  lies in a plane perpendicular to the  $x$  axis. All elements  $dq$  of the ring are the same distance from a point  $P$  lying on the axis.

La traducción del enunciado dice así: (A) encuentre una expresión para el potencial eléctrico en un punto  $P$  localizado en la eje perpendicular que pasa por el

centro, del aro uniformemente cargado. El radio del aro es  $a$  y su carga total es  $Q$ .<sup>10</sup>

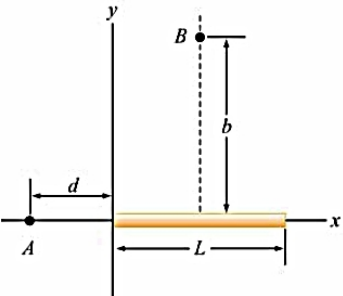
En la Gráfica 2 se presenta otro ejemplo tomado del MIT Physics Course, 8-02t-spring-2005 Chapter 3 [31].

La traducción del enunciado dice así: Una varilla de longitud  $L$  está colocada a lo largo del eje  $x$ , con su extremo izquierdo en el origen y tiene una densidad de carga no uniforme  $\lambda = \alpha x$ , donde  $\alpha$  es una constante positiva.

- (a) ¿Cuáles son las dimensiones de  $\alpha$ ?
- (b) Calcule el potencial eléctrico en el punto  $A$ .

Gráfica 2: Problema de potencial eléctrico propuesto en un curso de Física del MIT.

A rod of length  $L$  lies along the  $x$ -axis with its left end at the origin and has a non-uniform charge density  $\lambda = \alpha x$ , where  $\alpha$  is a positive constant.



The diagram shows a Cartesian coordinate system with a horizontal x-axis and a vertical y-axis. A yellow rod of length  $L$  is positioned along the x-axis, starting from the origin (0,0) and extending to  $x=L$ . A point  $A$  is marked at the origin. A point  $B$  is located in the first quadrant, with a horizontal distance  $d$  from the origin and a vertical distance  $b$  from the x-axis. A dashed vertical line connects point  $B$  to the x-axis at  $x=d$ .

- (a) What are the dimensions of  $\alpha$  ?
- (b) Calculate the electric potential at  $A$ .

Como se puede apreciar, tampoco en el caso de la figura 2 se menciona un nivel de referencia nulo para el potencial; usualmente se deja implícito el hecho de que,

<sup>10</sup> La traducción es del autor de este estudio

para distribuciones de carga finitas se acostumbra, aun cuando no sea una obligatoriedad, tomar un nivel de referencia en un punto cuya distancia al objeto tiende a infinito.

Ejemplo 6: La presentación del concepto de corriente eléctrica desligado del concepto de voltaje eléctrico y del potencial eléctrico.

Se ha puesto de presente desde hace bastantes años que los libros universitarios de introducción a la Física Electricidad y Magnetismo, omiten indicar o no enfatizan suficientemente la relación que existe entre el capítulo de potencial eléctrico y el capítulo de circuitos de corriente directa. Así lo señalan, entre otros Moreau, W.R. y otros, y Rainson, S. y otros al final del artículo "*Students' understanding of superposition of electric fields*" [32] y [33], y otros. La pérdida para los alumnos, por este motivo, es grande. Podría estar en ella parte de la explicación de por qué le cuesta tanto a los estudiantes comprender cómo opera un circuito eléctrico.

La experiencia con el grupo experimental (grupo 2) mostró que no hay inconveniente, al contrario, en introducir, en el estudio del voltaje eléctrico, una noción básica del concepto de corriente eléctrica muy al comienzo de este capítulo; por ejemplo así: "corriente eléctrica es carga en movimiento respecto a un observador que se mueve con velocidad relativa diferente de cero y uniforme". Esto permite comenzar el enlace entre voltaje y corriente eléctrica. Un poco más adelante en el mismo capítulo se puede introducir, sin traumatismos, la noción de "intensidad media de corriente eléctrica" como una medida de la cantidad promedio de carga eléctrica que pasa por un punto en un lapso de tiempo dado  $(\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t})$ .

Así como los ejemplos que se acaban de mencionar existen muchos en otros textos, pero el objetivo no es simplemente mostrar errores sino construir una

metodología de enseñanza que es lo que se comenzará a hacer a partir del siguiente capítulo.

## 2 DISEÑO METODOLÓGICO

Se detallan ahora los criterios propuestos para el diseño de una unidad didáctica en voltaje eléctrico y se presentan las analogías seleccionadas. Luego se hace una exposición sustentada del proceso de elaboración de los test utilizados en la investigación. Más adelante se explica cómo se definieron las variables e indicadores que se utilizaron para medir el impacto de las cinco unidades didácticas. Posteriormente se relacionan las hipótesis nulas que se pondrán a prueba. Con el fin de facilitar la comprensión de las ideas y procedimientos empleados en esta investigación a un grupo más amplio de potenciales lectores, se mencionan los análisis estadísticos aplicados en el estudio.

Continúa el capítulo mostrando el alcance de la investigación, la población y la muestra; y finaliza el capítulo con una descripción más detallada del procedimiento, describiendo además las dificultades que se encontraron en el camino y cómo y hasta dónde se consiguió salvar esas dificultades.

### 2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se puede catalogar como una Investigación Experimental, de acuerdo con las definiciones de investigación en educación que hace Instituto Internacional para la Planeación de la Educación (IIEP por sus iniciales en inglés: International Institute for Education Planning, organismo de las Naciones Unidas), en su documento “Overview of test construction”, 1996 [34]. Allí marca los lineamientos de una investigación experimental así: “se definen una o más variables “causas” que pueden ser manipuladas de una manera sistemática con el fin de investigar los efectos en otras variables.”<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> La traducción es del autor de este trabajo.

## **2.2 CRITERIOS PARA LA CONFECCIÓN DE LA UNIDAD DIDÁCTICA**

Los criterios sugeridos para la elaboración de la unidad didáctica tienen en cuenta los errores inducidos, y ya mencionados, los libros de texto de Física universitaria en el tema potencial eléctrico.

Aunque este trabajo está centrado en el voltaje eléctrico, la presentación del tema está ligado estrechamente a cómo se hizo la presentación del campo eléctrico y los demás conceptos que permiten presentar luego al voltaje eléctrico.

### **2.2.1 Composición de la materia**

Se recomienda comenzar la unidad didáctica con el estudio de la composición de la materia para destacar, en primer lugar, dónde se encuentra la carga eléctrica en la naturaleza, los dos tipos de cargas y la diferencia entre carga y masa. Describir además el electrón, el protón, el neutrón y el gluón como los elementos básicos de la materia. Explicar cómo el número de protones en el núcleo hace que un átomo sea un elemento u otro. Aprovechar para recordar los conceptos de ión e isótopo. Ha sido útil apoyarse en un mapa conceptual de las partículas elementales y subatómicas, haciendo la primera división por el espín, en fermiones y bosones. Esta división es interesante pues el electrón el protón y el neutrón son fermiones, mientras que el gluón es un bosón.

Aunque el concepto de espín no es necesario para comprender el voltaje eléctrico, es importante mencionarlo porque se necesita para explicar el magnetismo en la materia, tema que se trata en la segunda parte del curso de Física Electricidad y Magnetismo.

## 2.2.2 Carga y portador de carga

En el Ejemplo 1 se mencionó la experiencia negativa de no mencionar al portador cuando se trabaja con carga eléctrica. Esta situación es casi universalmente cuando se trata de calcular el campo o el potencial eléctrico de producidos por una carga muy pequeña. Se pueden consultar por ejemplo: la referencia [31] en el capítulo 3, en la página 5 y la referencia [35] en la página 583. Aunque no se refiere al tema que nos ocupa, también algunos autores desligan la carga de la materia al tratar de la corriente eléctrica como sucede en la referencia [6] en la página 834.

El inconveniente de mencionar la carga sin referencia a la materia que la posee es que el alumno tiende a apropiarse el error conceptual de que la carga puede existir sin la materia.

Cuando se habla de cuerpos extensos la situación tiende a cambiar, aunque todavía se encuentra en textos recientes expresiones como la siguiente: “Campo eléctrico debido a una línea de carga” (“The Electric Field Due to a Line of Charge” cf. ref. [35] en la página 586)

## 2.2.3 La carga de prueba $q_0$

No todos los textos exponen ni explican suficientemente el por qué de las características que debe tener la carga de prueba “ $q_0$ ” que se utiliza para detectar la presencia del campo eléctrico y estudiar algunas de sus características. Por ejemplo en la referencia [35], en la página 581 introduce la carga de prueba con la sola indicación de que sea positiva.

Pero, además de positiva, la carga de prueba debe ser mucho menor que la carga que produce el campo. Se necesita también que la carga de prueba esté en reposo. Conviene explicar a los estudiantes el por qué de estas condiciones, aunque de momento no las comprendan todas.

La carga de prueba al ser positiva y estar en presencia de un campo eléctrico, experimenta una fuerza; la dirección y el sentido<sup>12</sup> de esa fuerza son la misma dirección y el mismo sentido del campo eléctrico (sí y solo sí la carga de prueba es positiva).

Cuando se trabaja con objetos extensos cargados y aislados, sean conductores o dieléctricos y se coloca posteriormente una carga en su vecindad, esta produce una deformación del campo eléctrico del objeto inicial; y, si el objeto es conductor, experimentará una redistribución de su carga eléctrica. Para evitar que estas variaciones sean grandes en el objeto que se está estudiando, la carga de prueba  $q_0$  debe ser mucho más pequeña que la carga del objeto. Cuando esta condición se cumple, el efecto perturbador se desprecia.

La tercera exigencia es que la carga de prueba esté en reposo. La explicación resultará inentendible para los alumnos. Por lo que bastaría decir que, “como se verá más adelante, una carga eléctrica en movimiento produce perturbaciones que afectan la distribución de la carga del objeto en estudio.

## 2.2.4 Fuerzas de acción a distancia vs. Concepto de campo

Al comentar el Ejemplo 2 se mencionó la razón pedagógica por la que se recomienda presentar el campo eléctrico antes que la fuerza de Coulomb.

Hoy en día se acepta que la teoría electrodinámica cuántica explica satisfactoriamente, entre otras, las características de los campos eléctricos producidos por objetos cargados y en reposo. Sus predicciones concuerdan con los datos obtenidos experimentalmente. De acuerdo con la teoría<sup>13</sup> el campo eléctrico es una *perturbación* del espacio causada por la carga eléctrica (carga

---

<sup>12</sup> Aunque en algunos ámbitos ha caído en desuso el término *sentido* de un vector, se recomienda recuperarlo. Convendría recordar que un vector tiene magnitud, dirección y sentido. Se llama **dirección** a la *línea de acción* del vector. Fijada la dirección del vector solo quedan dos posibilidades para colocar la flecha al vector. La flecha escogida indica el **sentido** del vector. Es decir que, por poner un caso, definida una dirección, se podrían establecer vectores distintos paralelos (igual sentido) o antiparalelos (sentidos opuestos) de las magnitudes deseadas.

<sup>13</sup> Es importante resaltar que no deja de ser una *teoría*, aunque, bien es cierto que explica convincentemente muchos aspectos de los campos y de las interacciones entre objetos que los generan.

eléctrica en partículas con masa, por supuesto). Por estar la carga en una partícula con masa –dice la teoría– se crean y se emiten fácilmente fotones virtuales<sup>14</sup>. Estos fotones virtuales, que pueden ser positivos o negativos, se crean, se emiten y se destruyen continuamente. Además, la emisión de los fotones virtuales es simétrica en el espacio tridimensional. Para más detalles se puede consultar la referencia bibliográfica [36].

Cabe entonces presentar a los alumnos en este punto, como un dato experimental, la ecuación vectorial que permite calcular el campo eléctrico a una distancia “r” de una pequeña partícula con carga puntual “Q” así:

$\mathbf{E} = \frac{kQ}{r^2} \hat{r}$ . Convendrá presentar también, oportunamente, la constante “k” y ahondar en la dependencia del campo eléctrico con el inverso del cuadrado de la distancia.

Obsérvese que hasta el momento no se ha mencionado la ley de Coulomb.

Para detectar la presencia del campo eléctrico se coloca en su vecindad una partícula muy pequeña con carga eléctrica positiva mucho menor que la carga inicial y en reposo; evidentemente, aunque sea una partícula muy pequeña con una carga también muy pequeña, esta carga llamada *carga de prueba* produce su propio campo eléctrico con sus propios fotones virtuales, pero, al ser tan pequeña su carga en comparación con la carga original, se desprecia la perturbación que introduce.

La interacción de los fotones virtuales de las dos cargas genera la fuerza eléctrica por la que la carga de prueba  $q_o$ <sup>15</sup> es atraída hacia la carga Q o repelida por esta. La fuerza se calcula con la ecuación vectorial:  $\mathbf{F} = q_o \mathbf{E}$ .

---

<sup>14</sup> El fotón cuántico es una partícula sin masa; está catalogado dentro de los llamados “Bosones Gauge”. Aunque se considera que no tienen masa, algunos autores aceptan la posibilidad de que tengan masa (ver la referencia [36] pp. 74 y ss., libro del año 2012).

<sup>15</sup> La teoría no explica cómo esa interacción genera la fuerza eléctrica. Habla simplemente del intercambio de los fotones virtuales. Por supuesto este comentario no conviene transmitirlo a los alumnos

Más adelante conviene aclarar a los alumnos que históricamente se midió primero la fuerza de Coulomb y mucho después se definió el campo eléctrico.

Hasta aquí la sugerencia para la presentación del campo eléctrico.

### 2.2.5 Conceptos de potencial eléctrico y voltaje eléctrico

En el Ejemplo 5 se expuso la necesidad de mencionar siempre el nivel de referencia a la hora de calcular o presentar potenciales. La discusión se centra ahora en intentar mostrar la diferencia casi nula que existe entre los conceptos de potencial eléctrico y voltaje eléctrico. Vistos por separado los dos conceptos quizá sea más claro:

- El *voltaje eléctrico* mide la energía por unidad de carga disponible entre dos puntos cualesquiera del espacio.
- El *potencial eléctrico* mide la energía por unidad de carga disponible entre dos puntos del espacio, con la condición de que en uno de los puntos se toma como punto de referencia –valga la redundancia– de energía potencial eléctrica nula. El valor del potencial corresponde al potencial del otro punto.

Por otra parte, por la invariancia de Gauge, al medir un voltajes es indiferente cuál sea el punto de referencia de energía potencial nulo que se haya tomado. EN CONCLUSIÓN: EL POTENCIAL ELÉCTRICO ES UN VOLTAJE ELÉCTRICO.

El término potencial Eléctrico fue introducido por Poisson y Green Físicos Matemáticos en 1811, fuertemente influenciados por Laplace; presentaron el *Potencial* como una función matemática, cuyo gradiente resulta numéricamente, en valor absoluto, igual al valor del campo eléctrico. “Es interesante resaltar –comentan Poisson y Green– que la función potencial fue introducida a la electrostática solo como un constructo matemático y no como un estado de la Física.”<sup>16</sup> [37].

---

<sup>16</sup> La traducción es del autor de este estudio.

Existen muchos casos en la historia de la física, en los que se colocan nombres a parámetros o fenómenos, y se mantienen para honrar la memoria de los científicos que los propusieron; y esos nombres se mantienen aunque hagan más difícil la comprensión de la física a los estudiantes. Un caso típico es el de Fuerza Electromotriz, de uso común todavía en la actualidad, aunque lo que se llama fuerza electromotriz no sea realmente una fuerza.

Así las cosas, se sugiere lo siguiente:

- Primero: procurar reducir al mínimo el uso de la expresión “potencial eléctrico”, sustituyéndola siempre que sea posible por la expresión “voltaje eléctrico”.
- Segundo: cuando resulte imprescindible mencionar el potencial eléctrico, indicar respecto a cuál punto o nivel de referencia se está calculando o se está pidiendo que se calcule.
- Tercero: que, mientras tanto procuremos los docentes sustituir las expresiones como:  
“Calcule el potencial de una carga puntual  $q$  a una distancia  $r$  de la carga”  
por otras expresiones de este estilo:  
“Se tiene una partícula con carga  $q$ ; calcule el voltaje entre un punto a una distancia  $r$  de la partícula y otro punto a una distancia  $3r$  de la partícula, donde el potencial se considera nulo”.
- Cuarto: cuando se calculen potenciales resulta clarificador hacer los cálculos, al menos, respecto a dos niveles distintos de referencia de potencial nulo.
- Quinto: no dejar de mencionar la manera arbitraria como se puede escoger el punto o nivel de referencia; y
- Sexto: el hecho de mencionar la escogencia arbitraria del nivel de referencia de potencial nulo, es una ocasión estupenda para mencionar, como de pasada, la forma arbitraria (o mejor, la más conveniente según sea el caso) cómo se escoge, en un circuito

eléctrico, el punto que se conectará a “tierra” (en el que, *por consenso*,  $V=0$ ) y respecto al cuál se miden todos los voltajes del circuito.

Finalmente, mencionar que la expresión *Potencial Eléctrico* presenta otra desventaja pedagógica porque los estudiantes, al enfrentarse con tantos conceptos abstractos, terminan por confundir la *Energía Potencial Eléctrica* con el *Potencial Eléctrico*.

### 2.2.6 ¿En electrostática todo debe estar estático?

Si bien es cierto que el término *Electrostática* pretende resaltar que se trabaja con campos y voltajes producidos por objetos con cargas eléctricas en reposo relativo a un observador en con velocidad relativa uniforme, la expresión *Electrostática*, limita la posibilidad de hacer, desde este capítulo, una primera introducción a los conceptos *corriente eléctrica* y *circuito de corriente directa*.

No obstante el nombre, la mayoría de los textos universitarios incluyen, como parte de la electrostática, la aceleración de partículas cargadas eléctricamente en el seno de campos eléctricos. Este es el caso de un apartado del texto de Física universitaria de Halliday y otros [35] que se muestra en la Gráfica 3 y cuya traducción es la siguiente:

“En la fig. 24-52, una partícula cargada (puede ser un electrón o un protón) está moviéndose hacia la derecha entre dos placas paralelas cargadas separadas una distancia  $d=2.99$  mm. Los potenciales de las placas son  $V_1= -70.0$  V y  $V_2= -50.0$  V. La partícula se está acelerando desde una velocidad inicial de 90.0 km/s partiendo de la placa de la izquierda. (a) ¿La partícula es un electrón o un protón? (b) ¿Cuál es su velocidad cuando justo llega a la placa 2?”<sup>17</sup>

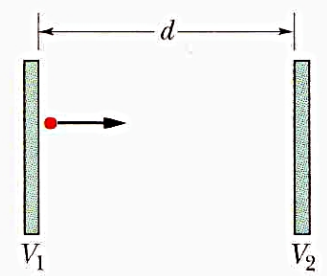
---

<sup>17</sup> La traducción es del autor de este trabajo

Gráfica 3: Problema propuesto en el texto de Halliday.

Problems **651**

**••55** In Fig. 24-52, a charged particle (either an electron or a proton) is moving rightward between two parallel charged plates separated by distance  $d = 2.00$  mm. The plate potentials are  $V_1 = -70.0$  V and  $V_2 = -50.0$  V. The particle is slowing from an initial speed of  $90.0$  km/s at the left plate. (a) Is the particle an electron or a proton? (b) What is its speed just as it reaches plate 2?



**FIG. 24-52**  
Problem 55.

Se presenta además otro apartado tomado de las conferencias del MIT: Physics Course, 8-02t-spring-2005 [31], que se muestra en la Gráfica 4 y su traducción es la siguiente:

### “Carga Moviéndose en la Vecindad de un Alambre Cargado

“Una varilla delgada se extiende a lo largo del eje  $z$  desde  $z=-d$  hasta  $z=d$ . La varilla tiene una carga positiva  $Q$  uniformemente distribuida a lo largo de su longitud ( $2d$ ) con una densidad de carga  $\lambda=Q/2d$ .

- (a) “Calcule el potencial eléctrico en un punto  $z > d$  a lo largo del eje  $z$ .
- (b) “¿Cuál es el cambio en la energía potencial si un electrón se mueve desde  $z=4d$  hasta  $z=3d$ ?
- (c) “Si el electrón partió del reposo en el punto  $z=4d$ , cuál es su velocidad al pasar por el punto  $z=3d$ ?”

Gráfica 4: Problema propuesto en el MIT Physics Course, 8-02t-spring-2005 Chapter 3 el literal c). Después de la gráfica se presenta la traducción.

**Charge Moving Near a Charged Wire**

A thin rod extends along the  $z$ -axis from  $z = -d$  to  $z = d$ . The rod carries a positive charge  $Q$  uniformly distributed along its length  $2d$  with charge density  $\lambda = Q/2d$ .

(a) Calculate the electric potential at a point  $z > d$  along the  $z$ -axis.

(b) What is the change in potential energy if an electron moves from  $z = 4d$  to  $z = 3d$ ?

(c) If the electron started out at rest at the point  $z = 4d$ , what is its velocity at  $z = 3d$ ?

No es que se esté en desacuerdo con analizar cargas en movimiento cuando se estudia potencial eléctrico. Al contrario; se considera muy pertinente que la unidad didáctica incluya o considere el concepto de corriente eléctrica pues esto pondría al estudiante frente a un concepto de aplicación inmediata y de gran importancia en la vida diaria. Esta buena práctica a su vez, permitiría captar su atención y despertar el interés deseado en el alumno.

### 2.2.7 Por qué es conveniente introducir el voltaje eléctrico

Para comprender la utilidad de introducir el concepto de *Voltaje*, podemos analizar dos parejas de casos que permiten hacer analogías:

Tabla 1: Analogía sugerida para exponer la necesidad de introducir el concepto de voltaje.

Caso	Caso gravitacional análogo	Caso eléctrico Analogado
Caso Discreto	Un objeto de masa $m$ desciende una distancia $H$ . Es fácil encontrar que la energía potencial eléctrica entregada en el sistema objeto-Tierra es $U = mgH$	Un objeto de carga $+q$ se mueve a través campo eléctrico uniforme $E$ una distancia $H$ , del potencial mayor al menor. También aquí es fácil encontrar la energía potencial eléctrica entregada por sistema objeto-campo: $U = qEH$

Caso	Caso gravitacional análogo	Caso eléctrico Analogado
Caso Continuo	<p>Cuando la masa que se tiene no es una distribución discreta o enumerable de objetos (como el caso anterior), sino que se tiene una cantidad innumerable de pequeñísimas partículas. por ejemplo las moléculas de agua en la tubería de presión de una hidroeléctrica, el cálculo de la energía que está entregando el sistema “represa de agua-Tierra” a una turbina hidráulica es un poco más laboriosa de calcular que en el caso anterior. Ahora se debe utilizar la ecuación<sup>18</sup>:</p> $U = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} (\gamma QH) dt \quad [38],$ <p>donde P es la potencia entregada; <math>\gamma = \rho g</math> = peso específico del agua; <math>Q = Av</math> = Caudal de agua; A es el área transversal de la tubería y v es la velocidad del agua a la salida de la tubería.</p> <p>Es decir que se puede escribir</p> $U = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} (\rho A v gH) dt \Rightarrow$ $U = \rho A \int_{t_1}^{t_2} v (\Delta V_g) dt \quad 19$	<p>En un circuito eléctrico la carga está cuantizada; pero en una corriente eléctrica los paquetes son tan pequeños y tan abundantes que se prefiere hablar del <i>fluido eléctrico</i>.</p> <p>El cálculo de la energía eléctrica entregada a un circuito se suele calcular con una ecuación análoga a la utilizada para calcular la potencia en las centrales hidroeléctricas, así:</p> $U = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} i (\Delta V_e) dt.$
<p>Si hacemos analogía entre el sistema hidráulico y el eléctrico considerando <math>\rho A</math> constante, podemos hacer analogar la velocidad v del agua con la corriente i y el voltaje gravitacional <math>\Delta V_g = gH</math> con el voltaje eléctrico <math>\Delta V_e</math>.</p> <p>Quizá de esta manera resulte un poco más clara a los estudiantes la necesidad de introducir una variable adicional (el voltaje) en el estudio de la electricidad.</p>		

Una analogía de este tipo (caso continuo) puede servir para enlazar los capítulos de “voltaje eléctrico” y “circuitos de corriente directa”.

