

Jesús Alberto Flores Cruz
Noé Irving Flores Cruz
Anahi Alcázar Guzmán

Metodología sistémica y realidad virtual

Afrontando obstáculos didácticos en la
enseñanza de la ingeniería



Religación
Press



| Colección Educación |

Metodología sistémica y realidad virtual

Afrontando obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería

Jesús Alberto Flores Cruz, Noé Irving Flores Cruz,
Anahi Alcázar Guzmán

RELIGACION PRESS · QUITO · 2023



Equipo Editorial

Roberto Simbaña Q. Director Editorial
Felipe Carrión. Director de Comunicación
Ana Benalcázar. Coordinadora Editorial
Ana Wagner. Asistente Editorial

Consejo Editorial

Jean-Arsène Yao | Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova | Fabiana Parra |
Mateus Gamba Torres | Siti Mistima Maat | Nikoleta Zampaki | Silvina
Sosa



Religación Press, es una iniciativa del Centro de Investigaciones CICSHAL
Diseño, diagramación y portada: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico: press@religacion.com
www.religacion.com

Metodología sistémica y realidad virtual. Afrontando obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería.

Systemic methodology and virtual reality. Facing didactic obstacles in engineering education.

Primera Edición: 2023 Jesús Alberto Flores Cruz©, Noé Irving Flores Cruz©, Anahi Alcázar Guzmán©, Religación Press©

Editorial: Religación Press
Materia Dewey: 370-Educación
Clasificación Thema: JNTC - Desarrollo de competencias
JNU - Enseñanza de una materia específica
BISAC: EDU050000, EDU007000, EDU029000
Público objetivo: Profesional/Académico
Colección: Educación
Serie: Desarrollo de competencias
Soporte: Digital
Formato: Epub (.epub)/PDF (.pdf)
Publicado: 2023-10-20
ISBN: 978-9942-642-16-5

Disponible para su descarga gratuita en <https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



Citar como (APA 7)

Flores Cruz, J.A., Flores Cruz, N.I., & Alcázar Guzmán, A. (2023). *EMetodología sistémica y realidad virtual. Afrontando obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.54>

ISBN: 978-9942-642-16-5



Revisión por pares / Peer Review

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por académicos externos. Por lo tanto, la investigación contenida en este libro cuenta con el aval de expertos en el tema, quienes han emitido un juicio objetivo del mismo, siguiendo criterios de índole científica para valorar la solidez académica del trabajo.

This book was reviewed by an independent external reviewers. Therefore, the research contained in this book has the endorsement of experts on the subject, who have issued an objective judgment of it, following scientific criteria to assess the academic soundness of the work.

Sobre los autores

Jesús Alberto Flores Cruz

Profesor titular en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional. Ingeniero Electricista por la Universidad Autónoma Metropolitana, Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional, Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por el Instituto Politécnico Nacional.

<https://orcid.org/0000-0001-7816-4134>

Instituto Politécnico Nacional- México

jafloresc@ipn.mx

Noé Irving Flores Cruz

Profesor titular en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco, del Instituto Politécnico Nacional. Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por el Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Comunicación y Tecnologías Educativas en el Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa- México.

Instituto Politécnico Nacional- México

nfloresc@ipn.mx

Anahi Alcázar Guzmán

Estudiante de doctorado en ciencias de física educativa en el Centro de Investigación en Ciencias Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional. Profesora del Programa educativo de Ingeniería Industrial en el Departamento Académico de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis. Maestra en Docencia e Ingeniería Industrial y de Sistemas por la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional los Mochis

aalcazarg2200@alumno.ipn.mx

Resumen

En este libro se desarrolla y aplica una Metodología Sistémica para el Abordaje de Obstáculos Didácticos como herramienta útil para abordar los principales obstáculos didácticos que se presentan en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de ingeniería eléctrica, utilizando tecnología de realidad virtual. Esta metodología es el resultado de integrar etapas claves de dos teorías de pensamiento sistémico, dándole un carácter integral en el diseño, desarrollo e implementación de dicha metodología. No sólo consideró a los estudiantes, docentes y contenidos temáticos, sino que también tuvo en cuenta el entorno en el que se desenvuelven, lo que permitió obtener resultados alentadores de su implementación, evidenciados en la etapa de evaluación. Esto demuestra la efectividad del uso de la realidad virtual para abordar obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería eléctrica, siguiendo una secuencia metodológica. Aunque en este libro se consideró a los estudiantes de ingeniería eléctrica como caso de estudio, la metodología puede aplicarse fácilmente a la enseñanza de cualquier disciplina de ingeniería, ya que estos obstáculos se presentan comúnmente en todas ellas.

Palabras Clave: Metodología sistémica; Obstáculos didácticos; Realidad virtual; Ingeniería eléctrica.

Abstract

In this book, the Systemic Methodology for Facing Didactic Obstacles is described as a useful tool for confronting the main didactic obstacles that arise in the teaching and learning process of engineering students, using virtual reality technology. This methodology is the result of integrating key stages of two theories, one from the science of systems and the other from contextual sciences, which gave it an integral character in the design, development, and implementation of said methodology. Not only were students, teachers, and thematic contents considered, but also the environment in which they operate, allowing encouraging results to be obtained from its implementation as evidenced in the evaluation stage. This demonstrates the effectiveness of using virtual reality to confront didactic obstacles present in the teaching of electrical engineering, following a methodological sequence. Although electrical engineering students were considered as a case study in this book, the methodology can easily be applied to the teaching of any engineering, as these obstacles are commonly present in all of them.

Keywords: Systemic methodology; Didactic obstacles; Virtual reality; Electrical engineering.

Contenido

Revisión por pares / Peer Review	7
Sobre los autores	8
Resumen	10
Abstract	11
Créditos	19
Prólogo	20

Capítulo 1

Fundamentos teóricos del enfoque de sistemas	23
Teoría General de Sistemas	24
La enseñanza y aprendizaje desde el enfoque de sistemas	27
Teoría de las Ciencias en Contexto	34
Fase curricular de la TCC	36
Fase didáctica de la TCC	38
Fase epistemológica de la TCC	39
Fase docente de la TCC	40
Fase cognitiva de la TCC	40

Capítulo 2

Los obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería	42
Los obstáculos en el proceso enseñanza y aprendizaje	43
Obstáculos Ontogenéticos	47
Obstáculos epistemológicos	48
Obstáculos didácticos	48
Obstáculos didácticos ocasionados por el profesor	49
Obstáculos didácticos ocasionados por los recursos didácticos.	50

Capítulo 3

Diseño y desarrollo de la metodología sistémica	56
Análisis de las metodologías sistémicas relacionadas con la investigación	57
Diseño de la metodología sistémica para afrontar obstáculos didácticos con RV	62

Capítulo 4

Aplicación de la metodología sistémica	71
Primera etapa de implementación	72
Planteamiento de la situación problema y planeación de los fines, medios y recursos.	72
Situación problema desde la fase curricular de la TCC.	72
Elección tema para la intervención	79
Situación problema desde la fase docente de la TCC	81

Situación problema desde la fase epistemológica de la TCC	81
Etapa de planeación interactiva	87
Planeación de los fines	88
Uso de la fase cognitiva de la TCC	101
Diagnóstico de los principales Estilos de Aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería.	106
La realidad virtual como medio para afrontar obstáculos didácticos	115
Planeación de los recursos	120
Recurso humanos	120
Recursos materiales	121
Sistema de proyección-visualización estereoscópica	122
Sistema de Visualización basado en un Casco de Realidad Virtual (Head Mounted Display por su nombre en inglés)	131
Recursos financieros	135
Sistema de RV basado en un casco de Realidad Virtual.	139
Selección del sistema de realidad virtual a utilizar	146
Planeación de la Información	146
Segunda etapa de aplicación	147
Elaboración de los materiales didácticos.	147
Generación de los materiales didácticos a través de una computadora	149
Generación de materiales estereoscópicos mediante la adquisición de video 3D a través de una videocámara.	150

Capítulo 5

Implementación y evaluación

162

Diseño del experimento	163
Cálculo del tamaño de la muestra	166
Determinación del tamaño de la muestra estudiantes 5to. Semestre.	168
Determinación del tamaño de la muestra estudiantes 6to. Semestre.	169
Determinación del tamaño de la muestra estudiantes de 7mo. Semestre.	171
Experimentación	172
Intervención	175
Análisis de resultados	175
Resultado del pre test	176
Evaluación pos test	180
Conclusiones	182
Recomendaciones	189

Referencias

192

Tablas

Tabla 1. Una agrupación del “tipo ideal” de contextos problemáticos	60
Tabla 2. Una agrupación de contextos problemáticos	61
Tabla 3. Integración de la Metodología de Planeación Interactiva y la Teoría de las Ciencias en Contexto	67
Tabla 4. Número aproximado de transformadores en el Sistema Eléctrico Nacional	80
Tabla 5. Resultado del análisis al plan de estudios de Ingeniería Eléctrica.	97
Tabla 6. Obstáculos didácticos durante el proceso de enseñanza.	99
Tabla 7. Relación de los estilos de aprendizaje, los canales sensoriales y los obstáculos didácticos.	100
Tabla 8. Valoración del cuestionario VARK.	110
Tabla 9. Comparación entre los sistemas con polarización pasiva y activa	127
Tabla 11. Elementos que integran el Sistema de RV basado en un casco de Realidad Virtual	135
Tabla 12. Costo de un sistema de proyección con polarización pasiva	136
Tabla 13. Costo de un sistema de proyección con polarización activa 3D Ready	137
Tabla 14. Costo de un sistema de proyección con polarización con polarización activa DLP	137
Tabla 15. Inversión requerida para implementar un sistema de realidad virtual de proyección frontal	139
Tabla 16. Costo de un sistema de Realidad Virtual basado en Oculus Rift®	141
Tabla 17. Costo de un sistema de Realidad Virtual basado en un Samsung Gear VR®	142
Tabla 18. Costo de un sistema de realidad virtual basado en un cardboard plástico	144
Tabla 19. Inversión requerida para equipos adicionales	145
Tabla 20. Relación del tema del transformador con diferentes asignaturas	148
Tabla 21. Relación de los materiales 3D con las asignaturas del programa de estudios	155
Tabla 22. Valores de k más utilizados y sus niveles de confianza	167
Tabla 23. Grupos de quinto semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica y matrícula inscrita	168
Tabla 24. Cálculo del tamaño de muestra para estudiantes de quinto semestre	169
Tabla 25. Grupos de sexto semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica y matrícula inscrita	170
Tabla 26. Cálculo del tamaño de muestra para estudiantes de sexto semestre	170
Tabla 27. Grupos de séptimo semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica y matrícula inscrita	171
Tabla 28. Cálculo del tamaño de muestra para estudiantes de sexto semestre	172
Tabla 29. Selección de grupos para el experimento	173

Figuras

Figura 1. Integración de las Teorías utilizadas	24
Figura 2. Sistema Didáctico	27
Figura 3. Triángulos sistémicos, para la didáctica y la educación.	30
Figura 4. Modelo sistémico de la TCC.	35
Figura 5. Triángulo didáctico	47
Figura 6. Imagen que representa el núcleo de un transformador eléctrico	51
Figura 7. Metodología Sistémica para Afrontar Obstáculos Didácticos mediante el uso de la Tecnología en el proceso de Enseñanza Aprendizaje (MSAOD).	69
Figura 8. Mapa de conceptos de las teorías de inducción	83
Figura 9. Profesor enseñando el efecto electromagnético en un aula tradicional	94
Figura 10. Estudiantes en una visita industrial a una fábrica de equipo eléctrico	96
Figura 11. Estilos de Aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica	111
Figura 12. Pregunta número uno de la Prueba de Visualización Espacial.	113
Figura 13. Aplicación de la Prueba de Visualización Espacial a estudiantes de ingeniería eléctrica	113
Figura 14. Resultados Globales de la Prueba de Visualización Espacial	114
Planeación de los medios	115
Figura 15. Principales usos de la realidad virtual.	117
Figura 16. Equipo proyección con diversos tipos de lentes.	123
Figura 17. Prueba del equipo de proyección en el laboratorio de Óptica de la ESIME Zacatenco	123
Figura 18. Pantalla de proyección color plata diseñada para esta investigación.	125
Figura 19. Equipo de cómputo generador del entorno de realidad virtual	130
Figura 20. Sistema de proyección del entorno de realidad virtual	130
Figura 21. Proyección estereoscópica en el sistema de realidad virtual	131
Figura 22. Casco de Realidad Virtual	132
Figura 23. Casco de Realidad Virtual Cadboard	134
Figura 24. Esquema del sistema de realidad virtual propuesto inicialmente.	138
Figura 26. Casco de realidad virtual	140
Figura 27. Casco de realidad virtual para celular	142
Figura 28. Casco de realidad virtual cardboard plástico	144
Figura 29. Proceso de producción de contenidos 3D inmersivos	151
Figura 30. Captura de pantalla del video 3D grabado en la Subestación Eléctrica Texcoco, de CFE	153
Figura 31. Captura de pantalla del video 3D grabado en la Fábrica de Transformadores de la Empresa Ámbar Electroingeniería, S.A. de C.V.	154
Figura 32. Captura de pantalla del video 3D grabado en el piso de Pruebas del Labo-	

ratorio Pesados 2 de la ESIME-Zacatenco	154
Figura 33. Colocación de subtítulos en el video	156
Figura 34. Selección del formato de salida del video 3D	157
Figura 35. Renderizado del video original.	157
Figura 36. Renderizado de 7 minutos de video en formato mp4 con una resolución de 1920 x1280 en un tiempo aproximado de 20 minutos.	158
Figura 37. Renderizado de 13 minutos de video en formato mp4 con una resolución de 1920 x1280 en un tiempo aproximado de 30 minutos.	159
Figura 38. Errores durante el proceso de edición del video	160
Figura 39. Esquema del experimento	165
Figura 40. Resultado de la aplicación de la evaluación pre-test a los estudiantes del 5to. Semestre	176
Figura 41. Resultado de la aplicación de la evaluación pre-test a los estudiantes del 6to. Semestre	177
Figura 42. Resultado de la aplicación de la evaluación pre-test a los estudiantes del 7mo. Semestre	178
Figura 43. Resultados globales de la aplicación de la evaluación pre-test a tres semestres	178
Figura 44. Exposición de contenidos 3D mediante el Sistema de RV, con el grupo experimental	179
Figura 45. Resultado de la aplicación de la evaluación Pos-test a los estudiantes del 5to. Semestre	180
Figura 46. Resultado de la aplicación de la evaluación Pos-test a los estudiantes del 6to. Semestre	181
Figura 47. Resultado de la aplicación de la evaluación Pos-test a los estudiantes del 7to. Semestre	182

| Colección Educación |

Metodología sistémica y realidad virtual

Afrontando obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería

· Serie ·

Desarrollo de competencias

Créditos

Los resultados reflejados en este libro fueron posibles gracias al apoyo recibido por parte del Gobierno de México, a través del Instituto Politécnico Nacional, mediante el programa de Proyectos de Investigación en el Programa Especial de Consolidación de Investigadores, a través del proyecto SIP20202015.

Prólogo

La enseñanza de la ingeniería eléctrica es un campo que ha evolucionado significativamente en los últimos años gracias a la tecnología, sin embargo, todavía hay obstáculos didácticos importantes que pueden dificultar el aprendizaje de los estudiantes, en este sentido, la realidad virtual se presenta como una herramienta tecnológica valiosa para superar estos obstáculos y mejorar la eficacia de la enseñanza de la ingeniería eléctrica.

El libro que tienes en tus manos explora esta temática en profundidad, ofreciendo una metodología sistémica de diseño propio que permite integrar la tecnología de realidad virtual en el aula. A través de esta metodología, los profesores de ingeniería podrán mejorar significativamente la calidad de la enseñanza que ofrecen a sus estudiantes.

Ya que uno de los principales obstáculos que enfrentan los estudiantes de ingeniería eléctrica es la comprensión de conceptos abstractos y complejos, como las leyes de Faraday o los circuitos electromagnéticos, por lo que se propone utilizar a la realidad virtual como una herramienta educativa que permita que los estudiantes puedan visualizar estos conceptos en un entorno interactivo y tridimensional, lo que facilitara su comprensión, además de permitirles explorarlos de manera más detallada y segura.

Otro obstáculo importante que se tiene en la formación de los ingenieros electricistas y de cualquier profesión, es la falta de experiencia práctica en la solución de problemas. La tecnología de realidad virtual permite a los estudiantes practicar en la re-

solución de problemas complejos de una manera segura y controlada, sin los riesgos asociados con los equipos físicos, lo que permite a los estudiantes adquirir experiencia práctica sin poner en peligro su seguridad o la de otros.

Se tiene, además que la tecnología de realidad virtual también puede ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades de colaboración y trabajo en equipo, permitiéndoles el trabajo colaborativo en un entorno virtual controlado, lo que facilita que pueden aprender a comunicarse de manera más efectiva y a resolver problemas en equipo, lo que les será de gran utilidad en su carrera como ingenieros electricistas.

Este libro será una herramienta valiosa para todos los profesionales en la enseñanza de la ingeniería no solo de la eléctrica sino de cualquiera de manera general, que busquen mejorar su práctica docente y brindar una experiencia de aprendizaje más efectiva y significativa para sus estudiantes a través del uso de la realidad virtual.

Los autores

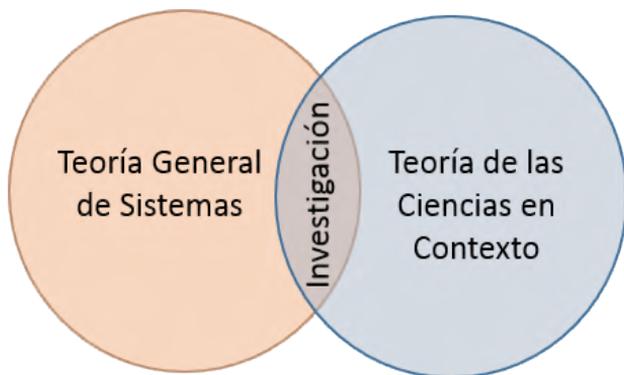
Capítulo 1

Fundamentos teóricos del enfoque de sistemas

Teoría General de Sistemas

En esta investigación se utiliza un marco teórico compuesto por dos grandes teorías del conocimiento, la Teoría General de Sistemas (Von Bertalanffy, 1950) y la Teoría de la Ciencias en Contexto (Camarena, 1984), como se muestra en la figura 1 y se describen en este capítulo.

Figura 1. Integración de las Teorías utilizadas



Fuente: Elaboración propia

La Teoría General de Sistemas (TGS) es una forma científica y sistemática que permite aproximarse a la realidad y representarla, al mismo tiempo es también un enfoque hacia la práctica, que motiva formas de trabajo transdisciplinarias. Como paradigma de la ciencia, la TGS se ha caracterizado por su carácter integrador en donde lo más relevante son las relaciones entre los elementos de un sistema y las propiedades que a partir de esas

relaciones emergen. La primera formulación de esta teoría se le atribuye al biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy, quien generó la denominada *Teoría General de Sistemas*. Para él, la TGS debería ser un componente de integración entre las ciencias sociales y naturales, (las cuales hasta antes de sus estudios se habían estudiado de forma separada), y servir al mismo tiempo como un instrumento indispensable para la formación y preparación de los científicos. Desde sus orígenes, la TGS despertó gran interés en diversos científicos de otras ramas del conocimiento y pronto se desarrollaron bajo su concepción otras ramas del saber, entre las que destacan la cibernética, la teoría de la información y la dinámica de sistemas.

Gigch en 1987, por su parte señalaba que la vida en sociedad se encuentra organizada a través de múltiples sistemas complejos en los cuales y por los cuales, el hombre trataba de proporcionar alguna apariencia de orden a su universo. Indica además que existen algunas instituciones especiales, como la familia, las cuales forman sistemas pequeños y manejables; en cambio existen otros sistemas, como la política o la industria, que suelen ser de tamaño nacional e incluso mundial, hacia también mención de las empresas transnacionales, que se vuelven cada día más complejas, destacaba también que algunos otros sistemas son de propiedad privada, mientras otros son de dominio público lo cual los hace tener diferentes características y objetivos.

De lo anterior se desprende que, en cada ámbito social, cualquiera que sea la actividad que se realice en él, se tienen organizaciones y sistemas, los cuales, al ser analizados, aunque sea

sin mucho detalle, revelan que estos comparten una característica común, la complejidad, la cual es el resultado de múltiples y variadas interacción del hombre con los sistemas donde están inmersos. Es por lo anterior que para los *problemas de sistemas* se requieren *soluciones de sistemas*, lo que significa que cuando se busquen resolver los problemas del sistema mayor, las soluciones no sólo deben satisfacer los objetivos al interior del sistema, sino que también debe buscarse la sobrevivencia del sistema global.

Para Gigch, los elementos de un sistema pueden ser muy variados, por ejemplo, pueden ser *conceptos*, en cuyo caso estamos ante un sistema conceptual, como lo es en nuestro caso, el sistema de conocimientos que surge en torno a las leyes que rigen los fenómenos eléctricos o el plan de estudios de determinada carrera en ingeniería. Los elementos de un sistema también pueden ser *objetos*, como, el equipo y maquinaria que integra un laboratorio escolar, los salones de clases, la infraestructura tecnológica de una escuela entre otras cosas, para él los elementos de un sistema pueden también ser *sujetos*, como serían los directivos escolares, el personal administrativo, los profesores y los estudiantes. Finalmente, siguiendo su teoría se tiene que un sistema puede estructurarse incluyendo conceptos, objetos y sujetos, como en el caso de un sistema didáctico, que comprende a estos tres elementos como se muestra en la figura 2, en concordancia con lo dado como sistema didáctico por D'amore B. & Fandiño M. I. (2002).

Figura 2. Sistema Didáctico



Fuente: Elaboración con información de D'amore B. & Fandiño M. I. (2002)

Continuando con el análisis de la teoría de sistemas, tenemos que Gighch un *sistema* es a su vez un agregado de entidades, vivientes o inanimadas o en algunos casos ambas y se tiene que los sistemas se componen hacia su interior de otros sistemas llamados *subsistemas* y en la mayoría de los casos, se puede pensar en sistemas más grandes o *supra sistemas*, los cuales comprenden a otros sistemas de nivel superior al sistema que se estudia, lo que comúnmente se conoce como el *sistema total* o *sistema integral*.

La enseñanza y aprendizaje desde el enfoque de sistemas

Para Chen & Stroup (1993), cuando se aplica el enfoque de sistemas a la educación, se deben incluir todas las relaciones que

existen entre los individuos que lo integran y su contexto inmediato, el familiar, el educativo, el que se da por las relaciones que se presentan entre pares, así como las relaciones más amplias que son en las que involucra a los individuos con los sistemas sociales, políticos, religiosos y culturales, entre otros; el enfoque de sistemas considera también las relaciones que surgen de manera espontánea mediante la retroalimentación a través de la comunicación; dicho enfoque posee además un carácter multidisciplinario y atributos que le permiten ser utilizado para analizar sistemas de gran complejidad, describir sistemas dinámicos y evolutivos, además de que por su capacidad de análisis permite representar las relaciones existentes entre el nivel micro y el nivel macro uniendo los entornos naturales y humanos.

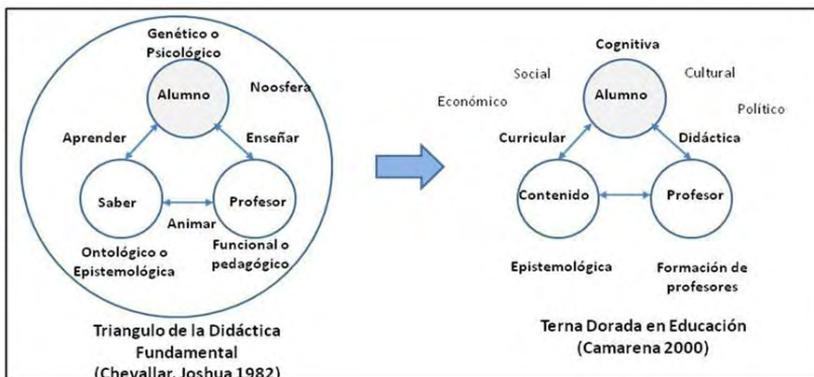
Por su parte Clark (1997), proponía el concepto de *eco-educación* como la estrategia a seguir para lograr una verdadera reestructuración de la educación a todos niveles, la cual debía incluir no solo el contenido del plan de estudios, sino su naturaleza, recomendando a su vez cómo debía ser administrado el proceso de enseñanza aprendizaje, proponiendo no solo la forma en que los estudiantes deben ser agrupados, sino también como se debía estructurar el sistema escolar, para lograr con ello desarrollar lo que él llamaba una verdadera “cultura de la escuela”, basándose para ello en la teoría de los seres vivientes. A partir de la Teoría General de Sistemas, se sabe que los sistemas vivos, los organismos, los sistemas sociales y los ecosistemas, comparten un conjunto de principios y propiedades comunes, por lo que se pueden entendidos a través de sus relaciones y la integración que ellos tienen.

Como ya se había mencionado con anterioridad los componentes de un sistema son aquellos elementos que lo constituyen, por ejemplo en el proceso enseñanza aprendizaje, los componentes “no personales” son el objetivo, el contenido, el método, el medio, la forma y la evaluación de la enseñanza (Seijo *et al*, 2010), mientras que la estructura del sistema comprende las relaciones que se establecen entre los elementos que integran al sistema; las funciones son las acciones que pueden ser desempeñadas por el sistema y finalmente la integración corresponde a los mecanismos que aseguran la estabilidad del sistema apoyados en la cibernética y la dirección, lo cual sirve para confirmar los logros académicos dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, mediante controles evaluativos que permiten la retroalimentación.

Con la finalidad de hacer operacionales las ideas expuestas anteriormente, se introducen en este momento conceptos claves de sistemas y dichos conceptos se encuadran en el tema en estudio utilizando las investigaciones realizadas por D’amore & Fandiño (2002), analizado para ello las propiedades que emergen de las relaciones que se dan al interior del triángulo didáctico que tiene como vértices al *estudiante*, el *maestro* y el *saber* de Chevallard y Joshua, citado por D’amore & Fandiño (2002), un triángulo similar es propuesto por Camarena en el año 2000, llamándolo la *terna dorada en educación*, (ver figura 3), como se puede observar ambos triángulos describen modelos sistémico ya que cumplen con lo anteriormente expuesto, lo que hace posible utilizarlos para situar y analizar la naturaleza de las múltiples relaciones que se establecen entre tres elementos fundamentales que

los constituyen, en el sentido descrito por la llamada “didáctica fundamental” y la educación.

Figura 3. Triángulos sistémicos, para la didáctica y la educación.



