



**TECNOLOGICO DE MONTERREY**

**EGE**<sup>®</sup>

Escuela de Graduados en Educación

**UNIVERSIDAD TECVIRTUAL  
ESCUELA DE GRADUADOS EN EDUCACIÓN**

**Utilización de las estrategias didácticas del aprendizaje basadas en la construcción de modelos y en la investigación dirigida aplicadas a las deformaciones relativas de elementos de máquina y de estructuras en Mecánica de los Materiales**

**Tesis para obtener el grado de:**

**Maestría en Educación con Acentuación en la Enseñanza de las Ciencias**

Presenta:

**Saturnino Gámez Guadrón**

Asesor tutor:

Mtra. Ana Eduwiges Orozco Aguayo

Asesor titular:

Dra. Bethania Arango Hisijara

**San Salvador, El Salvador**

**abril, 2014**

## **Utilización de las estrategias didácticas del aprendizaje basadas en la construcción de modelos y en la investigación dirigida aplicadas a las deformaciones relativas de elementos de máquina y de estructuras en Mecánica de los Materiales**

En este estudio se aplicaron dos de las muchas estrategias para la enseñanza de las ciencias: la construcción de modelos y la investigación dirigida a fin de facilitar el aprendizaje de las deformaciones relativas de elementos de máquina y de estructuras.

La investigación se efectuó desde la perspectiva constructivista y de orientación epistemológica fenomenológica, por lo cual se empleó un método mixto cuasi-experimental que parte de la premisa de que la combinación de los enfoques cualitativos y cuantitativos provee la mejor comprensión de los problemas que se investigan. La población estuvo constituida por 38 alumnos que cursaron la materia Resistencia de los Materiales correspondiente al quinto ciclo de dos carreras de Ingeniería, que se dividió en dos grupos homogéneos: el grupo de control y el grupo experimental. El estudio se realizó bajo el nombre de Proyecto de Cátedra con las modalidades tradicional y experimental. Se diseñaron 7 instrumentos de recolección de datos. El diseño y las preguntas de los instrumentos antes mencionados son de elaboración propia y específicos para las actividades que se desarrollaron.

Para verificar las conclusiones se utilizó la triangulación y la comparación de resultados de los diferentes instrumentos. También se respetaron los aspectos éticos. Se concluyó que la estrategia didáctica de construcción de modelos tiene una serie de beneficios, ya que les permitió poner en práctica los conocimientos adquiridos en varias de las asignaturas del pensum de la carrera y entender de mejor manera el papel de las hipótesis, aproximaciones o simplificaciones en los modelos y su uso a lo largo de su carrera. La encuesta de opinión reflejó que los estudiantes tienen

opiniones muy favorables sobre la estrategia de construcción de modelos. Existieron muchas deficiencias para implementar la investigación dirigida, comenzando con el hecho de la pobre comunicación de los estudiantes con el profesor sobre las dificultades surgidas. Solamente que el profesor los abordara había comunicación. Resultados confiables no se habían obtenido al momento de concluir esta investigación, como para discutirlo con los otros equipos de trabajo; sobre el diseño de modelos, no se obtuvo otra propuesta, se trabajó con la propuesta del profesor.

## Índice

<b>Capítulo I: Planteamiento del problema.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Marco contextual.....	2
1.2.1. Institución en la que se realizó el estudio .....	2
1.2.2. Nivel educativo.....	4
1.2.3. Entorno socioeconómico.....	6
1.2.4. Características bio-psico-sociales de los estudiantes.....	7
1.3. Definición del problema.....	8
1.4. Preguntas de investigación.....	9
1.5. Objetivos.....	10
1.5.1. Objetivo general.....	10
1.5.2. Objetivos específicos.....	10
1.6. Justificación.....	11
1.7. Beneficios esperados.....	12
1.8. Delimitación del estudio.....	14
<b>Capítulo 2: Marco Teórico.....</b>	<b>15</b>
2.1. Teorías clásicas relevantes del conocimiento y del aprendizaje	15
2.2. Estrategias utilizadas en la investigación.....	19
2.2.1. Aprendizaje basado en la construcción de modelos.....	19
2.2.2. Aprendizaje basado en investigación dirigida.....	29
2.3. Conceptos de física involucrados.....	36
2.3.1. Conceptos básicos.....	36
2.3.2. Conceptos de Mecánica de los Materiales.....	36
2.4. Investigaciones empíricas.....	40
<b>Capítulo 3: Metodología.....</b>	<b>50</b>
3.1. Método de investigación.....	50
3.2. Población participante y selección de la muestra.....	54
3.3. Instrumentos de recolección de datos.....	56
3.4. Procedimiento en la aplicación de instrumentos.....	58
3.5. Estrategia de análisis de datos.....	61