Con el grupo experimental se hizo analogía de la velocidad del agua con la corriente eléctrica, tal como se acaba de mencionar. Existe también la posibilidad de hacer analogía de la corriente eléctrica con una nueva variable  $i_m = \rho A v$ , que

<sup>18</sup> Pedro Fernández Díez (ver referencia bibliográfica) calcula la potencia hidráulica así:  $N = \gamma Q H \eta$ , donde  $\gamma$  es el peso específico del líquido, Q es el caudal, H es la diferencia de alturas entre el nivel de la represa y el nivel de la turbina aguas abajo; en inglés se le denomina **Hydraulic head** o **piezometric head**, y  $\eta$  es la eficiencia, que se omite por razones obvias. Se ha sustituido N por P para designar a la potencia.

se podría denominar “corriente másica”. Esta opción resulta muy interesante porque las unidades de  $i_m$  son kg/s en el sistema internacional. Como previamente se hizo analogía de la masa con la carga eléctrica,  $i_m$  resulta ser un análogo estupendo para la corriente eléctrica que se expresan en unidades C/s en el SI. Pero además, la energía hidráulica se calcularía mediante la ecuación:

$$U_H = \int_{t_1}^{t_2} (\rho A v g H) dt = \int_{t_1}^{t_2} i_m (\Delta V_g) dt \quad (1)$$

que es “igual” a la ecuación que se utiliza para calcular la energía eléctrica.

Sin embargo, la experiencia de hacer analogía de la velocidad del agua con la corriente eléctrica resulto sencilla, directa y “fácilmente visible”, mientras que el concepto de *corriente másica* introduce “ruido” con las nuevas variables  $\rho$  y  $A$ : implican un esfuerzo mental adicional para comprender cómo estas variables afectan la *corriente másica* y cómo se interpretan luego en la corriente eléctrica.

Pero no parece conveniente que el estudiante amarre tanto los conceptos eléctricos a su análogo. Quizá basta que comprenda que un fenómeno sucede de determinada manera *para un caso específico* (analogado) viendo primero cómo sucede en otro escenario (el análogo), para luego apartarse del análogo y, partiendo del caso concreto analogado, hacer el desarrollo completo del caso eléctrico en cuestión.

Resumiendo: Es necesario recurrir al concepto voltaje eléctrico porque la carga eléctrica existe en paquetes tan pequeños y tan abundantes en las aplicaciones industriales y domésticas, que es físicamente imposible estudiar todas y cada una de las partículas cargadas. En cambio resulta muy práctico considerar las partículas cargadas en movimiento como un fluido y estudiarlo como tal. En esta manera de considerar las cargas en movimiento, el uso del voltaje eléctrico facilita grandemente el cálculo de la potencia y la energía eléctricas.

---

<sup>19</sup> En este punto se quiere manifestar que, no solo en este ejemplo es posible hacer una analogía entre fluidos y fenómenos eléctricos, pues esta comparación puede extenderse a un sinnúmero de casos. De hecho, casi todas las ecuaciones de dinámica de fluidos tienen su equivalente en el caso electrodinámico..

## 2.2.8 Otras analogías sugeridas para la unidad didáctica

El objetivo de las analogías en este estudio es utilizar subsunsores de los alumnos para facilitar la apropiación de los conceptos de la electricidad. También permiten las analogías crear nuevos subsunsores, como en el caso del análisis que se hizo anteriormente sobre la central hidroeléctrica. En la unidad didáctica que se implementó con el grupo experimental (grupo 2) se utilizaron también con éxito las siguientes analogías:

En el caso 1 de Tabla 2 se hace la analogía del campo gravitacional con el campo eléctrico producido por una esfera dieléctrica; no conviene mencionar, por ahora, el término dieléctrico, porque no se ha estudiado aún este concepto. La esfera dieléctrica debe estar homogéneamente cargada en todo su volumen pues se ha hecho analogía de la masa con la carga –sin tomar en cuenta el signo de ésta. La carga de la esfera debe ser negativa para que atraiga la partícula con *carga de prueba* que siempre es positiva. Son condiciones que hay que exigir para que se pueda hacer la analogía con **un caso particular del campo eléctrico**. Dicho un poco más claro, se debe resaltar que esta analogía solo sirve para hacer un estudio de similitudes de fuerzas eléctricas *de atracción* con fuerzas gravitacionales.

En la analogía 4 de la Tabla 2 se buscan dos objetivos: en primer lugar, que los alumnos comprendan la relación inmediata que hay entre el voltaje eléctrico y la corriente eléctrica; y, en segundo lugar, que comprendan la diferencia entre voltaje eléctrico y energía potencial eléctrica.

Tiene limitantes a las que quizá no conviene referirse en este momento. Entre otras la que se refiere a continuación:

Se ha mencionado que en cada tanque se desprecia la fricción; esto puede llevar a alguno que tenga conocimientos de electricidad a pensar que, si la resistencia hidráulica es nula, la velocidad del agua debería tender a crecer indefinidamente a la manera como crece la velocidad de las cargas eléctricas en un circuito cuando la resistencia eléctrica tiende a cero.

Tabla 2: Otras analogías sugeridas para la unidad didáctica.

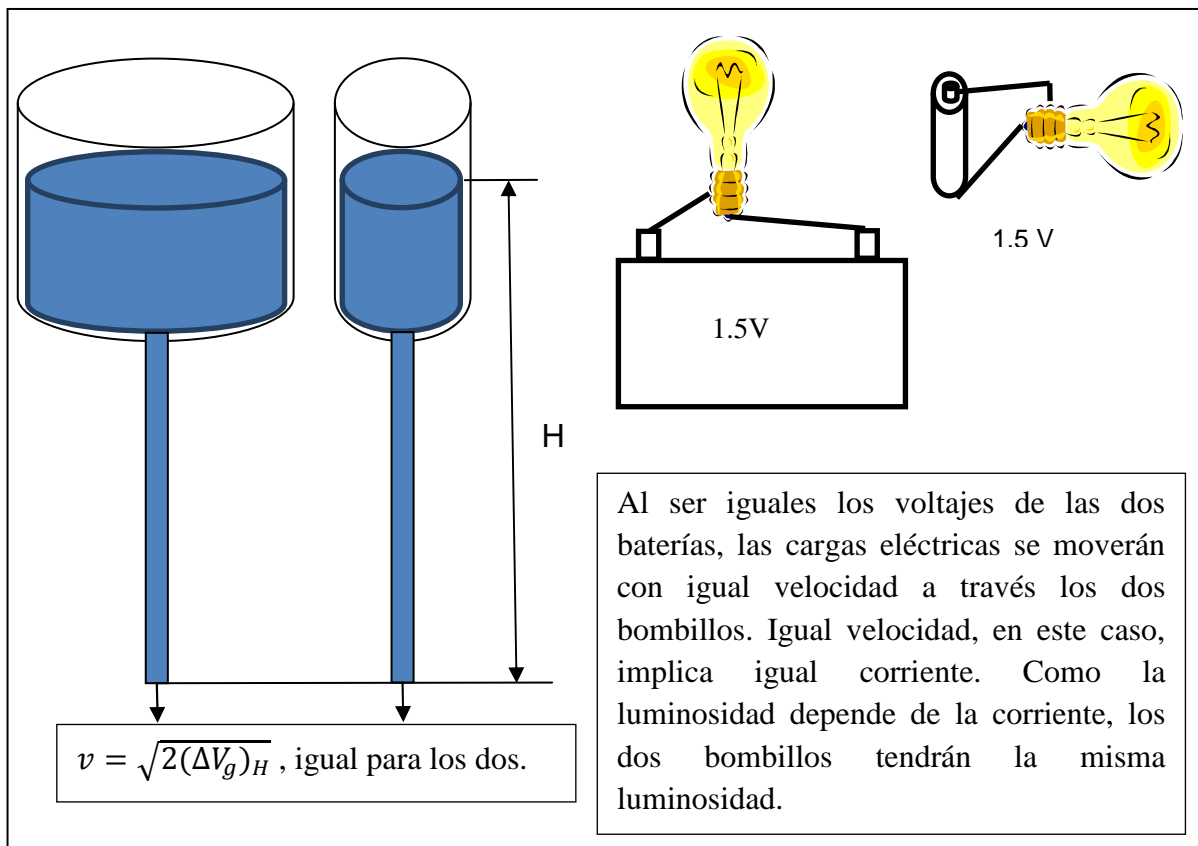
No.	Análogo	Analogado
1	El campo gravitacional de la Tierra.	Campo eléctrico de una gran esfera con carga negativa, homogéneamente distribuida en todo su volumen.
2	Cuando se está a una distancia “r” del centro de la tierra (de radio R) tal que $r > R$ pero $r \cong R$ , es decir, (ligeramente por encima de la superficie de la Tierra), podemos aproximar el campo gravitacional a un campo uniforme con líneas de campo paralelas entre sí y perpendiculares a la superficie de la Tierra.	Cuando se está a una distancia “r” del centro de la esfera cargada (de radio R) tal que $r > R$ pero $r \cong R$ , es decir, (ligeramente por encima de la superficie de la esfera), podemos aproximar el campo eléctrico a un campo uniforme con líneas de campo paralelas entre sí y perpendiculares a la superficie de la esfera.
3	Resistencia hidráulica	Resistencia eléctrica
4	Dos tanques con agua al mismo nivel, pero de notoriamente distintos en capacidad. El voltaje gravitacional ( $gH$ ) es el mismo para los dos. Suponiendo fricción nula, el agua saldrá de los dos tanques con la misma velocidad $v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2(\Delta V_g)}$ . La velocidad de salida depende del voltaje gravitacional. Por tanto, igual voltaje implica igual velocidad de descarga en los dos tanques.	Dos baterías de igual voltaje pero una notoriamente más grande que la otra. Las dos tienen bombillos idénticos (de igual resistencia). Se puede mostrar que igual voltaje implica igual velocidad de las cargas por los bombillos y por tanto igual corriente y por tanto igual luminosidad de los bombillos.
5	Dos tanques de agua. El nivel del agua es constante y distinto en cada tanque. Una bomba mantiene constante el nivel en cada tanque. Un tubo con resistencia hidráulica conecta los tanques por debajo del nivel del agua.	Circuito eléctrico que consta de una batería ideal –con voltaje constante diferente de cero— y una resistencia eléctrica conectada entre sus bornes.

Este problema puede solucionar si se toma la aquí llamada “corriente másica” ( $i_m = \rho A v$ ) como análogo de la corriente eléctrica, en vez de la velocidad, pues quedaría claro que, aunque se desprece la fricción con la tubería, la corriente másica quedaría limitada por el área transversal “A” de la tubería. Nuevamente se reitera que, a pesar de la conveniencia matemática, en este trabajo se optó por hacer analogía de la velocidad del agua con la corriente eléctrica por la sencillez

de la analogía, por ser más visual y porque el objetivo es hacer un estudio profundo del concepto eléctrico, no del hidráulico, del que conviene apartarse en cuanto sea posible.

Volviendo nuevamente a la descripción de la analogía 4, se recomienda partir de dos tanques como los que se aprecian en la Gráfica 5.

Gráfica 5: Ampliación gráfica de la analogía 4.



Después de hacer la analogía, cabe interrogar a los alumnos con la siguiente pregunta: ¿Si las dos baterías hacen alumbrar su correspondiente bombillo con igual luminosidad, de qué sirve tener una batería más grande que la otra? a lo que se espera que respondan los alumnos: la batería grande mantiene encendido el bombillo por más tiempo que la pequeña. Mantener encendido más tiempo un

bombillo requiere de más energía; por tanto el tanque de mayor capacidad tiene más energía disponible.

La conclusión se espera que sea: los tanques tienen igual voltaje gravitacional lo que se hace que las velocidades de descarga sean iguales, pero el tanque de menor capacidad se agotará primero porque tiene menos energía. Algo similar sucederá con las baterías.

Con esta analogía podrán además intuir los alumnos que, igual que con los tanques que a medida que sale el agua disminuye el nivel (es decir disminuye el voltaje gravitacional), de manera análoga cuando se utiliza una batería para mantener encendido un bombillo, el voltaje eléctrico de la pila irá disminuyendo.

Luego se puede continuar mostrando una situación que, de entrada, puede ser desconcertante para los estudiantes: Se les presenta un tanque de gran capacidad y otro de notablemente menor capacidad pero con el nivel del agua el doble de alto que el del primer tanque. Se trata de pedirles que encuentren cuál sería un analogado, con baterías, de los tanques. Se esperará que dibujen una batería de gran tamaño y otra pequeña; la primera con un voltaje bajo cualquiera, por ejemplo 1.5 voltios y la otra con el doble del voltaje, es decir 3 voltios.

Al conectar bombillos iguales a las dos baterías, aparecerá más luminoso el que está conectado a la batería más pequeña. Similarmente, el agua saldrá con mayor velocidad del tanque de menor capacidad pero mayor voltaje gravitacional. De aquí surge una variedad de análisis que pueden resultar muy interesantes (por ejemplo el caso de las pilas pequeñas que se utilizan en relojes de pulsera).

En esta analogía se apela al concepto intuitivo que la gente tiene de batería. Se utilizan bombillos porque la luminosidad del bombillo depende del voltaje al que está conectado. Sirve por tanto como indicador visual para comparar voltajes eléctricos. Como los bombillos son iguales –igual resistencia eléctrica— también la luminosidad será un indicador para comparar corrientes eléctricas.

Para no caer en refinamientos y casuística –causa de la muerte de muchas analogías que conlleva el desperdicio de un valioso instrumento pedagógico— hay

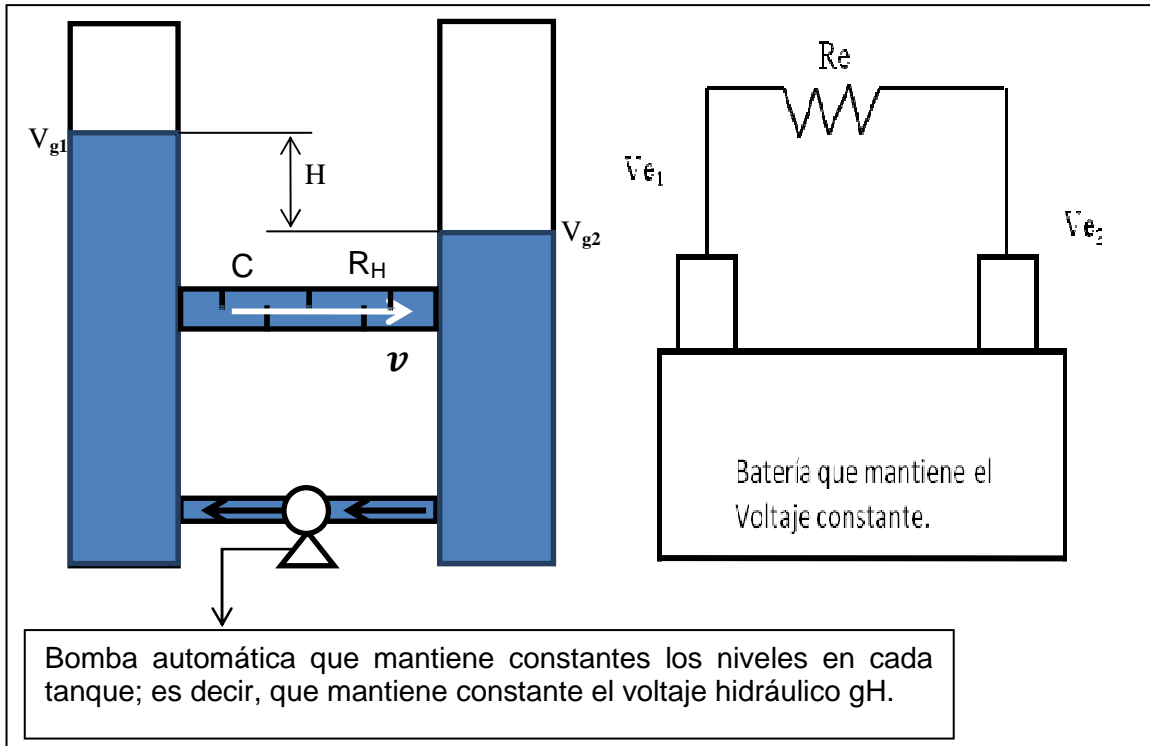
que tener en cuenta que la inmensa mayoría de los alumnos de este curso no han oído hablar en su vida de resistencia interna de una batería. Tampoco saben que la velocidad de las cargas en una corriente eléctrica depende del área transversal del cable y de su longitud y del tipo de material e incluso de la temperatura. Por tanto, entrar en tantos detalles, más que aportar, puede introducir distractores que impidan alcanzar el verdadero objetivo: Comprender que hay una relación directa entre el voltaje y la velocidad de las cargas eléctricas; que el voltaje es una medida de cuánta energía hay disponible para transferir a cada carga individual; y tener claro que hay diferencia entre los conceptos voltaje eléctrico y energía potencial eléctrica. Más adelante en el curso se tienen momentos previstos en los que se podrá entrar a aclarar todos los detalles *ocultos* en esta y otras analogías.

La última analogía de la Tabla 2, que se ilustra en la Gráfica 6, ha recibido duras críticas, entre otras personas, de Otero M. R. [21] que considera que *analogar* una batería con dos tanques y una bomba es hacer un montaje más complicado de comprender que la misma batería. Esta y las demás objeciones de Otero M. R. (ver referencia bibliográfica anterior) pensamos que se pueden salvar colocando los dos tanques sobre la misma superficie, no colocando llaves que obstruyan el paso del agua como ella asume y no pretendiendo utilizar el análogo para explicar todas las variables que intervienen en un circuito eléctrico.

Si en la Gráfica 6 ***se desprecia la resistencia hidráulica***  $R_H$ , se puede utilizar la ecuación de Bernoulli para calcular la velocidad del agua por “C”, que viene a ser  $v = \sqrt{2(gH)}$ , donde H es la diferencia de nivel entre los tanques. Nuevamente la velocidad depende solamente del voltaje gravitacional (gH) y por tanto no depende de que la conexión “C” está más abajo o más arriba (siempre ambos extremos de la conexión “C” se mantengan bajo el agua). Este caso permite hacer analogía con la electricidad en el sentido de que no importa cuál sea el nivel escogido de energía potencial nulo pues lo único que afecta la corriente es el voltaje (es decir la diferencia de potencial) Por supuesto, si el nivel de los dos tanques es el mismo (igual potencial gravitacional), el voltaje gravitacional será nulo y la velocidad por la conexión “C” será nula. De igual manera si dos partes del cuerpo de una

persona hacen contacto directo con una base y un cable, ambos al mismo potencial no sufrirá daño alguno aunque el potencial eléctrico sea alto. No pasará corriente alguna por su cuerpo porque el voltaje eléctrico es nulo.

Gráfica 6: Representación de la analogía 5 de la Tabla 2.



Si en la Gráfica 6 **se tiene en cuenta la resistencia Hidráulica  $R_H$** , la velocidad del agua será menor que la calculada con la ecuación de Bernoulli:  $v = \sqrt{2(gH)}$ .

### 2.2.9 Sistema - energía - voltaje- trabajo

Se ha encontrado que uno de los obstáculos más grandes para la comprensión del voltaje eléctrico y su aplicación es el pobre manejo que traen los alumnos de los

conceptos de sistema, energía del sistema, trabajo hecho por el sistema sobre sus propios objetos, trabajo que hace el sistema sobre objetos externos a él y trabajo que objetos externos al sistema realizan sobre el propio sistema bajo análisis. En consecuencia, se sugiere que, antes de comenzar a estudiar el concepto voltaje eléctrico, se asegure que los estudiantes tienen claros los conceptos señalados arriba y que los saben aplicar, al menos al caso gravitacional.

## **2.3 TEST ELABORADOS EN ESTE ESTUDIO**

Con el propósito de indagar el impacto de las diferentes unidades didácticas, se elaboraron dos test: uno de conceptos y otro de percepción del proceso de aplicación de las diferentes unidades didácticas que llamaremos “Test de Conceptos” y “Test de Percepción”.

### **2.3.1 Test de Conceptos**

Vatansever, O. [11] hizo un trabajo de investigación que sirvió de base para el análisis del error conceptual hecho en el presente estudio.

En su tesis para optar al grado de Magister hace un estudio sustentado, de las distintas maneras utilizadas históricamente para medir el error conceptual.

Se intentará a continuación sintetizar esta parte de su estudio. Para más detalles se sugiere consultar la referencia bibliográfica [11].

Hestenes and Halloun (1985) (citado en [11]) desarrollaron un test de escogencia múltiple sobre las fuerzas Newtonianas, para medir, no el conocimiento, sino la discrepancia entre lo que una persona piensa que es lo correcto y lo que considera correcto la comunidad científica. Esta discrepancia es lo que vino a designarse con el nombre de error conceptual. A partir de entonces se multiplicaron los test de escogencia múltiple con objetivos similares. Se encontró sin embargo que el tipo de preguntas daban pie a una intervención no despreciable del azar.

Para superar la dificultad se desarrollaron test con dos conjuntos<sup>20</sup> de opciones así: en un primer conjunto se presentan las posibles respuestas, para seleccionar una y en el segundo conjunto se presentan varias argumentaciones posibles, una de las cuales una debe sustentar la respuesta escogida en el primer conjunto.

Al test de dos conjuntos de opciones le siguió el de tres conjuntos de opciones. Simplemente, al test de dos conjuntos de opciones se le agregó un tercer conjunto de opciones en el que se le pregunta a la persona qué tan segura está de la respuesta y de la argumentación que acaba de señalar, junto con una opción para indicar si no se sabe la respuesta. Este tercer conjunto de opciones marcó un momento importante en la medición del error conceptual: los test anteriores al medir el error conceptual incluían lo que era en realidad ignorancia del tema. Esto significa que, si una persona desconoce un concepto, no tiene sentido afirmar que ese concepto lo ha adquirido erróneamente, porque simplemente no lo ha adquirido.

A pesar del avance que significó, también estos tipos de test recibieron fuertes críticas pues muchos, al responderlos se confundían con tantas opciones para cada pregunta. Por consiguiente, estos tipos de test terminaron midiendo más la habilidad de las personas para enfrentarlos, que el propio error conceptual.

Vatansever utiliza en su trabajo un test de 10 preguntas de escogencia múltiple así: Presenta una situación concreta de la Física; enseguida ofrece 4 opciones como se puede ver en la foto de la Gráfica 7.

---

<sup>20</sup> El nombre que se le dio en inglés es two tier test.

Gráfica 7: Una pregunta típica del test de Vatansver O.

2. A boy is hanging on parallel conducting metal plate as it is shown in Figure 1 and Figure 2. In Figure 1 hands of the boy are hanging on the same plate, the plate with potential of 220 Volt. In Figure 2 on the other hand, the hands of the boy are hanging on different plates, the one with potential of 0 Volt and the one with potential of 220 Volt. If the legs of the boy are not in contact with the ground, what can be said about the safety of the boy in the two figures?

Fig. 1 Fig. 2

a) The boy is safe both in Fig.1 and Fig.2, because there is no metal wire connecting metal plates, which will transmit electric current and damage the boy.

b) The boy is safe in Fig.1 because there is no potential difference between the hands of the boy and high voltage itself is not dangerous.

c) The boy is in danger in both Figures, because there is high voltage between parallel metal plates.

d) The boy is danger in both Figures, but the danger in Fig.1 is greater because the potential difference between the hands of boy in Fig.1 is greater.

e)

Which of the following best represents the reasoning of your answer?

I am sure     I am not sure     I do not know

Nótese que cada opción incluye simultáneamente una afirmación y la explicación que, se supone, sustenta la afirmación. Además ofrece una quinta opción que es un espacio en blanco para que la persona escriba su respuesta, si no encuentra entre las anteriores la respuesta correcta. Luego presenta tres espacios para que se indique la seguridad con que se respondió esa pregunta.