Fuente: Elaboración propia

De los modelos mostrados anteriormente se observa el grado de complejidad que surge de las relaciones entre los elementos que integran el sistema, lo cual depende también del hecho de que en el modelo se toman en consideración todas aquellas relaciones que existen entre los subsistemas, incluyendo aquellas relaciones de naturaleza diversa que el sistema tienen con su entorno, la cual era nombrado por D’amore & Fandiño como la noosfera y al respecto de ella decían que,

...es el conjunto de todo aquello que gira en torno al mundo de la escuela pero que no forma parte, explícitamente, del modelo sistémico del “triángulo de la didáctica”, y que, sin embargo,

tiene influencia sobre éste. Por ejemplo: padres, burocracia escolar, directivas ministeriales, expectativas de la sociedad etc. (2002, p. 3)

Del triángulo de la didáctica planteado por D'amore & Fandiño en el año dos mil dos, se pueden distinguir por lo menos, tres componentes claves que entran en juego:

- *Elementos*, son los componentes de cada sistema, pueden a su vez ser sistemas, es decir, subsistemas, entradas, salidas o procesos. Los elementos de sistemas pueden ser inanimados, o dotados de vida. La mayoría de los sistemas incluyen ambos tipos. Los elementos que entran al sistema son llamados entradas y los que lo dejan se denominan salida, o resultados.
- *Relaciones* entre los elementos (que se pueden identificar con la unión de los “lados”), Las relaciones internas y externas de los sistemas han tomado diversas denominaciones, entre otras las de efectos recíprocos, interrelaciones, organización, comunicaciones, flujos, prestaciones, asociaciones, intercambios, interdependencias, coherencias. Las relaciones entre los elementos de un sistema y su entorno son de vital importancia para la comprensión del comportamiento de los sistemas vivos.
- *Procesos*, que identifican la modalidad de funcionamiento del sistema, entendiéndose éste como un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que al interac-

tuar transforman elementos de entrada y los convierten en resultados (Stoner et al. 1996).

Adicional a lo anterior se tiene que los saberes personales, se adquieren gracias a la acción de enseñar, a la cual contribuye el profesor y la noosfera y desde el punto de vista de sistemas puede ser considerado como el *proceso* de enseñar, aunque para otras investigaciones los saberes también pueden ser adquiridos a través de la acción de las competencias externas a la escuela.

Desde la óptica de la TGS, cada “vértice” actúa como un subsistema, teniendo entonces que:

- El *subsistema saber* del triángulo planteado por D’amore & Fandiño, este vértice representa la parte ontológica o epistemológica y se encuentra relacionado con los conocimientos, es considerado como el conjunto integrado por las teorías y conceptos que son enseñados en cada asignatura; es decir, el conjunto de elementos que permiten caracterizar o explicar determinados rasgos de los objetos y fenómenos que son motivo de estudio. Está integrado por conceptos, postulados, leyes, teorías, teoremas, entre otros.
- El subsistema *estudiante* representa para D’amore & Fandiño (2002), la parte genética o psicológica, haciendo referencia con ello a proyectos culturales o cognitivos personales, pero filtrados por la relación que tiene el estudiante al interior de la institución educativa, a través de su escolarización. Es el entorno a este subsistema que se sitúa la teoría de los obstáculos ontogenéticos.

- El subsistema *maestro* representa la parte funcional o pedagógica, la cual hace referencia a proyectos culturales y cognitivos personales. Sobre este subsistema influye considerablemente, aunque a menudo de forma inconsciente, el conjunto de las expectativas pedagógicas implícitas frecuentemente en las investigaciones educativas, pero también de las creencias relativas al saber y al conjunto de filosofías implícitas (Speranza, citado por D'amore & Fandiño, 2002).

Los lados del triángulo de la didáctica planteado por D'amore & Fandiño, muestran a su vez las relaciones que existen entre los subsistemas:

- El lado conformado por los subsistemas *saber* y *estudiante* se puede identificar con el verbo “aprender”, es decir es el estudiante el que aprende los saberes.
- El lado conformado por los subsistemas *saber* y *maestro* se pueden identificar con el verbo “enseñar”, siendo el maestro el que enseña los saberes.
- Para D'amore & Fandiño, ...el lado conformado por los subsistemas maestro y estudiante se puede identificar en algunas ocasiones con el verbo “animar” (esto porque en tal relación asimétrica se tiende a ver sólo la relación del maestro sobre el estudiante), lo que genera las siguientes relaciones: devolución (acción del maestro sobre el estudiante: el maestro “empuja” al estudiante a implicarse en el proyecto didáctico que le atañe) y la implica-

ción (acción del estudiante sobre sí mismo: el estudiante acepta la devolución, aceptando hacerse cargo personal de la construcción del propio conocimiento).

Sobre todo, el triángulo didáctico influye la *noosfera* con sus expectativas, sus presiones, sus elecciones.

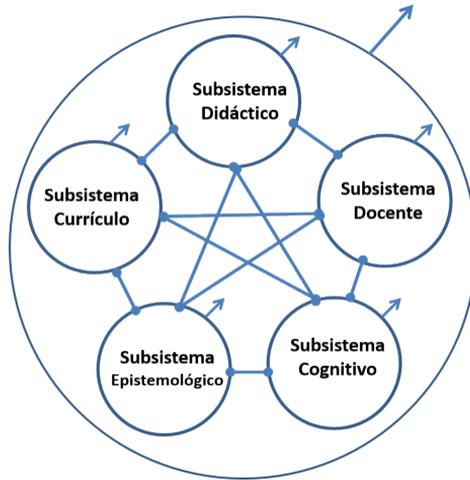
Teoría de las Ciencias en Contexto

Para lograr la mezcla sistémica necesaria para el diseño de la metodología propuesta, en esta investigación se utiliza también otra teoría de gran importancia la Teoría de las Ciencias en Contexto (TCC), la cual es planteada por Camarena en el año de 2013, y al respecto al autora de dicha teoría señala que

Existe una ausencia de teorías educativas estructuradas particularmente para el nivel educativo superior, lo que ha ocasionado que muchas investigaciones en el campo de la educación deban adoptar teorías generales de otras áreas del conocimiento, para aplicarlas y adaptarlas en este nivel educativo. (p. 18)

Dentro de la Teoría de las Ciencias en Contexto se considera al ambiente de aprendizaje como un sistema complejo, el cual consta de cinco fases (subsistemas) que interactúan entre sí como un solo sistema, las fases que se muestran en la figura 4.

Figura 4. Modelo sistémico de la TCC.



Fuente: Elaboración propia

Para determinar el grado de complejidad del ambiente de aprendizaje se obtiene a través de la fórmula $C = e + r$ donde C es el grado de complejidad, e el número de elementos y r el número de las relaciones entre los elementos, de donde se desprende que el sistema que es representado en la Figura 1.4 tiene un grado de complejidad $C = 5 + 5 = 10$, de donde se infiere que los elementos del sistema al comportarse como un conjunto único y holístico presentan propiedades y comportamientos que no son evidentes cuando se consideran los elementos de forma individual, por lo cual se asume también que la Teoría de las Ciencias en Contexto es por naturaleza sistémica, comportándose en todo momento como un sistema.

A continuación, y para mejor la comprensión sistémica de la Teoría de las Ciencias en Contexto se describen a detalle cada una de las cinco fases que la integran.

Fase curricular de la TCC

Esta fase ha sido desarrollada desde inicios de los años ochenta por la Dra. Camarena y en ella se ha destacado el hecho de que es necesario aplicar una metodología sistémica para el diseño de programas de estudio, lo que permitiría un carácter integral a las asignaturas relacionadas con los temas específicos de las carreras de ingeniería.

La metodología planteada por Camarena está fundamentada en un paradigma educativo, mediante el cual se señala que en un programa de estudios existen cursos específicos a través de los cuales los estudiantes logran obtener los elementos y las herramientas que utilizará posteriormente en determinadas asignaturas de su carrera, es decir, en aquellas asignaturas, en las cuales los conocimientos adquiridos no son en sí mismos una meta para su formación, sino que más dichos conocimientos son elementos integradores de saberes que permiten la construcción de los conocimientos totales, lo que les permitirá utilizarlos en un futuro para lograr objetivos superiores en su vida profesional.

Para ello Camarena plantea además una premisa la cual tiene que ver con el hecho de que *el currículo debe ser objetivo, es decir, debe ser un currículo fundado sobre bases objetivas*. Para poder cumplir con la premisa planteada dentro del marco del paradigma

educativo que se plantea en el diseño de la metodología, Camarena propone también una estrategia de investigación dada en tres etapas denominadas *la etapa central, la precedente y la consecuyente*, las cuales se describen a continuación.

a. Etapa central

En esta etapa se debe realiza un análisis (sistémico) de los contenidos específicos, tanto los explícitos como los implícitos, para los cursos de ingeniería, en el caso de esta investigación, el análisis se realizó al plan de estudios de la carrera de Ingeniería Eléctrica, de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional, en México.

b. Etapa precedente

Es esta etapa se debe detectar el nivel de conocimientos específicos que tienen los estudiantes cuando ingresan a la carrera.

c. Etapa consecuyente

A través de una encuesta aplicada a algunos ingenieros que ya ejercen su profesión, se indaga sobre el uso que tienen ellos en su labor profesional, de los conocimientos específicos adquiridos durante su formación.

Para desarrollar esta fase, Camarena señala además que se debe dar respuesta a la pregunta ¿Por qué se elige un tema específico del programa de estudio?, destacándose con ello la impor-

tancia que dicho tema tiene dentro del programa académico, y es por esto que en esta investigación se utilizó como tema de estudio el tema del *transformador eléctrico* ya que este constituye junto con el motor y el generador eléctrico, las tres grandes máquinas sobre las cuales se desarrolla toda la ingeniería eléctrica, siendo el transformador una de las más utilizadas.

Fase didáctica de la TCC

La fase didáctica de la *Teoría de las Ciencias en Contexto* contempla además un modelo didáctico para el desarrollo de las competencias profesionales referidas a la resolución de eventos contextualizados, con la cual se fomenta el desarrollo de las habilidades para la transferencia del conocimiento, la cual permite el trabajo interdisciplinario y está integrada por las tres etapas que se enlistan a continuación.

1. La estrategia didáctica del contexto de los temas específicos debe ser presentada en el ambiente de aprendizaje.
2. Se deben implementar cursos extracurriculares en donde se lleven a cabo actividades para el desarrollo de habilidades del pensamiento, habilidades metacognitivas y habilidades para aplicar heurísticas para la resolución de problemas, así como actividades para bloquear creencias negativas.
3. Se debe además instrumentar un taller integral e interdisciplinario en los últimos semestres de los estudios del

estudiante, en donde se resuelvan eventos reales de la industria.

Camarena menciona al respecto de sus etapas planteadas que:

La estrategia didáctica del contexto contempla dos ejes rectores que son la contextualización, involucrando trabajo interdisciplinario, y la descontextualización con trabajo disciplinario. Para ambos casos se requiere del diseño de actividades didácticas, las cuales se diseñan con lineamientos entre los que se encuentran la identificación de obstáculos (didácticos, epistemológicos, cognitivos, ontogénicos y contextuales), el tránsito entre los diversos registros de representación, el conocimiento en espiral, etc.

Fase epistemológica de la TCC

Para Camarena la fase epistemológica de la TCC es resultado de diversas investigaciones en las que se ha verificado cómo gran parte de los temas de las ciencias, nacen vinculados con otras disciplinas y a través del tiempo pierden su contexto para ofrecer una ciencia “pura” que es llevada a las aulas de clases sin que ésta tenga sentido para los estudiantes, como lo describe Chevallard (citado por Camarena 2009). Hay situaciones en donde el ingeniero emplea procesos o métodos sin conocer su origen, y esto da origen a la fase epistemológica de las Ciencias en Contexto donde se pone a la luz estos hechos.

Fase docente de la TCC

Con la fase docente de la TCC se pueden detectar las deficiencias de formación de los profesores que imparten los cursos relacionados con la ingeniería y cuya formación profesional muchas veces no está especializada en los temas que ellos enseñan, lo cual constituye una de las grandes causas de las deficiencias de los estudiantes en estas materias.

Fase cognitiva de la TCC

Respecto a la fase cognitiva Camarena ha determinado que en el proceso de enseñanza y de aprendizaje de temas como la matemática, por ejemplo, el estudiante debe transitar entre los registros aritmético, algebraico, analítico, visual y contextual para construir y asirse del conocimiento. A través de su teoría ella ha verificado que el estudiante logra conocimientos estructurados y no fraccionados, alcanzando con esto estructuras mentales articuladas, lo que ayuda a que el estudiante construya su propio conocimiento con amarres firmes y duraderos y no volátiles y frágiles; reforzando el desarrollo de habilidades del pensamiento mediante el proceso de resolver eventos (problemas y proyectos) vinculados con los intereses del estudiante. Asimismo, se ha determinado que el factor motivación en el estudiante se encuentra altamente estimulado a través de las Ciencias en Contexto y su desempeño académico como futuro profesionista se incrementa, es decir, la transferencia del conocimiento se puede establecer sin tantos tropiezos.

Capítulo 2

Los obstáculos didácticos en la enseñanza de la ingeniería

Los obstáculos en el proceso enseñanza y aprendizaje

El proceso de enseñanza y aprendizaje es complejo, en él intervienen varios factores de diversa índole; dentro de estos factores se destacan los estudiantes, el profesor y el contenido a aprender; estos factores se encuentran en una continua interacción donde la intervención en algunos de ellos, dentro del espacio educativo influye en los otros; ésta interacción no ocurre de manera aislada ya que en todo momento existe una influencia proveniente del entorno integrado por un medio no tangible de tipo social, cultural, económico y político, (Camarena, 2006, 2008); conformando lo que D'Amore y Fandiño (2002) definió como la *noosfera*.

En esta investigación utiliza una metodología sistémica de diseño propio, para para afrontar algunos de los obstáculos didácticos que están presentes en la enseñanza de la ingeniería en los entornos de formación tradicionales buscando mejorar la formación de los estudiantes de ingeniería eléctrica, a través de la incorporación de los sistemas de realidad virtual. El uso de esta tecnología tiene sustento principalmente en las propiedades emergentes que posee, dentro de las cuales se destaca principalmente la capacidad de estimular los sentidos humanos a través de una simulación realizada por computadora, de tal forma que el estudiante tenga la sensación de estar presente e interactuando con un entorno real y además poder interactuar con dicha simulación, lo que hasta ahora ninguna de las tecnologías educativas tradicionales habían logrado atender de forma adecuada.

Al respecto Camarena et al. (2012) destacan que:

La educación mediada por tecnología se convierte en una alternativa académico-didáctica para innovar los ambientes y sistemas de enseñanza; ello, a través de las modalidades educativas en línea, a distancia o virtual... (párr. 2)

Esta incorporación tecnológica propuesta se encuentre además en sintonía con las políticas educativas planteadas por los organismos internacionales en materia educativa, las cuales inciden principalmente en la incorporación de la tecnología electrónica en los procesos educativos. Como señala Camarena (2014), esta incorporación se puede dar como medio de trabajo en las diversas áreas institucionales, como objeto de estudio, como medio de comunicación, como ambiente de aprendizaje, como material de apoyo didáctico o como mediador en los procesos de aprendizaje de los estudiantes.

De lo anterior se tiene que con relación a los obstáculos que se han presentado en la enseñanza de las ciencias e ingeniería en todos los tiempos, Bachelard (citado por Villamil, 2008), es considerado como uno de los primeros científicos en estudiarlos, además de ser el que mayor contribución ha tenido a la teoría del conocimiento moderna en esa materia, en particular por la aportación de lo que él denominó *obstáculos epistemológicos*, y que sirvió para sentar las bases para el estudio de lo que hoy se conocen como *obstáculos didácticos*. Brousseau (citado por Palarea y Socas, 1994) quien también investigó sobre ese tema, por su parte manifiesta que la noción de *obstáculo* tiende a extenderse fuera

del campo estricto de la epistemología, asentándose también en otras áreas del conocimiento humano como son la didáctica, la psicología y la psico-fisiología.

Tanto Bachelard (1972) como Brousseau (1989) coincidieron en caracterizar a un obstáculo como:

...aquel conocimiento que de manera general ha sido satisfactorio durante un tiempo determinado para la resolución de ciertos problemas, y que por esta razón ha quedado fijo en la mente de los estudiantes, pero que posteriormente, este conocimiento resulta inadecuado y difícil de adaptarse cuando los estudiantes se enfrentan con nuevos problemas.

Para Brown (2008) por su parte, un obstáculo es una forma de saber que funciona productivamente en algunos lugares, mientras puede apoyar a la manifestación de los errores en otros, esta productividad inicial o el éxito que se tiene de ella hacen que estas formas de conocimiento se afiancen y, por lo tanto, hacen a los obstáculos resistentes al cambio. Por otra parte, D'Amore y Fandiño (2002), con una visión más general llaman *obstáculo a todo hecho que se opone al aprendizaje*. Autino et al. (2011), destacan que cuando se estudian los obstáculos, es importante tener en cuenta la idea de que los obstáculos a los que se enfrentan los estudiantes, no sólo se deben a causas de tipo cognitivo, sino que también pueden surgir de cuestiones relacionadas con la comunicación educativa que los producen y citan para ello diversos factores que pueden ocasionarlos, entre los que destaca, el docente en su rol de transmisor del mensaje académico; el mensaje aca-

démico a ser transmitido en cuanto a las características que éste requiere para ser comprendido; los materiales de estudio en lo que se refiere a su estructura didáctica y finalmente el estudiante con sus experiencias previas, todo lo anterior influido de manera continua por el entorno donde se da el proceso educativo.

Para Brousseau el proceso de enseñanza aprendizaje de cualquier disciplina está condicionado por tres tipos de obstáculos (ver figura 5), los *ontogénicos* debidos a las limitaciones neurofisiológicas del estudiante; los *epistemológicos* que proceden de la disciplina misma y los *didácticos* que dependen de la enseñanza. Camarena (2002) agrega dos categorías más, los obstáculos *cognitivos* que son los que están inferidos a los conocimientos previos del estudiante y los obstáculos *contextuales* que son los que se centran en los conocimientos provenientes de otras disciplinas, que intervienen en la resolución de eventos contextualizados. Serradó *et al* (2005) sobre la clasificación de Brousseau señalan que, aunque en sus investigaciones él describe estas tres categorías separadas, a veces es difícil determinar si en la realidad se encuentran separadas, ya que es difícil saber si un cierto obstáculo de tipo epistemológico no tiene también un carácter ontogénico o bien sí los obstáculos epistemológicos y ontogénicos se reproducen siempre en un sistema didáctico y, por tanto, también se pueden configurarse como obstáculos de carácter didáctico.

el estudiante, por su inmadurez para aprender un determinado concepto, sus deficiencias o condiciones personales entre otros factores.

Obstáculos epistemológicos

Para Brousseau (1989) los obstáculos de origen epistemológico son aquellos a los cuales el estudiante no puede, ni debe escapar, por el hecho mismo de su rol constitutivo en el conocimiento que se busca. Para él “la noción de obstáculo epistemológico tiende a sustituirse comúnmente por la de error de enseñanza, de insuficiencia del sujeto o de dificultad intrínseca de los conocimientos”, lo cual puede crear confusiones cuando se le estudia, por su cuenta D’Amore y Fandiño (2002) señalan que *los* “obstáculos epistemológicos” son aquellos cuya causa está en el mismo tema de estudio, esto es, que se derivan del concepto que en ese momento es objeto de aprendizaje. Por su parte Cid (citado por Bastián et al., 2010), menciona que una característica que permite distinguir a los obstáculos epistemológicos de otros tipos es, que sólo éstos pueden ser rastreados en la historia de la ciencia y que por lo tanto una comunidad de científicos ha tenido que tomar conciencia de ellos y estudiarlos.

Obstáculos didácticos

Para Brousseau (1989) este tipo de obstáculos son los que parecen no depender más que de una elección o de un proyecto de sistema educativo, ellos integran un sistema tal, que modifi-

cándolo se podría evitar el obstáculo, mientras que ninguna modificación de los otros sistemas de obstáculos permitiría evitarlos y al ser el tema central de esta investigación se a continuación se profundiza en su estudio, clasificándolos para ello en dos grandes categorías:

Obstáculos didácticos ocasionados por el profesor

Éstos son los que resultan de las elecciones didácticas hechas por el profesor para establecer la situación de enseñanza (Batane-ro et al., 1994; Camarena, 2002), por ejemplo, cuando sigue deter-minada metodología o didáctica de enseñanza en una asignatura en particular, o por el tipo de problemas que emplea para la ejem-plificación de los conceptos. D'Amore y Fandiño (2002); Bastián et al. (2010) y Arrigo y D'Amore (2004) al respecto señalan algo muy relevante al indicar que este tipo de obstáculos, son crea-dos casi siempre por los profesores en los niveles escolares prece-dentes al que curse en la actualidad el estudiante, al presentarles modelos intuitivos que les crearon falsas concepciones, las cuales muchas veces resultan insuperables. Para Chamorro (1995) la re-lación didáctica es fruto también de obstáculos, en la medida que la distancia entre el saber del estudiante y el saber del profesor condicionan la aparición de éstos, esto debido a métodos inapropiados de enseñanza, uso abusivo de analogías o a las aproxima-ciones parciales en la transposición didáctica (entendiendo ésta como el complejo proceso de transformaciones, en el que inter-vienen tanto instituciones como individuos, que sufre un saber a efectos de ser enseñado), lo que necesariamente provoca conoci-

mientos erróneos e incompletos en los estudiantes. Por su parte Brown, (2008) señala que los obstáculos didácticos, son evitables mediante el desarrollo de métodos de enseñanza alternativos. Al respecto Sălăvăstru, (2014) señala que, aunque los obstáculos didácticos son específicos de las decisiones tomadas por el profesor durante el proceso de enseñanza y son las consecuencias de una ideología pedagógica determinada; el sistema educativo, por la forma en que organiza el plan de estudios, puede ser también responsable de la aparición de este tipo de obstáculos.

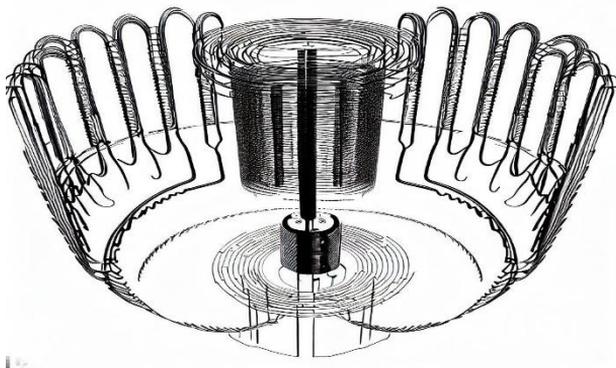
Obstáculos didácticos ocasionados por los recursos didácticos.

Para Guerra (2010) y Camarena (2014), la ausencia de una didáctica en los materiales para la construcción de los conceptos se convierte en una fuente inagotable de obstáculos didácticos que convierten el aprendizaje de esta materia en algo falto de consistencia y rigor. Meyer, Debiaggi, y Giménez (2008) han encontrado evidencia en estudios con profesores donde han manifestado la presencia de obstáculos didácticos, que pueden atribuirse a las estrategias planteadas en algunos de los libros de texto que ellos utilizaron durante su formación.

Carvalho et al. (2007) a través de los resultados de su investigación, sugieren que las imágenes inadecuadas de los libros de texto también pueden ser el principal obstáculo didáctico para un aprendizaje preciso de algunos tópicos escolares, a través de su estudio realizaron búsquedas en los libros de texto de nivel básico encontrando que éstos podían generar tres clases de obs-

táculos didácticos, el primero de ellos se daba por el hecho de que el dibujo presentado en el libro, no era un reflejo real de lo que se quería representar (ver figura 6), el segundo porque el dibujo no podía reflejar el carácter dinámico que tenía el objeto en la realidad y finalmente cuando el dibujo no mostraba la relación que tenía el objeto con los otros elementos de su entorno.

Figura 6. Imagen que representa el núcleo de un transformador eléctrico



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial.

Serradó et al. (2005), presentan un análisis de los obstáculos de carácter didáctico centrado en dos aspectos de la construcción del conocimiento: el primero relacionado con el uso del *lenguaje especializado* de una rama de las ciencias, ya que existen diferencias entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje de alguna especialidad, diferencias que pueden constituirse como un obstáculo para la construcción del conocimiento; y el segundo con los *contextos*

de ejemplificación y experimentación para la construcción del conocimiento, lo que también define Camarena (2002) como *obstáculos contextuales*. Para Heitele (citado por Serradó et. al., 2005), cuando el estudiante se inicia en el estudio de alguna asignatura, él previamente ha usado en sus actividades de su vida diaria términos y expresiones para referirse a determinados sucesos, los cuales después pueden estar relacionados con alguna asignatura, y es en esta relación con lo cotidiano que frecuentemente dichos conocimientos no logran adquirir un sentido preciso, como el que adquieren cuando se estudian en un salón de clases de manera formal. Y como señalaban Olazábal y Camarena, 2003, estas diferencias existentes entre el lenguaje cotidiano y el lenguaje especializado pueden resultar un obstáculo para la construcción del conocimiento.

Para Vesely, F. J. (2005) por su parte, algunos obstáculos didácticos pueden presentarse también cuando los experimentos en el aula no son posibles o el tema suele ser presentado de una manera puramente formal, o cuando los componentes del tema son bastante abstractos. Pero, además, él sugiere que estos obstáculos pueden ser abordados buscando disminuirlos mediante una estrategia de enseñanza que combine algunos de los siguientes elementos, reemplazar los experimentos en el aula por la simulación por computadora, apoyar los argumentos formales con argumentos gráficos utilizando para ello simulaciones por computadora y finalmente utilizar en el salón de clases un enfoque que vaya de menor a mayor complejidad cuando se estudien los temas complejos, propone además el uso de las nuevas herramientas tecnológicas, como son las *simulaciones en tiempo real*, la cuales durante

la última década y debido al incremento de potencial de las computadoras y la reducción de sus costos ha permitido el desarrollo de experimentos de simulación con mayores grados de realismo y complejidad. Flores et al. (2014) por su parte, con relación a la enseñanza de la ingeniería eléctrica encontraron mediante un análisis detallado de un plan de estudios de ingeniería eléctrica, así como la indagación con los profesores, factores que podrían también ser origen a obstáculos didácticos, por ejemplo, cuando alguna de las asignaturas incorpora dentro de su temario:

- a. Conceptos de naturaleza abstracta o compleja, que al tratar de ser enseñados a través de los métodos tradicionales presentan dificultades para el profesor.
- b. Ejemplificaciones de máquinas o contextos reales de una situación en ingeniería, por ejemplo, al tratar de explicar los componentes de una máquina eléctrica o las etapas de generación de una planta hidroeléctrica, mediante el uso del pizarrón en el salón de clases.
- c. Situaciones de riesgo para los estudiantes, entendiéndose éstas como aquellas situaciones donde existe el peligro de lesiones, daños o incluso la muerte, ocasionados por actividades relacionadas directa o indirectamente con el tema de estudio, como es el caso de una visita a una subestación eléctrica cuyos voltajes de operación están en un rango muy alto de operación, ya que normalmente este tipo de centrales operan entre los 13,800 a los 500,000 volts.

- d. Situaciones de riesgo para la maquinaria y equipo, si éstos son utilizados por alguien inexperto, situación que se da cuando un estudiante intenta manipular cualquier equipo de laboratorio sin tener la capacitación adecuada.

Lo anterior sirvió en esta investigación para identificar los obstáculos didácticos que se encuentran presentes durante la enseñanza de temas específicos de la ingeniería eléctrica.

Capítulo 3

Diseño y desarrollo de la metodología sistémica

Análisis de las metodologías sistémicas relacionadas con la investigación

En este capítulo se analizaron las metodologías sistémicas que dieron origen a la que fue utilizada en esta investigación, la cual es el resultado de una mezcla sistémica de metodologías las cuales estaban relacionadas con diferentes metáforas y visiones de la realidad (Sánchez-Lara, 2015); tratando de facilitar esta acción, se considera inicialmente a la Meta-Metodología Intervención Total de Sistemas (MMITS) propuesta por Flood et al. (1992), la cual motiva en primer lugar el pensamiento creativo sobre los problemas que se enfrentan, en nuestro casos los obstáculos didácticos, y posteriormente permite elegir un método o métodos que ayuden a afrontar de la mejor manera y que además tiene como principal característica integrar diversas metáforas de sistemas en un sistema de metodologías de sistemas, así como diversos enfoques para resolver dichos problemas de manera creativa. Esta meta- metodología es un proceso de intervención organizacional que propone un sistema integrado de metodologías de sistemas para facilitar la selección de enfoques de sistemas complementarios, principalmente cuando existen dificultades para elegir entre las diferentes metodologías de sistemas existentes de acuerdo con el tipo de problema.