<b>Capítulo 4: Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>64</b>
4.1 Resultados.....	68
4.2 Trabajo de Campo.....	71
4.2.1 Bitácora de campo .....	71
4.2.1.1. Resultados de la bitácora de campo.....	76
4.2.2. <i>Focus group</i> .....	76
4.2.3. Encuesta de opinión.....	78
4.2.4. Foro de discusión.....	80
4.3. Análisis de Resultados.....	81
4.3.1. Resultados del pre-test.....	81
4.3.2. Resultados del test de desempeño.....	82
4.3.3. Resultados del post-test.....	85
4.3.4. Resultados del <i>focus group</i> .....	86
4.3.5. Resultados del análisis documental.....	88
4.3.6. Triangulación de los resultados.....	88
4.4 Confiabilidad y Validez.....	92
<b>Capítulo V: Conclusiones.....</b>	<b>94</b>
5.1. Resumen de hallazgos.....	94
5.1.1. Hallazgos cuantitativos.....	94
5.1.2. Hallazgos cualitativos.....	95
5.1.3. Áreas de oportunidad.....	99
5.1.4. Limitaciones.....	101
5.2. Recomendaciones para implementar las estrategias abordadas.....	103
5.3. Sugerencias de futuras investigaciones.....	104
5.4. Cumplimiento de los objetivos específicos.....	107
<b>Referencias.....</b>	<b>109</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>113</b>
Apéndice A: Plan de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica.....	113

Apéndice B: Planificación de la asignatura Resistencia de los materiales.....	114
Apéndice C: Explicación sobre el proyecto de cátedra tradicional.....	115
Apéndice D: Mapa conceptual para abordar la problemática expuesta.....	116
Apéndice E: Lista de cotejo para calificar el proyecto de cátedra tradicional.	117
Apéndice F: Un modelo para el proceso de construcción de modelos.....	118
Apéndice G: Examen exploratorio (pre-test y pos-test).....	119
Apéndice H: Cuestionario de opinión en escala Likert.....	126
Apéndice I: Cronograma de actividades.....	128
Apéndice J: Sesiones planificadas para la intervención.....	129
Apéndice K: Cartas de consentimiento.....	132
Apéndice L: Fotos del desarrollo del pre-test.....	134
Apéndice M: Primeros avances del proyecto didáctico.....	138
Apéndice N: Transcripción del <i>focus group</i> .....	147
Apéndice Ñ: Encuesta de opinión y resultados obtenidos.....	152
Apéndice O: Hoja de respuestas para el pos-test.....	155
Apéndice P: Resumen del foro de discusión.....	157
Apéndice Q: Fotos del foro de discusión.....	160
Apéndice R: Hipótesis de trabajo para el modelo.....	162
Apéndice S: Guía de asignaciones y hojas de cotejo de evaluación del proyecto didáctico.....	164
Apéndice T: secciones importantes del informe del equipo 2 de la elaboración del modelo físico.....	170
Apéndice U: Fotografía del modelo físico construido por el equipo 2.....	178
Apéndice V: Secciones importantes del informe de uno de los equipos de simulación.....	179
<b>Currículum Vitae.....</b>	<b>185</b>

## **Planteamiento del problema**

### **1.1. Antecedentes**

El Salvador es un país que en 1992 firmó los acuerdos de paz, después de una cruenta guerra civil de 20 años. Sin embargo, después de la firma de tales acuerdos, cada uno de los partidos políticos representantes de las partes que estuvieron enfrentadas en guerra, intenta dificultar la gestión del que está el poder en ese momento, y el nivel de polarización entre ellos es alto, lo cual se transmite en parte al resto de la población.

En general el nivel educativo es bajo al tomar de referencia los resultados de la Prueba de Aprendizaje y Aptitudes (PAES), administrada por el Ministerio de Educación de la República de el Salvador (2013), arrojó una nota promedio a nivel nacional de 5.3 de 10.0 puntos. La infraestructura de buena parte de los centros educativos nacionales se encuentra en mal estado, cuentan con escaso equipamiento, y son asediados por las pandillas que tienen en tales centros lugares de reclutamiento de niños y jóvenes para incorporarlos a sus organizaciones delictivas. En la universidad estatal, la situación educativa se refleja con más dramatismo, ya que todos los años efectúa un examen de admisión; este año no ha sido la excepción; un 6 % de los examinados obtuvo una nota de 5.0/10 o más según la noticia de Diario el Mundo (22 de noviembre de 2013), lo que podría indicar que el 94 % no tiene el nivel mínimo para continuar con estudios universitarios; sin embargo, finalmente aceptaron cerca del 40 % de los aspirantes.

Por lo tanto, cada vez es más común ver alumnos que ingresan a las universidades sin tener el nivel académico adecuado para cursar estudios universitarios, sin una orientación vocacional en su centro de estudios, ni la

disciplina requerida. Es tan grave el problema del nivel académico, que la universidad estatal se ha visto obligada en algunos casos a aceptar muchachos que obtuvieron 3.0 de nota, en base a 10.0 del examen de “admisión”, que consta de unos cien ítems con preguntas de opción múltiple con cuatro posibilidades; con el fin de llenar los cupos disponibles. Hay muchachos en las aulas universitarias que se les dificulta incluso leer un texto sencillo, y el nivel matemático de la mayoría se puede considerar deplorable.