El test de Vatansever es interesante porque es una propuesta para superar las dificultades planteadas para los otros tipos de test analizados.

No obstante, presentar 4 combinaciones de respuesta-argumentación con la posibilidad de que ninguna sea la correcta, como lo hace Vatansever, más la posible necesidad de generar una respuesta-argumentación distinta de las 4 propuestas, sigue introduciendo demasiada complejidad al análisis de quien resuelve el test. Este tipo de preguntas genera fatiga temprana y puede llevar a que se responda, al menos, parte del test un poco a la ligera.

Para intentar superar las objeciones anteriores se decidió evaluar cada error conceptual con dos preguntas cortas, para responder Falso o Verdadero.

La pregunta de la Gráfica 7 se adaptó al test de este estudio con las dos preguntas que se pueden apreciar en la Gráfica 8 y en la Gráfica 9.

Por otra parte, en el test de Vatansever las cuatro opciones de cada pregunta pueden medir errores conceptuales distintos. La medición del error conceptual se hace con las 40 opciones del test (10 preguntas, cada una con 4 opciones), pero la medición es asimétrica, porque, mientras el error conceptual: *“Electric potential energy and electric potential (voltage) are all the same thing”* se mide con 7 opciones, otro error conceptual *“Electric potential at any point exist only when charged particle exist at that point”* se mide solamente con una opción.

En el Test de Conceptos que se propone en este trabajo, todos los errores conceptuales se miden con dos preguntas con el propósito de medir desde dos puntos de vista distintos (preferiblemente distintos) el mismo concepto. Únicamente se califica como correcto un concepto cuando las dos preguntas que lo evalúan están correctamente respondidas. Por otra parte se consigue una probabilidad mayor de que un concepto calificado como correcto, corresponde a un conocimiento adquirido y no al azar. Más adelante se amplía este aspecto.

Gráfica 8: Primera pregunta corta para evaluar el error conceptual 11 de la Tabla 3.

4. - En la figura observe de cuáles cables está colgada, sin protección eléctrica, cada persona. Los cables son de transmisión de energía eléctrica y están descubiertos.

¿es correcto afirmar que ambas personas están en grave peligro porque hay un potencial alto en uno de los cables?

V	F
---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

Gráfica 9: Segunda pregunta corta para evaluar el error conceptual 11 de la Tabla 3.

5. En la figura de arriba ¿es correcto afirmar que la persona A está más segura porque es despreciable o nula la diferencia de potencial entre sus manos?

V	F
---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

A continuación se recogen estos criterios y otros que guiaron el diseño del Test de Conceptos:

- Evaluar cada concepto con dos preguntas cortas de Falso/Verdadero.
- Procurar, en la medida de lo posible, que las dos preguntas de un mismo concepto no queden seguidas una de la otra.
- Cada pregunta tiene opciones para que la persona indique si está segura de la respuesta que dio, si no está segura, o si no sabe la respuesta.
- En la segunda parte de cada pregunta se introduce la expresión “¿Es correcto afirmar que ...” con doble subrayado. Esta expresión le indica a la persona dos cosas: primero, que todo lo dicho antes de esa expresión es verdadero y/o son supuestos reales; y segundo, que lo que aparece a continuación de la mencionada expresión es lo que debe indicar si es falso o verdadero.
- Cada enunciado debe ser lo más corto posible.
- El test no debe dar la impresión de ser demasiado largo.

### **2.3.1.1 Justificación de los criterios del diseño**

Evaluar con dos preguntas cortas hace que se pueda medir la aplicación concreta de un concepto desde ángulos distintos. Además, el hecho de ser preguntas cortas hace que la persona no se pierda en la redacción y pueda concentrarse directamente en el análisis de la situación que se le presenta. Por otra parte, calificar cada concepto con dos preguntas hace que la probabilidad de acertar al azar sea la misma que la de una pregunta con 4 opciones de respuesta, con la diferencia de que utilizando dos preguntas cortas, cada pregunta puede ser analizada con más detenimiento que los enunciados de preguntas con 4 opciones de respuesta-argumentación.

El motivo para procurar que las preguntas que evalúan un mismo concepto no quedaran juntas es tratar de evitar que una pregunta brinde información para responder la otra por razones de descarte o cualquier otro motivo diferente al conocimiento. No siempre se consiguió separarlas.

La experiencia muestra que en las preguntas típicas de Falso/Verdadero, la persona, en ocasiones, duda de si parte de las afirmaciones del enunciado son supuestos verdaderos para la otra parte de la pregunta, o si toda se debe calificar como falsa o verdadera. Al introducir la expresión “¿Es correcto afirmar que ...” queda claramente separado lo que son suposiciones verdaderas (lo que está antes de esta expresión) de lo que la persona debe calificar como Falso o Verdadero (desde la expresión “Es correcto afirmar que...” hasta el final de la pregunta). Las personas, que hicieron la prueba piloto con el Test y los docentes que revisaron el Test, resaltaron la claridad con que estaban enunciadas las preguntas.

Los enunciados largos tienen el inconveniente de que las personas inviertan demasiado tiempo en comprenderlo y menos en analizarlo, cuando el efecto deseable es el opuesto.

Finalmente, es conocido ampliamente que un test largo, y más si no reporta una nota con validez académica, desmotiva a la persona incluso antes de empezar a resolverlo. Este es otro argumento a favor de la metodología implementada en el Test de Conceptos desarrollado para este estudio

### **2.3.2 Contenido del Test de Conceptos**

Los Errores Conceptuales base para la Elaboración del Test de Conceptos se listan en la Tabla 3. Allí aparece en la primera columna el número del concepto, en la segunda columna las preguntas del Test de Conceptos que lo evalúan y en la tercera columna la descripción del error conceptual.

El Test de Conceptos, tal como se aplicó como postest<sup>21</sup>, se puede consultar en el **Apéndice 1**.

---

<sup>21</sup> Enseguida se explica por qué la aclaración “se aplicó como postest”.

Tabla 3: Errores conceptuales base para la elaboración del Test de Conceptos

Ítem No.	Preguntas que lo evalúan	Descripción del error conceptual
1	15 y 18	Un objeto cargado eléctricamente únicamente puede hacer fuerza eléctrica sobre otro objeto cargado.
2	3 y 21	No existe conexión entre la energía potencial eléctrica de un sistema y el trabajo realizado por la fuerza eléctrica del sistema o por una fuerza externa realizado sobre él.
3	14 y 16	No existe diferencia alguna entre los conceptos energía potencial eléctrica y el potencial eléctrico.
4 <sup>22</sup>	13 y 26	La energía potencial eléctrica de un sistema no depende del nivel de referencia que se tome para medirla.
5	12 y 25	Para mover una partícula cargada con velocidad constante por un camino equipotencial, la energía potencial eléctrica del sistema debe hacer un trabajo neto diferente de cero.
6	11 y 24	Sobre cualquier superficie equipotencial el campo eléctrico tiene magnitud constante.
7 <sup>23</sup>	10 y 23	Una batería dimensionalmente más grande que otra, siempre suministrará más energía y más potencia que la otra, a un mismo elemento resistivo. (Este error conceptual no se tuvo en cuenta en los análisis comparativos, sino solamente en presentaciones meramente descriptivas)
8	9 y 22	El voltaje fluye entre dos placas paralelas cargadas y a través de una persona que se electrocuta y a través de cualquier elemento que se conecta eléctricamente.
9	8 y 21	El voltaje y el trabajo son dos conceptos no relacionados.
10	6 y 7	El campo eléctrico en el "interior" <sup>24</sup> de un conductor en equilibrio electrostático, no necesariamente debe ser nulo.
11	4 y 5	Un potencial eléctrico alto, sin más, puede dañar a una persona.
12	2 y 20	Si no cambia la energía cinética de un objeto cargado dentro de un sistema, significa que ninguna fuerza hizo trabajo sobre él.
13	1 y 19	Al moverse a través de un campo eléctrico, las variaciones del campo nunca tienen relación con las variaciones del potencial de punto a punto del espacio.

<sup>22</sup> Más adelante se explicará por qué este ítem no se tuvo en cuenta en el estudio comparativo.

<sup>23</sup> Ver nota al pie 22.

<sup>24</sup> Cuando se dice "interior" se quiere decir "dentro del mismo material conductor", no se refiere a los huecos internos que pueda tener un objeto conductor.

El Test de conceptos fue preparado en conjunto por el profesor Jairo Humberto Marín (Ph.D. en Física) y el autor con la colaboración del profesor Sigifredo Solano González (Magister en Física) y de los alumnos que hicieron la prueba piloto. Se adaptó material de otros test y se elaboraron nuevas preguntas.

A pesar de todo el proceso de depuración, una vez aplicado el Test de Conceptos como pretest, se encontró que la pregunta 26 original no evaluaba realmente el ítem 4 de la Tabla 3. Se encontró también que los conceptos necesarios para responder correctamente las preguntas 10 y 23, aunque estaban incluidos en la unidad didáctica del grupo experimental (grupo 2), no estaban incluidos entre los temas desarrollados en los demás grupos.

La pregunta 26 se modificó para el postest y es la que se muestra en el **Apéndice 1**.

Los ítems 4 y 7 de la Tabla 3 con sus preguntas se dejaron en el postest pero no se tomaron en cuenta para los análisis estadísticos comparativos. Solo se tomaron en cuenta en algunos estadísticos descriptivos. Todo el trabajo estadístico - analítico comparativo se hizo con los 11 ítems restantes de la Tabla 3.

Con los ajustes al Test de Conceptos para el Postest, se garantizó que las preguntas que se utilizaron para hacer los estudios comparativos estuvieran en ambos test. Para conseguirlo se utilizó la pregunta 21 en dos *Errores Conceptuales*: es compañera de la 3 para evaluar el *Error Conceptual* No. 3 y, simultáneamente es compañera de la pregunta 8 para evaluar el *Error Conceptual* No. 9 de la Tabla 3. La pregunta 17, aunque se dejó en el postest, no interviene para nada en los análisis.

### **2.3.3 Test de Percepción**

En la Tabla 4 se recogen las preguntas formuladas a los estudiantes, en versión comprimida. La lista completa de las preguntas tal como se formularon a los alumnos se recoge en el **Apéndice 2**.

Cada pregunta del Test de Percepción se convirtió en una variable. Las variables se listan a continuación:

Tabla 4: Breve descripción de las variables del Test de Percepción

<b>Pregunta</b>	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Descripción</b>
1	IMEJEPRO (0-5)	Importancia del tema para tu futuro profesional.
2	INTERESA (0-5)	¿Te resultó interesante la electrostática?
3	AGUSTO (0-5)	¿Qué tan a gusto estuviste en las clases?
4	PORASICT (0-10)	Tu porcentaje de asistencia a clases teóricas
5	MINASITP (MIN)	Asistencia a talleres dirigidos por el profesor
6	PORASICL (0-10)	Tu porcentaje de asistencia a clases de laboratorio.
7	MINASESP (MIN)	Asistencia a asesorías personalizadas con el profesor
8	MINPREIL (MIN)	Tiempo invertido en preparación informes de laboratorio.
9	MINPREQU (MIN)	Tiempo invertido en preparación de quices de laboratorio.
10	HTALLENT (HRS)	Tiempo invertido resolviendo talleres para entregar.
11	HESTINDI (HRS)	Tiempo invertido en estudio individual.
12	HESTGRUP (HRS)	Tiempo invertido en estudio en grupo.
13	POREXSIM (0-10)	Porcentaje de la clase con exposición simple.
14	PORINVOL (0-10)	Porcentaje de la clase que estuviste involucrado
15	AGNOSCUM	Años cumplidos.
16	POREXANA (0-10)	Porcentaje de la clase apoyada en analogías.
17	POREXEXD (0-10)	Porcentaje de la clase apoyada en experimentos en video.
18	POREXEXV (0-10)	Porcentaje de la clase apoyada en experimentos en vivo.
19	POREXAPL (0-10)	Porcentaje de la clase que incluyó aplicación de los conceptos a aplicaciones industriales o domésticas.

## 2.4 VARIABLES E INDICADORES

Ya se tiene un listado de variables obtenidas por interrogación directa a los participantes. Se hablará ahora de las variables creadas para hacer el estudio.

### 2.4.1 Variables creadas a partir del Test de Percepción

De las 19 variables de la Tabla 4 (ver el título “Test de Percepción” en la página 49), solamente se presentarán resultados de las variables 3, 4, 5, 10, 13, 14, 16, 17, 18 y 19, que son las que arrojaron información significativa.

Para determinar el porcentaje promedio que cada estudiante estuvo en clase con los recursos didácticos descritos en la Tabla 4, se multiplicaron las variables 13, 14, 16, 17, 18 y 19 por la variable 4 de la misma Tabla 4.

De estas operaciones se obtuvieron las nuevas variables que se recogen en la Tabla 5 y que se utilizaron para hacer comparaciones múltiples de medias mediante análisis de varianza y estudios de correlación estadística.

Tabla 5: Variables creadas para cada alumno y utilizadas en el análisis estadístico.

ÍTEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	RECEXPRO (0-100)	Porcentaje de clase que recibió cada alumno con exposición simple = variable 13 por la variable 4.
2	RECEXINV (0-100)	Porcentaje que estuvo involucrado cada alumno en una clase promedio = variable 14 por la variable 4
3	RECEXANA (0-100)	Porcentaje de clase que recibió cada alumno usando analogías= variable 16 por la variable 4.
4	POREXEXD (0-100)	Porcentaje de clase que recibió cada alumno usando experimentos en video= variable 17 por la variable 4.
5	POREXEXV (0-100)	Porcentaje de clase que recibió cada alumno usando experimentos en vivo= variable 18 por la variable 4.
6	RECEXAPP (0-100)	Porcentaje de clase que recibió cada alumno con aplicación de conceptos físicos a la vida profesional o a la vida diaria= variable 19 por la variable 4.

## 2.4.2 Medición del error conceptual

Se hará a continuación un pequeño alegato sobre la medición del error conceptual, para señalar luego la manera como se decidió medir el error conceptual en este estudio.

Es amplia la literatura dedicada a explorar los errores conceptuales más recurrente en diversas áreas del saber, y más específicamente en los temas de Física mecánica y eléctrica.

Para medir el error conceptual de una pregunta aislada se adoptó el criterio que utiliza Vatansever O. [11] y que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Medición del error conceptual para cada pregunta aislada.

Evaluación \ Certeza	Estoy seguro	No estoy seguro	No lo sé
Respuesta correcta	0	1	0
Respuesta incorrecta	3	2	

En la Tabla 7 se explica el significado de los valores de la Tabla 6.

En el presente trabajo el análisis estadístico se hace con la medición del error conceptual de cada alumno que respondió el aplicativo. Como cada Error Conceptual se evalúa con dos preguntas, entonces:

***La medida del error conceptual (se refiere a cada uno de los 11 errores conceptuales seleccionados de la Tabla 3) se calculó sumando las medidas del error conceptual de las dos preguntas individuales que miden ese error conceptual, según los criterios condensados en la Tabla 6.***

Tabla 7: Explicación de los valores de la Tabla 6.

<b>Certeza → Evaluación</b>	<b>Estoy seguro</b>	<b>No estoy seguro</b>	<b>No lo sé</b>
<b>Respuesta correcta</b>	Tiene el concepto correcto y lo posee sin dudar=0	Tiene el concepto correcto pero no está seguro. Esto implica el primer grado de error conceptual=1	No puede tener error conceptual porque no tiene el concepto. Por tanto=0
<b>Respuesta incorrecta</b>	Máximo error conceptual. Además de tener errado el concepto, está firme en su error. Es el máximo grado de error conceptual=3	Duda, pero se inclina por la opción errada, es un grado medio de error conceptual=2	

#### **2.4.2.1 Variable “Total Error Conceptual Alumno”**

Si tenemos en cuenta que el máximo error conceptual de una pregunta individual es 3 y que cada *Error Conceptual* (se refiere a cada uno de los 11 seleccionados de la Tabla 3) se evalúa con dos preguntas entonces el máximo valor de un *Error Conceptual* es 6; como se está trabajando con 11 *Errores Conceptuales*, significa que la máxima medida posible del “Total Error Conceptual Alumno” es 66, y el mínimo 0. Esto define el rango de lo que se denominó:

“TOTAL ERROR CONCEPTUAL ALUMNO” ES LA VARIABLE QUE MIDE EL ERROR CONCEPTUAL DE CADA ALUMNO TIENE UN RANGO DE 0 A 66.

#### **2.4.3 Medición del conocimiento**

En este apartado se hace una discusión de la necesidad, en estudios como el presente, de medir la apropiación del conocimiento por parte del estudiante, además de medir el error conceptual.

Para medir el conocimiento se diseñó la variable “Total Conocimiento Alumno” que asigna un número a la apropiación de conocimiento de un alumno concreto. En el diseño se tuvo en cuenta, no solo si la respuesta de cada pregunta era correcta, sino también la seguridad con que se respondió cada pregunta. Este diseño permite hacer una medición (no “la medición”) tanto del conocimiento como de la firmeza con que ese conocimiento está arraigado en la estructura cognitiva del estudiante.

Después de analizar la literatura sobre la medición del error conceptual, se concluyó que, medir solamente el error conceptual no da una idea precisa del aprovechamiento o utilidad de una unidad didáctica cualquiera porque, de acuerdo con la medición del error conceptual mostrada en la Tabla 6, podría hipotéticamente, darse el caso de dos personas que obtengan error conceptual igual a cero, pero, mientras una de ellas respondió todo bien y con seguridad, la otra persona no sabe nada y responde en todas las preguntas “No lo sé”. Ciertamente ninguna de las dos tiene error conceptual, pero la diferencia es clara.

Por tanto, la medición del conocimiento adquirido es una necesidad, si se desea indagar por la utilidad de un método pedagógico, una unidad didáctica, etc.

Se trata entonces de medir los conceptos que el alumno se ha apropiado correctamente.

En adelante, en los apartados que se refieran a la medición del conocimiento adquirido, cuando se haga referencia, por ejemplo, al *Concepto 9* se está haciendo referencia al contenido del *Error Conceptual 9* de la Tabla 6, pero sin error.

Para la medición del conocimiento se crearon las variables:

“Conocimiento”: con esta variable se califican cada uno de los 11 conceptos de un alumno cualquiera.

El valor de “Total Conocimiento Alumno” se obtiene de la sumatoria de los valores obtenidos en la variable “Conocimiento” para los 11 conceptos de un alumno

cualquiera. Es decir que es la medida total que obtuvo un alumno en el “Test de Conceptos” en cuanto a apropiación de conocimiento.

Para calificar con la variable “Conocimiento” se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Primer criterio: cada pregunta resuelta del test se califica con dos parámetros: “Aciertop” (acierto-pregunta) y “Seguridadp (seguridad-pregunta)”.

“Aciertop” se califica con una B si la pregunta estuvo correctamente respondida, y con una “M” si estuvo incorrectamente respondida.

“Seguridadp” se califica según el alumno haya marcado en el test así:

Estoy seguro =3

No estoy seguro =2

No lo sé =0 (esta opción no se tiene en cuenta pues no puntúa).

Es decir que la calificación de cada pregunta se hace con una letra y un número, como se aprecia en la primera columna de la Tabla 9Tabla 9.

- Segundo criterio: cada concepto tiene una calificación preliminar con los parámetros “Aciertoc” (acierto-concepto) y “Seguridadc” (Seguridad-concepto).

“Aciertoc” se califica con “B” si y solo si las dos preguntas que lo evalúan se calificaron con “B” en la variable “Aciertop”. Cuando no se cumple la condición se califica con “M”

“Seguridadc” se califica sumando los valores de las calificaciones de “Seguridadp” de las dos preguntas que evalúan el concepto.

- Tercer criterio: El puntaje final de un concepto para un alumno concreto (variable “Conocimiento”) depende de las calificaciones de los parámetros “Aciertoc” y “Seguridadc”

**En este trabajo se definió la asignación de puntajes a la variable “Conocimiento” así:**

<b>Aciertoc</b>	<b>Seguridadc</b>	<b>“Conocimiento”</b>
<b>B</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>B</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>B</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>M</b>	<b>6</b>	<b>0</b>
<b>M</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
<b>M</b>	<b>4</b>	<b>0</b>

Estos criterios permiten discriminar el grado de apropiación del conocimiento por parte del estudiante. Los criterios de calificación de los conceptos se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8: Medición del grado apropiación del conocimiento.

<b>Evaluación \ Certeza</b>	<b>Estoy seguro</b>	<b>No estoy seguro</b>	<b>No estoy seguro</b>	<b>No lo sé</b>
<b>Concepto correcto (B)</b>	6	4	2	0
<b>Concepto incorrecto (M)</b>	0	0	0	

Para mayor claridad se presentan en la Tabla 9 los mismos criterios recogidos en la Tabla 8, pero ahora partiendo desde las preguntas del Test de Conceptos y teniendo en cuenta las diferentes combinaciones que se pueden presentar. Se llega nuevamente a la calificación final del concepto.

Tabla 9: Presentación comprehensiva de los criterios de evaluación de la apropiación del conocimiento.

Combinaciones posibles en las dos preguntas individuales.		Calificación preliminar del concepto		Valor correspondiente de la variable "Conocimiento" para cada concepto
Aciertop y Seguridadp		Aciertoc	Seguridadc	
B y 3 <sup>25</sup>	B y 3	B	6	6
B y 3	B y 2 <sup>26</sup>	B	5	4
B y 2	B y 2	B	4	2
B y 3	M y 3	M	6	0
M y 3 <sup>27</sup>	M y 2 <sup>28</sup>	M	5	0
M y 2	B y 2	M	4	0

Finalmente, la medida del conocimiento adquirido por el alumno, de cada concepto (se refiere a cada uno de los 11 errores conceptuales seleccionados de los descritos en la Tabla 3) se obtienen directamente de la Tabla 9.

#### 2.4.3.1 Variable "Total Conocimiento Alumno"

Interesa ahora dar un valor al conocimiento adquirido por un alumno y evaluado con el "Test de Conceptos".

<sup>25</sup> B y 3 significa que la respuesta a la pregunta individual es correcta y marcó "Estoy seguro".

<sup>26</sup> B y 2 significa que la respuesta a la pregunta individual es correcta y marcó "No estoy seguro".

<sup>27</sup> M y 3 significa que la respuesta a la pregunta individual es incorrecta y marcó "Estoy seguro".

<sup>28</sup> M y 2 significa que la respuesta a la pregunta individual es incorrecta y marcó "No estoy seguro".

Se define el puntaje de la variable “Total Conocimiento Alumno” como la sumatoria de los puntajes de “Conocimiento” obtenidos por un alumno cualquiera en los 11 conceptos escogidos de los descritos en la Tabla 3.

El rango de la variable “Conocimiento” es [0-6] para cada concepto y son 11 conceptos. Al sumar los valores de “Conocimiento” de los 11 conceptos para cada alumno se puede alcanzar un valor máximo de 66 y un mínimo de 0. Entonces:

“TOTAL CONOCIMIENTO ALUMNO” (TCA) ES LA VARIABLE QUE SE UTILIZA PARA MEDIR EL CONOCIMIENTO ADQUIRIDO POR UN ALUMNO, Y TIENE UN RANGO DE 0 A 66.

Un aspecto que interesa resaltar con relación a las dos variables que miden el total del error conceptual y el total del conocimiento es que tienen el mismo rango de valores para cada alumno individual (0-66). Este hecho será una ventaja, como se verá a la hora de hacer algunos análisis estadísticos.

## 2.5 HIPÓTESIS

El planteamiento de las hipótesis es un elemento central en la investigación en ciencias.

Cuando el análisis de los datos obtenidos experimentalmente se hace mediante pruebas estadísticas, se acostumbra plantear hipótesis nulas. La expresión *hipótesis nula* significa la suposición *por defecto* de que los procedimientos planteados y aplicados experimentalmente en el estudio no van a producir ningún cambio significativo en las poblaciones y muestras estudiadas. Cuando La información recabada en la investigación se somete a análisis estadísticos y se detectan diferencias significativas o correlaciones significativas que permitan rechazar válidamente una hipótesis nula, se *rechaza*. En caso contrario *no se rechaza* la hipótesis nula. Las hipótesis nulas no se prueban: simplemente se rechazan o no se rechazan.