Para Flood, Jackson y Schecter (1992), el sistema de *metodologías de sistemas* que plantea la MMITS está integrado por dos grandes dimensiones, por un lado, en ella se contempla el tipo de sistema referido a la complejidad relativa del sistema o siste-

mas que presentan la situación problema y por el otro el tipo de participantes que lo integran, refiriéndose con esto al hecho de la existencia de alguna relación (de acuerdo o desacuerdo) entre los individuos o partes involucradas en dicho sistema.

Con respecto a las relaciones que se dan en un sistema en estudio, los autores anteriores señalan que éstas pueden ser del tipo *unitario*, *plural* y *coercitivo* entre los participantes involucrados en el, por lo que para definir dichas relaciones a continuación, se describen a detalle cada una de ellas:

- a. *Unitarias*. En este tipo de relación los integrantes comparten intereses comunes; sus valores y creencias son altamente compatibles, están de acuerdo ampliamente en los medios y fines, todos ellos participan en la toma de decisiones y actúan con base en objetivos acordados.
- b. *Plurales*. En este tipo de relación los participantes tienen compatibilidad elemental de intereses, sus valores y creencias divergen en algún grado, no necesariamente están de acuerdo en medios y fines, pero es posible lograr un compromiso, participan en la toma de decisiones y actúan con base en objetivos acordados.
- c. *Coercitivas*. En este tipo de relación los participantes no comparten sus intereses, sus valores y creencias entran en conflicto, no están de acuerdo en los medios y fines y no es posible un compromiso genuino, algunos limitan a otros en la toma de decisiones y no hay acuerdo en los objetivos.

De lo anterior se tiene entonces que las relaciones que se dan en el salón de clases entre el estudiante, el profesor y el entorno son del tipo *pluralistas*, ya que el proceso educativo es un proceso social complejo donde existen múltiples relaciones entre sus elementos; al determinar este tipo de relaciones con este dato se continúa con la siguiente etapa de aplicación de la MMITS, pero ahora haciendo énfasis en las relaciones que se dan entre los *tipos de sistemas*, las cuales para Flood et al. (1992) pueden ser:

- a. *Simples*. El número de elementos es reducido las interacciones entre sus elementos son escasas, los atributos de los elementos que integran este tipo de sistemas están predeterminados, su comportamiento se rige por reglas claras y bien definidas; este tipo de sistemas no evoluciona y los subsistemas que los integran no promueven sus propios propósitos, se consideran como sistemas cerrados.
- b. *Complejas*. El número de elementos es grande, las interacciones son muchas, las interacciones no son organizadas, los atributos de los elementos no están predeterminados, su comportamiento es probabilístico, el sistema evoluciona, los subsistemas tienen sus propios propósitos, el sistema se afecta por su propio comportamiento, se considera un sistema abierto.

De las clasificaciones descritas anteriormente se determina que el tipo de relaciones que se dan en el salón de clases durante el proceso de enseñanza aprendizaje, son del tipo *pluralista* y caen dentro de la categoría de *problemas complejos*, como se puede apreciar en la tabla 1 mediante el área sombreada.

Tabla 1. Una agrupación del “tipo ideal” de contextos problemáticos

UNITARIO		PARTICIPANTES		
		PLURALISTA	COERCITIVO	
PROBLEMAS	SIMPLES	Simple-Unitario	Simple -Pluralista	Simple-Coercitivo
	COMPLEJOS	Complejo-Unitario	Complejo -Pluralista	Complejo-Coercitivo

Fuente: Warren (2002)

De la MMITS se sabe que cada situación problema implica la necesidad de utilizar diferentes metodologías sistémicas para cada caso particular de análisis, de donde resulta que, para el caso de estudio de esta investigación, se pueden utilizar las metodologías señaladas en la tabla 2 mediante el área sombreada.

Tabla 2. Una agrupación de contextos problemáticos

UNITARIO	PARTICIPANTES		
	PLURALISTA	COERCITIVO	
Problemas	Investigación de operaciones Análisis de sistemas Ingeniería de Sistemas. Dinámica de Sistemas.	Diseño de sistemas sociales. Supuestos estratégicos límites y pruebas	Sistemas críticos heurísticos
	Diagnóstico de los sistemas viables. Teoría General de Sistemas. Sistemas socio técnicos. Teoría de la contingencia.	Planeación interactiva. Metodología de Sistemas Suaves	Indeterminadas

Fuente: Molineux & Haslet (2005)

Continuando con la aplicación de la MMITS, se tiene que las metodologías sistémicas que se deben utilizar son las aquellas que resulten útiles para las situaciones problema del tipo *Complejas-Pluralistas*, en las cuales como señalan Flood et al.:

Falta acuerdo entre los involucrados acerca de metas y objetivos, pero hay un genuino compromiso de alcanzar dicho acuerdo. Además, proveen etapas acerca de cómo tratar con las dificultades que provienen de la complejidad percibida en el ambiente. Ofrecen guías para diseñar sistemas deseados. Estas metodologías están basadas en la metáfora de las organizaciones como culturas y como sistemas políticos. (1992. p. 18)

Lo cual ocurre en un proceso de enseñanza aprendizaje, por lo que una vez que fueron analizadas las posibles metodologías aplicables al caso de estudio, se seleccionó la propuesta por Ackoff (1998), denominada *Planeación Interactiva*, combinada con la metodología derivada de la Teoría de las Ciencias en Contexto, lo cual enriquece aún más a la metodología planteada.

Diseño de la metodología sistémica para afrontar obstáculos didácticos con RV

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario diseñar una metodología derivada de una integración sistémica entre la metodología de Planeación Interactiva (Ackoff, 1998) y la emanada de la Teoría de las Ciencias en Contexto (Camarena, 2009), lo cual permitió a través de una secuencia de fases sistémicas, lograr los objetivos planteados.

Para lograr lo anterior inicialmente se debe tener en consideración que para Ackoff (1998), un conjunto de dos o más problemas que son interdependientes constituye un sistema. Él denomina a este tipo de sistemas *problemáticas*, de donde se tiene que una problemática como cualquier otro sistema tiene propiedades emergentes que no tiene ninguna de sus partes de manera individual. Las propiedades emergentes en todos los sistemas desaparecen cuando el sistema es fragmentado en elementos, con lo que cada elemento de un sistema tiene propiedades emergentes que se pierden cuando cada elemento se considera de manera separada. La solución para una problemática desde el punto de vista de Ackoff depende de cómo interactúan las soluciones para cada una de las partes. En esta investigación la situación proble-

ma se presenta cuando existe algún obstáculo didáctico que inhibe el aprendizaje de determinado tema, sea esto ocasionado por el profesor o por el plan de estudios.

La metodología propuesta por Ackoff (1988) se sustenta en tres principios operativos:

- a. *Principio Participativo*: En esta metodología el proceso de planeación es el producto más importante, ya que es mediante la participación en dicho proceso que los miembros de la organización logran un verdadero desarrollo, por lo que es necesario brindar la oportunidad de participar a todas las personas para las que se planea. La planeación por lo tanto debe ser agradable y productiva de tal manera que se logre con ella mejorar la calidad de vida de los que participan en ella, además de obtener a cambio la capacitación para su desarrollo. Para esta investigación se contó con la participación de autoridades escolares, personal administrativo, profesores y estudiantes, con lo que este principio fue cubierto.
- b. *El Principio de Continuidad*: La planeación no puede ser una acción definitiva, ya que, al tratarse de un proceso dinámico, es necesario observar de manera continua los efectos de su implementación, así como los supuestos sobre las cuales éstos se basan, por el hecho de que los eventos no pueden ser pronosticados de manera exacta. Derivado de la investigación se plantean oportunidades de mejora al sistema de enseñanza aprendizaje tradicional, mediante la incorporación tecnológica, las cuales

deben ser aplicadas de forma continua y permanente si se quiere obtener resultados tangibles.

- c. *El Principio Holístico*: Este principio de la metodología señala que entre mayor sea el número de elementos y niveles de un sistema que se planeen de manera simultánea y que se consideren su relación, se obtendrán mejores resultados en las actividades de planeación. Para la realización de esta investigación no solamente se consideraron elementos derivados de sistemas tecnológicos, sino también de personas, sus relaciones y sus características individuales como la manera de aprender o enseñar, así como las dificultades que ellas tienen para lograrlo; lo que le dio como resultado un carácter holístico a esta investigación

Al tratarse de una metodología sistémica, en la planeación interactiva las fases no necesitan seguir un orden específico, ya que como señala Ackoff (1998):

...son aspectos interdependientes de un proceso sistemático, en el que cada una alimenta y es alimentada por las demás, particularmente en la planeación continua. Los resultados de cualquier fase pueden originar la necesidad de ajustes en algunas otras fases. (p. 53)

De lo anterior se tiene entonces qué, el orden que se propuso para la investigación no fue un orden rígido en el cual se debía iniciar en la etapa uno y terminar en la etapa cinco, ya que puede dejarse una fase incompleta y comenzar otra cuando esto sea

necesario. La planeación interactiva sin importar el orden que se siga consta de cinco fases:

1. *Formulación de la situación problema*: El propósito de formular una situación problema adecuada es identificar la naturaleza de las amenazas internas o externas, las cuales a menudo se encuentran ocultas, lo cual permite sugerir los cambios necesarios para aumentar la capacidad del sistema para sobrevivir.
2. *Planeación de los fines*: Los fines son los resultados que se persiguen a través de las acciones realizadas por el sistema. El proceso para establecer qué fines se deben perseguir, inicia especificando los ideales del sistema, continúa con los objetivos y termina con las metas.
3. *Planeación de los medios*: Un medio es un recurso que produce un resultado deseado o que permite aproximarse a él. Existen diferentes tipos de medios, entre ellos tenemos: los actos, las acciones, los procesos o procedimientos, las prácticas, los proyectos, los programas, las políticas, por citar algunos.
4. *Planeación de los recursos*: La determinación de cuáles son los recursos que se requerirán para lograr los fines y cómo se obtendrán si es que éstos no estuvieran disponibles, es algo muy importante dentro de la planeación interactiva, por lo tanto, es muy importante saber que hay cuatro tipos de recursos que debe ser tomados en cuenta: los recursos humanos, los recursos materiales, los recursos financieros y la información.

5. *Diseño de la implementación y el control:* A través de la implementación y del sistema de control, se obtiene una retroalimentación cibernética continua, la cual permite corregir en el menor tiempo las posibles desviaciones que impidan que el sistema cumpla con sus fines. En esta fase se determina quién va hacer qué, cuándo y dónde lo hará, además de cómo se va a controlar la implementación y sus posibles consecuencias.

Derivado de lo anterior y como resultado de la integración sistémica realizada, la cual se muestra en la tabla 3, se diseñó una de las aportaciones más importantes en este libro, una nueva metodología sistémica para afrontar obstáculos didácticos mediante el uso de la tecnología de en el proceso de enseñanza aprendizaje dando surgimiento a la denominada *Metodología Sistémica para Afrontar Obstáculos Didácticos* (MSAOD) la cual se muestra en la figura 7, y contempla las fases y principios de la Planeación Interactiva y la Teoría de las Ciencias en Contexto.

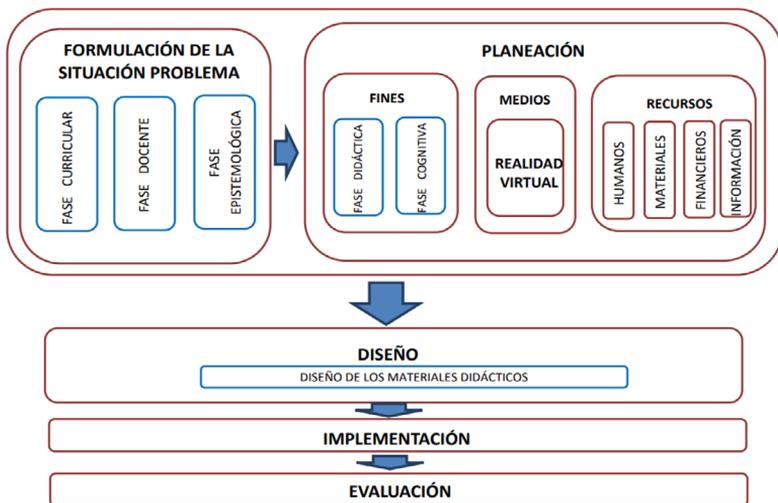
Tabla 3. Integración de la Metodología de Planeación Interactiva y la Teoría de las Ciencias en Contexto

PLANEACIÓN INTERACTIVA		TEORÍA DE LAS CIENCIAS EN CON- TEXTO	
Formulación de la situación problema	Identificar la naturaleza de las amenazas internas o externas	Etapas central	Análisis (sistémico) de los contenidos específicos.
		Precedente	Detecta el nivel de conocimientos específicos que tienen los estudiantes al ingresar.
		Fase curricular	Encuesta aplicada a algunos ingenieros que ya ejercen su profesión, se indaga sobre el uso que tienen ellos de estos conocimientos específicos en su labor profesional.
		Consecuente	Detectar las deficiencias de formación de los profesores que imparten los cursos relacionados con la ciencia.
		Fase docente	Situaciones en donde el ingeniero emplea procesos o métodos sin conocer su origen.
Planeación de los fines	Inicia especificando los ideales del sistema, continúa con los objetivos y termina con las metas.		Estrategia didáctica.
		Fase didáctica	Implementar cursos extracurriculares.
		Fase cognitiva	Instrumentar un taller integral e interdisciplinario. Construir su propio conocimiento con amarres firmes y duraderos y no volátiles y frágiles.
Planeación de los medios	Un medio es un recurso que produce un resultado deseado o que permite aproximarse a él.		

PLANEACIÓN INTERACTIVA	TEORÍA DE LAS CIENCIAS EN CON- TEXTO	
Planeación de los recursos	Hay cuatro tipos de recursos que deben ser tomados en cuenta: Recursos Humanos, materiales, financieros e información.	
Diseño de la implementación y el control	A través de la implementación y del sistema de control, se obtiene una retroalimentación cibernética continua, la cual permite corregir en el menor tiempo las posibles desviaciones que impidan que el sistema cumpla con sus fines.	Metodología Sistémica para afrontar obstáculos didácticos mediante el uso de la Tecnología de Realidad Virtual en el proceso de Enseñanza Aprendizaje.

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Metodología Sistémica para Afrontar Obstáculos Didácticos mediante el uso de la Tecnología en el proceso de Enseñanza Aprendizaje (MSAOD).



Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4

Aplicación de la metodología sistémica

Para comprobar la efectividad de la Metodología Sistémica para Afrontar Obstáculos Didácticos, fue necesaria su implementación en un entorno educativo real, mediante su aplicación en dos etapas.

Primera etapa de implementación

Planteamiento de la situación problema y planeación de los fines, medios y recursos.

Para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación se inició con la implementación de la Metodología Sistémica para Afrontar Obstáculos Didácticos, para lo cual fue necesario la ejecución de la metodología en dos etapas, en la primera de ellas se formula la situación problema, utilizando para ello tres fases de la Teoría de las Ciencias en Contexto (TCC), la *fase curricular*, la *fase docente* y la *fase epistemológica*; las cuales se tomaron como base para determinar bajo qué condiciones el proceso de enseñanza aprendizaje de la ingeniería eléctrica puede verse obstaculizado, esta etapa se desarrolla a continuación.

Situación problema desde la fase curricular de la TCC.

A través de esta fase de la teoría, se responde a la pregunta del por qué se elige un tema específico dentro de un plan de estudios, pero para ello es necesario partir inicialmente de la definición que da la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Zacatenco (ESIME-Zacatenco), del Instituto

Politécnico Nacional en México de que es la ingeniería eléctrica, definiéndola como aquella ingeniería que tiene por objetivo:

...planear, proyectar, diseñar, innovar, controlar, instalar, construir, coordinar, dirigir, mantener y administrar equipos y sistemas, aparatos y dispositivos, destinados a la generación, transformación y aprovechamiento de la energía eléctrica en todas sus aplicaciones, así como operar equipos y materiales eléctricos tomando en cuenta su interrelación con los sistemas de potencia, distribución y utilización...” (ESIMEZ-IPN, s.f.)

Continuando con el análisis, ahora haciendo énfasis en el perfil de ingreso de los aspirantes a cursar dicha ingeniería se tiene entonces que para la ESIME-Zacatenco cualquier aspirante a estudiar dicha carrera (ESIMEZ-IPN, s.f.), debe cubrir lo siguiente:

- *Conocimientos:* Debe tener conocimientos teóricos y prácticos de las ciencias físico- matemáticas, antecedentes y fluidez y comprensión lectora, así como capacidad para expresarse mediante lenguajes cotidiano y científico, tanto en forma oral como escrita.
- *Habilidades:* Capacidades propias del razonamiento lógico: de análisis, síntesis y aplicación del conocimiento, uso de la metodología científica, comprensión, manejo y aplicación de la información formulada en diversos lenguajes: gráficos, simbólicos y computacionales; así como comprensión lectora del inglés y habilidades manuales para el trabajo en el laboratorio con el instrumental especializado.

- *Actitudes y Valores:* Disposición para el auto aprendizaje que propicie su desarrollo intelectual, afectivo y social; creatividad para resolver situaciones nuevas, lograr mejores y solucionar problemas; disponibilidad para trabajar en equipos y responsabilidad, respeto, honestidad, tolerancia y solidaridad social.

Cumplir con lo anterior les permitirán a los estudiantes concluir con éxito el programa de estudios, egresando como ingenieros electricistas con el siguiente *perfil* (ESIMEZ-IPN, s.f.):

En cuestión de funciones y tareas profesionales podrán

- Diseñar, construir y mantener dispositivos, equipos y máquinas de la rama de la ingeniería cursada.
- Proyectar, diseñar y poner en operación de plantas y sistemas que integren equipos de la rama de su ingeniería.
- Investigar, adaptar y construir nuevas tecnologías y conocimiento.
- Plantear, organizar, asesorar y dirigir empresas de servicios, fabricación y mantenimiento del área de su competencia.
- Disposición para el trabajo metódico, eficiente, individual y de grupo.

En materia de conocimientos

- Aplicar las Normas nacionales, internacionales e institucionales, técnicas, jurídicas, éticas, ecológicas, de higiene y seguridad inherentes a su actividad profesional.
- Capacitar, instruir y entrenar en las ramas de su competencia a diverso personal.
- Comprender, aplicar y desarrollar los principios científicos, técnicos y socioeconómicos básicos de la ingeniería.

Sus habilidades les permitirán

- Manejar los principios y aplicaciones de otras disciplinas relacionadas con la ingeniería de su especialidad.
- Obtener y procesar información en forma oral y escrita para proyectos e investigaciones.
- Aplicar el pensamiento analítico, lógico, creativo e innovador para el análisis de problemas y la toma de decisiones.
- Utilizar los procesos, métodos, instrumental y herramienta propios de la ingeniería de su especialidad.

Manteniendo las actitudes y valores que les permitan

- Disposición para el trabajo, metódico, eficiente individual y de grupo.

- Actitud crítica, responsable, participativa, emprendedora y solidaria de la realidad social, económica, cultural, política, ecológica y ética profesional.
- Capacidad para establecer relaciones interpersonales con empatía y autocomprensión para ejercer el liderazgo organizacional.
- Disposición para la Investigación.

Por lo tanto, los ingenieros electricistas una vez que egresan de la ESIME-Zacatenco (ESIMEZ-IPN, s.f.), podrán participar en diversas áreas del sector eléctrico sea este público y privado. En el sector público se podrán desempeñar como ingenieros de proyecto dentro de las plantas de generación hidroeléctricas, termoeeléctricas, carbo-eléctricas, nucleoeeléctricas, de ciclo combinado y otras; algunos de ellos podrán participar también en proyectos relacionados con las líneas de transmisión, distribución, subestaciones, electrificación rural, redes de distribución, despacho de carga y administración de la demanda; otros más se enfocarán en el manejo de sistemas automatizados y protecciones eléctricas, y en la operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos de potencia.

Según datos de la página oficial de la ESIME Zacatenco (ESIMEZ-IPN, s.f.), se tiene que aproximadamente el 75% de los ingenieros electricistas que hace posible la operatividad técnica de la principal empresa gubernamental de México, empresa conocida como Comisión Federal de Electricidad (CFE), son egresados de la ESIME, en números que oscilan entre los 11,000 a 12,000 inge-

nieros, por lo que, el campo de actividad para los ingenieros electricistas es bastante amplio destacándose en actividades como:

- Proyectos de ingeniería básica o conceptual.
- Proyectos de ingeniería de detalle
- Especificaciones de equipos y sistemas de construcción y montaje
- Puesta en servicio
- Operación y mantenimiento

Por otra parte, se tiene también que, en el sector privado, principalmente en las empresas de manufacturas eléctricas, los ingenieros participan en el diseño y la manufactura de: motores eléctricos trifásicos y monofásicos, de todo tipo; de transformadores de distribución y de potencia; tableros eléctricos en alta y baja tensión; reactores y capacitores; contactores; arrancadores electromagnéticos; y un sin número de artefactos y dispositivos eléctricos (ESIMEZ-IPN, s.f.).

Resumiendo todo lo anterior se tiene que existen actividades fundamentales dentro de la ingeniería eléctrica en las que participa un ingeniero electricista durante su vida profesional, las cuales pueden ser clasificadas de manera general en tres grandes categorías las cuales se detallan a continuación:

- a. *Generación de energía eléctrica:* Esta actividad consiste en transformar en energía eléctrica mediante algún tipo de

tecnología específica, una energía básica la cual puede ser térmica, hidráulica, nuclear, solar, eólica o mareomotriz entre otras.

- b. *Transmisión Eléctrica*: Esta actividad está relacionada con el transporte de la energía eléctrica desde el lugar donde se genera mediante conductores eléctricos, hasta los sistemas de distribución que alimentan a los consumidores finales.
- c. *Distribución Eléctrica*: Finalmente se tiene que la distribución eléctrica es la acción de hacer llegar la electricidad al usuario final. Los sistemas de distribución están integrados por conductores eléctricos, transformadores y subestaciones eléctricas operando a diferentes niveles de voltaje, un ejemplo de lo anterior se describe a continuación: A la salida de la central eléctrica de generación se instala una *subestación de transformación* elevadora en la cual la tensión de salida de la central (entre 6 y 20 kV) es elevada hasta valores comprendidos entre 220 y 400 kV (alta tensión), para posteriormente y a través de las *línea de transmisión*, aproximar a los centros de consumo la energía eléctrica, donde a través de subestaciones de transformación reductoras, el voltaje se reduce a niveles que permiten distribuir la energía a las industrias, comercios y a los usuarios domésticos ubicados en las ciudades.

Elección tema para la intervención

Para lograr el aumento o disminución del voltaje en cualquier parte del sistema eléctrico es fundamental el uso de una máquina eléctrica estática, *el transformador eléctrico*, máquina que tiene la capacidad de transferir la energía entre dos circuitos eléctricos, utilizando para ello el principio de inducción electromagnética, lo que le permite variar su voltaje de salida, sin variar para ello la potencia de entrada, la cual idealmente siempre deberá ser igual a la de salida, aunque las pérdidas que existen en cualquier máquina eléctrica ocasionan que la potencia de entrada siempre sea diferente de la de salida, llamándose al porcentaje de esta diferencia, *eficiencia del transformador*.

Por el gran número de transformadores que *existen dentro de un sistema* eléctrico de cualquier país y para esta investigación en particular los que existen dentro del Sistema Eléctrico Nacional (ver tabla 4), además de la importancia que tiene dicha máquina para la distribución de energía eléctrica a niveles adecuados de operación y a lo simple de su funcionamiento, es necesario que cualquier estudiante de ingeniería eléctrica conozca a detalle su operación y principios de *funcionamiento*, lo cual no siempre es posible de lograr con los métodos de enseñanza tradicionales, como se apreciará en el desarrollo de las siguientes fases de la metodología propuesta.

En la tabla 4 se muestra el número aproximado de transformadores que existen en el Sistema Eléctrico Nacional, el cual fue obtenido con información proveniente de reportes emitidos en varios años y de diversas fuentes.

Tabla 4. Número aproximado de transformadores en el Sistema Eléctrico Nacional

SERVICIO	VOLTAJE DE OPERACIÓN	NÚMERO APROXIMADO DE TRANSFORMADORES
Subestación Privada	Entre 230 kV y 440 kV	76*
Subestación de CFE para Transmisión	Entre 230 kV y 440 kV	357*
Subestación Privada	Entre 69 kV y 138 kV	674*
Subestación de CFE para Distribución	Entre 69 kV y 138 kV	1,646*
Transformadores Privados de mediana tensión	Hasta 34.5 kV	219,399
Transformadores de CFE para distribución	Hasta 34.5 kV	1,100,458

Fuente: Elaboración propia con información del Informe Anual 2009 de CFE y otras fuentes

* Nota: Para fines prácticos en esta tabla se considera un sólo transformador por subestación, aunque existen casos donde hay más de uno.

La tabla anterior muestra un estimado del número de transformadores que existen en operación dentro del sistema eléctrico nacional, cifra que rebasa el millón de unidades, estando estas máquinas eléctricas estáticas presentes a lo largo y ancho del país, lo que justifica a un más la selección de que sea el transformador eléctrico, el elemento fundamental de estudio útil para realizar esta investigación, quedando claro que los conocimientos que debe tener un ingeniero electricista sobre esta máquina le abri-

rán grandes oportunidades de incorporarse al mercado laboral de múltiples industrias tanto públicas, como privadas en el sector eléctrico.

Situación problema desde la fase docente de la TCC

Con la fase *docente* de la TCC, permitió detectar carencias en la formación de los profesores que imparten cursos relacionados con el tema de los transformadores eléctricos, constituyendo esto una de las posibles causas de las deficiencias de los estudiantes en este tema, contribuyendo a su vez a la generación de obstáculos didácticos, para determinar esta etapa fue necesaria la aplicación de un instrumento de recolección de información diseñado para esta investigación, el cual fue validado mediante el juicio de expertos.

Situación problema desde la fase epistemológica de la TCC

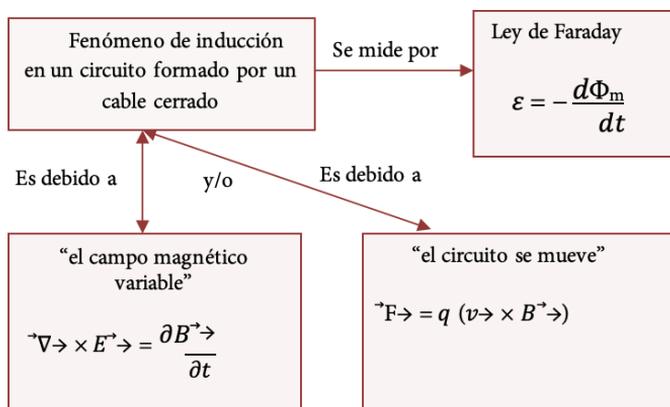
En esta fase se analizan algunas de las investigaciones que se han llevado a cabo sobre los transformadores eléctricos y las leyes que rigen su funcionamiento, donde se puede observar la existencia de situaciones en donde los estudiantes emplean procesos o métodos sin conocer su origen, situaciones que contribuye también a la generación de obstáculos didácticos, lo cual concuerda con lo que se puso en evidencia en la Teoría de las Ciencias en Contexto, analizada anteriormente.

Para realizar esta fase, en primer lugar, se inició considerando que el transformador eléctrico es una máquina eléctrica estática, cuyo principio de funcionamiento se rige por la Ley de Faraday para fenómenos de inducción electromagnética, esta Ley se puede describir brevemente como el hecho de que cualquier cambio en el flujo magnético en una espira o bobina de alambre, provocará un voltaje o fuerza electromotriz inducido en ella, la cual será proporcional a dicho cambio. Lo anterior en conjunto con las propiedades ferromagnéticas que poseen los materiales de hierro (en el caso del transformador su núcleo está elaborado de este material), permiten al transformador cumplir con su función, es decir, le permiten elevar o disminuir los niveles de tensión de corriente alterna, sin variar la frecuencia, manteniendo al mismo tiempo la potencia; por supuesto que esto último se cumple siempre y cuando se considere al transformador como una máquina eléctrica ideal, lo cual difícilmente ocurre en las máquinas eléctricas reales, ya que en todas ellas se presenta un porcentaje de pérdidas, las cuales dependen del uso, diseño y características físicas del transformador.

Se tiene entonces que un transformador eléctrico puede transferir energía eléctrica de un circuito CA a otro, a través de un *acoplamiento magnético*. Dicho acoplamiento magnético es utilizado en los transformadores para realizar una transferencia de energía eléctrica de una bobina a otra a través del *núcleo ferromagnético* del transformador el cual es utilizado como un medio para facilitar una vía controlada para que fluya a través del núcleo el *flujo magnético* generado y la corriente lo haga a través de los *devanados*.

Para los autores Almudí, Zuza & Bonet (2005), el funcionamiento de un transformador eléctrico puede ser entendido también mediante la Teoría Explicativa de la Inducción Electromagnética, la cual desarrollaron dentro de un proyecto de investigación en el cual basaban la relación entre los fenómenos magnéticos y eléctricos, específicamente en aquellos relacionados con la generación de corriente eléctrica a partir de los fenómenos magnéticos. De su investigación encontraron que el proceso de aprendizaje de la teoría de inducción se encuentra condicionado por la buena comprensión y estructuración de conceptos “auxiliares” como son los conceptos de campos, fuerzas eléctricas y magnéticas. Estos autores describen también que, de acuerdo con el marco teórico actual, el universo de conceptos que se encuentran implícitos para la explicación de los fenómenos de inducción se puede expresar mediante el mapa de conceptos que se muestra en la figura 8.

Figura 8. Mapa de conceptos de las teorías de inducción



Fuente: Elaborado con información de Almudí et al. (2005)

Del mapa anterior se tiene que la Ley de Faraday es expresada matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Donde se tiene que \mathcal{E} es la fuerza electromotriz medida en volts y Φ_m es el flujo magnético relacionado con el número de líneas de campo magnético que pasan a través de la superficie delimitada por el circuito eléctrico. El término del lado derecho de la ecuación anterior representa la derivada respecto al tiempo. El flujo magnético se define como el producto del campo magnético B por el área limitada por el circuito o lo que es lo mismo $\Phi_m = B \cdot S$ cuya unidad es el Weber que equivale a un Tesla por metro cuadrado ($1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$). Lo que la ley muestra es lo que Faraday observó en su experimento, la fuerza electromotriz inducida no es proporcional al valor del flujo magnético sino a su variación por unidad de tiempo. El signo negativo que aparece en el término de la derecha está relacionado con la dirección de la fuerza electromotriz inducida, la cual sigue el principio de la *Ley de Lenz* cuyo enunciado describe que: “La corriente eléctrica y la f.e.m. inducidas actúan en tal dirección que tienden a oponerse a cualquier cambio en el número neto de líneas de flujo que pasan a través de la sección transversal del circuito considerado” (Serway, 1997).

Almudí et al. (2005), describen también que, en un contexto escolar, cuando se introduce el concepto de inducción electromagnética, se pone de manifiesto la duplicidad que se observa en el mapa de la figura anterior, la cual está relacionada con el hecho

de cómo fenómenos diferentes dan origen a la explicación del fenómeno de inducción. Señalan también que es importante tener en cuenta que la teoría explicativa incluye un análisis en términos de dos fenómenos diferentes y que por lo tanto se debe comprender la ley de Faraday en forma integral, es decir, como el efecto combinado de dos fenómenos diferentes y por tanto el representarla es una explicación global de los fenómenos de inducción. Estos autores señalan que, dentro de la teoría clásica del electromagnetismo, que se define con las leyes de Maxwell, éstas mismas sirven también como marco teórico para explicar los fenómenos eléctricos en los primeros cursos universitarios, para lo cual es necesario cubrir algunos prerrequisitos que son necesarios para lograr un conocimiento significativo de los conceptos de campos y fuerzas eléctrico y magnético, dentro de los que se destaca que:

1. El estudiante comprenda la naturaleza del campo eléctrico y sepa cómo medirlo a través de las líneas de campo, así como la forma de medir las fuerzas que éste ejerce sobre otras cargas.
2. El estudiante comprende también la naturaleza del campo magnético, sabiendo también cómo medirlo a través de las líneas de campo y la forma de medir las fuerzas que ejerce sobre otras cargas en movimiento.
3. El estudiante maneja y comprende la fuerza de Lorentz que es ejercida por campos eléctricos y magnéticos sobre las cargas eléctricas.

De lo anterior se tiene que un gran número de estudiantes confunde los conceptos de campo y flujo, al momento de analizar el origen de los fenómenos de inducción electromagnética. Así mismo, la gran mayoría de los estudiantes no pudieron explicar la inducción electromagnética cuando se trataba de un *circuito* que se movía en un campo magnético ya que en este caso la ley que explica este fenómeno de la inducción es la fuerza de Lorentz que se ejerce sobre cargas móviles y los estudiantes no la utilizaron para justificar sus respuestas.

Otro de los conceptos que también ha supuesto en este caso obstáculos epistemológicos, para el entendimiento del funcionamiento del transformador eléctrico mediante los fenómenos electromagnéticos, es el concepto de la corriente eléctrica, (Cano et al., 2009) lo cual es señalado en su investigación sobre La Enseñanza del Concepto de Corriente Eléctrica desde un Enfoque Histórico-Epistemológico, así como en numerosas investigaciones que han sido planteadas con el propósito de identificar las concepciones alternativas que prevalecen en los estudiantes sobre este concepto, afirmando que “raramente la exposición de las ideas científicas *correctas*, hace que los estudiantes abandonen sus ideas previas, las cuales suelen permanecer inalteradas después de largos períodos de enseñanza, e incluso conviven en momentos específicos con las ideas científicas”.

Cano et al. (2009) señalan a su vez que los estudiantes de nivel universitario no pueden relacionar los efectos del campo eléctrico cuando sirve para la generación de corriente, ya que consideran que es indispensable colocar una fuente de energía

que se encargue de mover las cargas eléctricas, lo cual no siempre es así ya que a través de experimentación, Faraday demostró que la corriente eléctrica no siempre es generada a través de fenómenos relacionados con la electrólisis, así como qué tampoco era necesario utilizar un anillo de hierro para este fin y que una corriente eléctrica podría inducir otra corriente mientras ella estaba variando. Faraday estableció en su principio de inducción electromagnética que la variación de las líneas de fuerza magnética produce una corriente en un conductor, además este cambio puede ser producido por un imán que se mueve con relación a un conductor a o por un cambio en la corriente que circula en un segundo conductor b .

Lo anterior ha representado uno de los grandes retos en la enseñanza de la ingeniería eléctrica, constituyéndose a lo largo del tiempo como un *obstáculo epistemológico y didáctico*, ya que aun en la actualidad se sigue tratando de enseñar a los estudiantes en el salón de clases este concepto, conforme al método tradicional en el cual se utiliza el pizarrón y un marcador, algo que podría hacerse sin duda y de mejor manera mediante una simulación por computadora o en un laboratorio.

Etapas de planeación interactiva

Para dar inicio a la *etapa de planeación* de la *Metodología Sistémica para Afrontar Obstáculos Didácticos*, para lo cual en primer lugar se desarrolla inicialmente la *planeación de los fines*, lo que permite determinar cuáles son los ideales de un sistema educativo, en particular para esta investigación cuando se trata de la

enseñanza de la ingeniería eléctrica, así como sus objetivos y sus metas, para lo cual se utiliza una vez más la *Teoría de las Ciencias en Contexto* mediante el uso de dos de sus fases: la *fase didáctica* y la *fase cognitiva*, como se observa a continuación.

Planeación de los fines

Uso de la Fase Didáctica de la TCC para la planeación

Con ayuda de la fase didáctica de la TCC, se determinó que uno de los fines que persigue cualquier sistema educativo deriva del hecho de que la formación que reciben los estudiantes, en este caso de ingeniería eléctrica, les debe permitir ser capaces de vincular el tema en estudio en este caso los transformadores, con otras asignaturas, lo cual, a pesar de que es un fin idealizado no siempre ocurre o no es posible en la realidad, ya que existen diversas actividades docentes que impiden que el estudiante construya este conocimiento de forma efectiva, como por ejemplo por la aparición de los obstáculos y otras situaciones más como las que se describen a continuación.

Para Rugarcia et al. (2000) durante el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes de ingeniería eléctrica existen situaciones que obstaculizan este proceso, entre las que destacan el hecho de que por ejemplo el señala que cuando en el año 2000 se entraba a un salón de clases de ingeniería elegido de manera aleatoria, y uno mismo se hacía la pregunta ¿qué es lo que se puede observar?, con mucha frecuencia, la respuesta era *la mismo que se habría observado en el año de 1970 o en 1940*, el profesor se

encontraría situado en la parte de enfrente del salón de clases, copiando en el pizarrón alguna información tomada de sus notas o de algún libro de texto que tendría en sus manos, y estaría repitiendo en voz alta lo que estaba escribiendo. Los estudiantes por su parte estarían sentados de manera pasiva frente a él, copiando lo que se escribía en el pizarrón, algunos otros estudiantes estarían leyendo un material diferente al de la clase o trabajando en las tareas de alguna otra asignatura, y otros más, estarían tal vez soñando despiertos. De vez en cuando el profesor realizaría alguna pregunta, con la que los estudiantes de la primera fila se sentirían obligados a responder; mientras que los otros simplemente evitarían el contacto visual con el profesor, hasta que ese momento instantáneo de intranquilidad logrará pasar. Al final de la clase, el profesor asignaría varios ejercicios extra-clase, con los cuales obligaría a los estudiantes a repetir lo que les enseñó, o en muchos otros casos simplemente tendrían que resolver en casa los ejercicios que se les dejaron, mediante la aplicación de alguna fórmula derivada de la fórmula original que ya se les había enseñado en clases, o tal vez simplemente cambiando alguna variable o determinados valores para encontrar la solución.

Otros autores que concuerdan con lo señalado por Rugarcia et al. (2000), son Chen et al. (2014), quienes señalan además que las siguientes clases del curso sería lo mismo, así sería también al siguiente día y al siguiente, denotando que el salón de clases permanece perenne al paso del tiempo, a pesar de los cambios tan vertiginosos de los tiempos modernos en otras áreas como la ciencia y la tecnología; encontrándose entonces un ciclo que se repite peligrosamente, en el que la enseñanza tradicional de los

curso de ingeniería adopta el modelo de la explicación y demostración dada por los maestros con los pocos recursos didácticos de que éste dispone. En cierta medida, este tipo de modelo de enseñanza deja de lado la función principal de los estudiantes en las actividades de enseñanza, encasillándolos en un papel pasivo en el que ellos tienen muy pocas oportunidades de construir su propio conocimiento. Lo anterior no sólo tiene un efecto negativo al impedirles desarrollar su independencia y autonomía, sino que dicho efecto también afecta a los profesores que no pueden conocer el nivel de comprensión de sus estudiantes durante la explicación de algún concepto. Por otra parte existe también otro factor que obstaculiza el proceso de enseñanza aprendizaje, este último deriva del hecho de que el hardware de los equipos y las máquinas donde los estudiantes realizan las prácticas de laboratorio, se vuelve muchas veces obsoletos o tienen un alto grado de desgaste por el uso tan frecuente, con lo que es muy común que algunos experimentos no se puedan realizar en el laboratorio, teniendo que dar por vistas estas actividades prácticas por parte del profesor, con lo que los cursos de ingeniería se ven restringidos aún más, por no poder fomentar adecuadamente las capacidades prácticas tan necesarias en la formación de los estudiantes.

Bosch et al. (2011), señalan que, ante una falta que existe de ingenieros con conocimientos sólidos en temas teórico-prácticos de la ingeniería en el mercado mundial, se requiere que los jóvenes adquieran además durante su formación profesional, habilidades integrales e interdisciplinarias de ciencias y matemática, lo que les permitiría entender problemas complejos de ingeniería, biología, medio ambiente, propagación de enfermedades y epi-

demias, entre otros grandes problemas, para lo que requieren entonces de una formación básica de análisis de comportamiento de los sistemas físicos, químicos y biológicos. Haciéndose necesario también que los estudiantes se habitúen a hacer mediciones, análisis de datos, estudios y comprensión de gráficas, lo que les permitiría proponer modelos para tratar de resolver y predecir el comportamiento de los sistemas en estudio, lo cual no siempre ocurre en las escuelas de ingeniería.

Se tiene también que para la etapa de experimentación necesaria para la formación de los futuros ingenieros, es preciso utilizar tecnologías y metodologías como las que se emplean en la industria y en los laboratorios de investigación, basándose fundamentalmente en el uso de los sistemas de adquisición, procesamiento y representación de la información, como lo planteaba en los ochentas el profesor Ronald Thornton de la universidad de Tufts cuando presento por primera vez los “Laboratorios Asistidos por Micros para el estudiante principiante en ciencias” (citado por Bosch et al., 2011), lo que fue el punto de partida del uso de estas herramientas tecnológicas para los laboratorios escolares y universitarios, permitiendo que los estudiantes trabajaran en la obtención, visión y análisis de la información. Según el Dr. Thornton, estos laboratorios tenían la capacidad de brindar a los estudiantes un poder sin precedentes para explorar, medir y aprender acerca del mundo de las ciencias.

Sulbaran & Baker (2000) por su parte, destacan que los niveles de comprensión en los estudiantes de la ingeniería, medidos

en los últimos años (muchos de los cuales estaban por graduarse e ingresar a la fuerza laboral), revelaban una sorprendentemente insuficiencia de conocimientos y un bajo nivel académico. Lo cual se veía agravado por:

- Una mala retención de los conceptos básicos;
- La falta de transferencia de conocimiento de los cursos anteriores, a los actuales,
- La falta de integración de las estructuras de conocimiento para realizar los análisis del nivel superior.

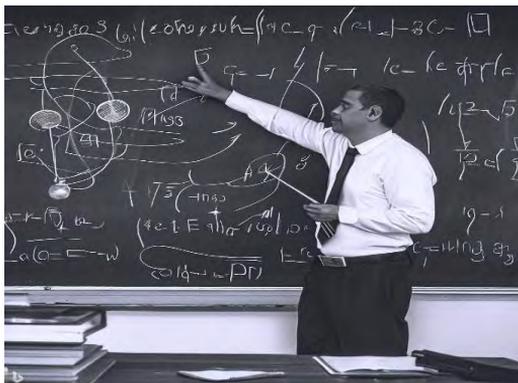
Astin citado por Sulbaran & Baker (2000), señalan además que en comparación con los estudiantes de otros campos del conocimiento, los estudiantes de ingeniería en particular se encontraban muy insatisfechos con la calidad de la enseñanza que recibían en la universidad, ya que en su estudio monumental, el cual desarrolló con la participación de casi 25,000 estudiantes en más de 300 escuelas, Astin encontró que sólo el 43% de los estudiantes de primer año de ingeniería se graduaba, explicando que este fenómeno implicaba un complejo conjunto de factores, entre los que se destacaba principalmente la actitud personal del estudiante y la actitud que éste tenía hacia la ingeniería, lo cual estaba fuertemente relacionada con la interacción que tenía con su entorno educativo.

Flores et al. (2014) con relación a la enseñanza de la ingeniería eléctrica en particular, encontraron mediante un análisis efectuado al plan de estudios de esa carrera, así como la inda-

gación con profesores y estudiantes relacionados con la misma, que existen además algunos factores específicos que pueden dar origen a diversos obstáculos didácticos durante ese proceso educativo en particular, destacándose los siguientes:

- Cuando hay asignaturas que incorporan conceptos abstractos o complejos, los cuales, al tratar de ser enseñados mediante los métodos tradicionales, presentan alguna dificultad para el profesor al intentar explicarlos; como ejemplo de esto señalan el caso de lo que ocurre cuando un profesor hacer la representación de un átomo en el pizarrón o un esquema eléctrico (ver figura 9), para después tratar de explicar un concepto de mayor complejidad como el enlace químico, enfrentándose al reto de que a través de un dibujo en dos dimensiones está tratando de explicar lo que en realidad sucede en un mundo tridimensional; lo mismo ocurre cuando se trata de enseñar el concepto de la corriente eléctrica, el voltaje o la resistencia o el del fenómeno de inducción magnética; conceptos para los que por más esfuerzos que realice el profesor sirviéndose del pizarrón, estos quedan limitados a un dibujo y si se es afortunado logre ser entendido por los estudiantes.

Figura 9. Profesor enseñando el efecto electromagnético en una aula tradicional



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial

- Existen asignaturas en las que se requieren representar máquinas o procesos productivos reales y para ello se echa mano o bien de un dibujo en el pizarrón o bien de un esquema impreso o fotocopiado de algún libro de texto, lo cual no representa en primer lugar el contexto real en que dicha máquina o sistema operan, así como tampoco las dimensiones o materiales de que está hecho y por supuesto que tampoco proporciona detalles específicos en materia de elementos de ensamble o composición de los mismo, lo que contribuye nuevamente al surgimiento de obstáculos didácticos.

Flores et al. (2014) también enlistan otros factores específicos, que pueden dar origen a obstáculos didácticos, los cuales surgen cuando se presenta una o varias de las siguientes situaciones que se plantean:

- Durante el proceso de enseñanza aprendizaje existen situaciones que ponen en riesgo la integridad de los estudiantes. Para el caso de esta investigación se considera que los estudiantes de ingeniería eléctrica durante su formación profesional se enfrentan a escenarios que al no ser manejados con las medidas de seguridad necesarias pueden ocasionar un accidente eléctrico; el cual en el menor de los casos sólo le producirá al estudiante un malestar instantáneo, pero que en el peor de ellos puede llevarlo a la muerte. Para ejemplificar lo anterior se considera el hecho que se presenta cuando un grupo de estudiantes tienen que visitar una subestación eléctrica, sistema que en condiciones normales de operación puede tener voltajes que están en el rango de los 13.8 kV a los 500 kV, lo que hace que los estudiantes se vean obligados a mantenerse a una distancia de seguridad de los equipos energizados, ya que cuando dicha distancia se llegara a cruzar un accidente grave podría ocurrir.
- Los obstáculos didácticos también pueden ocurrir cuando los estudiantes requieren de visitas industriales a lugares específicos del sector eléctrico, como por ejemplo, una visita a una planta generadora de electricidad con el fin de conocer cómo se produce la energía eléctrica, en cuyo caso los estudiantes que la visitan están limitados a participar como meros observadores del proceso, sin tener la posibilidad de manipular ningún sistema o equipo de los que la integran, pese a esto, este tipo de visitas no están libres de riesgos, y no son pocos los ca-

sos donde algún estudiante ha sufrido algún accidente durante las mismas.

- Los obstáculos también aparecen cuando los estudiantes requieren conocer la fabricación de algún equipo o material específico relacionado con su formación profesional, (ver figura 10). Dentro de esta categoría caen las visitas industriales destinadas a conocer las plantas de manufactura, por ejemplo, las visitas que se realizan para que los estudiantes conozcan los procesos de fabricación de algún equipo o material eléctricos en particular, pero que al igual que las visitas del inciso anterior, son llevadas a cabo solamente con la finalidad de conocer el proceso, sin poder interactuar dentro del mismo.

Figura 10. Estudiantes en una visita industrial a una fábrica de equipo eléctrico



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial

Considerando lo anterior Flores et al. (2014) proponen lo contenido en la tabla 5, en la cual se muestra las relaciones que ellos encontraron entre las asignaturas del plan de estudios de ingeniería eléctrica, con las características que tiene las asignaturas que lo conforman; características que podrían derivar en obstáculos didácticos durante el proceso de enseñanza aprendizaje, en dicha tabla se observan cinco categorías, que en principio se presentan en la ingeniería eléctrica, pero que también podrían ser características de cualquier otra ingeniería, con lo que se abre la posibilidad de trasladar su investigación a otras ramas del conocimiento.

De lo anterior se tiene que los obstáculos didácticos que se pueden presentar en algunas asignaturas del plan de estudios, en conjunto con otros obstáculos como los epistemológicos, cognitivos u ontogénicos, pueden impedir que el estudiante logre construir su conocimiento, sin embargo, son los obstáculos didácticos en los que más influencia se puede tener al utilizar la tecnología de Realidad Virtual Inmersiva propuesta en esta investigación.

Tabla 5. Resultado del análisis al plan de estudios de Ingeniería Eléctrica.

Características de la asignatura Categoría de la asignatura	Conceptos abstractos	Genera situaciones de riesgo	Requiere modelos para representar la realidad	Requiere visitas industriales	Requiere conocer equipo en campo
Matemática	•		•		
Química	•	•	•		

Características de la asignatura Categoría de la asignatura	Conceptos abstractos	Genera situaciones de riesgo	Requiere modelos para representar la realidad	Requiere visitas industriales	Requiere conocer equipo en campo
Física	•		•		
Computación	•				
Humanidades			•		
Economía			•		
Administración			•		
Circuitos eléctricos		•	•		•
Electrónica		•	•		•
Estructura de los materiales			•		
Conversión de la energía		•	•	•	•
Instalaciones eléctricas		•	•	•	•
Equipo eléctrico		•	•	•	•
Fuentes de generación		•	•	•	•
Líneas y redes de distribución		•	•	•	•
Protecciones eléctricas		•	•	•	•
Maquinas eléctricas		•	•	•	•
Sistemas de tracción		•	•	•	•
Sistemas de iluminación		•	•	•	•
Altas tensiones		•	•	•	•

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los diferentes obstáculos didácticos existentes, estos se pueden clasificar en dos grandes categorías, teniendo por

un lado los que son ocasionados por el profesor y por el otro los que son ocasionados por los recursos didácticos que se utilizan durante el proceso de enseñanza aprendizaje, estas dos categorías de obstáculos didácticos se resumen en la tabla 6.

Tabla 6. Obstáculos didácticos durante el proceso de enseñanza.

¿QUIÉN LO OCASIONA?	¿POR QUÉ LO OCASIONA?
EL PROFESOR	<p>Por la metodología o didáctica de enseñanza utilizada en una asignatura</p> <p>Por el uso de modelos intuitivos que crean falsas concepciones.</p> <p>Por los problemas empleados para ejemplificar conceptos.</p> <p>Por el abuso de analogías y aproximaciones parciales.</p>
OBSTÁCULOS DIDÁCTICOS	<p>Imágenes inadecuadas de los libros de texto: El dibujo no es un reflejo real de lo que se quiere representar.</p> <p>El dibujo no refleja el carácter dinámico que tiene un objeto en la realidad.</p> <p>El dibujo no muestra la relación que tiene un objeto con otros elementos de su entorno.</p> <p>Por las diferencias entre el lenguaje cotidiano usado por el estudiante y el Lenguaje de alguna especialidad:</p> <p>Cuando los experimentos en el aula no son posibles.</p> <p>Cuando en una asignatura se tienen que enseñar en el pizarrón:</p> <p>Conceptos de naturaleza abstracta o compleja.</p> <p>Ejemplificaciones de máquinas o contextos reales de una situación en ingeniería</p>

Fuente: Elaboración propia

Continuando con la investigación fue necesario considerar otro factor que podría influir para que un estudiante no logrará hacerse de los conocimientos exitosamente, se trata de su *estilo de aprendizaje*, es decir qué método o estrategia utiliza principalmente para aprender, para lograrlo fue necesario en primer lugar considerar la relación que tienen los obstáculos didácticos descritos anteriormente, con los estilos de aprendizaje más comunes que presentan los estudiantes de ingeniería, con la finalidad de poder integrar dentro del análisis los dos elementos anteriores, por lo que para esta investigación se requirió incorporar un factor más *los principales canales sensoriales que utilizan los estudiantes para aprender*, considerando a dichos canales sensoriales como elementos claves para lograr el aprendizaje, dentro de los canales sensoriales se tienen el visual, auditivo, táctil, olfativo, gustativo, y es a través de la interacción y estimulación de ellos que la tecnología de realidad virtual adquiere sentido (Burdea, 1993), el resumen de lo encontrado en este análisis se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Relación de los estilos de aprendizaje, los canales sensoriales y los obstáculos didácticos.

Estilo de aprendizaje	Canal sensorial utilizado	Obstáculos didácticos
Visual	Visual	Imágenes inadecuadas en los libros de texto. Ejemplificación de maquinaria o equipo, a través de figuras.
Auditivo	Auditivo	Transferencia hablada del lenguaje común al de especialidad o científico

Estilo de aprendizaje	Canal sensorial utilizado	Obstáculos didácticos
Kinestésico	Táctil	No es posible la experimentación. Existen situaciones de riesgo para el estudiante. Se ponen en riesgo maquinaria o equipo si se usa de manera inadecuada.

Fuente: Elaboración propia

De lo reportado en la tabla anterior se puede observar que los canales sensoriales de los estudiantes están íntimamente relacionados con su estilo de aprendizaje, y si esta relación no es tomada en cuenta cuando se imparten las clases, como sucede comúnmente los métodos tradicionales de enseñanza usados en los salones de clases, se podrían estar generando de manera inconsciente múltiples obstáculos didácticos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.

b) Uso de la fase cognitiva de la TCC

Astin (citado por Sulbaran & Baker, 2000) encontró un factor más que es de suma importancia para esta investigación, el hecho de que aunque la mayoría de los estudiantes de ingeniería usan el estilo de aprendizaje kinestésico o visual, los entornos educativos históricamente han estado llenos de prácticas verbales principalmente, ya que en la mayoría de las clases que son impartidas en las universidades se presentan muy poca información visual y muchas veces no se realizan las suficientes actividades prácticas, lo que ocasiona que los estudiantes sin importar su es-

tilo de aprendizaje, utilicen principalmente su sentido auditivo para escuchar las clases que dictan sus profesores, ya que la gran mayoría de sus clases casi siempre son impartidas a manera de conferencia y a partir de las explicaciones o reales dadas, deben construir su conocimiento sobre un tema específico; en los salones de clases también es común encontrar otra práctica que se repite a lo largo del tiempo, la cual se centra casi siempre en copiar lo escrito en el pizarrón, para tratar de estudiarlo posteriormente fuera de clases, para lo cual los estudiantes se auxilian de la lectura de libros de texto y otros documentos como apuntes o copias obtenidas de las notas de otros compañeros. Los factores anteriores generan que muchos estudiantes no vean cubiertos satisfactoriamente sus estilos de aprendizajes, lo cual ha sido reportado en múltiples investigaciones, donde se destaca que a pesar de que un gran porcentaje de los estudiantes de ingeniería son aprendices kinestésico-visuales, estos no obtienen en el salón de clase la información necesaria mediante los canales sensoriales adecuados, con lo que nos es posible satisfacer su estilo de aprendizaje, lo cual por consiguiente inhibe el proceso de enseñanza aprendizaje (Ocampo et al., 2014).