Para el presente estudio se plantearon cuatro hipótesis nulas:

**Hipótesis nula 1:** No habrá diferencia estadísticamente significativa en la *apropiación de conocimiento* en posttest entre el grupo experimental y los demás grupos de la asignatura Física Electricidad y Magnetismo, cuando son evaluados sobre los conceptos seleccionados del tema potencial eléctrico.

**Hipótesis nula 2:** No habrá diferencia estadísticamente significativa en el nivel de *error conceptual* en posttest, entre el grupo experimental y los demás grupos de la asignatura Física Electricidad y Magnetismo, cuando son evaluados sobre los conceptos seleccionados del tema potencial eléctrico.

**Hipótesis nula 3:** No habrá diferencia estadística significativa en la medición conjunta de la adquisición de conocimiento y del error conceptual, en el Posttest, entre el grupo experimental y los demás grupos evaluados en la asignatura Física Electricidad y Magnetismo, cuando son evaluados sobre los conceptos seleccionados del tema potencial eléctrico.

**Hipótesis nula 4:** No habrá correlación estadística significativa entre cada una de las estrategias pedagógicas utilizadas en los grupos y el sentirse más a gusto en las clases de la asignatura Física Electricidad y Magnetismo.

## 2.6 HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS UTILIZADAS

Para analizar los resultados obtenidos a partir de los diferentes test resueltos por los estudiantes, se utilizaron diferentes pruebas estadísticas. Aparte de los más comunes: media, desviación estándar, etc. Se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) y se hicieron comparaciones múltiples de medias, unas basadas en el test de Bonferroni, otras con el procedimiento GLM y la prueba T o la F. Para medir diferencias en las variables e indicadores se utilizó la prueba T de Student para datos pareados. Las comparaciones múltiples de medias para la variable "POREXANA" se utilizó además la prueba "Suma de rangos de Wilcoxon"

(*Wilcoxon Scores - Rank Sums*). En lo concerniente al estudio combinado de máxima apropiación de conocimiento con mínimo error conceptual, se hizo un estudio de componentes principales y se hallaron las ODDS RATIO que es una prueba de regresión logística sin traducción consensuada. Para determinar la normalidad de los datos se utilizaron varios estadísticos, pero se recogieron en este documento los datos de la prueba de Shapiro-Wilk.

## **2.7 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio realizado en este trabajo de grado se centra en la asignatura Física Electricidad y Magnetismo en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Los estudiantes pertenecen a programas de Ingeniería y Ciencias. Aunque la asignatura corresponde al tercer semestre para algunas ingenierías, en los grupos hay alumnos que cursan del tercero al décimo semestre. La mayoría de los estudiantes pertenecen a lo que en Colombia se llaman estratos 1, 2 y 3 (de 6).

Se trabajó inicialmente con cinco grupos, y cada uno tenía entre 60 y 70 estudiantes. Los estudiantes provenían de colegios oficiales y privados. El grupo experimental dos estuvo a cargo del autor del presente estudio. Los demás grupos estuvieron a cargo de otros profesores y recibieron la instrucción que su profesor libremente escogió. De hecho no hubo conversación alguna con los profesores encargados de los grupos acerca de cómo abordar los temas de la unidad didáctica. Todos se deben guiar por una parcelación temática de la asignatura en las semanas del semestre académico. Esto sin embargo, no significa un orden determinado ni la realización de los mismos ejercicios.

Se hizo el compromiso verbal de cubrir el tema potencial eléctrico en el mismo lapso de tiempo. Esta condición se cumplió con diferencias de una a dos semanas. Al frente de cada grupo estuvo un profesor distinto, todos con diferentes niveles de experiencia docente y de titulación académica.

El estudio se circunscribió a 11 de 13 errores conceptuales que se juzgaron más relevantes y que se recogen en la Tabla 3.

El Test de Percepción tiene la limitante propia de los test de opinión: generan valoraciones inevitablemente subjetiva y no es fácil medir en ellos el margen de error. Sin embargo, se buscó superar esta dificultad aumentando lo más posible, dentro de las limitaciones que se presentaron, el número de personas que evaluaran el Test. En algunos grupos se consiguió un buen número de test resueltos. En la Tabla 10 además de los descriptivos más relevantes, se puede leer el número de alumnos que evaluaron cada variable (parámetro "N").

En el Test de Percepción, en algunas preguntas, debía indicarse un tiempo en minutos dedicado a ciertas actividades y en otras preguntas se debía indicar otro tiempo pero no en minutos sino en horas. Se elaboró así con la intención de facilitar al estudiante el cálculo del tiempo, pero parece ser que fue un distractor porque algunas respuestas indicaban, tiempos-semana de dedicación a actividades concretas que superaban las horas - semana posibles físicamente. La conclusión es que algunos se confundieron: cuando se pedía en horas escribieron en minutos y viceversa.

El hecho señalado afectó la confiabilidad de los datos obtenidos para las variables 8 y 9 de la Tabla 4, y muy esporádicamente en otras variables. Para recuperar la confiabilidad de la información las variables 8 y 9 se eliminaron del estudio, y para los casos esporádicos en otras variables, se retiraron todas las respuestas correspondientes a esos Test. Los casos retirados de la investigación corresponden a los alumnos que tenían asignados los códigos internos (variable CODINT) 331, 412 y 532. Como se puede apreciar lo que se eliminó es muy poco y su incidencia en el análisis no es realmente significativa.

## **2.8 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Se partió de una población de 304 alumnos que se matricularon en la asignatura Física Electricidad y Magnetismo en 5 grupos. Se invitó a todos a participar en la investigación resolviendo los tres test, como un aporte que podría facilitar a los compañeros de próximos semestres a comprender mejor esta asignatura. La participación fue totalmente voluntaria. A los participantes ni se les ofreció ni se les dio posteriormente ningún beneficio, ni académico ni de ningún otro tipo por participar en la investigación. A los que lo aceptaron, los mencionamos como participantes del proyecto en el escrito final. Muchos prefirieron mantenerse en el anonimato.

De la población total antes referida presentaron el Pretest 237 alumnos; el Postest 90 y el Test de Percepción 80 alumnos; hubo que eliminar 3 (ver detalles en ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN en la página 60) y se trabajo con los 77 restantes.

Presentaron ambos: Pretest y Postest 84 alumnos.

Presentaron todos los test 50 estudiantes.

## **2.9 PROCEDIMIENTO**

En la segunda semana del período académico 2011-3 se hizo una motivación de 15 minutos en la que le explicó a los alumnos de los cinco cursos el alcance y los objetivos de la investigación. Se les motivó además a vincularse activamente en la resolución de los test y se hizo una explicación de cómo debía responderse el Test de Conceptos.

En la tercera semana del período académico se aplicó el pretest a los cinco grupos e inmediatamente se comenzó la digitalización de los resultados.

Entre tanto se comenzó la aplicación de las unidades didácticas de potencial eléctrico en los cinco grupos.

Era necesario aplicar el pretest en la tercera semana porque coincidía con el tiempo que tienen los estudiantes para inscribir asignaturas, hacer cambios de grupo, ajustar horarios, etc. Se pretendía asegurar que los alumnos presentaran los tres test en el mismo grupo.

Es necesario advertir que en el período académico 2011-3 en la Universidad Nacional se presentaron grandes dificultades que impidieron su normal desarrollo: en los primeros días de septiembre comenzaron las irregularidades académicas como reacción de oposición a una ley de reforma a la educación superior que estaba preparando el Ejecutivo del Estado Colombiano.

Hacia mediados de septiembre los estudiantes declararon la *Anormalidad Académica*, figura contemplada en la legislación interna de la Universidad, que obliga a interrumpir las clases cuando se desarrollen actividades estudiantiles como Asambleas, manifestaciones, marchas, etc. Además se prohíbe evaluar a los estudiantes mientras dure la *Anormalidad Académica*. En estos momentos se estaba en la parte final de la aplicación de las unidades didácticas en los diferentes grupos. Casi todos los grupos se vieron afectados con suspensión de algunas clases. Unas semanas después la *Anormalidad Académica* se levantó por poco más de una semana hasta el 20 de septiembre. Los cinco grupos habían terminado su unidad didáctica. Dos grupos alcanzaron a aplicar la evaluación ordinaria de la Universidad; un tercer grupo estaba en la evaluación ordinaria cuando llegaron los organizadores del movimiento estudiantil e hicieron suspender la evaluación. Los dos grupos restantes no pudieron hacer la evaluación ordinaria en este lapso de tiempo.

Se había acordado que el postest se aplicaría exactamente una semana después realizada la evaluación ordinaria ya mencionada. A uno de estos grupos se le pudo aplicar el postest de manera presencial una semana después de la evaluación ordinaria —tal como estaba previsto— en una hora de clase normal antes del 20 de septiembre. Este día se votó la *Asamblea Permanente*; esta

declaración impide tener clases y evaluaciones de cualquier tipo. De la *Asamblea Permanente* se pasó pronto al *Paro Indefinido* que duró hasta el 21 de noviembre.

Ante la incertidumbre de una insinuada cancelación del semestre por parte del señor Rector y ante la urgencia de aplicar el postest a los cuatro grupos restantes, se preparó un *plan B*: se citó vía *email* (a través de los correos electrónicos institucionales de los estudiantes) a cerca de dos centenares y medio de alumnos, para resolver el postest en la biblioteca de la Sede, entre el 26 y el 30 de septiembre. En vista de la escasa respuesta al *plan B* se hizo necesario elaborar un *plan C*: se envió el postest vía electrónica a los que aún no lo habían presentado para que lo resolvieran y lo regresaran también vía electrónica. Gracias a esto se consiguió recoger en postest un número aceptable de datos de los grupos 1 y 2; pero un número no tan numeroso de datos de los grupos 3 y 4. Del grupo 5 tan solo un alumno presentó el postest.

Aplicado el postest se envió vía electrónica, a todos los alumnos de los cinco grupos (más de tres centenares de alumnos) el Test de Percepción. La respuesta no fue la esperada; no obstante, a juicio de expertos en estadística se acumuló información suficiente para hacer muchos estudios estadísticamente válidos y llegar así a conclusiones interesantes.

Cumplidos todos los pasos mencionados se pasó al análisis estadístico de la información recabada bajo la dirección y coelaboración del profesor Juan Carlos Salazar (Ph.D. en Estadística). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa SAS<sup>®</sup> versión 9.2.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta el análisis de la información recolectada a partir de los Test aplicados a los estudiantes matriculados en 5 grupos de Física Electricidad y magnetismo. Debido a la gran cantidad de estudios realizados y de resultados obtenidos, solo se presentarán los que, a juicio del autor y del director de este trabajo, se consideraron más relevantes.

Los análisis que se juzgaron más importantes son los siguientes:

- la descripción –percepción— de los alumnos de cómo recibieron su correspondiente unidad didáctica;
- las pruebas estadísticas para determinar si los postest resueltos y enviados vía internet se pueden o no incluir en el estudio junto con los aplicados presencialmente;
- la indagación de diferencias significativas en las diferencias de las medias de la variable “Total Conocimiento Alumno” entre pretest y postest;
- las diferencias estadísticas *entre grupos*, en la variable “Total Conocimiento Alumno” en postest;
- la indagación del *efecto combinado* de la apropiación del conocimiento y del error conceptual en postest, por grupo; y finalmente,
- la indagación de correlación entre la variable “RECEXINV” (porcentaje que estuvo involucrado el alumno en una clase promedio) con la variable “AGUSTO” (“¿qué tan a gusto estuviste en las clases?”).
- la indagación de correlación entre la variable “RECEXAPP” (porcentaje de una clase promedio que el estudiante recibió con aplicación de los conceptos físicos a la vida profesional o a la vida diaria) con la variable “AGUSTO” (“¿qué tan a gusto estuviste en las clases?”).

Para los resultados del pretest y del postest, se presentan además las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para los errores estadísticos de las

variables “Total Conocimiento Alumno” y “Total Error Conceptual Alumno” en pretest y posttest y la prueba de normalidad de las diferencias de las medias de la variable “Total Conocimiento Alumno” entre pretest y posttest.

## **3.1 TEST DE PERCEPCIÓN**

Se presentarán primero los descriptivos de las variables del Test y posteriormente se indagarán diferencias estadísticamente significativas en las variables entre los grupos.

### **3.1.1 Descriptivos de las variables**

En el estudio se calcularon los valores descriptivos de los resultados de todas las variables del Test de Percepción, pero solamente se recogen los resultados de aquellas que arrojaron información estadísticamente significativa; sus estadísticos se relacionan en la Tabla 10. El resto de la información se omite. En la Tabla 10 los parámetros significan lo siguiente:

Grupo: Se refiere a cada uno de los 5 grupos que participaron en el estudio.

N= Es el número de estudiantes que evaluaron cada variable.

Promedio= Promedio de las valoraciones hechas por los alumnos en cada variable.

POREXSIM: Porcentaje percibido de una clase teórica promedio que recibió el (la) alumno (a) con exposición simple<sup>29</sup>.

PORINVOL: Porcentaje percibido de una clase teórica promedio que el (la) alumno (a) estuvo tratando de aportar al desarrollo de los temas, resolviendo

---

<sup>29</sup> Equivale a una presentación del tema por parte del profesor con tiza y tablero, y sin otras ayudas didácticas.

preguntas planteadas por el profesor, analizando, pensando los temas, planteándose alternativas, etc.

POREXANA: Porcentaje percibido de una clase teórica promedio que recibió el (la) alumno (a) con el apoyo de analogías

POREXEXD: Porcentaje percibido de una clase teórica promedio que recibió el (la) alumno (a) con el apoyo de experimentos en video.

POREXEXV: Porcentaje percibido de una clase teórica promedio que recibió el (la) alumno (a) con el apoyo de experimentos en el aula.

POREXAPL: Porcentaje percibido de tiempo de una clase teórica promedio que recibió el (la) alumno (a) con aplicación de los conceptos de la física a fenómenos de la vida diaria o del ejercicio profesional.

HTALLENT: Tiempo promedio (en horas semanas) que invirtió la (el) alumna(o) en resolver talleres para entregar.

Se presenta este ejemplo para el grupo 2 de cómo leer la Tabla 10<sup>30</sup>:

Los alumnos del grupo 2 percibieron que:

- el 54%<sup>31</sup> de la clase, en promedio, se hizo con exposición simple (con una desviación estándar de 30%);
- el 59% de la clase, en promedio, se tuvo involucrando al alumno en el desarrollo de los temas (con una desviación estándar de 29%);
- el 79% de la clase, en promedio, se desarrolló apoyándose en analogías (con una desviación estándar de 18%);
- el 66% de la clase, en promedio, se desarrolló apoyándose en experimentos en video (con una desviación estándar de 25%);

---

<sup>30</sup> Cada recurso didáctico se evaluó de 0 a 10, es decir de 0 a 100%. Pero los recursos didácticos frecuentemente se utilizan simultáneamente; por ejemplo, mientras se presenta un experimento en video se puede involucrar a los alumnos en el desarrollo de la clase, etc. Por esto no es de extrañar que la suma de los porcentajes pueda superar el 100%.

<sup>31</sup> El valor que aparece en la tabla 10 es 5.4, sobre un máximo posible de 10, es decir que la valoración es el 54% del valor máximo posible.

- el 33% de la clase, en promedio, se desarrolló apoyándose en experimentos en vivo (con una desviación estándar de 30%);
- el 68% de la clase, en promedio, se desarrolló aplicando los conceptos a la vida diaria (con una desviación estándar de 27%);
- invirtieron, en promedio, 3.7 horas semanales en resolver talleres para entregar (con una desviación estándar de 1.5%).

Tabla 10: Estadísticos descriptivos de la percepción de la exposición de las unidades didácticas, por los estudiantes

Grupo	Variable	POREXSIM (0-10)	PORINVOL (0-10)	POREXANA (0-10)	POREXED (0-10)	POREXEV (0-10)	POREXAPL (0-10)	HTALLENT (Horas)
1	N	20	20	20	20	19	20	20
	Promedio	8.4 <sup>32</sup>	5.1	6.1	0.050	0.26	4.8	5.3
	Desviación estándar	2.0	3.0	2.4	0.22	0.65	3.3	3.3
2	N	26	27	27	27	27	27	26
	Promedio	5.4	5.9	7.9	6.6	3.3	6.8	3.7
	Desviación estándar	3.0	2.9	1.8	2.5	3.0	2.7	1.5
3	N	10	11	11	11	11	11	10
	Promedio	7.2	4.6	6.6	2.5	2.1	5.2	1.6
	Desviación estándar	3.4	2.2	2.5	3.1	2.3	2.2	3.3
4	N	14	14	14	14	14	14	12
	Promedio	8.6	6.0	6.5	0.57	1.3	4.5	5.7
	Desviación estándar	2.3	3.5	2.0	1.3	2.7	3.0	2.9
5	N	5	5	5	5	5	5	4
	Promedio	7.0	4.4	4.6	1.8	0.20	2.4	2.8
	Desviación estándar	3.5	3.1	2.6	0.83	0.45	2.4	2.2

<sup>32</sup> Se ajustaron los resultados a dos cifras significativas.

Un análisis inicial de la Tabla 10 permite ver tendencias de lo que perciben los estudiantes acerca de cómo se desarrollaron las clases:

- GRUPO 1: Cabe pensar que la clase se desarrolló fundamentalmente con exposición simple de los temas (obtuvo en la variable POREXSIM el puntaje promedio más alto) y con talleres (junto con el grupo 4 obtuvieron los valores más elevados), involucrando medianamente al estudiante en el desarrollo de las clases y acudiendo a las analogías.
- GRUPO 2: Los resultados permiten pensar que las clases se desarrollaron muy poco con exposición simple (tiene el mínimo valor en el promedio en la variable POREXSIM). Parece que se apoyó fundamentalmente en analogías (máximo promedio en la variable POREXANA), en experimentos en video (máximo promedio y con notable diferencia en la variable POREXEXV) y en la presentación de aplicaciones prácticas de los conceptos físicos (máximo promedio en la variable POREXAPL).
- GRUPO 3: Teniendo en cuenta que solamente participaron 11 estudiantes de este curso en el Test de Percepción, se puede decir que solo hay indicios de que las clases privilegiaron la exposición simple; en menor proporción el recurso a las analogías y a la presentación de aplicaciones prácticas de los conceptos físicos. Pero es aventurado afirmarlo.
- GRUPO 4: En este grupo se encontró la máxima tendencia a desarrollar la clase con exposición simple (obtuvo el valor más alto en POREXSIM: 86%). Junto con esto se logró involucrar a los alumnos en el desarrollo de la clase (máximo promedio en PORINVOL), acudir a analogías y a resolver talleres para entregar; este último se destaca por el tiempo que dedicaron los alumnos (promedio más alto en HTALLEMT: 5.7 Horas semanales alumno).
- GRUPO 5: Resulta muy riesgoso hablar de tendencias en este grupo pues únicamente 5 estudiantes resolvieron el Test de Percepción.

### 3.1.2 Diferencias en las variables, entre grupos.

Se hizo una comparación entre los grupos para cada variable de la Tabla 10. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y se hicieron comparaciones múltiples de medias basadas en el conocido test de Bonferroni.

En la Tabla 11 se relacionan solo aquellos resultados comparativos entre grupos que mostraron diferencias estadísticamente significativas (*Valor-p* menor a 0.05).

Tabla 11: Diferencias en las variables de la Tabla 10, analizadas comparando todos los grupos. Solo se recogen las diferencias estadísticamente significativas.

Ítem	Variable	Grados de libertad	Grupos comparados	Media de las diferencias entre grupos	Grupo con el mayor valor	T	F	Valor-p
1	HTALLENT	71	4-3	4.0667	4	4.63		0.0023
2	HTALLENT	71	1-3	3.6500	1	4.63		0.0023
3	POREXSIM	74	4-2	3.1868	4	4.70		0.002
4	POREXSIM	74	1-2	3.0154	1	4.70		0.002
5	POREXANA	76	2-5	3.3259	2		3.75	0.0079
6	POREXEXD	76	2-1	6.5796	2		39.91	0.0001
7	POREXEXD	76	2-3	4.0842	2		39.91	0.0001
8	POREXEXD	76	2-4	6.0582	2		39.91	0.0001
9	POREXEXD	76	2-5	4.8296	2		39.91	0.0001
10	POREXAPL	76	2-5	4.4148	2		3.65	0.0092

Para indagar un poco más cómo fue el comportamiento del grupo 2 respecto a los demás grupos en la variable “POREXANA” se realizó el análisis de “Suma de rangos de Wilcoxon” (*Wilcoxon Scores - Rank Sums*)<sup>33</sup> para esta variable y los resultados se muestran en la Tabla 12.

<sup>33</sup> Es una prueba estandarizada para comparar grupos pareados; hace parte de los estadísticos no paramétricos, por tanto no exige normalidad en los datos. Para mayores detalles ver SAS/SAT *user's guide: version 8* [39].

Tabla 12: Análisis “Suma de Rangos de Wilcoxon” para la variable “POREXANA” analizada por grupos.

GRUPO	N	Suma de Scores <sup>34</sup>	Valor esperado bajo Ho <sup>35</sup>	Desviación estándar bajo Ho <sup>36</sup>	Puntaje promedio <sup>37</sup>
1	20	645.5	780.0	85.2	32.3
3	11	425.5	429.0	68.0	38.7
4	14	492.0	546.0	74.9	35.1
2	27	1341.0	1053.0	92.7	49.7
5	5	99.0	195.0	47.9	19.8

EL análisis “Suma de rangos de Wilcoxon” muestra que la suma de puntajes (Sum of Scores) para la variable “POREXANA” (Tabla 12) es mayor en el grupo 2 que en todos los demás grupos, aunque la diferencia solo es significativa al compararlo con el grupo 5 (*Valor-p*=0.0152, menor que 0.05).

### 3.2 VARIABLES “RECEXINV”, “RECEXAPP” Y “AGUSTO”

En este apartado se pretende averiguar si algunos de los recursos didácticos utilizados en los grupos influyeron en que los estudiantes se sintieran más o menos a gusto en las clases. El estudio se hizo para los 77 Test de Percepción validados. No se hizo distinción entre grupos.

---

<sup>34</sup> Wilcoxon trabaja con unas cantidades llamadas 'rangos' que consisten en unas transformaciones de las observaciones originales; Wilcoxon se liga más a las mediciones que al número de observaciones. Para las comparaciones usando *Wilcoxon Scores* se usa un estadístico que se calcula con la *SUM OF SCORES*.

<sup>35</sup> Ho es la hipótesis nula (Expected Under H0)

<sup>36</sup> Std Dev Under H0

<sup>37</sup> Mean Score

### 3.2.1 Variables “RECEXINV” y “AGUSTO”

Se utilizó como modelo “AGUSTO”=0, (“Indica, por favor, qué tan a gusto te sentiste en el estudio de la electrostática”) y se estudió su correlación con “RECEXINV” (Porcentaje estimado que estuvo el estudiante involucrado en la clase). Se encontró que el efecto de “RECEXINV” es negativo sobre el Logit<sup>38</sup> de estar a gusto (estimación del efecto -0.0246). La *Odds Ratio* (OR) generó un valor de 0.976. El tamaño del efecto de “RECEXINV” se midió de acuerdo a  $(0.976-1)*100=-2.4$ . Este resultado permite argumentar que un incremento en una unidad en “RECEXINV” ocasiona una disminución del 2.4% en la probabilidad de “**no sentirse muy a gusto**”.

### 3.2.2 Variables “RECEXAPP” y “AGUSTO”

Utilizando como modelo “AGUSTO”=0, (“Indica, por favor, qué tan a gusto te sentiste en el estudio de la electrostática”) y estudiando la correlación con “RECEXAPP” (Porcentaje estimado que recibió el alumno de aplicación de conceptos físicos a la vida profesional y a la vida diaria) se obtuvo que el efecto de “RECEXAPP” es negativo sobre el Logit de estar a gusto (estimación del efecto -0.0224). La razón de odds (OR) generó un valor de 0.977. El tamaño del efecto de “RECEXAPP” se midió de acuerdo a  $(0.977-1)*100=-2.3$ . Se puede argumentar que un incremento en una unidad en “RECEXAPP” ocasiona una disminución del 2.3% en la probabilidad de “**no sentirse muy a gusto**”.