Otro autor que tuvo hallazgos similares a los reportados anteriormente fue Sampaio (2012) concordando con lo que describía Astin, señalando que los métodos tradicionales de educación responden solamente a las necesidades de algunos estudiantes en algunos temas específicos, pero que en la mayoría de los casos no ofrecían un aprendizaje adecuado. Indicaba además que existía una tecnología (refiriéndose a la realidad virtual), que podría ayudar a vencer algunos de los obstáculos principales que se pre-

sentaban en el salón de clases, ofreciendo además la oportunidad de proporcionar educación técnica de una forma que no era posible hacerlo a través de los métodos tradicionales, ampliando con ello la gama de herramientas disponibles para los profesores, con el fin de lograr llegar a más estudiantes y más asignaturas. Sampaio (2012) sugiere además que, para utilizar la realidad virtual de manera óptima y eficaz, era necesario no sólo producir y entregar simulaciones educativas basadas en dicha tecnología, sino también estudiar los diferentes mecanismos por los cuales la información puede ser entregada y la efectividad que esta tiene.

Por otra parte Roussou (citado por Lee et al. 2009), señalaba con relación al uso de la realidad virtual en la educación que ésta se estaba convirtiendo en un medio muy adecuado y poderoso para el aprendizaje en la escuela, en especial en aquellas áreas como la enseñanza de la ciencia y de las matemáticas, las cuales implican el estudio de los fenómenos naturales y conceptos abstractos, destacando que diversas investigaciones había demostrado una serie de resultados positivos de aprendizaje, cuando se examinaban los resultados una vez que se había aplicado dicha tecnología como herramienta de apoyo para el aprendizaje. Entre los hallazgos encontrados por Roussou se incluyen un efecto positivo cuando se usó la RV para el aprendizaje de los estudiantes en temas como la geometría, las ciencias de la tierra y los sistemas de capacitación utilizados para adiestrar a pilotos y astronautas en materia de navegación de aeronaves. Otras investigaciones también han demostrado que los estudiantes disfrutaban más de la enseñanza cuando se usan sistemas de realidad virtual, que

cuando se hace a través de los métodos tradicionales, ya que a diferencias de estos últimos esta tecnología ofrece la oportunidad de visualizar, explorar, manipular e interactuar con los objetos dentro de un entorno generado por computadora, lo que permite el descubrimiento y el aprendizaje al ritmo de los estudiantes. Sin embargo, aunque la realidad virtual es una herramienta educativa que puede utilizarse para apoyar el aprendizaje, logrando atender la mayoría de los estilos de aprendizaje, esta podría no funcionar para todos los estudiantes, ya que el uso de la tecnología 3D, podría como señalan Hwang & Peli (2014), causar diversos síntomas como la fatiga visual, visión borrosa, visión doble y mareo por el movimiento.

Por otra parte Maynard et al. (2012), agregan un factor más que podría generar obstáculos didácticos durante la formación de ingenieros, el cual se adiciona a los ya descritos con anterioridad, el hecho de que los ingenieros necesitan una gran cantidad de formación práctica, formación que algunas veces solamente es proporcionada a través del poco contacto que tienen con la industria real en su época de estudiantes y los procesos productivos; formación práctica que se ve limitada aún más cuando los administradores de las empresas visualizan las posibles demandas a las que una empresa se enfrentaría si un estudiante se accidenta durante una visita industrial, lo cual aunado a los altos costos que implica desplazar a los estudiantes de su centro educativo a la planta industrial y la logística necesaria para que esta actividad se lleve a cabo, vuelven infructuosos los esfuerzos que se hacen por parte de los administradores de las plantas industriales y del personal de las instituciones de educación superior en su búsqueda

da de proporcionar a los estudiantes de ingeniería experiencias prácticas dentro de las instalaciones industriales. Por su parte Maynard et al. (2012) describen otro factor de gran importancia que incide sobre las posibilidades de brindar formación práctica a los estudiantes y este tiene que ver con los largos plazos involucrados en la realización de los proyectos de gran tamaño en ingeniería, ya sea que se trate de una estructura, un sistema, una red o un proceso; lo que representa que los estudiantes en una visita industrial visualicen solamente una pequeña instantánea de todo el ciclo de vida del proyecto, perdiéndose con ello la oportunidad de tener contacto real con los sistemas de ingeniería, quedando su conocimiento restringido en el mejor de los casos a la teoría que obtuvo en el salón de clases y a la poca información que le aportó la visita industrial. Todo lo anterior hace que involucrar a los estudiantes de manera efectiva en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto de ingeniería resulte extremadamente difícil de realizar en los entornos educativos tradicionales, por lo tanto es necesario dotar a los profesores de ingeniería con nuevas estrategias didácticas que les permitan involucrar a sus estudiantes con las etapas del ciclo de vida de un proyecto, contextualizando el diseño y las operaciones que se deben realizar para llevarlo a cabo, permitiéndoles a su vez comprender las interacciones más importantes que existen en todos los niveles de un proyecto de ingeniería. Los estudiantes por su parte necesitan además entender el proceso de toma de decisiones que acompañan al ciclo de vida de un proyecto, aunado a las condiciones socioambientales claves en las que este proyecto se da.

Continuando con la investigación y una vez considerando todo lo anterior, se realizó un diagnóstico que permitió determinar los estilos de aprendizaje que tienen los estudiantes de ingeniería, estilos que al no ser cubiertos podrían también obstaculizar el aprendizaje, por lo que para determinar los principales estilos fue necesario utilizar para ello un instrumento de evaluación validado.

Diagnóstico de los principales Estilos de Aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería.

Como se mencionó con anterioridad, para Felder et al. (2000), los estudiantes de ingeniería y de cualquier otra disciplina aprenden de muchas y muy diversas formas, como contraparte los métodos de enseñanza que utilizan sus profesores también son diversos, algunos dictan su clase como si se tratara de una conferencia magistral, mientras otros lo hacen a través de discusiones o demostraciones, algunos profesores más se centran en las leyes que rigen el conocimiento y otros en las aplicaciones prácticas de dichas leyes; mientras otros profesores enfatizan en el proceso de memorización y otros en el de comprensión; lo anterior hace que la cantidad de información que un estudiante recibe, procesa y asimila en una clase, no se rija solamente por su capacidad innata de aprender, ni por la preparación previa que estos tengan, sino más bien que esto sea definido por la compatibilidad de su estilo de aprendizaje con el estilo de enseñanza del profesor. Lo anterior muestra que deben existir coincidencias entre los estilos de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería y los estilos de enseñanza de sus profesores, buscando lograr concordancias entre

la manera cómo los estudiantes aprenden y cómo los profesores enseñan, es por tanto necesario utilizar modelos de enseñanza que hayan sido desarrollados para definir de manera integral los estilos de aprendizaje de cada persona, entendiéndose éstos como la forma en la que una persona aprende, es decir, en cómo adquiere los conocimientos o destrezas; al respecto Camarena (2006), señala que:

...es importante que el profesor tenga conocimiento de los diversos elementos psicológicos de sus estudiantes, destacando de entre ellos el saber cómo aprenden, ya que existen factores como los estilos de aprendizaje, que se relacionan con los canales por los que ellos aprenden. (p. 32)

En este sentido se tiene que un estilo de aprendizaje se refiere a cómo la persona interpreta, distingue, procesa y comprende la información y su contexto, en esta investigación se utiliza el modelo de estilos de aprendizaje desarrollado por Neil Fleming y Colleen Mills denominado Modelo VARK (acrónimo por sus siglas en inglés de Visual, Aural, Read/Write, and Kinesthetic), el cual define a los:

- a. **Estudiantes visuales:** son aquellos que prefieren la representación de la información en forma de mapas, árboles, cuadros, gráficos, diagramas de flujo, organigramas y todos aquellos recursos simbólicos como son las flechas, círculos, jerarquías, entre otros, que son utilizados por los profesores para representar lo que podría haberse representado con palabras.

- b. Estudiantes auditivos:** este modo de aprender describe una preferencia en los estudiantes por la información que es “escuchada o hablada”. Los estudiantes que prefieren este estilo dicen que aprenden mejor asistiendo a conferencias, en tutorías, con cintas o CD, grupos de debate, conversando o discutiendo los temas en profundidad. Incluye el hablar en voz alta o hablar con uno mismo. La gente con esta preferencia a menudo prefiere resolver las cosas hablando en lugar de resolver las cosas y entonces hablar.
- c. Estudiantes con preferencias de lecto-escritura:** esta categoría se refiere a la preferencia por la información mostrada en forma de palabras. Como es lógico, muchos académicos tienen una fuerte preferencia por esta modalidad. Esta preferencia se centra en la información presentada en forma de texto en cualquiera de sus formas. La gente que prefiere esta modalidad suele utilizar ampliamente las presentaciones en PowerPoint, el internet, las listas de distribución, los organizadores personales, diccionarios, citas y palabras escritas.
- d. Estudiantes kinestésicos o estudiantes táctiles:** Por definición, esta modalidad se refiere a la “preferencia perceptual relacionada con el uso de la experiencia y la práctica (ya sea simulada o real).” Aunque esta experiencia como señala Fleming & Mills (1992) puede evocar otras

modalidades, la clave es que los estudiantes que prefieren esta modalidad están conectados con la realidad, “ya sea por medio de experiencias personales concretas, ejemplos, prácticas o simulaciones”. Incluye demostraciones, simulaciones, vídeos y películas de cosas “reales”, así como casos prácticos, ejercicios y aplicaciones.

Con el fin de conocer los principales estilos de aprendizaje de los estudiantes, esta etapa de la investigación se analizaron los resultados obtenidos a través de la aplicación del instrumento de recolección de información que es en este caso fue cuestionario VARK® (The VARK Questionnaire™ por su nombre en inglés), mismo que está integrado por 16 preguntas que permiten conocer el estilo de aprendizaje preferido por los estudiantes, en el cual el estudiante puede responder a una o más opciones, o dejar en blanco alguna pregunta si considera que esta no cumple con sus preferencias, para ello este instrumento fue aplicado a un universo de 250 estudiantes del programa de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional y para realizar la evaluación de los resultados de cada cuestionario se utilizó el procedimiento siguiente, en primer lugar se debió considerar que a cada pregunta le corresponden tres posibles valores, a saber: *cero*, cuando no se seleccionó ninguna opción; *uno*, cuando se seleccionó una opción y *uno, uno*, cuando fueron seleccionadas dos opciones, lo anterior se ejemplifica en la tabla 8.

Tabla 8. Valoración del cuestionario VARK.

Pregunta	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D	Valor
1					0
2		x			1
3	x	x			1,1

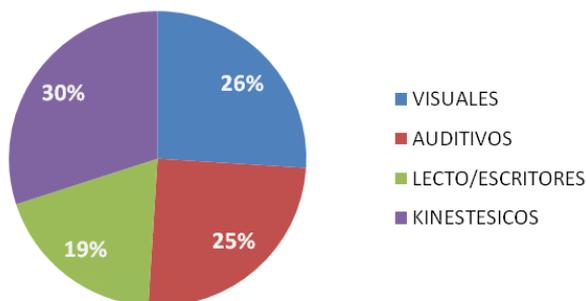
Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa lo siguiente, cuando, por ejemplo, la pregunta 1 se dejó sin seleccionar ninguna opción posible, eso ocasionó que a dicha pregunta no se les asignará ningún valor a los cuatro estilos de aprendizaje de dicha pregunta. Después en la pregunta 2 tenemos el caso en el que fue seleccionada la opción correspondiente a la categoría B, la cual en el cuestionario equivale a la categoría de los estudiantes *auditivos*, es decir que se acumula un punto para esta categoría y finalmente se tiene la pregunta 3 en la cual fueron seleccionadas dos categorías la A y la B, lo que representa en el cuestionario VARK, a los estudiantes *kinestésicos* y a los *auditivos*, con lo que la categoría de los *kinestésicos* acumula uno, mientras que las de los *auditivos* acumula 2, esto ocurre con todas las preguntas del instrumento, con lo cual la categoría que más acumulo puntos es la categoría predominante del estudiante en cuestión.

De la aplicación de la evaluación a los 250 estudiantes de ingeniería eléctrica se obtuvieron resultados donde se destaca que

es el estilo de aprendizaje *kinestésico* el que los estudiantes de ingeniería utilizan de forma predominante para aprender de la información que se genera en su entorno (Leite et al., 2010), seguido posteriormente del estilo de aprendizaje *visual*, después el *auditivo* y por último el estilo *lecto-escritor*. Los resultados completos de la aplicación del instrumento VARK son mostrados en la figura 11 de forma sintetizada:

Figura 11. Estilos de Aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica



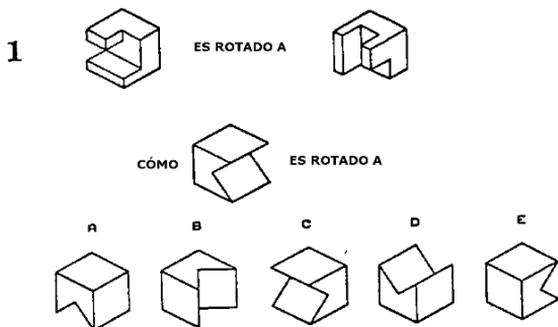
Fuente: Elaboración propia

La gráfica anterior con su correspondiente correlación, concuerda con los resultados obtenidos en el pasado por Ocampo et al. (2014), por lo que se puede afirmar que los estudiantes de ingeniería tienen preferencia por el uso de la experiencia y la práctica, aunque esta experiencia como señala Fleming & Mills (1992) puede ser proporcionada también a través de experiencias personales concretas, ejemplos, prácticas o simulaciones, o tam-

bién por el contacto con la industria y los procesos productivos reales, lo cual como ya se había mencionado con anterioridad no siempre es posible.

De los resultados obtenidos a través del estudio realizado, se pudieron determinar los principales estilos de aprendizajes de los estudiantes de ingeniería eléctrica, donde se destaca también que una gran parte de los estudiantes de ingeniería tienen la necesidad de crear su conocimiento mediante la capacidad que tienen de visualización espacial, lo que sustenta aún más el uso de la realidad virtual dentro del proceso de enseñanza, lo que permite que la Teoría de las Ciencias en Contexto vuelva a demostrar su potencial como metodología sistémica, ya que es mediante la fase cognitiva de ésta que se determina la importancia que tiene el conocer el estado actual de los estudiantes para enfrentar una tarea nueva, como es el caso de esta investigación en donde se utilizó a la realidad virtual, como tecnología para enfrentar los obstáculos didácticos que surgen durante la formación de los estudiantes de ingeniería. Como parte de justificar aún más sólidamente desde el punto de vista científico el uso de la realidad virtual en la enseñanza de la ingeniería se aplicó a estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica una prueba más, la Prueba de Visualización Espacial (PSVT–Purdue Spatial Visualization Test, por su nombre en inglés) desarrollada por Guay (Bodner & Guay, 1997), la cual permitió medir a través de 30 ítems, la habilidad que tiene los estudiantes para poder visualizar a nivel mental rotaciones de objetos tridimensionales, dicha prueba está integrada por ítems de complejidad creciente, cuya resolución requiere trabajar con figuras tridimensionales a nivel mental efectuando una o más rotaciones con ellas, como se observa en el ejemplo de la figura 12.

Figura 12. Pregunta número uno de la Prueba de Visualización Espacial.



Fuente: Bodner & Guay (1997)

Esta prueba se aplicó a un total de 147 estudiantes de diferentes semestres de la carrera de ingeniería eléctrica (ver figura 13), obteniéndose los resultados que se describen a continuación.

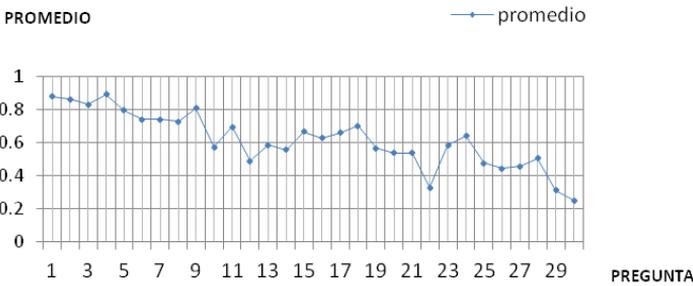
Figura 13. Aplicación de la Prueba de Visualización Espacial a estudiantes de ingeniería eléctrica



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 14. se obtiene el comportamiento general de los estudiantes a los que les fue aplicada la prueba VARK, en el eje de las ordenadas se muestra el valor promedio obtenido en cada pregunta, donde uno (valor máximo) se presentaría cuando el 100% de los estudiantes respondiera correctamente la pregunta en cuestión y 0 (cero) representaría que ningún estudiante habría contestado correctamente la pregunta, mientras el eje de las abscisas corresponde al número de la pregunta De lo anterior se concluye que solo el 62% de los estudiantes obtuvieron una calificación superior a seis, lo que denota que la mayoría de los estudiantes de ingeniería eléctrica evaluados, tiene problemas para manipular objetos tridimensionales a nivel mental, lo cual puede también representar un obstáculo didáctico.

Figura 14. Resultados Globales de la Prueba de Visualización Espacial



Fuente: Elaboración propia

Continuando con la implementación de la metodología sistémica se procedió entonces a planear los medios (en este caso la realidad virtual), con los que se lograrían cumplir los objetivos planteados al inicio de la investigación.

Planeación de los medios

Utilizando la metodología de planeación interactiva (Ackoff, 1998) se definieron a los medios como aquellos *recursos que produce el resultado deseado o que permite aproximarse a él*, para el caso de esta investigación el medio utilizado para lograrlo vencer los obstáculos didácticos presentes en la formación de los estudiantes es la tecnología de realidad virtual, la cual una vez que es aplicada dentro del entorno educativo permite que los estudiantes se hagan del conocimiento.

La realidad virtual como medio para afrontar obstáculos didácticos

Continuando con la aplicación de la metodología propuesta, el siguiente paso fue efectuar un análisis para determinar si la tecnología de realidad virtual podría ser utilizada como un medio para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación, ya que como se mostró a través de la información obtenida anteriormente, esta tecnología es compatible con la mayor parte de los estilos de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería, logrando proveer información a través de tres de los canales sensoriales: la vista, el oído y el tacto (Ariyakul et al., 2013).

Por lo anterior fue necesario conocer en primer lugar como es utilizada actualmente la realidad virtual, encontrándose que esta se usa y aplica en diversos campos del conocimiento humano, dentro de los que destacan los siguientes:

Aplicaciones militares:

- Simuladores de vuelo.
- Simuladores de campos de batalla.
- Entrenamiento médico.
- Simulación de Vehículos.
- Campo virtual de entrenamiento.

Aplicaciones médicas (Kalorama Healthcare reports, 2011):

- Simulación de cirugías.
- Tratamiento de fobias.
- Cirugía asistida por robots.
- Formación profesional.

Aplicaciones de visualización científica (Leng, 2001):

- Procesamiento de datos a gran escala.
- Visualización a través de foto realismo o de videos 3D.
- Interfaces hombres-computadora.

- Expresión mediante modelos de conceptos científicos.

Aplicaciones en la ingeniería (Talaba y Amditis, 2008):

- Diseño de productos en 3D
- Modelado de productos en 3D
- Creación y prueba de prototipos virtuales en 3D
- Visualización en 3D

Para sintetizar las aplicaciones actuales de la realidad virtual se muestra un esquema en la figura 15 el cual resume cuatro categorías principales en las que se puede clasificar.

Figura 15. Principales usos de la realidad virtual.



Fuente: Elaboración propia

Del análisis anterior se encontró también que los sistemas de realidad virtual que pueden ser aplicados en particular a la edu-

cación, pueden ser clasificados en tres grandes categorías, tomando como base para dicha clasificación los niveles de interacción y de inmersión que estos proporcionan a los estudiantes (Fällman et al., 1999; Ai-Lim y Wai, 2008):

1. El primero de ellos es la realidad virtual de escritorio, o *no inmersiva*, la cual es la forma más común y menos costosa de esta tecnología que existe, por lo general está conformada simplemente por una computadora de escritorio con características comunes, capaz de reproducir contenidos multimedia o simulaciones que se pueden explorar utilizando el teclado, el mouse, un joystick o una pantalla táctil. Esta forma de realidad virtual carece por completo de sensaciones de inmersión para los estudiantes.
2. En segundo lugar, están los sistemas de realidad virtual *semi-inmersivos*, los cuales intenta proporcionar a los estudiantes una sensación de estar inmersos ligeramente en un entorno virtual, este efecto se obtiene generalmente mediante el uso de diferentes tipos de software y a través de pantallas tridimensionales de gran tamaño conocidas como Powerwall.
3. El tercer tipo de realidad virtual y sin duda el más importante es el que se conoce como de *inmersión total*, estos sistemas normalmente están constituido por un par de pantallas de visualización tridimensional integradas a un casco que es montado sobre la cabeza del usuario, lo que permiten que éste se encuentre completamente ais-

lado del mundo físico exterior, dentro de esta categoría caen también las llamadas Cuevas de realidad virtual, las cuales son salas en la que en las paredes que rodean al usuario tiene la capacidad de proyectar imágenes tridimensionales, lo que permite ofrecer una sensación de inmersión total; en todos los ambientes de realidad virtual inmersivos es necesario algún tipo de hardware especial para poder interactuar con el entorno, como son los guantes, trajes y sistemas informáticos. La realidad virtual totalmente inmersiva es considerada la mejor opción para transmitir información multisensorial, por su capacidad de aislar casi por completo la interferencia que pudiera proveer el mundo exterior, permitiendo de este modo que el usuario se enfoque por completo en la información que le proporciona el entorno virtual y se olvide de lo que ocurre en el exterior.

Aunque no pertenezca a ninguna de las categorías anteriores, la *Realidad Aumentada* también es considerada como parte de la realidad virtual, esta tecnología consiste en un sistema en el que los usuarios pueden tener acceso a una combinación entre simulaciones hechas por computadora y objetos del mundo real dentro de un escenario del mundo real, a esta tecnología se le conoce también como realidad mezclada, siendo una de las tecnologías más utilizadas en este momento dentro del ámbito educativo, por su facilidad de implementación y la gran cantidad de teléfonos celulares que proliferan en los entornos educativos actuales, lo que facilita su implementación.

Continuando con la aplicación de la metodología sistémica diseñada, a continuación, se desarrolla lo relacionado con la planeación de los recursos.

Planeación de los recursos

Tomando como base la Metodología de Planeación Interactiva (Ackoff, 1998), se desarrolla la etapa de planeación de los recursos, iniciando con la planeación de los recursos humanos

Recurso humanos

Los recursos humanos involucrados para la implementación de esta metodología son los siguientes:

- *Estudiantes:* es necesario acotar claramente hacia quien está destinado el sistema de realidad virtual ya que, aunque al interior de la ESIME Zacatenco existe un universo de casi 10,000 estudiantes, estos están divididos en cuatro carreras de las cuales la que resulta de interés en esta investigación es la de ingeniería eléctrica y dentro de esta carrera, solo los estudiantes de algunos de los semestres que se encuentran cursando o han cursado asignaturas donde se enseñe el tema seleccionado, para nuestro caso el transformador eléctrico.
- *Profesores:* En este caso si bien los profesores no necesariamente son los encargados de diseñar los materiales

que se van a utilizar en el sistema de realidad virtual, si son los expertos que contribuirán con su experiencia para el desarrollo y aplicación en el tema donde se estudie el transformador eléctrico.

- *Personal directivo*: Las autoridades escolares son muy importantes para la realización de esta investigación, ya que al no contar con su apoyo no sería posible intervenir en los procesos de enseñanza aprendizaje, en la etapa experimental de la investigación.

Recursos materiales

De acuerdo con Fowler et al. (2012), para diseñar el sistema de realidad virtual que van a ser utilizado en una aplicación educativa, se debe considerar que las principales características del sistema para su implementación están basadas en el hecho de que el sistema debe tener un costo relativamente accesible para las institución educativa, además de que dicho sistema debe ser también fácil de configurar y mantener, teniendo la capacidad de ser instalado en un espacio reducido, como lo sería un salón de clase o una sala de videoconferencias, sin que por esto los usuarios pierda el campo de visión, ni el efecto inmersivo que proporciona los sistemas de realidad virtual; otro factor que tiene que ser considerado, es el hecho de que el sistema también debe permitir un cierto grado de movilidad a los usuarios pese a la limitación del espacio físico de un salón de clases, por lo que el sistema debe tener la posibilidad de ser reconfigurado fácilmente, con lo que al determinar la infraestructura necesaria para implementar el

sistema de realidad virtual que se utilizará durante la fases experimental de esta investigación se consideró que éste debía estar integrado por al menos los siguientes subsistemas.

Sistema de proyección-visualización estereoscópica

En la búsqueda de un sistema de proyección que resultará adecuado en cuanto a costos y rendimiento, en esta investigación se analizaron detalladamente dos alternativas, las cuales se describen a continuación:

Sistema de proyección estereoscópica de gran formato. Para iniciar la etapa de prueba de este sistema, inicialmente y con apoyo del personal de laboratorio de óptica de la ESIME Zacatenco se realizaron diversos experimentos con los equipos de proyección que se tenían disponibles, (ver la figura 16 y 17), buscando que el área de proyección fuese lo más grande posible sin tener que variar la distancia a la que estaban ubicados dichos equipos, reduciendo lo menos posible el área destinada a los estudiantes; después de varias pruebas en el laboratorio se determinó que no era posible lograrlo con los proyectores que se tenían disponibles, por lo que se concluyó que la única forma posible de lograrlo era variando la distancia a la que los proyectores estaban colocados encontrándose que si estos se colocaban a 3 metros de separación de la superficie de proyección era posible obtener un área de proyección de 3 x 2 metros es decir 6 m², área que podía ser adecuadamente visualizada por el total de los estudiantes de la clase.

Figura 16. Equipo proyección con diversos tipos de lentes.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Prueba del equipo de proyección en el laboratorio de Óptica de la ESIME Zacatenco



Fuente: Elaboración propia.

Otro factor importante en las pruebas que se le realizaron al sistema de proyección, fue la selección de la superficie sobre

la cual se proyectarían las imágenes, para lo cual se realizaron también diferentes análisis de distintos materiales, los cuales consistieron principalmente en enviar imágenes polarizadas a los diferentes tipos de superficies reflejantes, imágenes que deberían inicialmente atravesar un filtro polarizado, para después ser proyectadas sobre la superficie en estudio, para finalmente ser reflejadas y visualizadas por los estudiantes a través de los lentes polarizados que cada uno de ellos llevaría puestos.

Estas pruebas dieron como resultado que no todas las superficies resultan adecuadas para una proyección 3D, ya que por ejemplo las superficies de color blanco como las del pizarrón que se encuentra dentro del salón de clases, a pesar de reflejar la imagen proyectada, no tiene capacidad de reflejar la luz polarizada, por lo que no es posible conseguir el efecto tridimensional fundamental para una proyección estereoscópica (Ben-Ezra, 2000); continuando con la experimentación y después de muchas horas de proyección sobre diferentes materiales, finalmente se llegó a la pantalla que se muestra en la figura 18, la cual está elaborada con una tela plástica que tiene una de sus caras pintada en color plata y que además tiene un costo sumamente accesible (\$1.00 dólar por un metro cuadrado, a valor de enero del 2022), resultando ser el remplazo ideal de las costosas pantallas Silver-screen[®] las cuales por su característica de ser pantallas de proyección profesionales tienen un costo aproximado de \$200.00 USD (a valor de enero 2022), por un lienzo de un tamaño de 3x2 metros, aun que el costo que tiene dicha pantalla no era tan elevado no fue posible conseguirlas.

Figura 18. Pantalla de proyección color plata diseñada para esta investigación.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la pantalla de proyección que cubría los requerimientos establecidos, fue necesario elegir posteriormente entre dos posibilidades de proyección disponibles, proyección frontal o proyección trasera, lo que resultó de suma importancia ya que esto determinaría la ubicación de los equipos de proyección por una parte, y por la otra, el área útil que quedaría disponible en el salón de clases para los estudiantes, una vez realizado el montaje del equipo de proyección; después de analizar ambos sistemas se obtuvo que el de proyección frontal resultaba el más adecuado debido principalmente al hecho de que los recursos financieros que se requerían para su implementación eran menores que la segunda opción, lo anterior a pesar de que la proyección trasera a diferencia de la frontal presentaba la gran ventaja de que en materia de movilidad para los espectadores les permitía moverse frente al espacio de proyección sin bloquear

las imágenes proyectadas, esta ventaja lamentablemente va de la mano del incremento en los costos de los equipos y del montaje necesario para su implementación.

Otro factor importante que tiene que destacarse es el hecho de que para que los sistemas de proyección trasera funcionen se requieren espacios mucho más grandes que los que se requieren para los sistemas de proyección frontal, como ejemplo de lo anterior se tiene que si un sistema de proyección trasera es implementado en un salón de clases de 10 metros de largo por 6 de ancho, el área útil disponible para ubicar a los estudiantes una vez que se instalan los equipos de proyección sería de solo treinta metros cuadrados, debido a que los otros treinta metros cuadrados serían utilizados para el montaje, lo cual no ocurre con la proyección frontal, en cuyo caso solamente se necesitaría dieciocho metros cuadrados para ubicar los proyectores, con lo que se dispondría de un área útil para los estudiantes de cuarenta y dos metros cuadrados.

Después de seleccionar la superficie donde se proyectarían los contenidos estereoscópicos y el lugar donde sería colocados los proyectores, era importante seleccionar el sistema de visualización, para lo cual también se analizaron las posibles alternativas, el *sistema de visualización 3D activo* y el *sistema de visualización 3D pasivo*, para lo cual una vez más fue necesario considerar el factor económico como elemento clave para tomar la decisión de cuál de los dos sistemas se debía utilizar, en análisis arrojo que a pesar de que con la visualización estereoscópica activa se reducen al mínimo número de componentes que integran el sistema de

realidad virtual, el costo de cada componente se eleva, por el uso de lentes especiales, los que no ocurre con los sistemas de proyección pasiva en los cuales los lentes necesarios son de plástico y mica, en la tabla 9 se describen los componentes necesarios para cada uno de los sistemas de proyección descritos.

Tabla 9. Comparación entre los sistemas con polarización pasiva y activa

Sistema de visualización 3D	Número de proyectores	Filtros polarizados	Lentes	Tarjeta gráfica
Pasiva	Dos	Si	De plástico polarizado	Con dos salidas de video
Activa	Uno	No	De Cristal Líquido	Con tecnología 3D Visión de Nvidia® o con tecnología DLP

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior se concluyó que la mejor opción de implementar un sistema de realidad virtual basado en la proyección en gran formato con tecnología de proyección pasiva y donde los proyectores se ubicaran frente a la pantalla resultaba mucho más económica que el sistema opuesto, es decir el que utiliza tecnología 3D activa con proyección trasera. Otro factor a considerar para proponer el sistema de tecnología pasiva y proyección frontal, fue el hecho de que a lo largo de esta investigación se habían adquirido los equipos necesarios para integrar el sistema, el equi-

po disponible utilizado eran dos proyectores marca Sony VPL-EX100, una computadora de escritorio con tarjeta gráfica con doble salida de video, un par filtros de polarización circular, lentes pasivos polarizados circularmente y una pantalla de proyección con acabado superficial en color plata, además de un sensor para interacción Leap Motion® y una videocámara estereoscópica Sony® TD 30, en la tabla 10 se enlista el equipo descrito.

Tabla 10. Elementos que integran el Sistema de RV disponible

CANTIDAD	EQUIPO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
1	Computadora personal		Procesador Intel Core 5@3.4GHz 8GB memoria RAM Tarjeta de Video Nvidia GeForce 640
2	Proyector Sony VPL-EX100		Sistema 3 LCD XGA (1024x768) 100 VCA, 50 Hz /60 Hz
2	Filtros		Polarización circular
30	Lentes		Polarización circular Tipo Real D
1	Pantalla de proyección		Tipo Silver screen Dimensiones 3 x 2 metros

CANTI- DAD	EQUIPO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
1	Rack		De aluminio Con 2 charolas
1	Controlador Leap Motion®		Dispositivo para interactuar con la computadora sin ne- cesidad de teclado o mouse
1	Video Cámara Sony® HDR TD 30		Videocámara estereoscópica de alta definición

Fuente: Elaboración Propia

Dicho equipo una vez integrado conformó el sistema de realidad virtual que se muestra en las siguientes figuras de la 19 a la 21.

Figura 19. Equipo de cómputo generador del entorno de realidad virtual



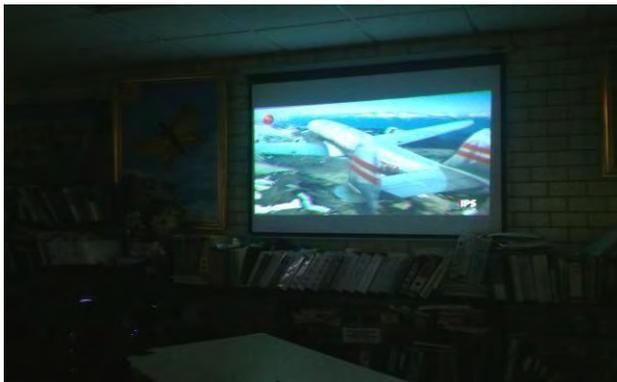
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Sistema de proyección del entorno de realidad virtual



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Proyección estereoscópica en el sistema de realidad virtual



Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el análisis, la segunda alternativa estudiada para seleccionar el sistema de proyección visualización que sería parte del sistema de realidad virtual, hizo que se analiza un segundo sistema, se trata del:

Sistema de Visualización basado en un Casco de Realidad Virtual (Head Mounted Display por su nombre en inglés)

En este sistema el observador dispone de un casco especial montado sobre su cabeza (ver figura 22), este casco está conformado por dos pequeños monitores (uno para cada ojo), en cada monitor es proyectada la imagen que le corresponde a cada uno de los ojo, estas imágenes al ser proyectadas tan cercanas a los ojos del espectador, se perciben como si fuesen de un tamaño mayor que las que se proyectan a través de pantallas normales,

permitiendo al estudiante un amplio campo de visión, con lo que se logra que este se sienta en algunos casos totalmente inmerso en las simulaciones que se le muestran.

Figura 22. Casco de Realidad Virtual



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial

Este sistema al igual que las cuevas de realidad virtual puede considerarse como totalmente inmersivo. Por lo anterior y el hecho de que el costo de implementarlo es solo una fracción del costo de implementar una cueva virtual, es que este sistema ha tomado un gran auge en años recientes, a pesar de que tiene la limitante de que se debe utilizar un casco por cada usuario.

Dentro de los principales sistemas que se encuentran disponibles en la actualidad dentro de esta categoría se pueden mencionar los sistemas que se enlistan a continuación, cuyos costos a mayo del 2022 varían como se muestra en la lista:

- *Sistema Oculus Rift® con un costo aproximado de \$559.00 dólares.*
- *Sistema Sony Morpheus® con un costo aproximado de \$399.99 dólares, este sistema incorpora adicionalmente el sistema de videojuegos PlayStation VR.*
- *Sistema HTC Vive® con un costo de \$799.00 dólares en la misma fecha que los anteriores.*

Existen otros sistemas que caen dentro de la categoría de los cascos de realidad virtual, los cuales a los *teléfonos inteligentes* o *Smartphone* por su nombre en inglés (Smith, 2013), dispositivos que en la actualidad no sólo incorporan funciones de telefonía, sino que ahora cuentan con cámaras y pantallas de alta definición, que permiten la reproducción de videos en alta definición y es ésta característica en particular la que sirve para los sistemas de realidad virtual como el Samsung Gear VR®, el Google Cardboard® y muchos fabricantes independientes; permitiendo que cualquier usuario de algún teléfono pueda tener acceso a la realidad virtual; de entre todas las opciones disponibles en cuanto a cascos de realidad virtual el factor económico fue de suma importancia para la selección del sistema propuesto en esta investigación, por lo que no se consideraron los sistemas de realidad virtual de alto costo, haciéndose énfasis en un sistema económico y fácil de conseguir el sistema Google Cardboard® (ver figura 23).

Figura 23. Casco de Realidad Virtual Cardboard



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial

El sistema Cardboard de Realidad Virtual propuesto por la compañía Google, sigue la premisa de transformar cualquier teléfono inteligente en una plataforma de realidad virtual, con una inversión de menos de \$5 dólares, esto debido a lo económico que resultan los materiales que se utilizan para su fabricación; dicho casco está elaborado con dos lentes biconvexos de plástico y con un trozo de cartón el cual es cortado siguiendo un diseño liberado previamente por Google, es posible montar en él un teléfono inteligente e interactuar con cientos de aplicaciones disponibles en el sitio Googleplay*, teniendo además la posibilidad de crear aplicaciones propias.

En la tabla 11 se describen los elementos que integran un sistema de realidad virtual inmersivo basado en el uso de un casco de realidad virtual Cardboard*.

Tabla 11. Elementos que integran el Sistema de RV basado en un casco de Realidad Virtual

Cantidad	Equipo	Imagen	Descripción
1	Computadora personal		Procesador Intel Core 5@3.4GHz 8GB memoria RAM Tarjeta de Video Nvidia GeForce 640
30	Casco de Realidad Virtual Cardboard®		Dispositivo de cartón plegable recortado y 2 lentes.
1	Controlador Leap Motion®		Dispositivo para interactuar con la computadora sin necesidad de teclado o mouse
1	Video Cámara Sony® HDR TD 30		Videocámara estereoscópica de alta definición

Fuente: Elaboración Propia

Recursos financieros

Para determinar la inversión necesaria para implementar alguno de los dos sistemas de realidad virtual propuestos, fue necesario considerar que cualquiera de los dos sistemas, el de proyección de gran formato utilizando tecnología pasiva con proyección frontal o el que utiliza Google Cardboard® debía poder ser utilizados por al menos treinta estudiantes, que es el número

promedio de estudiantes inscritos en algún grupo de ingeniería eléctrica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, con esta información en mente se analizó cada sistema de manera específica.

- *Proyección de gran formato utilizando proyección frontal.*
En las tablas de la 12 a la 14 se muestran los costos de implementación dólares de tres sistemas distintos de proyección estereoscópica, uno pasivo y dos activos con tecnología de diferentes fabricantes.

Tabla 12. Costo de un sistema de proyección con polarización pasiva

SISTEMA DE PROYECCIÓN 3D PASIVO			
Cantidad	Producto	Precio Unitario	Total
2	Proyectores marca Epson modelo s12 +	USD \$334.00	USD \$668.00
30	Lentes polarizados RealD 3D	USD \$2.00	USD \$60.00
1	Pantalla de proyección 3D tipo Silverscreen®	USD \$5.00	USD \$5.00
1	Tarjeta gráfica Asus GT 420	USD \$50	USD \$50.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$783.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Costo de un sistema de proyección con polarización activa 3D Ready

SISTEMA DE PROYECCIÓN ACTIVO 3D READY			
Cantidad	Producto	Precio Unitario	Total
1	Proyector Viewsonic Pjd7820 3D ready	USD \$721.00	USD \$721.00
30	Lentes inalámbricos Nvidia 3d Vision 2	USD \$141.00	USD \$4,230.00
1	Emisor Nvidia infrarrojo 3D ready	USD \$96.00	USD \$96.00
1	Pantalla de proyección 3D tipo Silverscreen®	USD \$5.00	USD \$5.00
1	Tarjeta gráfica Asus GT 640	USD \$77.00	USD \$77.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$5,129.00

Fuente: Elaboración propia

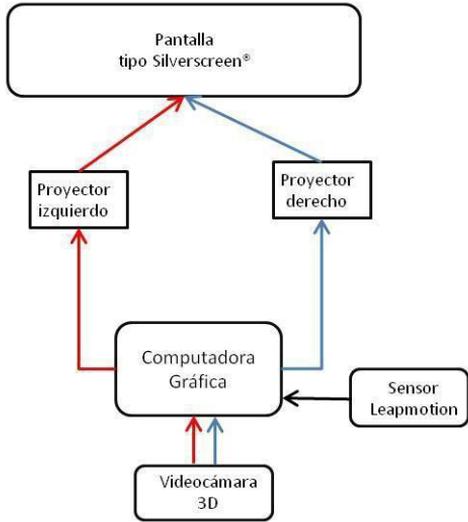
Tabla 14. Costo de un sistema de proyección con polarización con polarización activa DLP

SISTEMA DE PROYECCIÓN ACTIVO DLP			
Canti- dad	Producto	Precio Uni- tario	Total
1	Proyector Benq Ms502 DLP	USD \$721.00	USD \$721.00
30	Lentes inalámbricos Benq DLP	USD \$163.00	USD \$4,890.00
1	Pantalla de proyección 3D tipo Silverscreen®	USD \$6.00	USD \$6.00
1	Tarjeta gráfica Pny Quadro K420	USD \$137.00	USD \$137.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$5,754.00

Fuente: Elaboración propia

Adicional a la inversión que se debe hacer por el sistema seleccionado descrito en las tablas anteriores, para implementar un sistema de visualización estereoscópica pasivo completo (tabla 15), se deben integrar adicionalmente en conjunto con los sistemas de proyección-visualización, los equipos y accesorios que se muestra en el esquema de la figura 24 y que se describen en la tabla 15.

Figura 24. Esquema del sistema de realidad virtual propuesto inicialmente.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Inversión requerida para implementar un sistema de realidad virtual de proyección frontal

CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	Computadora personal	Procesador Intel Core 5@3.4GHz 8GB memoria RAM Tarjeta de Video Nvidia GeForce 640	USD \$723.00
2	Filtros	Polarización circular	USD \$112.00
1	Pantalla de proyección	Tipo Silver screen Dimensiones 3 x 2 metros	USD \$56.00
1	Rack	De aluminio Con 2 charolas	USD \$112.00
1	Controlador Leap Motion	Dispositivo para interactuar con la computadora sin necesidad de teclado o mouse	USD \$100.00
1	Video Cámara Sony HDR TD 30	Videocámara estereoscópica de alta definición	USD \$1,113.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$2,216.00

Fuente: Elaboración propia

Sistema de RV basado en un casco de Realidad Virtual.

Para determinar el tipo de sistema de realidad virtual inmersivo basado en un casco de realidad virtual que sería utilizado, fue necesario analizar el costo de cuatro de los sistemas de este tipo más comunes, el primero es el Oculus Rift[®], el segundo el Samsung Gear[®], y el tercero es el casco de realidad virtual Plástico y el cuarto es el Cardboard[®], obteniéndose los resultados mostrados en las tablas de la 15 a la 18.

Oculus Rift®. Esta alternativa de implementación del sistema de realidad virtual inmersivo, está basada en el uso de un casco de realidad virtual (ver figura 26), este casco es un dispositivo electrónico integrado por una pantalla de alta definición, rastreador de movimiento, giroscopios de 3 ejes, acelerómetros y magnetómetros, que lo hacen capaz rastrear el movimiento y posición del usuario en relación a la tierra y modificar la simulación para que se adapte a estas condiciones.

Figura 26 .Casco de realidad virtual



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial.

Tabla 16. Costo de un sistema de Realidad Virtual basado en Oculus Rift®

SISTEMA DE RV BASADO EN OCULUS RIFT			
Canti- dad	Producto	Precio Unitario	Total
30	Cascos de Realidad Virtual Oculus Rift	USD \$600.00	USD \$18,000.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$18,000.00

Fuente: Elaboración propia. El costo en dólares americanos de este sistema fue de \$18,000.00 USD.

Continuando con el análisis de los cascos de Realidad Virtual, a continuación, se analiza el costo de implementar un sistema basado en el equipo Samsung Gear VR® sistema que surge de la integración tecnológica de Oculus Rift® y un celular Samsung Note 4® el cual es utilizado como pantalla de visualización, además de proporcionar el audio y los sistemas de giroscopios, el celular también permite almacenar y reproducir los contenidos estereoscópicos.

Samsung Gear VR®, esta es una de las alternativas generada para ser utilizadas en conjunto con un teléfono celular de alta gama (ver figura 27), aprovechando las características de que dispone un teléfono inteligente en la actualidad, las cuales le permiten almacenar grandes cantidades de información, reproducir videos en alta definición, ubicar su posición con respecto de la tierra, por mencionar algunas de las características que le permi-

ten reproducir simulaciones de realidad virtual, en la tabla 5.14 se muestra el costo de implementar dicho sistema.

Figura 27. Casco de realidad virtual para celular



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial

Tabla 17. Costo de un sistema de Realidad Virtual basado en un Samsung Gear VR®

SISTEMA DE RV BASADO EN SAMSUNG GEAR			
Canti- dad	Producto	Precio Unitario	Total
30	Cascos de Realidad Virtual Samsung Gear	USD \$89.00	USD \$2,670.00
30	Teléfono Celular Galaxy Note	USD \$ 272.50	USD \$8,175.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$10,845.00

Fuente: Elaboración propia

Existen otros dos tipos de cascos de realidad virtual disponibles, en ambos casos se trata simplemente de carcasas elaboradas con materiales económicos como el plástico o el cartón, en ella se puede colocar un teléfono celular de cualquier fabricante y observar a través de sus dos lentes la imagen correspondiente a cada ojo, dando la sensación de inmersión, estos sistemas son ampliamente utilizados en la actualidad por su bajo costo y porque muchos usuarios ya cuentan con un teléfono celular inteligente, que es fácilmente adaptable al sistema. A continuación, se analiza el costo del primero de los dos sistemas que usan este sistema.

Casco de Realidad Virtual Plástico. Este casco está elaborado de material plástico y cuenta con dos lentes biconvexos, correas para sujetarlo la cabeza y ajuste óptico manual (ver figura 28), a él se le debe integrar un teléfono celular, para fines prácticos se seleccionó uno de marca A&T, aunque pudiese ser cualquiera teléfono celular con una pantalla de más de cuatro o más pulgadas y en este caso sistema operativo Android. El costo de implementar este sistema se muestra en la tabla 18.

Figura 28. Casco de realidad virtual cardboard plástico



Fuente: Imagen generada con inteligencia artificial

Tabla 18. Costo de un sistema de realidad virtual basado en un cardboard plástico

SISTEMA DE RV BASADO EN CASCO PLÁSTICO			
Cantidad	Producto	Precio Unitario	Total
30	Cascos de Realidad Virtual Cardboard Plástico	USD \$22.50	USD \$675.00
30	Teléfono Celular Android de 6.5 pulgadas	USD \$89.00	USD \$2,670.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$3,345.00

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se analiza la alternativa desarrollada por la empresa Google®, la cual consiste en un casco de cartón que dispone únicamente de dos lentes biconvexos y permite colocar un teléfono-

no celular dentro de él, para fines de esta investigación el celular que se propone es el mismo del caso anterior.

En las tablas anteriores se muestran los diferentes costos que tiene algunos de los sistemas de realidad virtual inmersiva, basados en cascos de realidad virtual, como se puede observar dichos costos para el caso 3 se pueden abatir considerablemente si el estudiante que utiliza el sistema ya cuenta con un teléfono celular inteligente. Adicional a lo anterior se tiene que considerar una inversión extra a la que se tiene que hacer por el sistema de visualización, esta inversión es por los equipos y accesorios que se incluyen en la tabla 19.

Tabla 19 Inversión requerida para equipos adicionales

CANTI- DAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	Computadora personal	Procesador Intel Core 5@3.4GHz 8GB memoria RAM Tarjeta de Video Nvidia GeForce 640	USD \$723.00
1	Video Cámara Sony HDR TD 30	Videocámara estereoscópica de alta definición	USD \$1,113.00
INVERSIÓN TOTAL			USD \$1,836.00

Fuente: Elaboración propia

Selección del sistema de realidad virtual a utilizar

Una vez realizado el estudio financiero se concluyó inicialmente que con el equipo tecnológico que se tenía disponible, era posible implementar un sistema de realidad virtual basado en un sistema de *proyección de gran formato utilizando proyección frontal*, para lo cual fue necesario integrar y probar dicho sistema, el cual después de muchas horas de prueba permitió concluir que este cubría parcialmente los objetivos de la investigación ya que la sensación por parte de los estudiantes no era completamente inmersiva, aunque resultara muy atractivo ya que sí se lograban proyectar videos en tres dimensiones.

Lo anterior obligó a considerar una segunda opción pese al tiempo invertido en el sistema anteriormente planteado, esta segunda opción fueron los cascos de realidad virtual cardboard², dichos cascos además de ser una alternativa viable financieramente hablando, permitían cumplir además con el requisito de inmersión, lo que permitió efectuar la experimentación y llevarla a cabo con los estudiantes que disponían de teléfonos celulares inteligentes, lo cual se determinó mediante una encuesta, sobre el uso de estos dispositivos entre los estudiantes obteniéndose como resultado que el 100 por ciento de los encuestados cuenta con este tipo de dispositivos.

Planeación de la Información

Desde el principio de esta investigación nos dimos cuenta de que es muy rica en información, ya que por una parte se tiene

toda aquella que proviene del marco teórico y que permitió fundamentarla, al determinar desde las primeras etapas que el campo de la educación es un área donde la aplicación de la realidad virtual ha comenzado a mostrar resultados satisfactorios. Por otro lado, se tiene toda la información que proviene del Programa de Estudios de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, información que permitió en conjunto con la teoría disponible, determinar aquellas asignaturas que presentan obstáculos didácticos.

La información financiera resultó también muy útil ya que a través de ella se pudo determinar el sistema más adecuado para ser implementado en la etapa de experimentación, ya que de nada sirve saber que existen sistemas más efectivos si no se tiene los recursos económicos para su implementación.

Segunda etapa de aplicación

Elaboración de los materiales didácticos.

Una parte fundamental de la aplicación de la metodología propuesta son los materiales didácticos que serán utilizados en la experimentación ya que de acuerdo con la Dra. Camarena (2014) se tiene que a pesar de que:

...en la Internet se pueden encontrar diversos materiales computacionales educativos desarrollados para la enseñanza de las ciencias, los cuales, si son analizados desde el punto de vista de un investigador en educación o la didáctica, denotan que no hay alguna teoría que sustente el contenido de los mismos.
(p. 36)

Para lograr lo anterior y como ya se había mencionado en los capítulos anteriores, dentro del estudio de la ingeniería eléctrica, el transformador eléctrico, es una de las máquinas más importantes, desde su invención se le atribuye a él la evolución de los sistemas de corriente alterna, por lo tanto, esta máquina se tomó como base para el desarrollo de los materiales didácticos, los cuales dieron origen a los contenidos didácticos utilizados dentro del sistema de realidad virtual inmersiva. Para lograr lo anterior se desarrolló la tabla 20, en la cual se detalla la relación que tiene el transformador eléctrico, con las diferentes asignaturas del programa de estudio de ingeniería eléctrica.

Tabla 20. Relación del tema del transformador con diferentes asignaturas

SEMESTRE	ASIGNATURA	UNIDAD
	Conversión de la Energía I.	La fuerza electromotriz inducida, el circuito magnético y la conmutación.
Cuarto	Materiales electro-técnicos.	Fabricación, clasificación y características, de los materiales conductores y superconductores Clasificación y características de los materiales magnéticos Características, comportamiento y aplicaciones de los materiales dieléctricos sólidos orgánicos e inorgánicos. Principales materiales dieléctricos líquidos y gaseosos, su clasificación y aplicaciones.
	Quinto Análisis de Circuitos Eléctricos II. Circuitos con Acoplamientos Magnéticos	
	Conversión de la Energía II.	Pérdidas y Rendimiento
	Equipo eléctrico.	Transformadores

SEMESTRE	ASIGNATURA	UNIDAD
Sexto	Conversión de la Energía III.	Consideraciones Generales del Transformador y su Clasificación.
		Prueba de Vacío y Separación de Pérdidas en el Núcleo
		Prueba de Circuito Corto, Regulación y Rendimiento del Transformador.

Fuente: elaboración propia

Una vez encontrada la relación que guarda el transformador con el plan de estudios, se procedió al desarrollo de los materiales didácticos tridimensionales que serían reproducidos dentro del sistema de realidad virtual seleccionado, en este caso el sistema basado en el casco de realidad virtual Cardboard® y para desarrollarlos se siguió el procedimiento que se detallan a continuación:

a) Generación de los materiales didácticos a través de una computadora

Con el incremento en el potencial de procesamiento de datos que tienen en la actualidad los equipos de cómputo, aunado a la reducción de los costos de la tecnología, fue posible crear contenidos estereoscópicos en alta definición, invirtiendo para ello tiempos de producción cada vez menores, lo anterior se logró a través de software especializado como el Sony Vegas®, Cinema4D®, 3ds Max®, Maya® y Blender® entre otros, algunas veces modelando equipos y otras veces utilizando videos que ya estaba disponibles los cuales fueron transformados a 3D. La producción de contenidos mediante sistemas de cómputo e informáticos resulta ideal cuando se requiere representar un fenómeno que no

es fácilmente observable en la realidad (Soares et al, 2013), como ejemplo de esto tenemos lo que ocurre cuando *un campo eléctrico enlaza una espira de alambre al hacer circular una corriente eléctrica alterna a través de un conductor*, esto mismo ocurre cuando se quiere representar un enlace químico o analizar por ejemplo un metal a nivel molecular.

El segundo método utilizado para generar los materiales estereoscópicos es más simple que el anterior y se detalla a continuación.

Generación de materiales estereoscópicos mediante la adquisición de video 3D a través de una videocámara.

Esta técnica se recomienda ampliamente cuando las simulación por computadora que son necesaria para transmitir algún concepto, son demasiado compleja para ser desarrollada por una sola persona en una computadora (Dufaux et al., 2013); también son útiles cuando no es necesario que los contenidos 3D sean completamente interactivos, es decir cuando no es necesario que el estudiante interactúe completamente con el contenido didáctico, como ejemplo de lo anterior se tiene que durante una visita a una planta generadora de electricidad la participación que tiene los estudiantes resulta ser siempre como meros espectadores del proceso, sin tener la posibilidad de interactuar con el sistema productivo, esto ocurre también cuando los estudiantes visitan una subestación eléctrica o una fábrica de equipo eléctrico; en estos casos las grabaciones 3D resultan bastante útiles. Para el caso de esta investigación este método fue utilizado ampliamente, ya que

como se mencionó con anterioridad dentro del equipo que fue adquirido para esta investigación se cuenta con una videocámara Sony HDR TD-30, con la que se obtuvieron más de 30 horas de grabaciones estereoscópicas de proceso productivos reales, lo que permitió generar los contenidos siguiendo la secuencia del proceso que se muestra en la Figura 29.