Se indagaron correlaciones entre las variables “RECEXINV” y “RECEXAPP” con las variables “Total Conocimiento Alumno” y “Total Conocimiento Alumno”, y no se encontraron correlaciones significativas.

---

<sup>38</sup> Logit es el logaritmo de la razón entre la probabilidad de sentirse a gusto y la de no sentirse a gusto.

### 3.2.3 Validación de los postest resueltos por Internet

Para indagar si había diferencias estadísticas significativas entre los resultados de “Total Conocimiento Alumno” del postest (Variable Dependiente) aplicado vía internet y el aplicado presencialmente se utilizó ANOVA, tomando como fuente (Source) la variable “POSINTPR”<sup>39</sup> y con un nivel de significancia de 0.05 al grupo de los 84 que presentaron ambos Test de Percepción. Se obtuvo el valor de la  $F=0.00$  y el  $Valor-p=0.9694$ . Como resultó el  $Valor-p$  mayor a 0.05, la conclusión es que no hay diferencias significativas entre en los aplicativos con respuesta vía electrónica y los presenciales en cuanto a se refiere a “Total Conocimiento Alumno”. La misma prueba se aplicó a la variable “Total Error Conceptual Alumno” y se obtuvo el valor de la  $F=2.83$  y el  $Valor-p=0.0962$ . CONCLUSIÓN: NO EXISTE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE LOS TEST APLICADOS VÍA INTERNET Y LOS PRESENCIALES. POR TANTO SE PUEDEN INCLUIR TODOS EN LA INVESTIGACIÓN.

Comprobado que la aplicación del postest vía Internet no marcó diferencia estadística significativa con la aplicación presencial del Post Test, se puede suponer que los estudiantes que resolvieron el Post Test vía Internet lo hicieron sin coacción ni perturbación alguna; basados en esto, se puede concluir que los estudiantes que resolvieron el postest presencialmente también lo hicieron con libertad y sin perturbaciones externas.

Se puede concluir también que no hay inconveniente en que otros aplicativos se apliquen vía internet, si son realizados en las mismas condiciones que se aplicaron en el desarrollo de esta investigación. Sin embargo, fueron relativamente pocos los que lo respondieron: el postest se envió vía internet a alrededor de 250 estudiantes y lo enviaron resuelto 30 alumnos; mientras que, presencialmente, se le propuso a 60 jóvenes y todos lo respondieron.

---

<sup>39</sup> POSINTPR toma el valor “I” si el postest se presentó vía electrónica; y toma valor “P” si se resolvió presencialmente.

### 3.3 TEST DE CONCEPTOS

Se presentarán los resultados de los análisis en el pretest, en el postest y en la comparación de los dos. Luego se analizará el efecto combinado de apropiación de conocimiento y del error conceptual por grupos, con los resultados del postest.

#### 3.3.1 Pretest

Con ANOVA se analizaron los Resultados del pretest, tomando únicamente los datos de estudiantes que presentaron los dos Test de Conceptos (en total 84 jóvenes). Se indagaron diferencias estadísticas significativas entre los resultados de "Total Conocimiento Alumno" por grupos. El valor obtenido de la  $F=2.97$  y el  $Valor-p=0.0244$  indican que hay diferencias significativas entre algunos grupos en cuanto al conocimiento. Se aplica la prueba T de Bonferroni para determinar dónde estuvieron diferencias, pero, con un alfa de 0.05 no se detectaron diferencias. Se indagó con una significancia menor y se encontraron diferencias con  $alfa=0.07$ , y correspondió al valor de la  $T=2.76921$ . Así se detectaron diferencias significativas entre los grupos 2 y 1, y entre los grupos 4 y 1 a favor de los grupos 2 y 4. No se encontraron diferencias significativas entre los demás grupos. **CONCLUSIÓN: LOS GRUPOS 2 Y 4 PRESENTARON RESULTADOS MAYORES QUE EL GRUPO 1 EN LA VARIABLE "TOTAL CONOCIMIENTO ALUMNO" CON DIFERENCIA SIGNIFICATIVA DE BORDE"**

Se hizo un análisis paralelo con la variable "Total Error Conceptual Alumno" por grupos y no se encontraron diferencias significativas entre ningún par de grupos.

Estos RESULTADOS nos permiten concluir que, con excepción del grupo 1, que mostró diferencia significativa de borde en cuanto al conocimiento por debajo de los grupos 2 y 4, los estudiantes que comenzaron las correspondientes unidades didácticas, son una población bastante homogénea en cuanto al conocimiento y el error conceptual. Este aspecto es muy importante para analizar el postest, donde

ya habrá habido una influencia del docente, con la presentación de los temas y la metodología empleada.

### 3.3.2 Postest

Para la indagación de diferencias estadísticas significativas en los resultados de la variable “Total Conocimiento Alumno” en postest entre grupos se tomaron únicamente los datos de estudiantes que presentaron los dos test (pre y pos) de Conceptos.

Nuevamente se utilizó ANOVA con el procedimiento GLM del programa SAS<sup>®</sup>. Con las variables “Grupo”, “Sexo” y “Repitencia” como fuente (Source) se encontraron, para la variable Grupo un valor de la  $F=2.1$  y un  $Valor-p=0.0889$ ; este resultado nos anuncia que hay diferencias significativas, pero que muy seguramente serán de borde ( $Valor-p$  mayor en el rango  $[0.05 - 0.09]$ ). Se aplicó la prueba T de Dunnett a los resultados y solamente se encontraron diferencias significativas con un Alfa de 0.08 (es decir, de borde) entre los grupos 1 y 2, La diferencia favorable al grupo 2 se mantuvo en el postest sobre el grupo 1, pero con una significancia menor (en el pretest se encontró con  $\alpha=0.07$ ). Entre los demás grupos no se encontraron diferencias significativas en cuanto al conocimiento. CONCLUSIÓN: EL “TOTAL CONOCIMIENTO ALUMNO” RESULTÓ MAYOR EN EL GRUPO 2 QUE EN EL 1 EN POSTEST, CON SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA DE BORDE.

Para la indagación de diferencias estadísticas significativas en los resultados de la variable “Total Error Conceptual Alumno” en postest entre grupos se trabajó con los mismos 84 estudiantes que presentaron los dos test (pre y pos) de Conceptos.

Se aplicó a los datos el procedimiento GLM de ANOVA con el programa SAS<sup>®</sup>. Como fuente (Source) se emplearon las variables “Grupo”, “Sexo” y “Repitencia”. Para la variable “Grupo” se obtuvieron los valores siguientes:  $F=2.57$  y  $Valor-p=0.0444$ ; este resultado anuncia que hay diferencias significativas ( $Valor-p<0.05$ ).

Para encontrarlas se aplicó la prueba T de Dunnett con  $\alpha=0.05$ . El análisis mostró diferencia significativa entre el grupo 3 y el grupo 1, con mayor error conceptual en el grupo 1 y con una media de las diferencias de -7.343. Entre los demás grupos no se presentaron diferencias estadísticamente significativas. CONCLUSIÓN: EL GRUPO 1 RESULTÓ CON MAYOR ERROR CONCEPTUAL QUE EL GRUPO 3 CON DIFERENCIA ESTADÍSTICA SIGNIFICATIVA EN POSTEST. Aunque matemáticamente este resultado es correcto, se debe tener en cuenta que solamente 6 personas del grupo 3 presentaron los dos test de conceptos mientras que en el grupo 1 lo presentaron 34 estudiantes. Este resultado se puede tomar de todas maneras y al menos como un indicio de que hubo un menor error conceptual en el grupo 3 que en el 1.

### **3.4 COMPARATIVO ENTRE PRETEST - POSTEST**

Este estudio se realizó con los resultados de quienes presentaron los dos Test de Conceptos: pre y pos; en total 84 alumnos. En la presentación de este análisis se utiliza la sigla TCA para designar a la variable “Total Conocimiento Alumno”.

Se pretende indagar si dentro de cada grupo hay diferencia estadística significativa entre los resultados de TCA en el pretest y los correspondientes en postest.

Para comenzar se definió la variable “Diferencia” para cada alumno así:

$$\text{Diferencia} = \text{TCA en pretest} - \text{TCA en postest.} \quad (2)$$

Se aplicó la prueba “T de student para datos pareados”<sup>40</sup> (TTEST) a la variable “Diferencia”. Esta prueba compara, alumno por alumno, cada pareja de datos en pre y postest para determinar si en el grupo hubo incremento (o decremento)

---

<sup>40</sup> La prueba T de Student para datos pareados es una prueba estandarizada para este tipo de análisis.

estadísticamente significativo en el conocimiento. Se trabaja con un nivel de significancia de 0.05; es decir que, el grupo que obtenga un *Valor-p*<0.05 habrá logrado una variación estadísticamente significativa en el conocimiento. Los resultados se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13: Análisis comparativo de los resultados de la variable “Total Conocimiento Alumno”.

Grupo	N	Media de las diferencias	Desviación estándar de las diferencias	Grados de libertad.	Valor de la T	Valor-p	IC del 95% para la media de las diferencias
1	34	-11.941	8.449	33	-8.24	0.0001	-14.889 -8.993
2	30	-14.333	10.021	29	-7.83	0.0001	-18.076 -10.591
3	6	-16.333	18.217	5	-2.20	0.0795	-35.451 2.785
4	13	-6.615	10.782	12	-2.21	0.0471	-13.131 -0.100
5 <sup>41</sup>	1	-	-	-	-	-	--

Como la comparación en cada caso se hizo con la resta TCA pretest – TCA postest, un resultado negativo en la media de las diferencias (ver columna 3 de la Tabla 15) significa un aumento promedio en el conocimiento del grupo. La Tabla 13 muestra que hubo aumento estadísticamente significativo en los grupos 1 y 2 porque *Valor-p*<0.05 (columna 7 de la Tabla 13); muestra también la Tabla 13 que hubo aumento del conocimiento en el grupos 4 con significancia de borde por tener un *Valor-p* dentro del rango [0.05 – 0.08].

<sup>41</sup> Este grupo no tiene valores en los estadísticos porque solo un estudiante del grupo 5 presentó el postest.

Aunque el grupo 3 obtuvo  $Valor-p=0.0795$  que permitiría asociarlo a una significancia de borde, no es posible porque su IC del 95% incluye el cero (ver Tabla 13, IC 95% = [-35.4511, 2.7845]) es obligatorio entonces afirmar que no hay diferencia estadística significativa entre el conocimiento en el pretest y el Post Test para el grupo 3. Es justo recordar que el valor N del grupo 3 es muy pequeño: solamente presentaron ambos, pretest y postest, 6 personas. Significa, por tanto que los 6 estudiantes del grupo 3 que respondieron ambos test, como grupo, no lograron un incremento estadísticamente significativo del conocimiento de los conceptos de la unidad didáctica.

Adicionalmente, se hizo el mismo análisis para la variable “Total Error Conceptual Alumno” y no se detectaron diferencias estadísticas significativas en ningún grupo entre los resultados en pre y postest. Este resultado es positivo porque no es extraño que después de estudiar un tema en clase, aumente el error conceptual, pues el estudiante adquieren conceptos que no tenía en su estructura cognitiva y pudieron haberse adquirido con error, lo que no sucedió en ninguno de los grupos de manera estadísticamente significativa.

### **3.5 ANÁLISIS COMBINADO CONOCIMIENTO - ERROR CONCEPTUAL**

Ya se han estudiado el pretest, el postest y la diferencia en el conocimiento entre el pretest y el postest. Se quiere ahora analizar el efecto combinado y simultáneo de los resultados de apropiación del conocimiento y del error conceptual en postest, por grupos.

Para hacer el estudio se define la variable “Ganancia” para cada alumno restando el resultado de la variable “Total Error Conceptual Alumno” al resultado de la variable “Total Conocimiento Alumno” así:

$$Ganancia = TCA - TECA \quad (3)$$

Donde:

TCA= Total Conocimiento Alumno

TECA= Total Error Conceptual Alumno

En esta ecuación las dos variables se pueden utilizar directamente, es decir sin normalizarlas, porque sus rangos de valores coinciden: de 0 a 66: de los 13 conceptos iniciales se está trabajando con 11 para todos los análisis comparativos, y cada concepto puede tomar un valor entre 0 y 6 tanto en conocimiento como en error conceptual.

La variable "Ganancia" es un indicador que nos permitirá indagar en cuáles grupos se consiguió simultáneamente el menor error conceptual con la mayor apropiación de conocimiento en el postest.

El estudio se hace con los resultados de los 84 alumnos que presentaron ambos postest de Conceptos.

Se aplicó a la variable "Ganancia" el método de componentes principales, basado en la descomposición espectral de la matriz de varianzas y covarianzas

El método nos permite encontrar los coeficientes A y B, A' y B' de las componentes principales y que se presentan con dos ecuaciones de la forma:

$$PRINT1 = A (TCA) - B (TECA) \quad (4)$$

$$PRINT2 = A' (TCA) - B' (TECA) \quad (5)$$

Donde PRINT1 es la componente principal 1.

En el caso particular de la variable “Ganancia” de la Ecuación 3:  $Ganancia = TCA - TECA$ , los coeficientes son iguales a 1, es decir que las dos variables que componen a “Ganancia” tienen igual peso. En cambio, los coeficientes A y B, A' y B' obtenidos con el método, varían el peso de las variables de conocimiento y error conceptual por los que correspondan a la mayor variabilidad total de los datos. Junto con estos datos el método del SAS<sup>®</sup> indica el porcentaje de variabilidad total que explica cada componente principal.

Aplicado el método se encontró que la primera componente principal (A y B) explica el 82% de la variabilidad total de la muestra, mientras que la segunda componente principal (A' y B') explica únicamente el 18% de la variabilidad total de los datos. En consecuencia, se decide trabajar con la componente principal PRINT1.

PRINT1 es una combinación lineal de “Total Conocimiento Alumno” y de “Total Error Conceptual Alumno”. Los coeficientes A y B para la primera componente principal son:

$$A = 0.875323$$

$$B = 0.483538$$

El valor de A es casi el doble del valor de B; esto significa que “Total Conocimiento Alumno” es el mayor responsable de la variabilidad de los datos: casi el doble que “Total Error Conceptual Alumno”.

A partir de aquí se trabaja con la variable “PRIN1” como sustituto mejorado de la variable “Ganancia”. La ecuación de la variable “PRIN1” es:

$$PRIN1=0.875323 (TCA) - 0.483538 (TECA) \quad (6)$$

Para cada alumno se obtuvo un valor de: "PRIN1". Se hizo un Análisis de varianza por grupos para la variable "PRIN1" y no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Se apeló entonces al siguiente recurso: revalorar PRIN1 en dos categorías así:

$$PRINR1=0 \text{ para valores de } PRIN1 \leq 0 \text{ y}$$

$$PRINR1=1 \text{ para valores de } PRIN1 > 0$$

PRINR significa a la variable PRIN Revalorada.

Con esta nueva variable se ajustó un modelo de regresión logística<sup>42</sup>, usando como covariable el Grupo. El ajuste del modelo es razonable (LRT=9.2742, basado en 3 grados de libertad y *Valor-p*=0.0259). El tamaño del efecto de los grupos sobre la probabilidad de tener una ganancia conceptual negativa se obtuvo con la Odds Ratio.

El método empleado para calcular las ODDS RATIO (OR) toma un grupo como referencia y lo compara con los demás grupos. El método se aplicó tomando en cada caso un grupo distinto de tal manera que quedaran comparados todos los grupos entre sí. Los resultados se recopilan en la Tabla 13; su explicación se complementa con la información de la Tabla 14.

---

<sup>42</sup> La **regresión logística** es un modelo para variables dependientes. Permite hacer una aproximación a la probabilidad de un evento que ocurre, cuando es afectado por otros parámetros. Utiliza como función de enlace la función Logit [40].

Tabla 14: ODDS RATIO para la variable “PRINTR1”

Grupo de Referencia	ODDS RATIO (OR)				
	Grupo	1	2	3	4
Grupo de Referencia	1		0.205 <sup>43</sup>	0.308	0.359
	2	4.875 <sup>44</sup>		1.500	1.750
	3	3.250	0.667		1.167
	4	2.786	0.571	0.857	

Como puede observarse en la Tabla 14 solamente se encontró diferencia estadística significativa al comparar los grupos 1 y 2 en ambos sentidos, es decir, cuando se tomó el grupo 1 como referencia y luego, cuando se tomo el grupo 2 como referencia. Sin embargo, como simple elemento procedimental se presentan todos los resultados.

Con las OR de la Tabla 14 se calcularon los Logit de cada comparación y se recopilaron en la Tabla 15.

Tabla 15: Logits para la variable “PRINT1”

Grupo de Referencia	Logit (%)				
	Grupo	1	2	3	4
Grupo de Referencia	1		-80	-69	-64
	2	388		50	75
	3	225	-33		17
	4	179	-43	-14	

<sup>43</sup> Esta diferencia es estadísticamente significativa porque el rango de confianza para la razón de ODDS (Confidence Limits=[0.070, 0.603]) no incluye el valor 1.

<sup>44</sup> Esta diferencia es estadísticamente significativa porque el rango de confianza para la razón de odds (Confidence Limits=[1.659, 14.323]) no incluye el valor 1.

La interpretación de los valores de la Tabla 15 se recoge en la Tabla 16 que se debe leer, para el resultado “A” de la siguiente manera: “El grupo 1 tiene un 80% más de probabilidad de obtener una ganancia negativa, ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA, en comparación con el grupo 2”. Los demás resultados se leen de manera similar.

Tabla 16: Interpretación de los resultados de la Tabla 15.

Gr. 1	El grupo 1 tiene un...
A	80% más de probabilidad de obtener una ganancia negativa, ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA, en comparación que el grupo 2
B	69% más de probabilidad de obtener una ganancia negativa que el grupo 3
C	64% más de probabilidad de obtener una ganancia negativa que el grupo 4

Gr. 2	El grupo 2 tiene un...
D	388% más de probabilidad de obtener una ganancia <b>positiva</b> , ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA, que el grupo 1
E	50% más de probabilidad de obtener una ganancia <b>positiva</b> que el grupo 3
F	75% más de probabilidad de obtener una ganancia <b>positiva</b> que el grupo 4

Gr. 3	El grupo 3 tiene un...
G	225% más de probabilidad de obtener una ganancia <b>positiva</b> que el grupo 1
H	33% más de probabilidad de obtener una ganancia negativa que el grupo 2
I	17% más de probabilidad de obtener una ganancia <b>positiva</b> que el grupo 4

Gr. 4	El grupo 4 tiene un...
J	179% más de probabilidad de obtener una ganancia <b>positiva</b> que el grupo 1
K	43% más de probabilidad de obtener una ganancia negativa que el grupo 2
L	14% más de probabilidad de obtener una ganancia negativa que el grupo 3

De los resultados estadísticos obtenidos resulta obligado resaltar que, no solamente se encontró diferencia estadísticamente significativa del grupo 2 con

ventaja sobre el 1 (análisis A y D), sino también que la máxima probabilidad de obtener una ganancia positiva sobre todos los grupos la obtuvo el grupo 2, sin excepción alguna. Esto da pie para pensar que las propuestas pedagógicas que se proponen en este trabajo tienen, en los resultados obtenidos, un fundamento experimental, y que por tanto, amerita seguir explorando.

### **3.6 NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS**

Algunas de las pruebas estadísticas aplicadas son válidas solamente si se cumple el requisito de normalidad de los datos tomados. Otras pruebas exigen además que los datos cumplan la condición de homogeneidad de varianza.

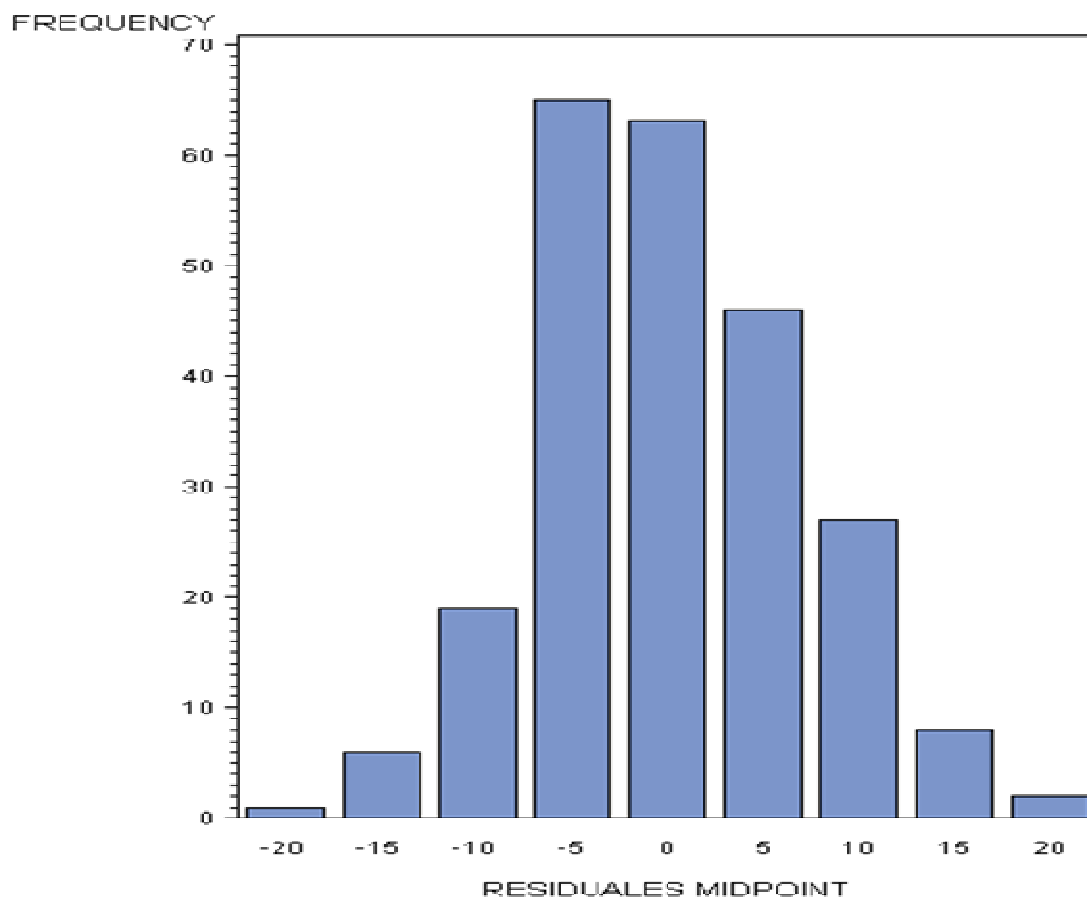
Para comenzar, a los datos de la variable que se analiza, se le aplica el procedimiento GLM de ANOVA , ya que este genera los errores estadísticos de la variable estudiada. Luego se indaga por la normalidad de los errores mediante la prueba Shapiro-Wilk y luego se estudia gráficamente la homogeneidad de varianzas de los mismos errores. Una vez se demuestre la normalidad y la homogeneidad de varianzas de los errores estadísticos, queda demostrada la normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos de la variable, la cual podría ser “Total Conocimiento Alumno”, “Total Error Conceptual Alumno” o cualquier otra variable.

#### **3.6.1 En “Total Error Conceptual Alumno” en pretest**

En este apartado se hizo el análisis con todos los pretest. En total lo presentaron 237 estudiantes. Con el procedimiento GLM de ANOVA se obtuvieron los errores estadísticos de la variable “Total Error Conceptual Alumno”. A estos errores se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y se obtuvo un  $W=0.995957$  con

un Valor- $p=0.7964$ ; como es mayor que  $0.05^{45}$ , se acepta la condición de normalidad de la variable en cuestión. Gráficamente (ver Gráfica 10) también se observa muy buena normalidad de los errores dada la forma de campana Gaussiana que presenta la distribución.