Figura 29. Proceso de producción de contenidos 3D inmersivos



Fuente: Elaboración propia

Con la información anterior y la que se obtuvo a través de la tabla en la que se relacionaban los obstáculos didácticos, con los canales sensoriales utilizados por los estudiantes y los estilos de aprendizaje, se logró acotar de todos los obstáculos didácticos, a aquellos relacionados con el estilo de aprendizaje visual, obstáculos que como se sabe pueden ser ocasionados por el usos de imágenes inadecuadas en los libros de texto, ya sea porque las

ilustraciones que le son presentadas a los estudiantes en sus libros de texto, apuntes o en el pizarrón, no reflejan de forma efectiva lo que se quiere representar de la realidad; los obstáculos también se dan porque a través de las ilustraciones no es posible reflejar el carácter dinámico que un elemento o sistema tiene dentro de un entorno real o porque las ilustraciones no muestra la relación que un objeto mantiene con otros elementos de su entorno. De la información obtenida con anterioridad se tiene también que existen otros obstáculos didácticos que se relacionan con el estilo de aprendizaje visual, los cuales derivan también de situaciones que obstaculizan el proceso de enseñanza aprendizaje, por ejemplo, cuando se requiere ejemplificar maquinaria o equipo a través de esquemas o figuras que se presentan ya sea en los libros de texto, apuntes o en el pizarrón.

Lo anterior confirma que la selección que se hizo con respecto a la forma como tradicionalmente se impartían los temas relacionados con el transformador eléctrico, podrían generar obstáculos didácticos. Con la información obtenida se dio inicio al desarrollo de los materiales didácticos, para lo cual fue necesario buscar el contacto con empresas relacionadas con el sector eléctrico que facilitaran el acceso a sus instalaciones y que permitieran grabar con la videocámara 3D sus diversos procesos productivos, los videos que fueron obtenidos serían posteriormente incorporados dentro del sistema de realidad virtual.

De las empresas contactadas dos se destacan:

- a. *Comisión Federal de Electricidad*. Acceso a la Subestación Texcoco.

- b. *Ámbar Electroingeniería, S.A. de C.V. Acceso a la Planta de Producción de Transformadores de Mediana y Baja Tensión.*

De las facilidades dadas por las empresas mencionadas anteriormente, se obtuvieron más de 30 horas de grabación de vídeos 3D en formato lado a lado (3D SBS por sus siglas en inglés), como se muestra en las figuras de la 30 a la 32, donde se pueden apreciar capturas de vídeos digitales de alta definición:

Figura 30. Captura de pantalla del video 3D grabado en la Subestación Eléctrica Texcoco, de CFE



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Captura de pantalla del video 3D grabado en la Fábrica de Transformadores de la Empresa Ámbar Electroingeniería, S.A. de C.V.



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Captura de pantalla del video 3D grabado en el piso de Pruebas del Laboratorio Pesados 2 de la ESIME-Zacatenco



Fuente: Elaboración propia

Una vez que los procesos productivos fueron grabados directamente en la industria, se pasó a la etapa de la edición de los videos para generar los materiales didácticos aplicables a las asignaturas que según la información mostrada con anterioridad podían presentar algún obstáculo didáctico. Estos materiales serían utilizados en este caso en el casco de realidad virtual a través del uso de realidad virtual inmersiva; lo anterior permitió generar los materiales que se enlistan en la tabla 21, en la cual también se puede apreciar la asignatura en la que el material podía ser utilizado:

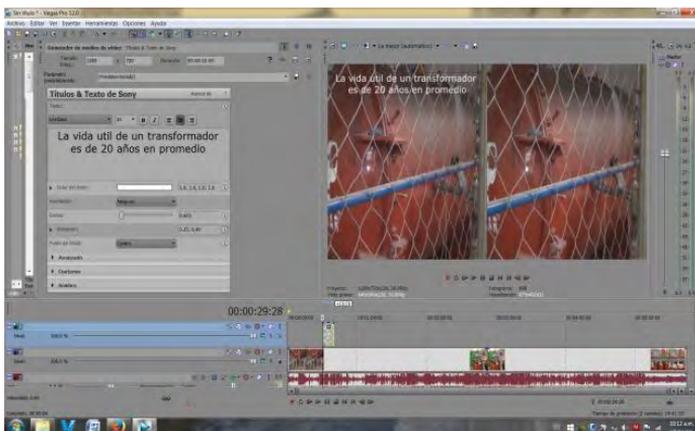
Tabla 21. Relación de los materiales 3D con las asignaturas del programa de estudios

OBSTÁCULOS DIDÁCTICOS	ASIGNATURA	VIDEOS 3D PARA SER USADOS EN EL CASCO DE REALIDAD VIRTUAL
Imágenes inadecuadas en los libros de Texto. Ejemplificación de maquinaria o equipo, a través de figuras.	Conversión de la Energía I.	Introducción a los Transformadores
	Equipo Eléctrico	
	Análisis de Circuitos Eléctricos II.	Fabricación de los transformadores
	Conversión de la Energía II.	Pruebas a los transformadores
	Materiales electrotécnicos.	
Conversión de la Energía II.	Diseño I: Maquinas Estáticas	

Fuente: elaboración propia

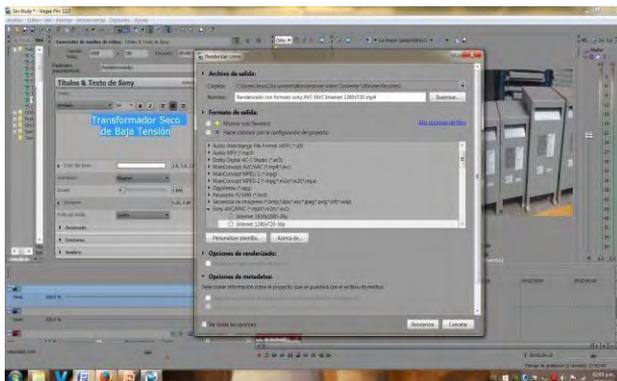
Debido al hecho de que era necesario contar con material didáctico en un formato universal para que este pudiera ser reproducido en los teléfonos celulares inteligentes que serían colocados en los cascos de realidad virtual Cardboard®, fue necesario que el video original fue renderizado mediante el software Sony Vegas® versión 18 PRO dando como resultado, como se había señalado anteriormente un video 3D del tipo lado a lado en formato mp4, para lo cual se tuvieron que tener en cuenta algunas características especiales durante el procesamiento de este tipo de videos, como es el manejo de dos canales de videos simultáneamente, además de la incorporación de texto en sólo uno de los dos canales, además del manejo adecuado de los canales de audio, como se puede observar en las figuras 33 a la 35.

Figura 33. Colocación de subtítulos en el video



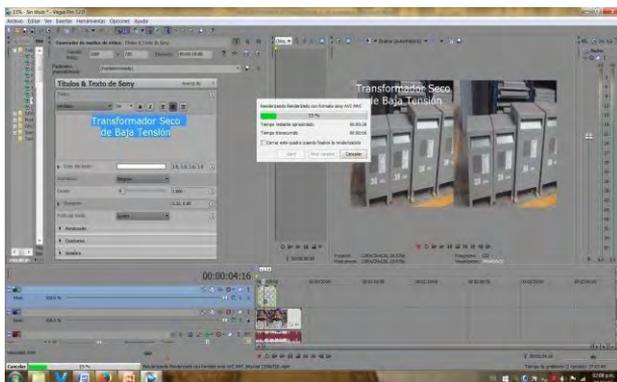
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Selección del formato de salida del video 3D



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Renderizado del video original.

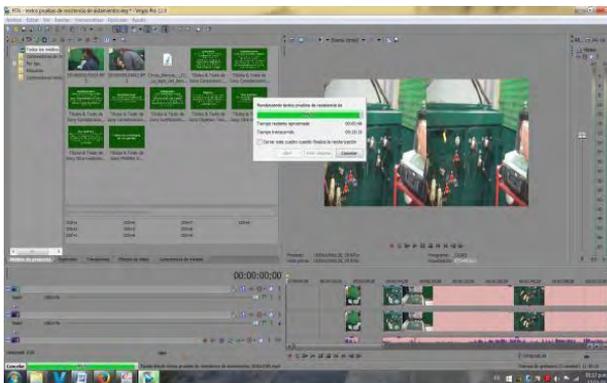


Fuente: Elaboración propia

Algo que es importante destacar cuando se esté trabajando con videos 3D, es el hecho de que los tiempos para realizar el proceso de edición de los videos, estos están relacionados direc-

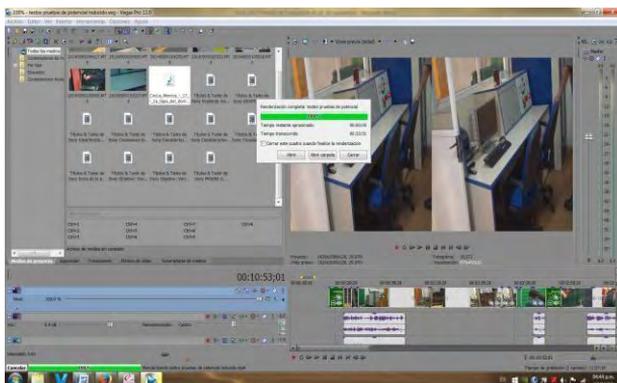
tamente con la capacidad de procesamiento del equipo de cómputo disponible y con la tarjeta gráfica si es que el equipo tiene una integrada, lamentablemente para esta investigación, la computadora con la que se realizó este proceso no contaba con dicha tarjeta por lo que los tiempos de producción se incrementaron considerablemente, ya que el proceso lo ejecutaba directamente el procesador de la computadora, como se puede observar en las figuras 4.28 y 4.29, en las que se aprecian los tiempos de renderizado de dos videos de diferente duración.

Figura 36. Renderizado de 7 minutos de video en formato mp4 con una resolución de 1920 x1280 en un tiempo aproximado de 20 minutos.



Fuente: Elaboración propia

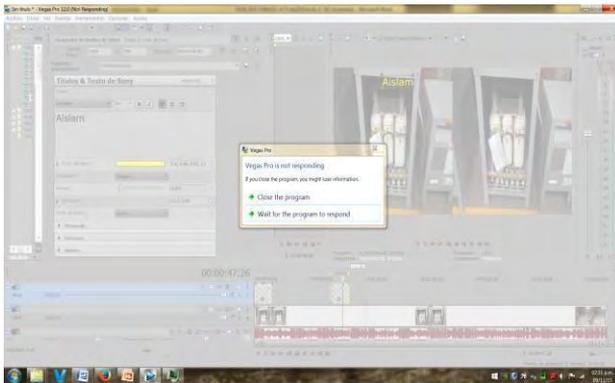
Figura 37. Renderizado de 13 minutos de video en formato mp4 con una resolución de 1920 x1280 en un tiempo aproximado de 30 minutos.



Fuente: Elaboración propia

Debido a que el formato original era de alta definición durante el proceso de renderizado, la memoria del equipo de cómputo era consumida rápidamente por el proceso y continuamente existían errores que detenían el proceso (como se observa en la figura 38) y por lo tanto dicho proceso debía iniciarse nuevamente, involucrando que los tiempos de producción se incrementaran considerablemente llegando en algunos casos a ser días completos.

Figura 38. Errores durante el proceso de edición del video



Fuente: Elaboración propia

Una vez que se obtuvieron los videos en el formato adecuado, estos pudieron ser incorporarlos a las simulaciones hechas por computadora, con lo que finalmente se tuvieron los contenidos didácticos que fueron reproducidos en los cascos de realidad virtual que utilizaron los estudiantes durante la fase de experimentación.

Capítulo 5

Implementación y evaluación

Cabe destacar que debido a que la implementación y evaluación del sistema de realidad virtual propuesto para esta investigación se realizó al interior de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, se tuvo acceso solamente a algunos de los grupos de estudiantes de ingeniería eléctrica que cursan el quinto, sexto y séptimo semestre, contado con el apoyo de diversos profesores de la carrera de ingeniería eléctrica, así como de las autoridades académicas de dicha institución, para su realización. Pese a que se contó con el apoyo necesario para lograr las intervenciones con diferentes grupos de estudiantes, desde la planeación de la intervención se determinó que ésta no podía consumir mucho tiempo, ni ser demasiado extensa ya que se podrían afectar los tiempos que tienen los profesores destinados a cubrir el programa de estudios del semestre en el que se realizaría dicha intervención, por lo que fue necesario seleccionar de entre todos los grupos disponibles, aquellos que serían intervenidos, teniendo en cuenta que los participantes podían con esto tener diversas habilidades académicas, lo cual resultaría representativo del total de los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica.

Diseño del experimento

El experimento que se realizó fue del tipo cuasi experimental con dos fases de evaluación las cuales estuvieron dadas por la aplicación de un pre-test y un post-test, estas fases permitieron posteriormente realizar un análisis comparativo entre los dos modos de intervención denominados el modo en el que se utilizó el sistema de realidad virtual inmersivo y el modo tradicional de

clases que no la utilizaría; lo anterior permitió medir los efectos que cada modo tiene para permitirle al estudiante afrontar los obstáculos didácticos que están presentes en el salón de clases durante el proceso de enseñanza aprendizaje tradicional, y a partir de ahí poder obtener inferencias sobre los resultados.

El hecho de haber seleccionado el tipo de experimento de tipo cuasi experimental se justifica considerando la premisa planteada por Kenny citado por Cabré (2012), donde existe el hecho de que la asignación de los elementos de un experimento no puede ser aleatoria por el hecho de que el tratamiento es administrado a un grupo (aula, colegio o sistema escolar), teniéndose que tomar a otro grupo con características similares como el grupo de control, lo cual ocurrió en esta investigación.

Lo anterior se consideró también para justificar el hecho de que la intervención se realizará necesariamente con estudiantes de diferentes semestres que cursan la misma asignatura en diferentes grupos, como ya se había comentado; esto con el fin de evitar retrasar los tiempos destinados al proceso de enseñanza aprendizaje, por esto el diseño tuvo que ser del tipo *cuasi-experimental*, ya que para la aplicación del tratamiento no era posible asignar a los estudiantes de manera aleatoria, porque se podría dificultar la intervención además de consumir bastante tiempo lo que resultaba impráctico, afectando necesariamente los tiempos en que los estudiantes tiene que tomar sus otras clases.

Basado en las actividades identificadas, se tuvo que considerar además que los distintos diseños cuasi experimentales, así como los diseños experimentales verdaderos, examinan también

las relaciones de causa y efecto entre las variables independiente y dependiente, sin embargo, una de las características que los hacen diferentes del diseño verdaderamente experimental, es la falta de designación aleatoria de los sujetos a los grupos de análisis. A pesar de que los modelos cuasi-experimentales son útiles para probar la efectividad de una intervención, pues son los que más se aproximan a los escenarios naturales, es necesario destacar que estos diseños de investigación son expuestos a un gran número de amenazas con relación a la validez interna y externa, lo que puede disminuir la confiabilidad en la generalización de los resultados.

Una vez aclarado lo anterior y continuando con el diseño del experimento se consideró una intervención del tipo pre-test/pos-test con grupo control no equivalente, este diseño es similar al modelo pre-test/pos-test con grupo control, a excepción de que en este modelo los sujetos no son designados de forma aleatoria (NR) a los grupos, sino que se toman grupos completos para la intervención. A ambos grupos se les realiza pre-test (O) y un post-test (O). Sin embargo, solo el grupo experimental es expuesto al tratamiento (X), como se muestra en la siguiente figura:

Figura 39. Esquema del experimento



Fuente: Elaboración propia

Una vez que fue definida la forma en que sería realizada la intervención, se procedió a la determinación del tamaño de la muestra, etapa que se desarrolla a continuación.

Cálculo del tamaño de la muestra

El cálculo del tamaño de la muestra es una de las fases previas más importantes de la investigación, ya que permite determinar el grado de confiabilidad que se le confieren a los resultados obtenidos. Para esto fue necesario aplicar una fórmula ampliamente utilizada para determinar el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q}$$

Donde se tiene:

N: es el tamaño de la población o universo (número total de sujetos).

k: es una constante la cual depende del nivel de confianza que se asigna al experimento.

e: es el error muestral (también llamado error de estimación) deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que se obtiene de una muestra de la población y el que se obtendría del total de ella.

p: es la proporción de individuos que poseen en la población

la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0.5$ que es la opción más segura.

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n: es el tamaño de la muestra (para nuestro caso es el número de estudiantes a los que se les aplicaría la intervención).

El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos: por ejemplo, decir que se tiene un 95.5 % de confianza es lo mismo que decir que los resultados pueden ser incorrectos con una probabilidad del 4.5%, los valores más comunes de esta constante se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Valores de k más utilizados y sus niveles de confianza

k	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2.00	2.58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95.5%	99%

Fuente: <http://www.feedbacknetworks.com>

A partir de la información anterior, donde se mostraba la relación de los materiales 3D con las asignaturas del programa de estudios, se obtuvieron los semestres en los que era posible realizar la intervención, por lo que se procedió a calcular con ello el tamaño de la muestra para cada uno de dichos semestres para el periodo escolar enero-junio 2022.

Determinación del tamaño de la muestra estudiantes 5to. Semestre.

Se tiene que para quinto semestre existen cinco grupos (tres en el turno matutino y dos en el vespertino), como se muestra en la tabla 23, en la cual se incluye además el correspondiente número de estudiantes inscritos.

Tabla 23. Grupos de quinto semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica y matrícula inscrita

GRUPO	INSCRITOS
5EM1	18
5EM2	21
5EM3	23
5EV1	19
5EV2	22

Fuente: Sistema de Administración Escolar- IPN (2022)

De lo anterior se tiene un universo total de estudiantes inscritos al quinto semestre de la carrera de ingeniería eléctrica cursando la asignatura de *Equipo Eléctrico* de 103 estudiantes inscritos en los turnos matutino y vespertino, con este dato se procedió a calcular el tamaño de la muestra con la fórmula que fue mencionada anteriormente (ver tabla 24).

Tabla 24. Cálculo del tamaño de muestra para estudiantes de quinto semestre

VALORES	APLICACIÓN DE LA FÓRMULA
N = 146 k = 1.96 e = 5% p = 0.5 q = 0.5	$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 103}{(0.05^2 * (103 - 1)) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$ $= 81.2$

Fuente: Elaboración propia

De donde se tiene que el tamaño de la muestra es de 81 estudiantes, si se eligiera realizar la intervienen en el quinto semestre.

Determinación del tamaño de la muestra estudiantes 6to. Semestre.

Se procede ahora a analizar el sexto semestre, encontrando que para el periodo escolar enero-agosto 2022, se tienen ocho grupos de la asignatura de *Conversión de la Energía III* como se detalla en la tabla 25.

Tabla 25. Grupos de sexto semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica y matrícula inscrita

GRUPO	INSCRITOS
6EM1	21
6EM2	17
6EM3	20
6EV1	14
6EV2	19

Fuente: Sistema de Administración Escolar- IPN (2020)

Lo cual nos dio un universo total de 109 estudiantes inscritos en los turnos matutino y vespertino, información con lo que se procede a calcular el tamaño de la muestra con la respectiva fórmula ver tabla 26):

Tabla 26. Cálculo del tamaño de muestra para estudiantes de sexto semestre

Valores	Aplicación de la fórmula
N = 189 k = 1.96 e = 5% p = 0.5 q = 0.5	$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 109}{(0.05^2 * 109 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 85.08$

Fuente: Elaboración propia

De donde se obtiene que el tamaño de la muestra sería de 85 estudiantes, si se eligiera el sexto semestre y la asignatura fuera *Conversión de la Energía III*, para realizar la intervención.

Determinación del tamaño de la muestra estudiantes de 7mo. Semestre.

Para el periodo escolar enero–junio 2022, existen seis grupos de *séptimo semestre* los cuales se detallan en la tabla 27, así como el número de estudiantes inscritos en cada uno de ellos.

Tabla 27. Grupos de séptimo semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica y matrícula inscrita

GRUPO	INSCRITOS
7EM1	22
7EM2	18
7EM3	24
7EV1	20
7EV2	26
7EV3	21

Fuente: Sistema de Administración Escolar- IPN (2020)

Lo cual da un universo total de 110 estudiantes inscritos en los turnos matutino y vespertino, con lo que se procede a calcular el tamaño de la muestra, con la fórmula correspondiente (ver tabla 28).

Tabla 28. Cálculo del tamaño de muestra para estudiantes de sexto semestre

VALORES	APLICACIÓN DE LA FÓRMULA
N = 235 k = 1.96 e = 5% p = 0.5 q = 0.5	$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 110}{(0.05^2 * (110 - 1)) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 85.68$

Fuente: Elaboración propia

De donde se tiene que el tamaño de la muestra si el experimento se realizará con estudiantes de séptimo semestre que cursan la asignatura de *Fuentes de Generación* es de 85 estudiantes.

Experimentación

De manera ideal la experimentación debía llevarse a cabo con el número de estudiantes que se determinó anteriormente para los tres semestres quinto, sexto y séptimo semestre, lo que obligaría a considerar para el experimento algunas veces más de dos grupos por semestre, esto por razones de logística y por razones de tiempo no fue posible, ya que cuando se efectuó la intervención, los estudiantes estaba a escasos días de presentar sus exámenes departamentales, esto obligó a cambiar la estrategia de intervención, dando como resultado que se tuviera que elegir para los tres semestres donde se realizaría la intervención (quin-

to, sexto y séptimo), un grupo de control y uno experimental es decir dos grupos por cada uno de los semestres, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 29. Selección de grupos para el experimento

GRUPO	TIPO	ESTUDIANTES
5EM2	CONTROL	21
5EM3	EXPERIMENTAL	23
6EM1	CONTROL	21
6EM2	EXPERIMENTAL	20
7EV1	CONTROL	20
7EV3	EXPERIMENTAL	21

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente y con el fin de poder determinar el incremento del conocimiento sobre el tema de los transformadores, se utilizó como instrumento de evaluación un cuestionario que consta de las siguientes partes:

- a. 2 ítems sobre los datos de filiación
- b. Instrucciones para realizar la encuesta
- c. 10 preguntas de opción múltiple, sobre temas relacionados con los transformadores eléctricos.

Para evaluar dicho cuestionario se utilizó la puntuación o calificación estanina, considerando para ello lo que señalaban Thorndike & Hagen (1997):

... el valor asignado a la puntuación de individuos en un sistema de puntuaciones en el que a la media se le asigna un valor de 5 y a la desviación estándar un valor de 2. Las puntuaciones estanina proporcionan una escala de puntuación estándar de un sólo dígito (de 0 a 9) que es sencilla y fácil de usar y que reduzca al mínimo la importancia manifiesta de pequeñas diferencias de puntuación. (p. 56)

De lo anterior se desprende que el puntaje total del cuestionario fue de 10 puntos y considerando la escala de *Estaninos* se dividió en tres categorías: conocimiento bajo, medio y alto, como se describe a continuación:

- a. Conocimiento bajo < 6 puntos
- b. Conocimiento medio entre 7 y 8 puntos
- c. Conocimiento alto > 9 puntos

Para verificar la validez del instrumento utilizado, se realizó la validación del contenido a través de un juicio de expertos, equipo conformado por profesores del Departamento de Ingeniería Eléctrica de las academias de Utilización, Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencias de la ESIME Zacatenco.

Para obtener un instrumento confiable se modificaron las preguntas planteadas originalmente hasta llegar al cuestionario

final. Así mismo, se implementó una prueba piloto con 33 estudiantes de los tres semestres donde se realizaría la prueba es decir quinto, sexto y séptimo semestre, estudiantes que no fueron considerados dentro de la muestra en el estudio.

Intervención

A través de una petición directa a los profesores que impartían las asignaturas *Equipo Eléctrico*, *Conversión de la Energía III* y *Fuentes de Generación* se fijó el día y la hora de la intervención, la cual una vez determinada se comunicó a los estudiantes, sin hacer de su conocimiento que se aplicaría este estudio para evitar posibles predisposiciones o situaciones de estrés que contaminaran los resultados.

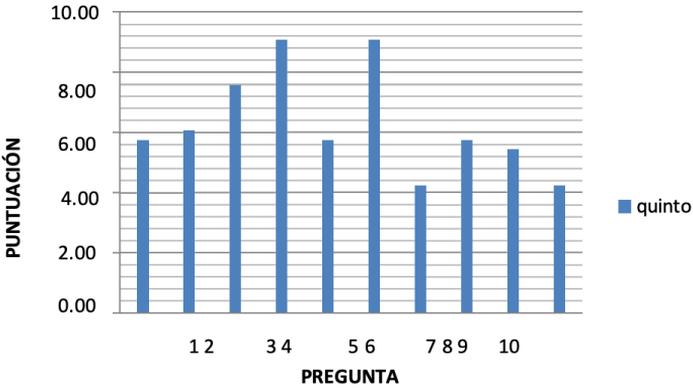
Análisis de resultados

El día fijado en conjunto con los profesores responsables de cada grupo se aplicó el instrumento pre test a los seis grupos. Obteniéndose datos y a partir de ellos se elaboran las siguientes gráficas (ver figura 40 a la 43).

Resultado del pre test

Para el quinto semestre se tienen los siguientes resultados

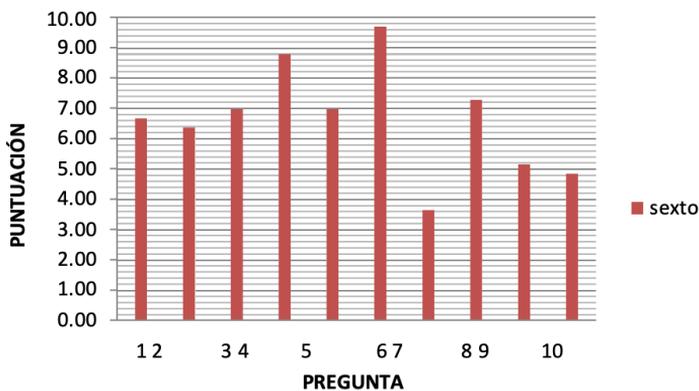
Figura 40. Resultado de la aplicación de la evaluación pre-test a los estudiantes del 5to. Semestre



Fuente: Elaboración propia

Continuando con la aplicación del pretest, para el sexto semestre se tienen los siguientes resultados

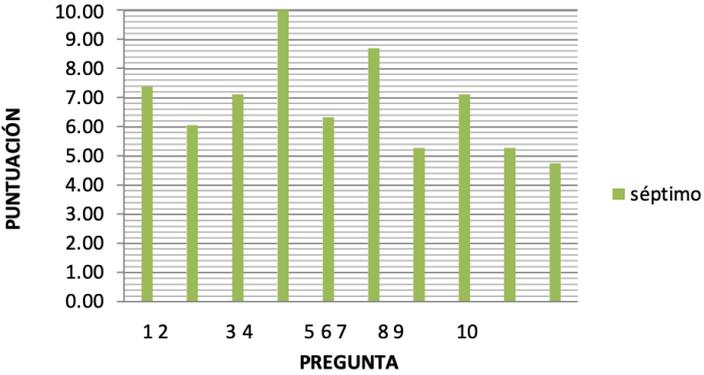
Figura 41. Resultado de la aplicación de la evaluación pre-test a los estudiantes del 6to. Semestre



Fuente: Elaboración propia

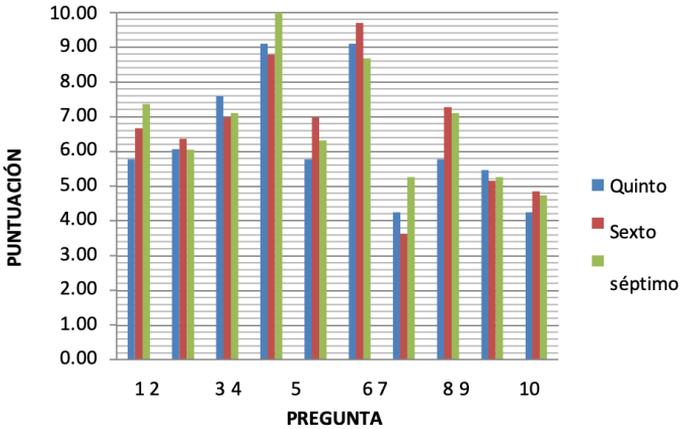
Y finalmente para el séptimo semestre se tienen los siguientes resultados:

Figura 42. Resultado de la aplicación de la evaluación pre-test a los estudiantes del 7mo. Semestre



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Resultados globales de la aplicación de la evaluación pre-test a tres semestres



Fuente: Elaboración propia

A la semana siguiente de que fue aplicado el pre-test, al grupo de control se le impartió una clase tradicional, la cual contemplaba los tópicos relacionados con el transformador eléctrico, mismos que cubrirían los contenidos sobre los que se había preguntado en el instrumento pretest, dicha clase les fue impartida en el aula donde toman clases habitualmente.

Por otra parte, y continuando con la planeación del experimento, a todos los estudiantes del grupo experimental se le compartió un video tridimensional que contenía la información que se les había dado a los estudiantes del grupo de control, solo que en forma de video para que lo reprodujeran en sus teléfonos celulares y lo visualizarán a través de los Card Board, como se muestra en la figura 44.

Figura 44. Exposición de contenidos 3D mediante el Sistema de RV, con el grupo experimental



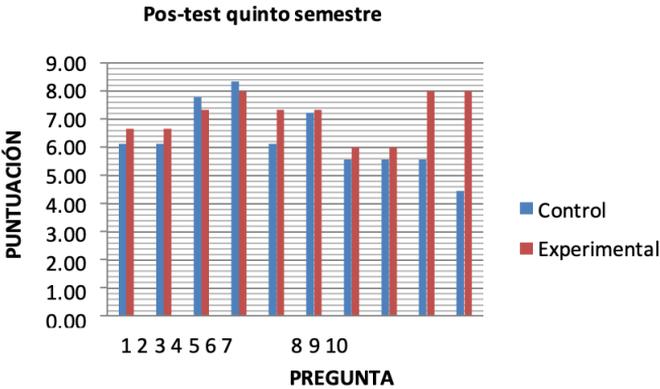
Fuente: Elaboración propia

Evaluación pos test

Con la finalidad de medir el logro de los estudiantes tanto del grupo de control como del experimental, una vez que estos fueron sometidos al tratamiento, se diseñó un nuevo cuestionario especialmente para este fin, cuyo contenido fue validado a través de un juicio de expertos y posteriormente aplicado a los estudiantes con ayuda de los profesores, del resultado de esta evaluación se obtuvieron las gráficas siguientes:

Los resultados que se obtuvieron para los estudiantes de quinto semestre tanto del grupo de control como el grupo experimental se muestran en la figura 45.

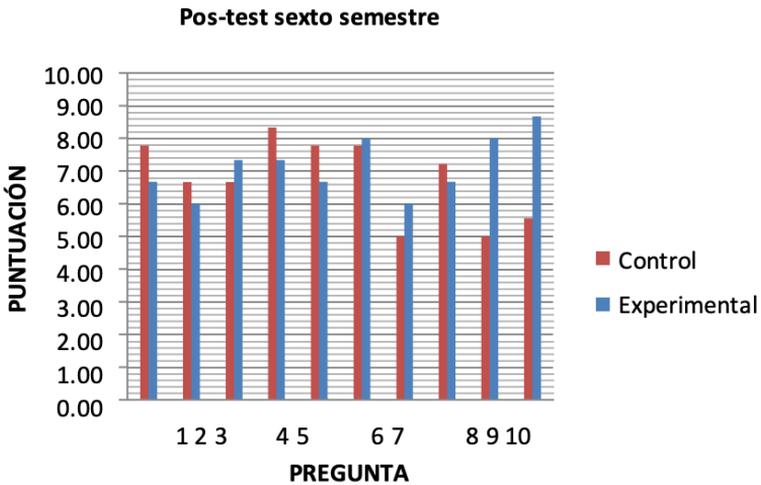
Figura 45. Resultado de la aplicación de la evaluación Pos-test a los estudiantes del 5to. Semestre



Fuente: Elaboración propia

Para el sexto semestre se tienen los siguientes resultados, mostrados en la figura 46.

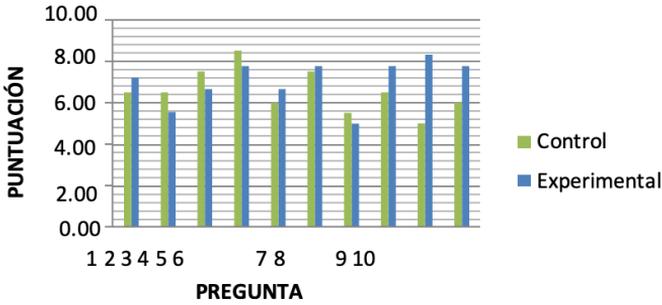
Figura 46. Resultado de la aplicación de la evaluación Pos-test a los estudiantes del 6to. Semestre



Fuente: Elaboración propia

Y finalmente para el séptimo semestre, los resultados obtenidos para el grupo de control y el experimental se muestran en la figura 47.

Figura 47. Resultado de la aplicación de la evaluación Pos-test a los estudiantes del 7to. Semestre



Fuente: Elaboración propia

Al observar las tres gráficas resultantes, las cuales fueron generadas con los datos obtenidos, se aprecia un incremento en los resultados de las preguntas 9 y 10, que son las preguntas, que durante el diseño del cuestionario se plantean como preguntas clave, ya que ellas generaban obstáculos didácticos para los métodos tradicionales de enseñanza aprendizaje.

Conclusiones

Después de haber realizado la evaluación en el capítulo anterior, se está en posibilidades de desarrollar las conclusiones.

Conclusión sobre el análisis del plan de estudios de la carrera de ingeniería eléctrica para determinar aquellas asignaturas que presentan obstáculos didácticos.

Con relación a la enseñanza de la ingeniería eléctrica una vez que se analizó el plan de estudios se obtuvieron diversos factores que dan origen a obstáculos didácticos, principalmente cuando en alguna asignatura se incorporan:

- Conceptos de naturaleza abstracta o compleja, que al tratar de ser enseñados a través de los métodos tradicionales presentan alguna dificultad para el profesor.
- Ejemplificaciones de máquinas o contextos reales de una situación en ingeniería.
- Situaciones de riesgo para los estudiantes, entendiéndose éstas como aquellas situaciones donde existe el peligro de lesiones o incluso la muerte, ocasionados por actividades relacionadas directa o indirectamente con el tema de estudio.
- Situaciones de riesgo para la maquinaria y equipo, si éstos son utilizados por alguien inexperto.

Concluyendo que esto no solo es aplicable en la ingeniería eléctrica, sino que puede trasladarse a cualquier otra rama de la ingeniería.

Diagnóstico de los principales obstáculos didácticos que enfrentan los estudiantes de ingeniería eléctrica que les impiden entender tópicos específicos de su especialidad.

En esta investigación se concluye que los principales obstáculos didácticos que enfrenta los estudiantes están agrupados en dos categorías principalmente:

- a. *Obstáculos didácticos ocasionados por el profesor.* En esta categoría se tiene aquellos que resultan de las elecciones didácticas realizadas para establecer la situación de enseñanza, lo que ocurre por ejemplo cuando el profesor sigue determinada metodología o didáctica de enseñanza en una asignatura en particular, se dan también por el tipo de problemas que se emplean para ejemplificar los conceptos que se están enseñando. Este tipo de obstáculos son creados frecuentemente por los profesores de los niveles escolares precedentes, cuando presentan modelos intuitivos los cuales crean falsas concepciones, que resultan a veces insuperables. La relación didáctica es fruto también de obstáculos por el uso de métodos inapropiados, uso abusivo de analogías, aproximaciones parciales en la transposición didáctica.
- b. *Obstáculos didácticos ocasionados por los recursos didácticos.* La ausencia de una didáctica en los materiales usados para la construcción de los conceptos genera obstáculos didácticos que convierten el aprendizaje de alguna materia en algo que puede carecer de consistencia y rigor. Algunos estudios con profesores han sacado a la luz la presencia de obstáculos didácticos que pueden atribuirse a las estrategias planteadas en algunos de los libros de texto utilizados durante su formación profesional, es decir que las imágenes algunas veces inadecuadas de los libros de texto pueden ser el principal obstáculo didáctico para un aprendizaje preciso de algunos tópicos ya que el dibujo no es un reflejo real de lo que se quiere represen-

tar o el dibujo no refleja el carácter dinámico que el objeto tiene en la realidad y finalmente el dibujo no muestra la relación que este tiene con otros elementos de su entorno. Dentro de la categoría de obstáculos didácticos ocasionados por los recursos tenemos que estos pueden presentarse también cuando los experimentos en el aula no son posibles lo cual se encontró en esta investigación que puede sustituirse por la simulación por computadora incorporadas a sistemas de realidad virtual.

Identificar los principales estilos de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería eléctrica.

Después de analizar los resultados obtenidos a través de la aplicación del instrumento de recolección de información VARK^{*} aplicado a un universo de 250 estudiantes del programa de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, se obtuvo que el estilo de aprendizaje kinestésico es el más utilizado por los estudiantes de ingeniería para aprender de la información que se genera en su entorno, seguido en segundo lugar por el estilo de aprendizaje visual.

Con respecto al aprendizaje visual se obtuvo que gran parte de los estudiantes de ingeniería tienen la necesidad de crear su conocimiento mediante la capacidad de visualizar espacialmente un concepto, para lo cual se aplicó a 147 estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica la Prueba de Visualización Espacial (PSVT–Purdue Spatial Visualization Test, por su nombre en inglés) obteniéndose con ello que solo el 62% de los estudiantes ob-

tuvieron una calificación superior a seis en dicha prueba, con lo que se concluyó que la mayoría de los estudiantes tiene problemas para manipular a nivel mental objetos tridimensionales.

Identificar el tipo de material de apoyo didáctico a desarrollar con realidad virtual inmersiva, que ayude a enfrentar los obstáculos didácticos de los estudiantes de ingeniería eléctrica.

En esta investigación se identificaron dos procedimientos para generar los materiales didácticos para el sistema de realidad virtual

- a. El primero de ellos son los materiales que podrían ser generados a través de una computadora. Lo cual consisten en crear contenidos estereoscópicos en alta definición, a través de software especializado mediante el modelado de equipos o utilizando videos disponibles transformándolos posteriormente a transformados a 3D, encontrándose además que la producción de contenidos mediante sistemas de cómputo e informáticos resultaba ideal cuando se requería representar un fenómeno que no era fácilmente observable en la realidad, como ejemplo lo que ocurre cuando un campo eléctrico enlaza una espira de alambre al hacer circular una corriente eléctrica alterna a través de un conductor, o cuando se requería representar un enlace químico o analizar por un metal a nivel molecular.

- b. El segundo método utilizado para generar los materiales estereoscópicos, consiste en generar materiales estereoscópicos mediante la adquisición de video 3D a través de una videocámara. Dicha técnica se recomienda cuando las simulaciones por computadora que son necesaria para transmitir algún concepto, o estas son demasiado compleja para ser desarrollada en una computadora; esta técnica también es útil cuando no es necesario que los contenidos 3D sean completamente interactivos, sirviendo para generar contenidos de una visita a una planta generadora de electricidad o una visita a una sub-estación eléctrica o una fábrica de equipo eléctrico.

Diseñar una Metodología Sistémica basada en realidad virtual inmersiva para la enseñanza de algunos tópicos de la ingeniería eléctrica.

Para lograr cumplir objetivos de esta investigación un modelo sistémico no lograba cubrir las expectativas por lo que fue necesario el diseño de una metodología sistémica, la cual se generó a través de una integración sistémica entre la metodología de Planeación Interactiva y la emanada de la Teoría de las Ciencias en Contexto, lo cual permitió a través de una secuencia de fases sistémicas, lograr los objetivos planteados.

Dicha integración dio como resultado la Metodología Sistémica para el uso de la Tecnología en el proceso de Enseñanza Aprendizaje (MSAOD) la cual contempla las fases y principios de la Planeación Interactiva y la Teoría de las Ciencias en Contexto.

Implementar el modelo sistémico de enseñanza a través del uso de materiales de apoyo didáctico seleccionados, en tópicos en la enseñanza de la ingeniería eléctrica.

Esta investigación concluye con la implementación de la Metodología Sistémica para el uso de la Tecnología en el proceso de Enseñanza Aprendizaje (MSAOD), mediante la formulación de la situación problema, a través de tres fases de la Teoría de las Ciencias en Contexto, la *fase curricular*, la *fase docente* y la *fase epistemológica*; lo que permitió determinar en qué condiciones el proceso de enseñanza aprendizaje de la ingeniería eléctrica puede verse obstaculizado.

Los materiales didácticos fueron integrados a las simulaciones hechas por computadora, para ser reproducidos en los teléfonos celulares de los estudiantes los cuales a su vez fueron montados en los cascos de realidad virtual para llevar a cabo el proceso de experimentación.

La implementación y evaluación del sistema de realidad virtual se realizó al interior de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, teniendo acceso solamente a algunos de los grupos de estudiantes de ingeniería eléctrica lo que limitó el tiempo de experimentación

Evaluar comparativamente un grupo experimental y otro testigo para obtener inferencias, conclusiones y recomendaciones.

De la etapa de implementación, se infiere que la tecnología de realidad virtual inmersiva, utilizada como herramienta dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, logra hacer que los estudiantes de ingeniería eléctrica afronten con éxito los obstáculos didácticos presentes en algunos tópicos de esa especialidad.

Recomendaciones

De la experiencia obtenida durante el desarrollo de esta investigación se establecen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la participación de un equipo multidisciplinario para el desarrollo de los contenidos didácticos estereoscópicos, lo que permitirá fortalecer la interacción de dichos contenidos con el usuario.
- Comparar la efectividad de utilizar videos 3D contra los videos 2D, montando experimentos en donde ambos sean utilizados para vencer obstáculos didácticos.
- Transferir los conocimientos generados en esta investigación a otras ramas de la ingeniería y no solo a la ingeniería eléctrica.
- Utilizar masivamente procesos técnicos de conversión

de videos que en origen están en formato 2D para poder transformarlos a videos 3D, con lo que se incrementa en gran medida el acervo de dichos materiales.

- Masificar el uso de los sistemas de realidad virtual inmersivos en los diferentes niveles educativos.

Referencias

- Ackoff, R. (1998). *Planificación de la empresa del futuro*. Editorial Limusa.
- Ai-Lim, E., & Wai, K. (2008). A review of using virtual reality for learning. Transactions on edutainment. In A. El Rhabili (Ed.). *Lecture Notes in Computer Science*, (pp. 231-241) Springer-Verlag.
- Almudí, M., Zusa, K., y Bonet, E. (2005). *Explicando los fenómenos de inducción electromagnética: Relevancia de su enseñanza y dificultades de aprendizaje*. [Congreso]. VII congreso Enseñanza de las ciencias, España.
- Ariyakul, Y., Aizawa, T., & Nakamoto, T. (2013). Tiny Olfactory Display Based on SAW Streaming and Electroosmosis. *IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines*, 133(6), 206-211.
- Arrigo, G., y D'Amore, B. (2004). Otros hallazgos sobre los obstáculos epistemológicos y didácticos en el proceso de comprensión de algunos teoremas de George Cantor. *Educación Matemática*, 16(2), 5-20.
- Autino, B. del C., Digiñón M.A., Llanos, L.M., Marcoleri, M.E., Montalveti, P.G., y Soruco, O. S. (2011). *Obstáculos didácticos, ontogenéticos y epistemológicos identificados desde la comunicación en el aula de Matemática*. [Congreso]. Memorias del XIII CIAEM-IACME, Recife, Brasil, 2011.
- Bachelard, G. (1972). *La noción de obstáculo epistemológico. La formación del espíritu científico*. Siglo Veintiuno Editores.
- Bar-Cohen, Y. (2003). Haptic devices for virtual reality, telepresence, and human-assistive robotics. In Y. Bar-Cohen, C. Breazeal. (Eds.). *Biologically Inspired Intelligent Robots*. <https://doi.org/10.1117/3.2068093.ch4>
- Bastién, G.M., Mora, C., y Sanchez-Guzman, D. (2010). Obstáculos en la resolución de problemas en estudiantes de bajo rendimiento. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(3)

- Batanero, C., Godino, J. D., Green, D. R., Holmes, P., y Vallecillos, A. (1994). Errores y dificultades en la comprensión de los conceptos estadísticos elementales. *International Journal of Mathematics Education in Science and Technology*, 25(4), 527- 547.
- Bodner, G. M. & Guay, R.B. (1997). The Purdue Visualization of Rotations Test. *The Chemical Educator*, 2(4), 138-154.
- Bosch, H., Di Blasi, M. A., Pelem, M. E., Bergero, M. S., Carvajal, L. & Geromini, N. S., (2011). Nuevo paradigma pedagógico para enseñanza de ciencias y matemática. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(3), 131-140.
- Brousseau, G. (1989). Les obstacles épistémologiques et la didactique des mathématiques. In N. Bed-Narz, C. Garnier. *Construction des savoirs Obstacles et Conflits*, (pp. 41-63). CIRADE Les éditions Agence d'Arc inc.
- Brown, S. (2008). *Exploring epistemological obstacles to the development of mathematics induction*. [Congress] 11th Conference for Research in Undergraduate Mathematics Education. San Diego, CA.
- Burdea, C. (1993). *Virtual reality systems and applications*. *Electro'93 International Conference*. Edison
- Cabre, R. (2012). *Diseños cuasi experimentales y longitudinales*. Universidad de Barcelona.
- Camarena Gallardo, P. (2013). A treinta años de la teoría educativa "Matemática en el Contexto de las Ciencias. *Innovación educativa*, 13(62), 17-44
- Camarena, P. (1984). *El currículo de las matemáticas en ingeniería*, *Memorias de las Mesas Redondas sobre Definición de Líneas de Investigación en el IPN, México*,
- Camarena, P (2000). *Etapas de la matemática en el contexto de la ingeniería, reporte del proyecto de investigación, México*. ESIME-IPN.

- Camarena, P. (2006). Un enfoque de las ciencias en contexto desde la didáctica. *Innovación Educativa*, 6(31), 21-31.
- Camarena, P. (2008). *Teoría de la matemática en el contexto de las ciencias*. [Congreso]. Actas del III Coloquio Internacional sobre Enseñanza de las Matemáticas, Conferencia Magistral, Perú.
- Camarena, P. (2009). La Matemática en el Contexto de las Ciencias. *Innovación Educativa*, 9(46), 15-25
- Camarena, P., Navarro, R., & Navarro, Y. (2012). Experiencias institucionales exitosas en educación a distancia. *Apertura*, 4(2).
- Camarena, P. (2014). Un Modelo para el diseño de material computacional interactivo. *IE Comunicaciones: Revista Iberoamericana de Informática Educativa*, 19, 1.
- Cano, J., Gómez, J., & Cely, I. (2009). *La enseñanza del concepto de corriente eléctrica desde un enfoque histórico-epistemológico*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Antioquia]. <https://hdl.handle.net/10495/450>
- Carvalho, G. S., Silva, R., y Clément, P. (2007). Historical analysis of Portuguese primary school textbooks (1920–2005) on the topic of digestion. *International Journal of Science Education*, 29(2), 173-193.
- Chamorro, M. (1995) Los procesos de aprendizaje en matemáticas y sus consecuencias metodológicas en Primaria. *Uno: Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 2(4)
- Chen, D. & Stroup, W. (1993). General system theory: Toward a conceptual framework for science and technology education for all. *Journal of Science Education and Technology*, 2(3), 447-459
- Chen, L., Hong, Q., Wang, B., Wu, Q. (2014). Design and Implementation of the Virtual Experiment System. In Li, S., Jin, Q., Jiang, X., Park, J. (eds) *Frontier and Future Development of Information Technology in Medicine and Education. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 269. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7618-0_431

- Clark, T. E. (1997). *El destino invisible de la educación*. Editorial Pax
- D'Amore, B. & Fandiño M.I. (2002). Un acercamiento analítico al “triángulo de la didáctica”. *Educación Matemática*, 14(1), 48-61.
- De Souza, S. (2009). Un análisis de los errores de los estudiantes en clases virtuales de geometría descriptiva bajo las teorías del desarrollo del pensamiento geométrico y del concepto figural. *Revista Iberoamericana de Educación*, 51(1).
- Dufaux, F., Pesquet-Popescu, B., & Cagnazzo, M. (2013). *Emerging technologies for 3D video: creation, coding, transmission and rendering*. John Wiley & Sons.
- ESIMEZ-IPN (s.f.). *Carreras* <https://www.esimez.ipn.mx/oferta-educativa/carreras.html>
- Fällman, D., Backman, A. & Holmlund, K. (1999). *VR in Education: An Introduction to Multisensory Constructivist Learning Environments*. Universitets pedagogisk konferens, Umeå Universitet.
- Felder, R., Woods, D. R., Stice, J. E. & Rugarcia, A. (2000). The future of engineering education, II. Teaching methods that work. *Chem. Engr. Education*, 34(1), 26–39.
- Fleming, N.D. & Mills, C. (1992). Helping Students Understand How They Learn. *The Teaching Professor*, 7(4).
- Flood, R. L., Jackson, M. C., & Schechter, D. (1992). Total Systems Intervention: a research program. *Systems Practice*, 5(1), 79-83.
- Flores, J. A., Camarena, P., y Avalos, E. (2014). Oportunidades de integración de la realidad virtual al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería eléctrica: un análisis desde el enfoque de sistemas. *Revista Internacional de Aprendizaje en Ciencia, Matemáticas y Tecnología*, 1(2).

- Fowler, R. H., Carrillo, M. D., Huerta, R. A., & Fowler, W. A. (2012). Designing a low-cost immersive environment system twenty years after the first CAVE. In *Proc. International Conference on Computer Graphics and Virtual Reality*, WORLDCOMP.
- Gigch, J. P. V. (1987). *Teoría general de sistemas*. Editorial Trillas.
- Guerra, M. M. (2010). La geometría y su didáctica. *Revista Innovación y experiencias Educativas*, (31),
- Hwang, A. D., & Peli, E. (2014). Instability of the perceived world while watching 3D stereoscopic imagery: A likely source of motion sickness symptoms. *I-Perception*, 5(6), 515–535. <http://doi.org/10.1068/i0647>
- Kalorama Healthcare reports. (2011) *Virtual Reality (VR) in Healthcare in the US*. Ed. 2. Kalorama
- Lee, E. A.-L., Wong, K. W. & Fung, C. C., (2009). Learning Effectiveness in a Desktop Virtual Reality-Based Learning Environment, In Kong, S.C., et al. (Eds.). *Proceedings of the 17th International Conference on Computers in Education*. Asia-Pacific Society for Computers in Education.
- Leite, W. L., Svinicki, M., & Shi, Y. (2010). Attempted validation of the scores of the VARK: Learning Styles Inventory with multitrait-multimethod confirmatory factor analysis models. *Educational and Psychological Measurement*, 70, 323-339.
- Leng, J. (2001). *Scientific examples of Virtual Reality and visualization applications*. UKHEC
- Maynard, N., Kingdon, J., Ingram, G., Tadé, M., Shallcross, D. C., Dalvean, J. & Kavanagh, J. (2012). *Bringing Industry into the Classroom: Virtual Learning Environments for a New Generation*. [Congress]. Proceedings of the 8th International CDIO Conference, Queensland University of Technology, Brisbane, July 1–4, 2012

- Meyer, R., Debiaggi, M., y Giménez, N. (2008). La inferencia estadística como metodología. análisis de contenido de ideas fundamentales (IEF). *Ciencias Económicas*, 2(9), 29-46.
- Molineux, J. & Haslett, T. (2005). *The use of Total Systems Intervention in an action research project: Results and implications arising from practice*. [Congress]. 11th Annual ANZYS Conference/Managing the Complex V: "Systems Thinking and Complexity Science: Insights for Action", New Zealand, 5-7.
- Ocampo, F., Guzmán, A., Camarena, P., y de Luna, R. (2014). Identificación de estilos de aprendizaje en estudiantes de ingeniería. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 19(61), 401-429.
- Olazábal, A.M., y Camarena, P. (2003). *Categorías en la traducción del lenguaje natural al lenguaje algebraico de la matemática en contexto*. *Memorias del Congreso Nacional de Profesores de Matemáticas, México*.
- Palarea M., y Socas, M. (1994). Algunos obstáculos cognitivos en el aprendizaje del lenguaje algebraico. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 16, 91-98
- Rugarcia, A., Felder, R., Woods, D. R., & Stice, J. E. (2000). The Future of Engineering Education, A vision for a new century. *Chem. Engr. Education*, 34(1), 16-25.
- Salavastru, D. (2014). Obstacles and errors in the appropriation of the psychological language. *Argumentum. Journal the Seminar of Discursive Logic, Argumentation Theory y Rhetoric*, 21(1).
- Sampaio, A. Z. (2012). Virtual Reality Technology Applied in Teaching and Research in Civil Engineering. *Education Journal of Information Technology and Application in Education*, 1(4).
- Sánchez-Lara, B. (2015). *Enfoque de Sistemas [notas del curso]*. Programa de Posgrado en Ingeniería, UNAM Departamento de Ingeniería de Sistemas

- Seijo, B., M., Iglesias, N., Hernández, M., & Hidalgo, C. R. (2010). Métodos y formas de organización del proceso de enseñanza- aprendizaje. Sus potencialidades educativas. *Rev Hum Med*, 10(2).
- Serradó, A., Cardeñoso, J. M., y Azcárate, P. (2005). Los obstáculos en el aprendizaje del conocimiento probabilístico: su incidencia desde los libros de texto. *Statistics Education Research Journal*, 4(2), 59-81.
- Serway, R. A. (1997). *Física, II*. McGraw Hill
- Soares, P. V., de Almeida Milito, G., Pereira, F. A., Reis, B. R., Soares, C. J., de Sousa Menezes, M., & de Freitas Santos-Filho, P. C. (2013). Rapid prototyping and 3D-virtual models for operative dentistry education in Brazil. *Journal of dental education*, 77(3), 358-363.
- Stoner, J., R. Freeman, E. y Gilbert, D. (1996). *Administración*. Pearson Educación.
- Sulbaran, T. & Baker, N.C., (2000). *Enhancing engineering education through distributed virtual reality*. [Congress]. Frontiers in Education Conference Proceedings, pp. S1D/13-S1D/18, 30th Annual Frontiers in Education–Vol 2.
- Talaba, D., & Amditis, A. (2008). *Tools and Methods Based on Virtual Reality. Product Engineering*. Springer.
- Thorndike, L.R., & Hagen, E. (1973). *Tests y técnica de medición en psicología y educación*. Editorial Trillas
- Vesely, F. J. (2005). Explaining Gibbsean phase space to second year students. *European journal of physics*, 26(2), 243.
- Villamil, L. E. (2008). La noción de obstáculo epistemológico en Gastón Bachelard. *Espéculo: Revista de Estudios Literarios*, 38.
- Von Bertalanffy, L. (1950). An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1(2), 134–165.
- Warren, L. (2002). *Total Systems Intervention. Systems Science and Cybernetics – Vol. II Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Plenum Press



Religación

Press

Ideas desde el Sur Global



R E L I G A C I Ó N
CICSHAL

Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades
desde América Latina



Religación
Press



ISBN: 978-9942-642-16-5



9 789942 642165