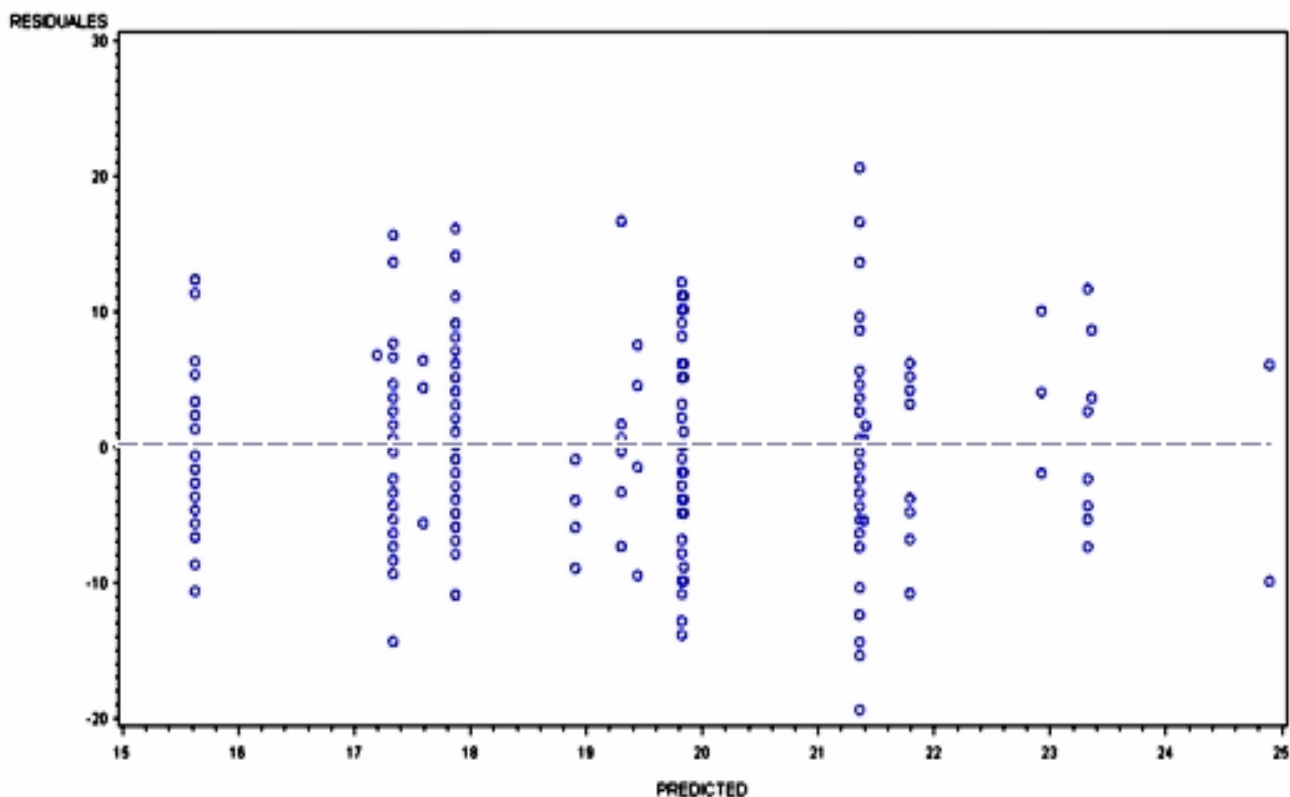
Gráfica 10: Histograma de los Errores Estadísticos de “Total Error Conceptual Alumno” en Pretest.



<sup>45</sup> En la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, los errores estadísticos se consideran normales cuando *Valor-p* es mayor que 0.05. Eso significa que los errores estadísticos —en este caso— se ajustan a la forma de una distribución Gaussiana.

Para comprobar la homogeneidad de varianzas se graficaron los errores estadísticos contra los valores predichos (ver Gráfica 11), que es una manera de uso corriente para indagar por la homogeneidad de los errores estadísticos. Como se puede apreciar en la gráfica 11, se observa aleatoriedad en la distribución de los datos alrededor del cero; es decir que no se observan, desviaciones serias de homogeneidad de varianza. Por tanto, es razonable aceptar la homogeneidad de varianza de los errores estadísticos de la variable “Total Error Conceptual Alumno” en Pretest.

Gráfica 11: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de la variable “Total Error Conceptual Alumno” en Pretest.



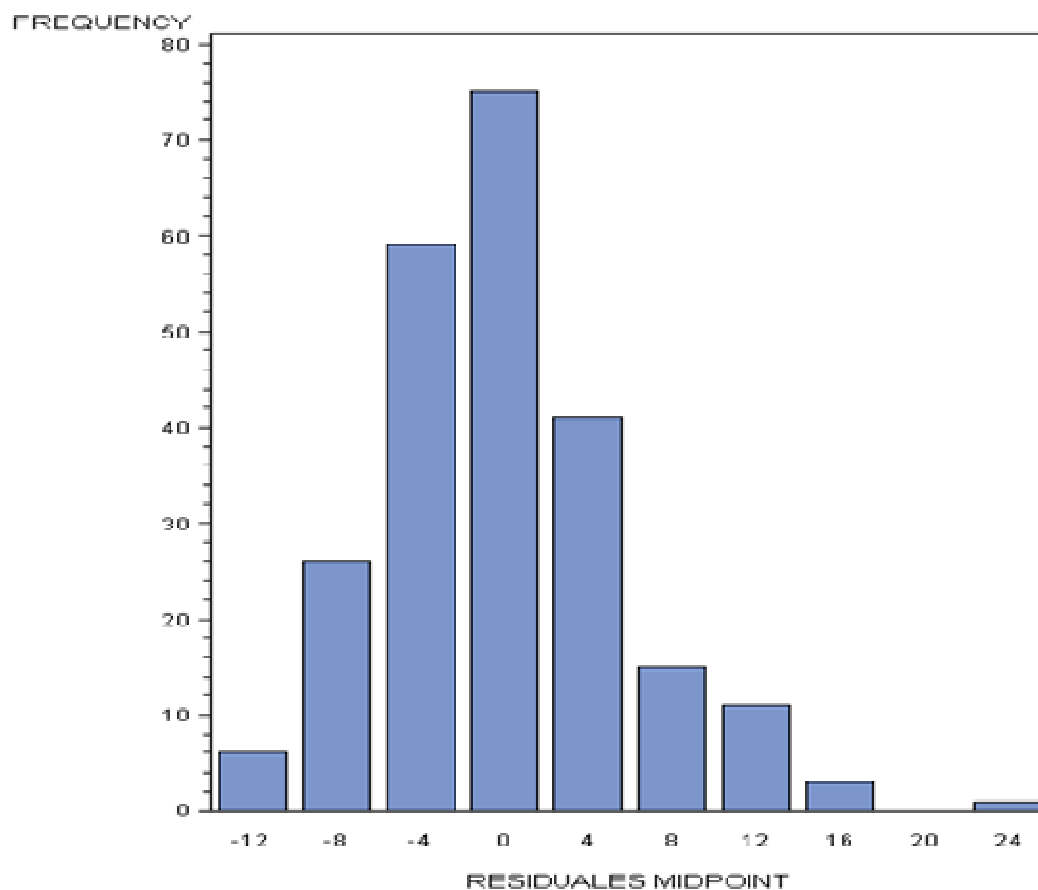
En síntesis: la varianza de los errores estadísticos de “Total Error Conceptual Alumno” en pretest es homogénea y hay normalidad.

### **3.6.2 En “Total Conocimiento Alumno” en pretest**

Se obtuvieron los errores estadísticos para los 237 estudiantes que presentaron el pretest; se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk obteniéndose un  $W=0.971769$  con un  $Valor-p=0.0001$  El  $Valor-p$  no permite concluir que los errores estadísticos sean normales, pero, un análisis gráfico (ver Gráfica 12) pone en evidencia que la distribución de los errores es simétrica, aunque con un sesgo a la izquierda. El sesgo se debe a algunos valores extremos en la cola derecha.

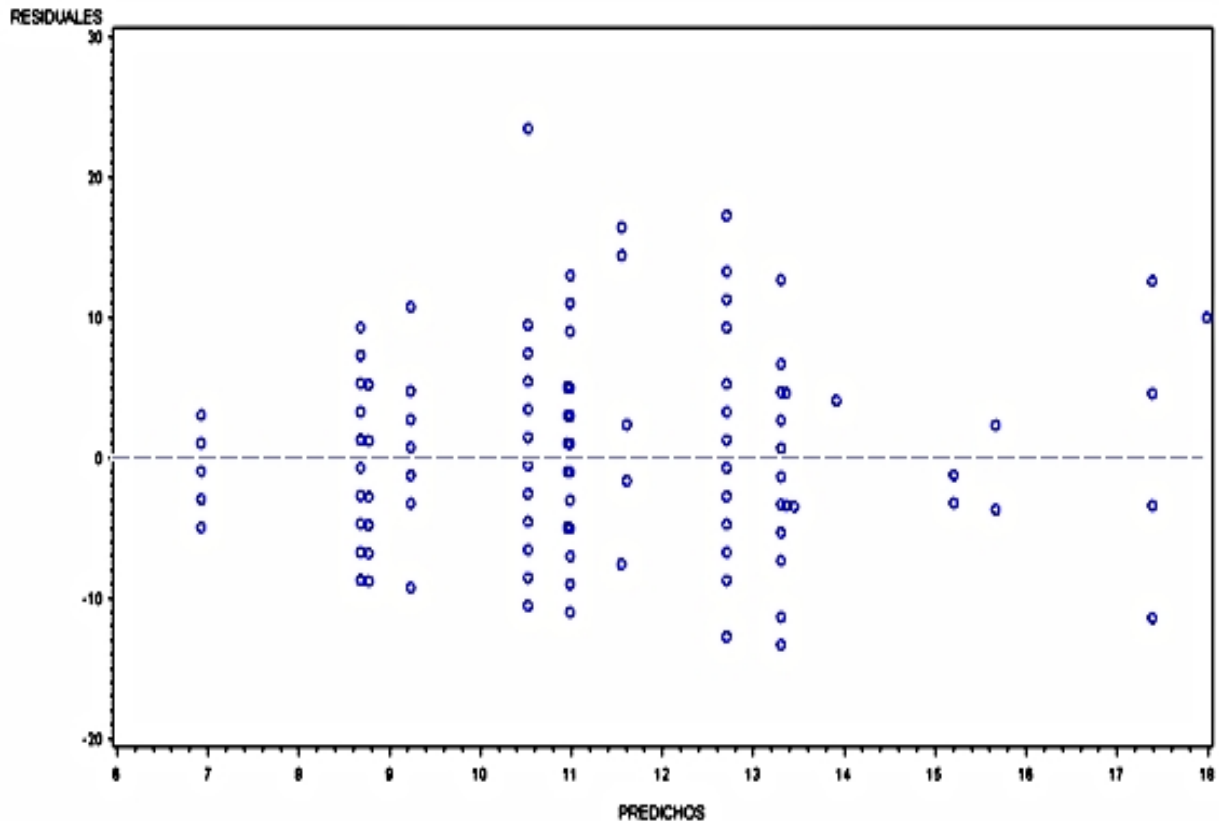
En síntesis: Un vistazo sobre el histograma (grafica 12) permite establecer que los errores estadísticos asociados a los datos de las variables " Total Conocimiento Alumno" en pretest, pueden considerarse normales.

Gráfica 12: Histograma de los Errores Estadísticos de los datos de “Total Conocimiento Alumno” en Pretest



Para probar la homogeneidad de varianzas, se recurre nuevamente al análisis gráfico (ver Gráfica 13).

Gráfica 13: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de los “Total Conocimiento Alumno” en Pretest.



La gráfica muestra aleatoriedad en la distribución de los datos alrededor del cero y por tanto, se puede concluir que: la varianza de los errores estadísticos de la variable “Total Conocimiento Alumno” en pre test es homogénea y los datos, gráficamente, se aproximan a una distribución normal, excepto por unos pocos datos a la derecha. Esto significa que los análisis estadísticos realizados arriba son válidos y permiten llegar a conclusiones estadísticamente confiables.

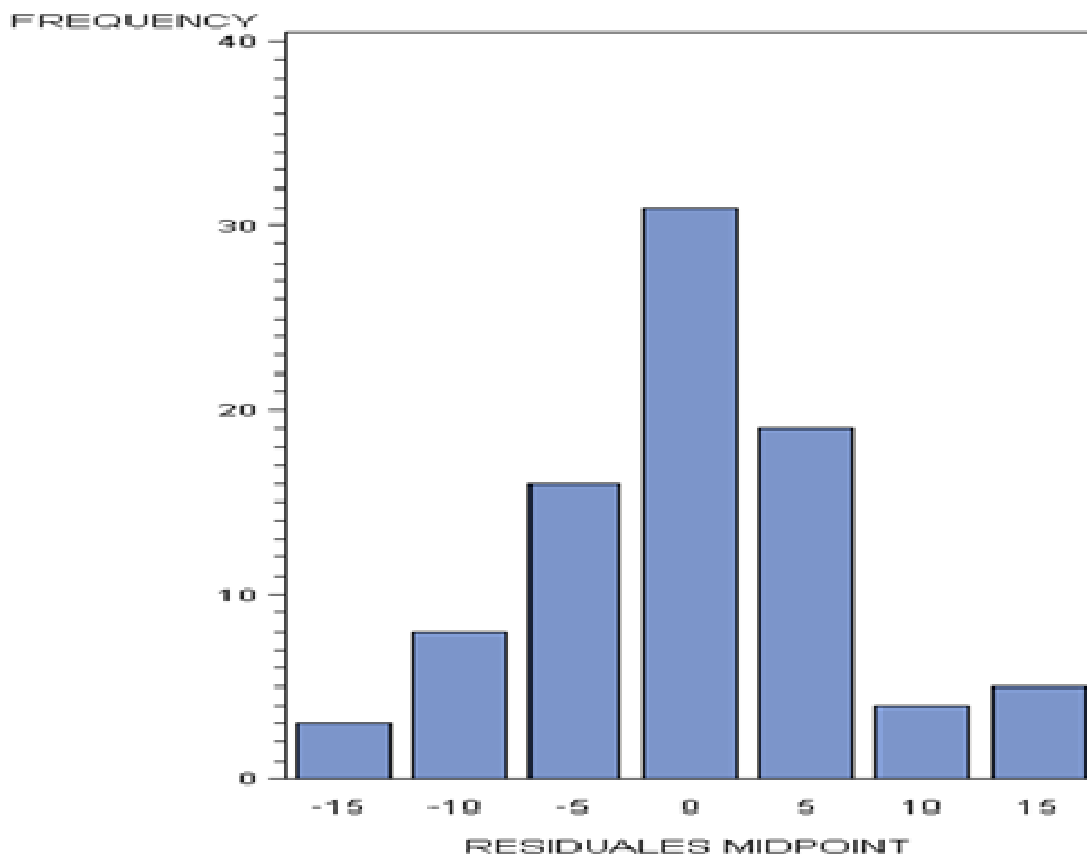
### 3.6.3 En “Total Error Conceptual Alumno” en postest

Para la generación automática de los errores estadísticos se aplicó ANOVA con el procedimiento GLM. Obtenidos los errores estadísticos se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y se obtuvieron los siguientes valores  $W=0.985893$  y

$Valor-p=0.4760$ . Como  $Valor-p$  es menor que 0.05, se comprueba la normalidad de los errores estadísticos. Adicionalmente se genera el histograma de los errores en la Gráfica 14. Se puede observar que la gráfica se asemeja bastante a la forma de una campana Gaussiana. Es decir que, también gráficamente, se observa un buen acercamiento a normalidad de los errores.

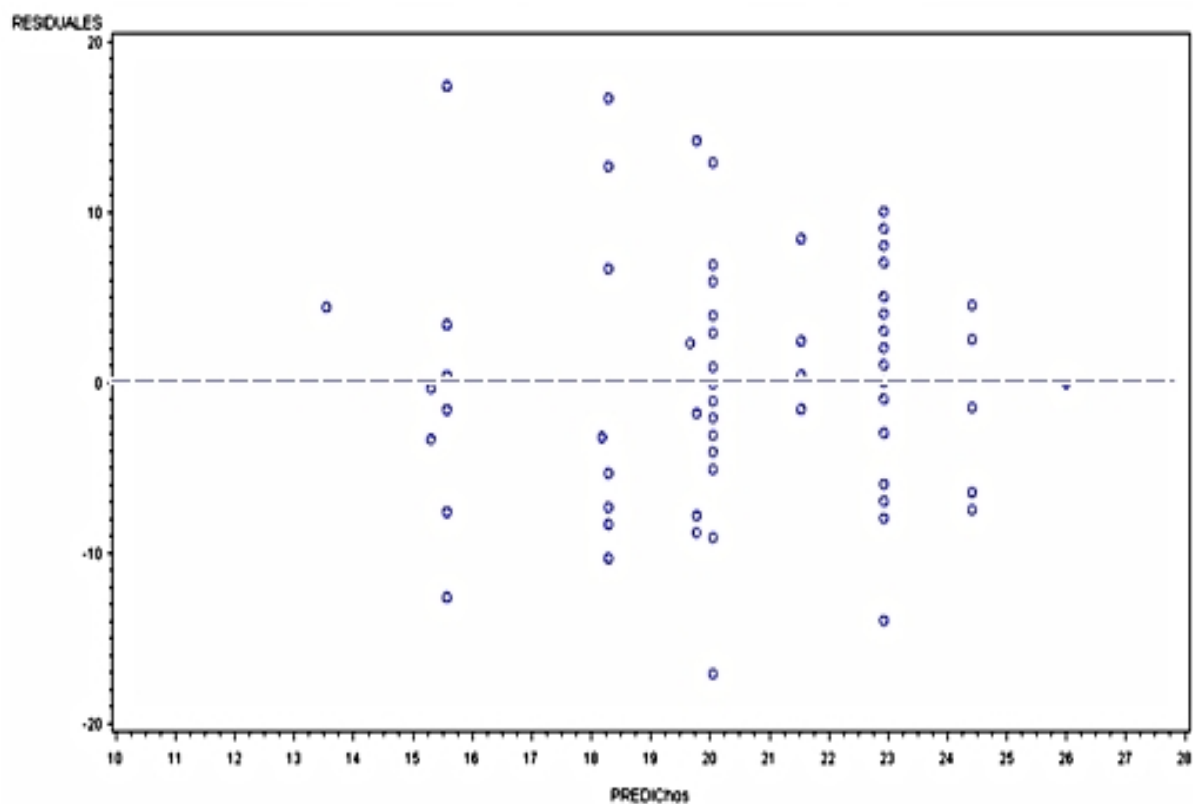
Esto significa que se acepta la normalidad en los errores estadísticos de la variable “Total Error Conceptual Alumno”.

Gráfica 14: Histograma de los Errores Estadísticos de los Datos de “Total Error Conceptual Alumno” en Posttest



Para averiguar por la homogeneidad de varianzas se construye el gráfico que se muestra en la Gráfica 15. Como se puede observar, los datos están distribuidos aleatoriamente alrededor del cero, lo cual significa que se cumple la condición de homogeneidad de varianzas. En este sentido, es completamente razonable afirmar que la varianza de los errores estadísticos de “Total Error Conceptual Alumno” en postest es homogénea y que sus errores estadísticos son normales.

Gráfica 15: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de “Total Error Conceptual Alumno” en Postest.



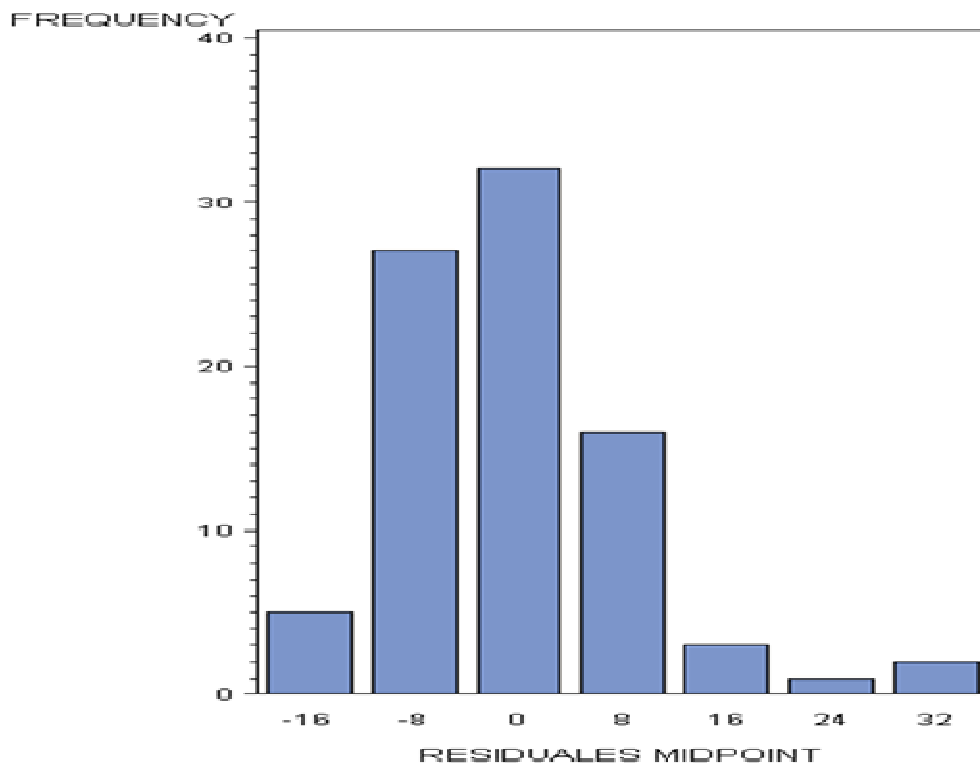
### 3.6.4 En “Total Conocimiento Alumno” en postest

Con el propósito de comprobar la normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos de Total Conocimiento Alumno en postest se aplicó ANOVA con el

procedimiento GLM del SAS®. Se hace el análisis solamente con los que presentaron ambos test (pre y pos).

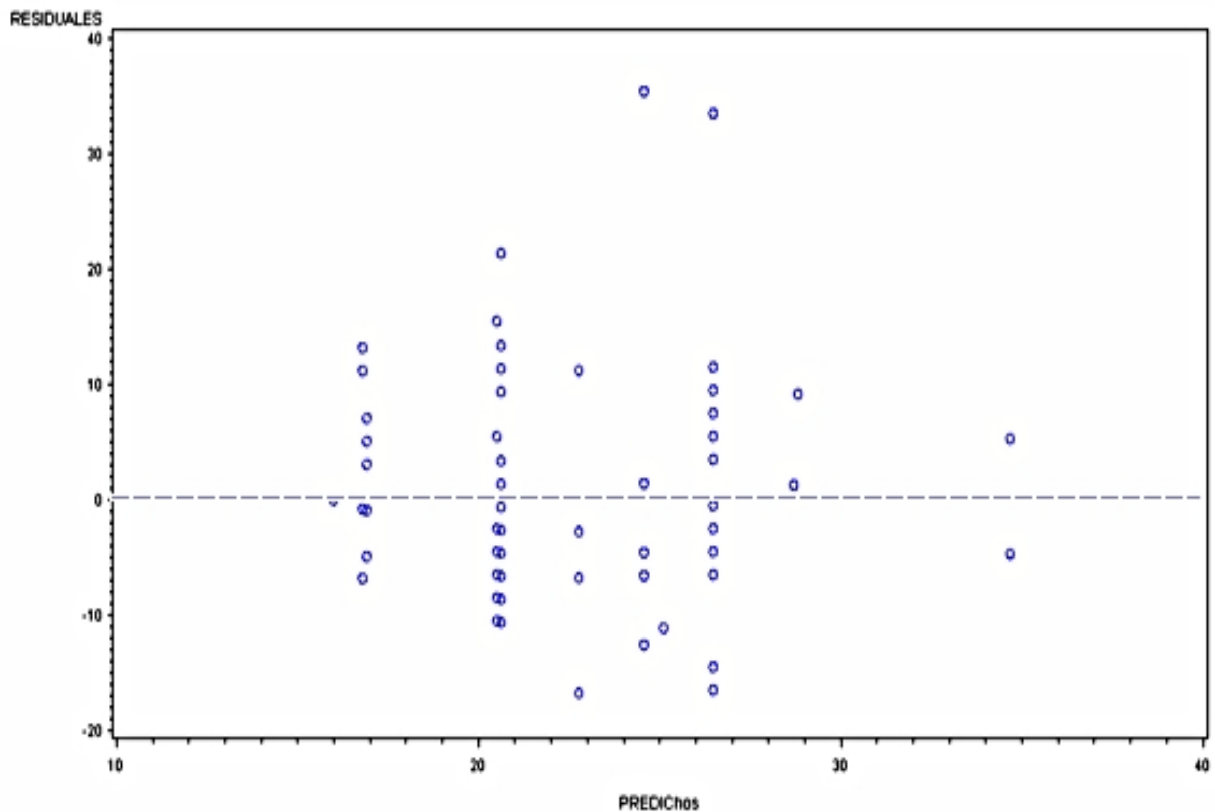
Con el procedimiento GLM de ANOVA se generaron los errores estadísticos de la variable “Total Conocimiento Alumno”. Luego se aplicó a los errores estadísticos la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y se obtuvo un  $W=0.92207$  con un  $Valor-p < 0.0001$ . Shapiro Wilk no muestra normalidad de los errores estadísticos porque  $Valor-p$  es menor que 0.05; sin embargo, el histograma (ver Gráfica 16) permite observar que la distribución de los errores es simétrica y pone en evidencia la presencia de valores extremos en la cola derecha. En consecuencia, resulta lícito considerar aceptable la normalidad de los errores estadísticos de la variable “Total Conocimiento Alumno” en postest.

Gráfica 16: Histograma de los Errores Estadísticos de los datos de “Total Conocimiento Alumno”



Se indaga ahora por la homogeneidad de varianzas mediante el siguiente gráfico.

Gráfica 17: Análisis Gráfico de la Homogeneidad de Varianzas para los Errores Estadísticos de los Datos de “Total Conocimiento Alumno”, en Postest.



Como se puede observar, los datos están distribuidos aleatoriamente alrededor del cero. En consecuencia, la varianza de los errores estadísticos de los datos de “Total Conocimiento Alumno” en postest es homogénea y los errores son normales.

### 3.6.5 En “Total Conocimiento Alumno” entre pre y postest.

Para evaluar la validez del test T para datos pareados se realizó una prueba de normalidad de las diferencias. De acuerdo al estadístico de Shapiro-Wilks<sup>46</sup> Se encontró que los datos analizados tienen la normalidad requerida (*Valor-p* es mayor que 0.05) para aplicar la prueba T de student: valor  $W=0.978$  y *Valor-p*=0.1545. La prueba T no exige, para su validez, homogeneidad de varianzas.

De los análisis previos se puede concluir que se los datos en pretest y en postest de “Total Conocimiento Alumno” son normales y cumplen con la condición de homogeneidad de varianza. Esto significa que los resultados de los análisis estadísticos realizados arriba, en lo que se refiere a la variable “Total Conocimiento Alumno”, son válidos y permiten llegar a conclusiones estadísticamente confiables.

---

<sup>46</sup> Es quizá la prueba de normalidad más exigente que se conoce hoy en día.

## 4 CONCLUSIONES

Se presentan en primer lugar los resultados que permiten rechazar o no las hipótesis nulas planteadas y a continuación otras conclusiones que se desprenden del análisis de los resultados con algunas recomendaciones.

### 4.1 LAS HIPÓTESIS NULAS

**Hipótesis nula 1:** En el postest el grupo 2 obtuvo un *incremento* mayor en la apropiación de conocimiento que el grupo 1 con significancia estadística de borde. Esto quiere decir que los alumnos del grupo 2 se apropiaron de más conocimiento que los del grupo 1 al ser evaluados en el postest. Por lo demás, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ningún otro par de grupos, lo cual quiere decir que, estadísticamente no se puede afirmar que haya diferencia en la cantidad de conocimiento apropiado por los alumnos de los demás grupos al ser evaluados en el postest. Dicho de otra manera: excepto en la comparación grupos 1 y 2, no hay diferencia entre ningún otro par de grupos en el conocimiento adquirido en postest. Con esto ***se rechaza la hipótesis nula 1 respecto al grupo 1, pero no se rechaza con respecto a los grupos 3 y 4: “No habrá diferencia estadísticamente significativa en la apropiación de conocimiento en postest entre el grupo experimental y los demás grupos de la asignatura Física Electricidad y Magnetismo, cuando son evaluados sobre los conceptos seleccionados del tema potencial eléctrico.”***

**Hipótesis nula 2:** La prueba T de Dunnett aplicada a la variable “Total Error Conceptual” en postest no mostró diferencia estadísticamente significativa entre el grupo experimental (grupo 2) y los demás grupos. En consecuencia, ***no se rechaza la hipótesis Nula 2: “No habrá diferencia estadísticamente***

*significativa en el nivel de error conceptual en posttest, entre el grupo experimental y los demás grupos de la asignatura Física Electricidad y Magnetismo, cuando son evaluados sobre los conceptos seleccionados del tema potencial eléctrico.”*

**Hipótesis nula 3:** El análisis de componentes principales del efecto combinado de la apropiación de conocimiento y el error conceptual en posttest reveló que el grupo 2 tiene un 388% más de probabilidad de obtener una ganancia positiva (probabilidad de apropiarse de más conocimiento con menor error conceptual) que el grupo 1 y que esa diferencia es estadísticamente significativa. **Se rechaza, por tanto, la hipótesis nula 3 respecto al grupo 1.**

Adicionalmente, la probabilidad también es mayor en el grupo 2 que en los grupos 3 y 4, pero este resultado no es estadísticamente significativo.

Conviene anotar que el número de estudiantes de los grupos 3 y 4 que presentaron los dos test fue bajo, lo que hace menos confiable el análisis de componentes principales para estos grupos. Por tanto, **no se rechaza con respecto a los grupos 3 y 4 la hipótesis nula 3: No habrá diferencia estadística significativa en la medición conjunta de la adquisición de conocimiento y del error conceptual, en el Posttest, entre el grupo experimental y los demás grupos evaluados en la asignatura Física Electricidad y Magnetismo, cuando son evaluados sobre los conceptos seleccionados del tema potencial eléctrico.**

**Hipótesis nula 4:** Se encontró que un incremento en una unidad en “RECEXINV” (Porcentaje estimado que estuvo el estudiante involucrado en la clase) ocasiona una disminución del 2.4% en la probabilidad de “**no sentirse muy a gusto**”. En otras palabras, involucrar al alumno en el desarrollo de las clases incrementa la probabilidad de que se sienta más a gusto estudiando la electrostática. Se puede

concluir entonces que es posible –aunque no se asegura que siempre suceda— conseguir que el alumno se sienta más a gusto en clases de electrostática si se le involucra en el desarrollo de las clases. **Se rechaza la Hipótesis nula 4 en lo que se refiere a la variable “RECEXINV”.**

Se encontró también que un incremento en una unidad en “RECEXAPP” (porcentaje de clase que recibió el alumno con aplicación de conceptos físicos a la vida profesional o a la vida diaria) ocasiona una disminución del 2.3% en la probabilidad de **“no sentirse muy a gusto”**. Es decir que incrementar en clase las aplicaciones de conceptos físicos a la vida profesional o a la vida diaria, incrementa la probabilidad de que el estudiante se sienta más a gusto estudiando la electrostática. Se puede concluir entonces que es posible –aunque no se puede asegurar que siempre sucederá— conseguir que el alumno se sienta más a gusto en el estudio de la electrostática si se intercala en el desarrollo de las clases este tipo de aplicaciones de los conceptos estudiados. En consecuencia, **se rechaza también la hipótesis nula 4 en lo que se refiere a la variable “RECEXAPP”.**

Respecto a las demás variables del Test de Percepción que se refieren a la aplicación de las unidades didácticas, no se encontraron otras correlaciones con la variable “AGUSTO”. Por tanto, respecto a las demás variables de la tabla 5 no se rechaza la Hipótesis nula 4: **“No habrá correlación estadística significativa entre cada una de las estrategias pedagógicas utilizadas en los grupos y el sentirse más a gusto en las clases de la asignatura Física Electricidad y Magnetismo.”**

## 4.2 RESULTADOS GENERALES

- Es posible hacer que los alumnos estén más a gusto en las clases de electrostática si se involucra al alumno en el desarrollo de las clases, y si se

intercalan aplicaciones prácticas a los conceptos a medida que se van desarrollando las clases.

- Aunque no se presenta el análisis realizado, no se encontró correlación estadísticamente significativa entre las variables “RECEXINV” y “RECEXAPP” (tomadas individualmente) y los resultados de las variables “Total Conocimiento Alumno” y “Total Error Conceptual Alumno” tomadas también individualmente.
- La prueba F mostró diferencia significativa del grupo 2 con todos los demás grupos en la variable “POREXEXD” es decir, en el desarrollo de las clases con el apoyo de experimentos en video (ver Tabla 10, ítems 6 a 9), en todos los casos a favor del grupo 2 y con significancia estadística clara (*Valor-p*=0.0001).

La diferencia en el uso de experimentos en video entre el grupo experimental y los demás grupos es grande como se puede apreciar en la Tabla 10. Esto podría ser la causa de que esta práctica pedagógica no muestre correlación con la variable “AGUSTO”. En su experiencia docente el autor ha recibido frecuentes manifestaciones de sus alumnos tanto de palabra como por escrito, acerca de los beneficios pedagógicos de recurrir a experimentos en videos y en vivo para facilitar la comprensión de fenómenos electromagnéticos.

- Por otra parte, los análisis realizados dan a entender que los grupos 1 y 4 privilegiaron, más **que el grupo 2**, la exposición simple de la unidad didáctica (ver Tabla 11, ítems 3 y 4), con una significancia estadística importante.
- En la variable “POREXANA” (desarrollo de la clase utilizando analogías), aunque solo se encontró diferencia significativa relevante (*Valor-p*=0.0079) entre grupo 2 y el grupo 5 a **favor del grupo 2** (ver Tabla 11, ítem 5) –en el

grupo 5 sólo calificaron la variable 5 alumnos—, el análisis de “Suma de rangos de Wilcoxon” (Wilcoxon Scores - Rank Sums) mostró que la suma de puntajes (Sum of Scores) para la variable “POREXANA” (Tabla 12) es mayor en el grupo 2 que en todos los demás grupos.

- En el pretest los resultados en la variable “Total Conocimiento Alumno” fueron mayores en los grupos 2 y 4 que en el grupo 1 con significancia estadística de borde. Entre los demás grupos no se detectaron diferencias significativas.
- En el pretest los resultados de la variable “Total Error Conceptual Alumno” resultaron mayores en el grupo 1 que en el grupo 3 con diferencia estadística significativa. Entre los demás grupos no se encontraron diferencias significativas.
- En el postest el grupo 1 obtuvo un error conceptual mayor que el grupo 3 con diferencia estadística significativa.
- Comparando la diferencia “pretest – postest” para la variable “Total Conocimiento Alumno”, en los *grupos* 1 y 2 se encontró un incremento del conocimiento estadísticamente significativo (ver Tabla 13). En el grupo 4 también hubo incremento del conocimiento pero con significancia estadística de borde. En el grupo 3 no se encontró variación significativa en el conocimiento de los alumnos.
- Conviene resaltar el avance en el conocimiento en el grupo 1, en cuanto a apropiación de conocimiento se refiere, porque, a pesar de haber tenido resultados desfavorables respecto a los grupos 2 y 4 en los resultados de conocimiento en el pretest, consigue un incremento significativo en el conocimiento de los estudiantes entre el pre y el postest; además reduce la

significancia de la diferencia estadística en apropiación del concomitamiento con el grupo 2 (significancia estadística en posttest  $Valor-p=0.08$ , y  $Valor-p$  en pretest  $=0.007$ ).

- Adicionalmente se hizo un análisis, que no se detalla aquí, en el que se comprobó que no hubo diferencia estadísticamente significativa con respecto a las variables “Total Conocimiento Alumno” y “Total Error Conceptual Alumno” entre estudiantes de colegios públicos y privados, tanto en el pretest como en el posttest. Este resultado nos lleva a pensar que los estudiantes, independiente del origen de su colegio, público o privado, han logrado nivelarse en los cursos que preceden al de electricidad y magnetismo, tanto en Matemáticas como en Física Mecánica y ello se manifiesta en este punto en la homogeneidad de los resultados en las variables analizadas en el pretest.
- También se encontró que el 47% de los estudiantes que participaron en esta investigación tenían título de bachiller de colegios privados y 53% de colegios públicos. Esta proporción que casi es 50 - 50 puede ser un indicativo de que la Universidad Nacional de Colombia es igualmente una opción importante de estudios universitarios para todos los jóvenes colombianos, independientemente de su condición socio-económica. Podría ser también un indicador de que la preparación que se está brindando a los alumnos de colegios públicos y privados para ingresar y tener éxito en la Universidad, es equiparable. Evidentemente estos datos no son más que un indicio y requieren de juiciosos estudios posteriores.
- Resulta interesante centrar ahora la atención en los grupos 1 y 2 pues tienen el mayor número de estudiantes que presentaron ambos: pretest y posttest, y en una cantidad parecida el grupo 1 con 33 y el experimental con 29 estudiantes (ver Tabla 13).

La apropiación de conocimiento fue mayor en el grupo 2 que en el 1 y con menor error conceptual. Analizando ahora la Tabla 10 se hace una aproximación de cómo se desarrollaron las unidades didácticas en los dos grupos (ver página 68 y ss.):

- Mientras el grupo 1 tiene 84% en exposición simple, el 2 tiene 54%,
- Mientras el grupo 1 tiene 0.5% en desarrollo de la clase con videos, el 2 tiene 66%
- Mientras el grupo 1 tiene 2.6% en uso de experimentos en vivo, el 2 tiene 33%
- En las demás variables propuestas no hay una diferencia marcada.
- Ahora bien, la diferencia estadísticamente significativa entre el grupo 1 y 2 en lo concerniente a la exposición simple, lleva a concluir que, en el desarrollo de las clases en el grupo experimental, se evitó la exposición simple y se acudió más a las ayudas didácticas (analogías, videos. aplicaciones prácticas de los conceptos de la Física, etc.).

***Conclusión: la exposición simple con talleres para entregar (recursos distintivos del grupo 1), aunque es una estrategia útil, no parece ser la que arroja los mejores resultados combinados de apropiación de conocimiento y disminución del error conceptual.***

***Se recomienda, por tanto, privilegiar estrategias pedagógicas como los experimentos en medios audiovisuales y en vivo, un mayor***

***recurso a las analogías, la frecuente interacción con los alumnos durante el desarrollo de la clase y finalmente, intercalar en clase el estudio de aplicaciones prácticas de los conceptos que se están estudiando. Ciertamente estas estrategias no pretenden ser ni podrían ser exhaustivas ni siquiera las mejores. Simplemente han sido objeto del presente estudio.***

- Por otra parte, se podrían considerar aportes de este trabajo de investigación lo siguiente:
  - algunas de las sugerencias de ***cómo presentar*** la unidad didáctica de voltaje eléctrico con base en la presentación que de ella hacen los libros de texto;
  - el diseño desarrollado para el Test de Conceptos, en cuanto a evaluar con dos preguntas cortas, y con los demás detalles que se presentaron en su momento;
  - también podría ser un aporte la medición conjunta de la apropiación del conocimiento con el error conceptual para evaluar y comparar estrategias pedagógicas y unidades didácticas.

## 5 RECOMENDACIONES

- Como se ha dicho, el estilo pedagógico de cualquier profesor es una combinación de estrategias. Indudablemente la primera estrategia es dominar el tema que se va a trabajar en las clases. Pero, cumplido ese requisito, se pueden pensar diferentes combinaciones de estrategias dentro de las estudiadas y definir variables nuevas a las que se le asigne peso diferente según un estudio previo. Se pueden buscar correlaciones entre estas nuevas variables y los resultados que se tienen de apropiación del conocimiento y del nivel de error conceptual, persiguiendo una combinación exitosa.
- Hace un análisis de diferencias significativas entre grupos en cuanto a la variable “AGUSTO”.
- En el presente estudio se demostró que el conjunto de la unidad didáctica propuesta aplicada con las estrategias pedagógicas sugeridas, arrojaron los mejores resultados en la medición conjunta de la apropiación del conocimiento y la disminución del error conceptual. Pero no se pudo determinar cuáles fueron los elementos, tomados aisladamente o en alguna combinación, responsables de los buenos resultados. Continúa por tanto abierto el camino para tratar de “aislar” y medir esos elementos que aseguran los buenos resultados académicos de los estudiantes.
- Para una nueva aplicación del Test de Conceptos se recomienda hacer una revisión de las preguntas 11 y 24 de la Tabla 3 para que evalúen mejor todavía el error conceptual 6. También se recomienda revisar la pregunta 2 para garantizar que tiene una relación más directa con el error conceptual 12.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] D. P. Ausubel, *Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva*, vol. 40. Paidós Iberica Ediciones SA, 2002.
  
- [2] C. Furió y J. Guisasola, «¿Puede ayudar la historia de la ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos?», *Revista española de física*, vol. 7, n.º. 3, pp. 46–50, 1993.
  
- [3] C. Furió y J. Guisasola, «Difficulties in learning the concept of electric field», *Science Education*, vol. 82, n.º. 4, pp. 511–526, 1998.
  
- [4] J. Solbes y J. Quero, «Análisis de la Introducción del concepto de campo», *Revista Española de Física*, vol. 5, n.º. 3, pp. 34–39, 1991.
  
- [5] P. Mulhall, B. McKittrick, y R. Gunstone, «A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity», *Research in Science Education*, vol. 31, n.º. 4, pp. 575–587, 2001.
  
- [6] R. A. Serway y J. W. J. Jr, *Physics for Scientists and Engineers, Volume 2: With Modern Physics*. Cengage Learning, 2009.
  
- [7] F. W. Sears, A. L. Ford, y R. A. Freedman, *Física universitaria con física moderna*, vol. 2. Pearson Educación, 2005.
  
- [8] P. Tipler y G. Mosca, *Física para Ciencia y Tecnología*, 3a. ed., vol. 2, 2 vols. Barcelona: Reverté, 1993.

- [9] N. Marín Martínez, «Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las ciencias», *Enseñanza de las ciencias, Barcelona*, vol. 21, pp. 43–55, 2003.
- [10] D. Ausubel, J. Novak, y H. Hanesian, *Psicología Educativa: Un Punto de Vista Cognitivo*. Editorial Trillas, México, 1983.
- [11] O. Vatansever, «Effectiveness Of Conceptual Change Instruction On Overcoming Students' Misconceptions Of Electric Field, Electric Potential And Electric Potential Energy At Tenth Grade Level», Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2006.
- [12] «Online Etymology Dictionary». [Online]. Available: <http://www.etymonline.com/index.php?term=analogy>. [Accessed: 22-feb-2012].
- [13] M.-H. Chiu y J.-W. Lin, «Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies», *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 42, n<sup>o</sup>. 4, pp. 429–464, 2005.
- [14] D. Heywood, «The place of analogies in science education», *Cambridge Journal of Education*, vol. 32, n<sup>o</sup>. 2, pp. 233–247, 2002.
- [15] A. E. Lawson, «The importance of analogy: A prelude to the special issue.», *Journal of Research in Science Teaching*, 1993.
- [16] N. A. Paris y S. M. Glynn, «Elaborate analogies in science text: Tools for enhancing preservice teachers' knowledge and attitudes», *Contemporary*

*educational psychology*, vol. 29, n<sup>o</sup>. 3, pp. 230–247, 2004.

- [17] C. Pereda y J. Tagle, «La analogía funcionalista», *Dianoia: anuario de Filosofía*, n<sup>o</sup>. 38, pp. 35–48, 1992.
- [18] H. Putnam, «Brains and behavior», *originally read as part of the program of the American Association for the Advancement of Science, Section L (History and Philosophy of Science), December 27, 1961. Reprinted in Block (1980): Readings in philosophy of psychology*, vol. 1, pp. 24–36, 1980.
- [19] H. Putnam, «The mental life of some machines», *Intentionality Minds and Perception Discussions on Contemporary Psychology*, 1967.
- [20] A. Harrison y D. Treagust, «Teaching and learning with analogies», *Metaphor and analogy in science education*, pp. 11–24, 2006.
- [21] M. R. Otero, «¿ Cómo usar analogías en clases de física?», *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 14, n<sup>o</sup>. 2, pp. 179–187, 2008.
- [22] J. Clement, «Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics», *Journal of research in science teaching*, vol. 30, n<sup>o</sup>. 10, pp. 1241–1257, 1993.
- [23] J. Clement, «Methods for evaluating the validity of hypothesized analogies», in *Proceedings of the eighth annual Conference of the Cognitive Science Society*, 1986, pp. 223–234.
- [24] J. Clement, «Imagistic processes in analogical reasoning: Conserving

- transformations and dual simulations», in *Proceedings of the twenty-sixth annual conference of the cognitive science society*, 2004, vol. 26, pp. 233–238.
- [25] R. M. Linares López-Lage, «ANÁLISIS SOBRE EL USO DE LAS ANALOGÍAS EN LOS CURSOS DEL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE», Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona, 2002.
- [26] B. A. Thacker, «Recent advances in classroom physics», *Reports on progress in physics*, vol. 66, p. 1833, 2003.
- [27] J. Kirstein y V. Nordmeier, «Multimedia representation of experiments in physics», *European Journal of Physics*, vol. 28, p. S115, 2007.
- [28] S. L. Wong, B. H. W. Yung, M. W. Cheng, K. L. Lam, y D. Hodson, «Setting the stage for developing pre-service teachers' conceptions of good science teaching: the role of classroom videos», *International Journal of Science Education*, vol. 28, n<sup>o</sup>. 1, pp. 1–24, 2006.
- [29] A. Wagner, S. Altherr, B. Eckert, y H. J. Jodl, «Multimedia in physics education: teaching videos about aero and fluid dynamics», *European journal of physics*, vol. 28, p. L33, 2007.
- [30] E. F. Redish y R. N. Steinberg, «Teaching physics: Figuring out what works», *Physics Today*, vol. 52, pp. 24–31, 1999.
- [31] «MIT OpenCourseWare | Physics | 8.02T Electricity and Magnetism, Spring

- 2005 | Lecture Notes». [Online]. Available: <http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-02t-electricity-and-magnetism-spring-2005/lecture-notes/>. [Accessed: 16-feb-2012].
- [32] W. Moreau, S. Ryan, S. Beuzenberg, y R. Syme, «Charge density in circuits», *American Journal of Physics*, vol. 53, p. 552, 1985.
- [33] S. Rainson, G. Tranströmer, y L. Viennot, «Students' understanding of superposition of electric fields», *American Journal of Physics*, vol. 62, pp. 1026–1032, 1994.
- [34] J. Izard, «Overview of test construction», *IIEP*, vol. 46, 1996.
- [35] D. Halliday, R. Resnick, y J. Walker, *Fundamentals of Physics Extended*, 8.<sup>a</sup> ed. Wiley, 2008.
- [36] S. BRAIBANT, G. GIACOMELLI, y M. SPURIO, *Particles and fundamental interactions: an introduction to particle physics*, 2nd. ed. New York: Springer, 2012.
- [37] P. Lee, «Michael Shortland & Andrew Warwick (eds). Teaching the History of Science. Oxford and New York: Basil Blackwell (in conjunction with the British Society for the History of Science), 1989. Pp. viii+ 281. ISBN 0-631-16977-6 and 0-631-16978-4», *The British Journal for the History of Science*, vol. 23, n<sup>o</sup>. 02, pp. 233–237, 1990.
- [38] P. F. Díez, «Turbinas Hidraulicas», *Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidade de Cantabria, Espanha*, 1996.

[39] S. A. S. Institute, *SAS/STAT user's guide: version 8*. SAS Publishing, 1999.

[40] J. M. D. i Massons, *Modelo de regresión logística*. Signo, 1999.

# APÉNDICES

---

Apéndice 1: Test de conceptos aplicado como postest.

Sólo se tomaron para el estudio las preguntas que se formularon igual tanto en pretest como en postest.

-----

POSTEST PARA LA INVESTIGACIÓN EN EL CURSO FÍSICA ELECTRICIDAD Y

CODINT (Código Interno)\_\_\_\_\_

Por favor coloca una X (equis) en la opción correcta, o escribe la respuesta:

Sexo: FEMENINO\_\_\_\_\_ MASCULINO\_\_\_\_\_

Soy \_\_\_\_\_ bachiller \_\_\_\_\_ del  
colegio:\_\_\_\_\_

Este colegio es Público \_\_\_\_\_ Privado\_\_\_\_\_

Estoy matriculado(a) en el curso de Física Electricidad y magnetismo con el  
profesor\_\_\_\_\_;

los días: [Miércoles-Viernes]\_\_\_\_\_ ó [Martes-Jueves]\_\_\_\_\_

en el horario de 6 a 8 am \_\_\_\_\_ 8 a 10 am \_\_\_\_\_ 10 a 12 am \_\_\_\_\_

Estoy cursando la asignatura por: Primera vez \_\_\_\_\_ Segunda vez o más \_\_\_\_\_

## INDICACIONES DE CÓMO RESPONDER ESTE APLICATIVO PARA QUE TU APORTE SEA ÚTIL EN LA INVESTIGACIÓN

Encontrarás una serie de preguntas. A partir de tu análisis indica, para cada una, si es verdadera o falsa o si desconoce la respuesta, tachando con una equis (X) sobre la V (Verdadero), sobre la F (Falso) o sobre “No lo sé”.

**IMPORTANTE:** *Para que tu respuesta sirva al estudio:* es necesario que, después de tachar con una equis (X) sobre V (Verdadero) o sobre F (Falso), taches con otra equis (X) una de las dos opciones siguientes “Estoy segura(o)” o “No estoy seguro(a), dependiendo de qué tan segura(o) estés de tus conocimientos en el momento de responder la pregunta.

### **EJEMPLO 1** (de otro tema):

Toda la semana pasada hizo buen clima en Medellín. ¿Es correcto afirmar que mañana hará buen clima?

V	X	F
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

Fíjate que se deben colocar dos equis (X).

**EJEMPLO 2.** Otra posible respuesta a la misma pregunta puede ser:

V		F
---	--	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

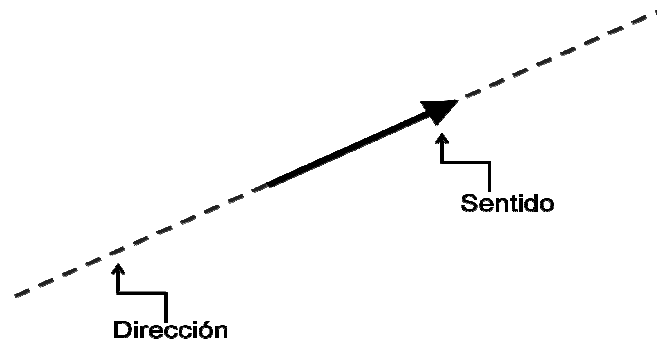
Observa que, en este caso solamente se coloca una equis (X).

**Información adicional con Álvaro Franco Peña en**

[alvarofranco2000@gmail.com](mailto:alvarofranco2000@gmail.com), o en 301-692-54-61

ACLARACIONES SOBRE LOS TÉRMINOS UTILIZADOS ENSEGUIDA:

1. En este aplicativo, para un vector cualquiera, se llama **dirección** a la línea de acción del vector. La dirección se extiende hasta el infinito en ambos sentidos (ver la figura siguiente). El **sentido** es el que indica la cabeza de



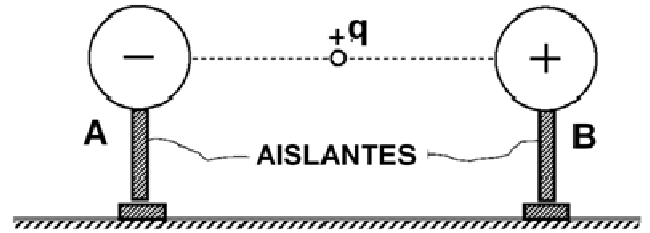
la flecha del vector.

2. Cuando se habla por ejemplo del punto A se dibuja con una equis (x). El punto A está entonces en el centro de la "x".
3. En todas las preguntas se desprecian los efectos de la gravedad.

**Información adicional con el profesor Álvaro Franco Peña en**

[alvarofranco2000@gmail.com](mailto:alvarofranco2000@gmail.com), o en el 301-692-54-61

1. – Se libera del reposo la partícula de carga  $+q$  como se aprecia en la figura. ¿Es correcto afirmar que la partícula se moverá hacia la esfera A, y en su recorrido el valor del potencial eléctrico permanecerá constante?



V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

2. - En la figura anterior ¿es correcto afirmar que la partícula de carga  $+q$  se mueve hacia la esfera A, y, mientras tanto, energía potencial eléctrica del sistema esferas-partícula se convierte en energía cinética de la partícula  $+q$ ?

V	F	V
---	---	---

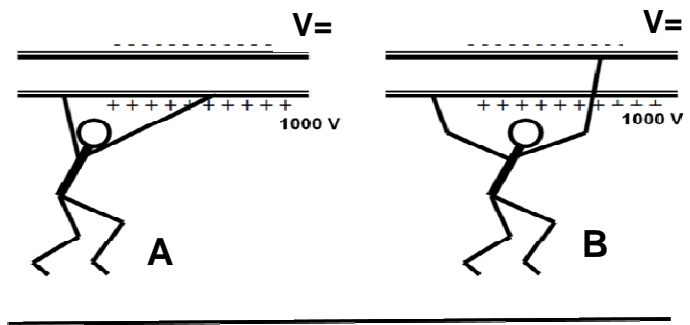
Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

3. - En la figura anterior ¿es correcto afirmar que, mientras la partícula cargada se mueve hacia la esfera A, no cambia la energía potencial eléctrica del sistema esferas-partícula?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

4. - En la figura observe de cuáles cables está colgada, sin protección eléctrica, cada persona. Los cables son de transmisión de energía eléctrica y están descubiertos ¿es correcto afirmar que ambas personas están en grave peligro porque hay un potencial alto en uno de los cables?

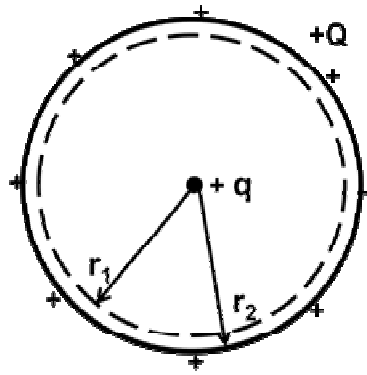


V	F	V	Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
---	---	---	-----------------	--------------------	-----------

5. - En la figura de arriba ¿es correcto afirmar que la persona A está más segura porque es despreciable o nula la diferencia de potencial entre sus manos?

V	F	V	Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
---	---	---	-----------------	--------------------	-----------

6. - En la figura tenemos una esfera metálica conductora hueca y cargada positivamente. En su centro hay una partícula con carga  $+q$ . Cuando se acerca al conjunto un objeto cargado positivamente, ¿es correcto afirmar que la partícula de carga  $+q$ , dentro de la esfera, experimentará una fuerza eléctrica neta diferente de cero?



V	F	V
---	---	---

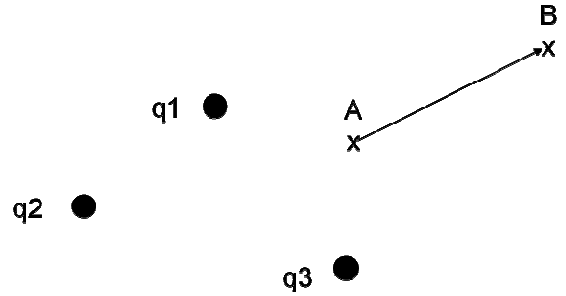
Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

7. - En la figura de arriba ¿es correcto afirmar que el campo eléctrico es nulo solamente en la zona donde  $r_1 < r < r_2$ , mientras que el campo no es nulo en el espacio interior vacío de la esfera, es decir para  $r < r_1$ ?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

8. - En la figura se muestra un sistema de partículas en reposo y cargadas. ¿Es correcto afirmar que el trabajo para llevar una carga de prueba  $q_0$  desde A hasta B es proporcional al voltaje entre A y B?

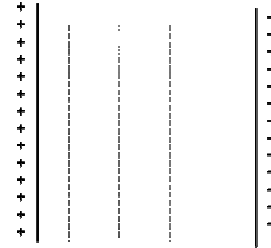


V	F
---	---

V

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

9. - En la figura se tienen dos placas paralelas cargadas, una positiva y otra negativamente. ¿Es correcto afirmar que el voltaje fluye de la placa positiva a la negativa?

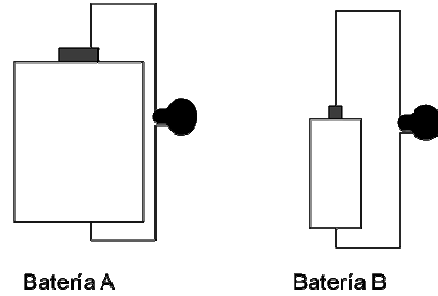


V	F
---	---

V

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

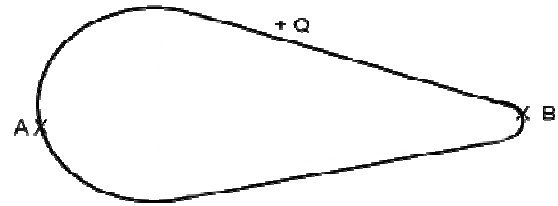
10. - En la figura la batería A es dimensionalmente más grande que la B. Las dos están buenas, completamente cargadas y nuevas; tienen la misma resistencia interna y suministran el mismo voltaje. No se sabe más de estas baterías. ¿Es correcto afirmar que Si se conecta un bombillo a la batería B, necesariamente brillará menos que si se conecta a la batería A?



V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

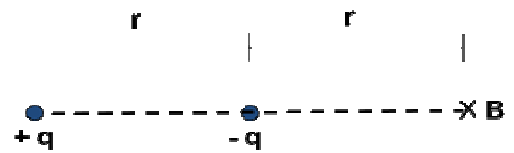
11. - En la figura se tiene un objeto de revolución, metálico, con carga neta  $+Q$  y en equilibrio electrostático. ¿Es correcto afirmar que las magnitudes del campo eléctrico en los puntos A y B son iguales?



V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

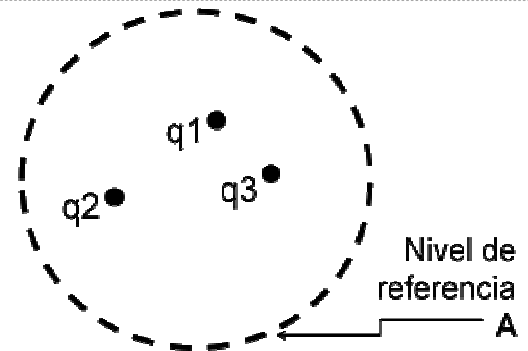
12. - En la figura, un agente externo traslada la partícula de carga  $+q$  con velocidad constante, muy lentamente, al punto B, siguiendo cualquier trayectoria. ¿Es correcto afirmar que siempre será nulo el trabajo neto realizado por la fuerza eléctrica del sistema de las dos partículas?



V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

13. - Se calcula de dos maneras la energía potencial eléctrica del sistema de tres partículas cargadas de la figura, teniendo como referencia: a) un punto en “el infinito” y b) un punto cualquiera de la esfera imaginaria A. ¿Es correcto afirmar que los dos resultados serán iguales?



V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

14. - En las figuras A y B la raya vertical indica que las dos esferas conductoras y cargadas están en sitios muy alejados una de la otra. ¿Es correcto afirmar que el valor del potencial eléctrico donde está la partícula de carga  $+2q$  (figura B) es el doble del potencial donde está la partícula de carga  $+q$  (figura A)?

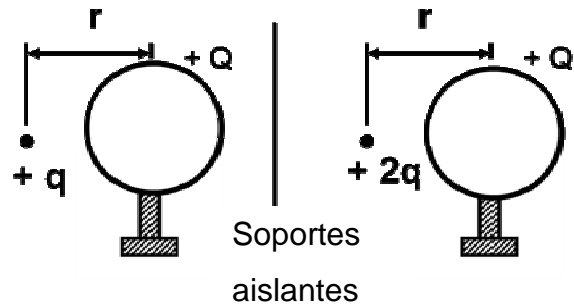


Figura A

Figura B

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

15. - ¿Es correcto afirmar que un objeto cargado eléctricamente solo puede ejercer fuerza eléctrica sobre otro objeto cargado?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

16. - Se tienen las mismas dos esferas conductoras de la pregunta anterior ¿es correcto afirmar que el valor de la energía potencial eléctrica del sistema esfera-partícula de la figura B es el doble del de la figura A?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

17. - “¿Es correcto afirmar que el trabajo no nulo que realicen fuerzas externas sobre los objetos cargados eléctricamente de un sistema cualquiera, modifican, necesariamente, la energía potencial eléctrica del sistema?”

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

18. - Se tienen dos esferas de igual tamaño y conductoras. La esfera 1 está cargada eléctricamente. Lejos de ésta tenemos la esfera 2, descargada. ¿Es correcto afirmar que cuando la esfera 2 se acerca a la 1, se presenta una fuerza eléctrica entre las dos?

V	F	V
---	---	---

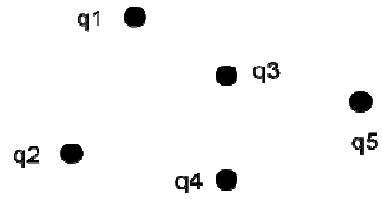
Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

19. - Una partícula cargada positivamente se mueve en la dirección y sentido de un campo eléctrico uniforme. ¿Es correcto afirmar que la partícula, con el tiempo, pasa por superficies equipotenciales de valores cada vez menores?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

20. - En la figura las partículas q1 a q4 están en reposo. q5 se mueve mientras actúan simultáneamente sobre ella dos fuerzas: una debida a su interacción con las otras 4 partículas cargadas fijas y otra fuerza externa. Las dos fuerzas son de igual magnitud y dirección pero de sentidos opuestos. ¿Es correcto afirmar que las dos fuerzas hacen trabajo y que la energía cinética de la partícula no cambia?

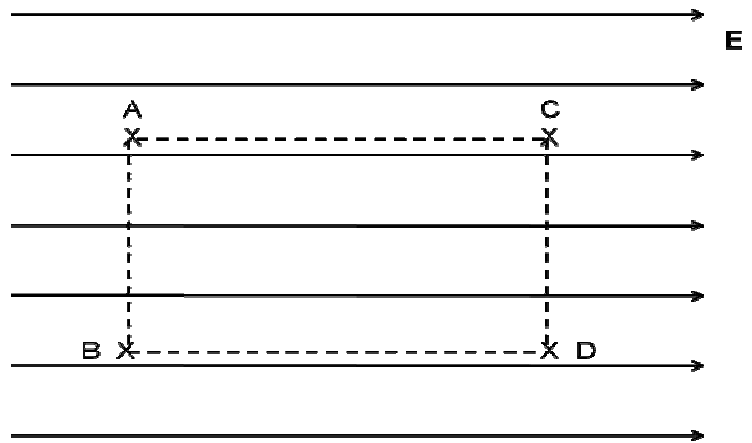


**Sistema de cinco partículas cargadas:  
q1 a q4 están en reposos y q5 está en movimiento.**

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

21. - En la figura un agente externo mueve una partícula desde B hasta D aumentándole la velocidad desde cero hasta un valor  $v$ . La partícula es de masa no despreciable y tiene carga de prueba  $q_0$ . ¿Es correcto afirmar que el trabajo realizado por la fuerza externa al sistema campo-partícula es igual a la energía cinética final de la partícula?



V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

22. - Una noticia de prensa decía así: “Un operario quedó malherido después de que, accidentalmente, pasaran por su cuerpo 500 voltios”. ¿Es correcto afirmar que la noticia de prensa está de acuerdo con los conceptos de la Física?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

23. - Se tienen dos baterías: una de 9 voltios y la otra de 1.5 voltios. Las dos tienen la misma resistencia interna. Cada una se conecta a una resistencia de 1 Ohmio hasta que se agote. No se tiene más información. Con la información disponible ¿es correcto afirmar que siempre la batería de 9 V suministrará más energía que la de 1.5 V?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

24. - ¿Es correcto afirmar que si el campo eléctrico en un punto es nulo, también es nulo el potencial eléctrico en el mismo punto?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

25. - En una zona del espacio movemos una partícula cargada positivamente de tal manera que siempre su trayectoria es perpendicular al campo eléctrico. ¿Es correcto afirmar que el trabajo realizado por la fuerza eléctrica durante el recorrido es nulo?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

26. Se tiene un sistema de dos partículas cargadas con  $+q_1$  y  $+q_2$ , separadas una distancia  $r$ . ¿Es correcto afirmar que el valor de la energía potencial eléctrica del sistema no depende de ningún nivel de referencia?

V	F	V
---	---	---

Estoy segura(o)	No estoy seguro(a)	No lo sé.
-----------------	--------------------	-----------

## Apéndice 2: Test de Percepción.

Se presentan continuación el texto del Test de Percepción en imágenes tomadas del formulario de Google Docs que se utilizó para recoger la información.

### Test de Percepción - Imagen 1

PERCEPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES ACADÉMICAS EN ELECTROSTÁTICA
<p>El objetivo de esta investigación, digámoslo de nuevo, es buscar una manera de presentar la asignatura Física Electricidad y Magnetismo que facilite a los estudiantes obtener mejores resultados académicos . ¡Y tu, muy amablemente has querido ser parte de este proceso!</p> <p>Con este aplicativo entramos a la fase final de recolección de información significativa: consiste en medir las actividades académicas y pedagógicas que tu hiciste o a las que tu asististe, para poder correlacionarlas con tu progreso en la apropiación de conocimientos de electrostática (anónimamente, por supuesto).</p> <p>Como puedes ver, sin esta información, todo lo que hemos hecho hasta ahora con tu colaboración, se perdería. Por eso es muy importante el esfuerzo que hagas para dar una estimación lo más cercana posible a la realidad en cada pregunta.</p> <p>La medición estimada se refiere exclusivamente al tiempo desde el comienzo del semestre hasta la terminación del tema Potencial Eléctrico, es decir lo que está incluido en los dos primeros parciales del curso Física Electricidad y magnetismo en el actual periodo académico 2011-3.</p> <p>El aplicativo consta de 19 preguntas, cuidadosamente diseñadas para que sean fáciles de responder.</p> <p>Como se anunció desde el comienzo, en el proceso se ha guardado y se seguirá guardando una completa confidencialidad acerca de los nombres de los profesores y estudiantes que están aportando a la investigación y de la información suministrada.</p> <p>AL TERMINAR PUEDES ENVIAR LA INFORMACIÓN HACIENDO CLICK EN "Submit" O EN "Enviar".</p> <p>MIL Y MIL GRACIAS POR ESTE APORTE TUYO!</p>

## Test de Percepción - Imagen 2

¿Estas de acuerdo con lo mencionado en el texto anterior?\*

Esta pregunta pretende mostrar la importancia de leer la introducción

- Si  
 No

DIGITA, POR FAVOR, TU NOMBRE

POR FAVOR DIGITA EL NÚMERO DE TU DOCUMENTO DE IDENTIDAD ( el que aparece en el SIA )\*

POR FAVOR VUELVE A DIGITAR EL NÚMERO DE TU DOCUMENTO DE IDENTIDAD ( el que aparece en el SIA )\*

¿CUÁNTOS AÑOS CUMPLIDOS TIENES?

Estás matriculad@ con el profesor:

Manteniendo la confidencialidad, y sin hacer ninguna referencia a la información aportada, queremos, al final del escrito de la investigación citar los nombres de todos los que han participado y participarán en el presente estudio. Por eso te preguntamos:¿Te gustaría que tu nombre apareciera entre los créditos en el escrito final?

- Si  
 No

## Test de Percepción - Imagen 3

### PERCEPCIÓN (FEELING)

1. Indica, por favor, que tan a gusto te sentiste en el estudio de la electrostática.

1 2 3 4 5

No me sentí muy a gusto      Me sentí muy a gusto

2. Indica, por favor, que tan interesante te pareció el estudio de la electrostática

1 2 3 4 5

Poco interesante      Muy interesante

3. Indica, por favor que tan importante consideras que es esta asignatura para tu futuro ejercicio profesional.

1 2 3 4 5

Poco importante      Muy importante

### CLASES REALES RECIBIDAS

4. Del total de clases de laboratorio, indica, por favor, el porcentaje aproximado a las cuales asististe.

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

0%            100%

## Test de Percepción - Imagen 4

5. Del total de clases teóricas, indica, por favor, el porcentaje aproximado a las cuales asististe.

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0 1 2 3 4 5

---

0%       100%

6. Indica, por favor, en qué porcentaje aproximado de tiempo de las clases teóricas se utilizaron comparaciones o analogías entre modelos teóricos y situaciones de la vida real.

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

---

0%            100%

### ACTIVIDADES EN LA CLASE

7. Indica, por favor, en qué porcentaje aproximado de tiempo de las clases teóricas se utilizaron experimentos en video.

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

---

0%            100%

8. Indica, por favor, en qué porcentaje aproximado de tiempo de las clases teóricas se utilizaron experimentos en vivo.

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

---

0%            100%

9. Indica, por favor, qué porcentaje aproximado de tiempo de las clases teóricas estuviste involucrad@, tratando de aportar al desarrollo de los temas, resolviendo preguntas planteadas por el profesor, etc. Es decir qué porcentaje del tiempo de la clase estuviste analizando, pensando los temas, planteándote alternativas, etc..

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

---

0%            100%

## Test de Percepción - Imagen 5

10. Indica, por favor, qué porcentaje aproximado de tiempo de las clases teóricas las recibiste con exposición simple del profesor.

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<hr/>											
0%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	100%
<hr/>											

11. Indica, por favor, qué porcentaje aproximado de tiempo de las clases teóricas se utilizó para explicar fenómenos de la vida diaria o del ejercicio profesional aplicando los conceptos de la física.

1= 10%; 2=20%; 3=30%, ... 10=100%

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<hr/>											
0%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	100%
<hr/>											

12. Indica, por favor, qué porcentaje aproximado de tiempo de las clases teóricas se utilizó en otra actividad académica (diferente a las ya mencionadas) que consideres que te ayudó especialmente y describe esa actividad.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<hr/>											
0%	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	100%
<hr/>											

### ACTIVIDADES ACADÉMICAS FUERA DE CLASE

13. Indica, por favor, el tiempo promedio semanal aproximado (EN HORAS) que invertiste en estudio individual de esta asignatura.

\_\_\_\_\_

14. Indica, por favor, el tiempo promedio semanal aproximado (EN HORAS) que invertiste en estudio grupal de esta asignatura.

\_\_\_\_\_

## Test de Percepción - Imagen 6

15. Indica, por favor, el tiempo promedio semanal aproximado (EN HORAS) que invertiste en resolver talleres dejados por el profesor para entregar.

\_\_\_\_\_

16. Indica, por favor, el tiempo promedio semanal aproximado (EN MINUTOS) que estuviste en asesoría personal con el profesor.

\_\_\_\_\_

17. Indica, por favor, el tiempo promedio semanal aproximado (EN MINUTOS) invertido en la asistencia a talleres dirigidos por el profesor.

\_\_\_\_\_

18. Indica, por favor, el tiempo promedio semanal aproximado (EN MINUTOS) que invertiste en la preparación de informes de laboratorio

\_\_\_\_\_

19. Indica, por favor, el tiempo promedio semanal aproximado (EN MINUTOS) que invertiste en la preparación del quiz de laboratorio

\_\_\_\_\_