Los profesores de escuelas e institutos son también víctimas de los pandilleros, y en muchos lugares se ven obligados a promover alumnos que no merecen ser promovidos por las amenazas de los mismos alumnos o de sus padres. El nivel de deserción escolar es alto en todos los niveles, de modo que según el sitio web del Ministerio de Educación, solamente el 4.2 por ciento de la población está inscrita en las diferentes universidades, lo cual corresponde aproximadamente a la mitad de los estudiantes que terminan su bachillerato.

## **1.2. Marco contextual**

**1.2.1. Institución en la que se realizó el estudio.** La Universidad Don Bosco (UDB) es de carácter privada, miembro de las Instituciones Universitarias Salesianas; y en el caso de El Salvador, recibe mayoritariamente estudiantes de estratos sociales medios. La UDB está acreditada por la comisión de acreditación de la calidad de la educación superior adscrita al ministerio de educación de la República de El Salvador.

Según su sitio web, la Universidad Don Bosco (2013) tiene la misión de educar con base en el carisma salesiano y para el desarrollo integral de la persona humana,

promoviendo por medio de la ciencia y la tecnología, la construcción de una sociedad libre, justa y solidaria. En cambio su visión enfatiza que es una universidad reconocida por la innovación de sus carreras y servicios, que incide en el entorno social y productivo a partir de las competencias profesionales de sus graduados, y que cuenta con docentes de reconocido prestigio. El modelo educativo de la UDB se basa en la experiencia educativa de Don Bosco, y en la naturaleza y las tendencias de la Educación Superior; así como en las opciones de la Iglesia Católica y el contexto, con el fin de guiar el hecho educativo.

Esta institución desarrolla las funciones de investigación, docencia y proyección social, así como la gestión, la vinculación empresarial y otros aspectos, procurando altos estándares de calidad, orientadas a una educación participativa que articule teoría y práctica, que sea crítica y propositiva, procurando la búsqueda de la verdad y en autoevaluación permanente para responder al desarrollo humano y social. Algunos programas institucionales que materializan los planteamientos del modelo bosconiano son: asesorías académicas, programa de tutoría estudiantil, seguimiento a graduados, prácticas profesionales, servicio social estudiantil, desarrollo profesional de docentes y administrativos.

La UDB cuenta con el programa PERSEVERA, una propuesta integral para la mejora de los Índices de Eficiencia Interna (IEI), especialmente la reducción de la deserción, repetición y rezago académico. Fue diseñado como un llamado y oportunidad para practicar la perseverancia, la constancia, el esfuerzo permanente, y a dar certeza y confianza en las actuaciones académicas de los alumnos. Dicho programa tiene los siguientes componentes: Observatorio, es un monitoreo permanente de los indicadores educativos de eficiencia interna, especialmente la

repetición y la deserción; hace uso del Gestor Académico y otras bases de datos e informes. “Coaching”: Formación de “coach” (técnicos y docentes) e identificación de “coachees” (estudiantes) que estén en situación de repetición o en riesgo de abandono del sistema, para ayudarles a desarrollar sus capacidades de acción y establecimiento de compromisos personales lo más integralmente posible.

En el mismo programa se encuentra: la autoformación, la identificación de bibliografía y de recursos educativos abiertos que respondan a las necesidades de refuerzo y motivación para su uso por medio de las TIC; fomento de la autodisciplina y el apoyo mutuo en equipos de trabajo, redes virtuales y asignación de becas. Estudio de la clase: método con el que el personal docente realiza la mejora de la enseñanza en clase por medio de la observación e investigación, reflexión conjunta, mejora de los materiales didácticos y recursos evaluativos. Con ello se cultiva la capacidad y confianza en sí mismo.

Por otra parte, cuenta con la tutoría estudiantil, que tiene como objetivo orientar y apoyar al alumno durante su proceso de formación, a partir del conocimiento de sus problemas y necesidades académicas, así como de sus inquietudes y aspiraciones profesionales, y del desarrollo de competencias personales (aprender a ser), cognitivas (aprender a aprender), productivas (aprender a hacer) y sociales (aprender a convivir).

**1.2.2. Nivel educativo.** El proyecto de investigación se llevó a cabo con estudiantes a nivel de licenciatura que cursan la asignatura Resistencia de los Materiales, situada a nivel de quinto ciclo de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, cuyo prerrequisito es la asignatura “Estática de los cuerpos rígidos”, llamada también “Mecánica Vectorial para Ingenieros”, en el plan de

estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica (ver plan de estudios en el Apéndice A), y de Dinámica en el caso de Ingeniería Mecatrónica. Es usual que la cantidad de aprobados en esta materia sea del 85 % o más; aclarando que la parte teórica, que es principalmente individual, tiene una ponderación del 60 % de la nota de ciclo, y los laboratorios, que es una nota principalmente colectiva tiene una ponderación del 40 %, lo cual favorece a los alumnos de bajo rendimiento porque en los exámenes teóricos individuales, las aprobaciones son bajas, llegando a veces al nivel del 25 %.

Resistencia de los Materiales es una asignatura con tres unidades valorativas y corresponde a la parte de formación en ciencias de la ingeniería (ver planificación en el Apéndice B). Se imparten tres horas clase semanales y una sesión de laboratorios de dos horas de duración cada quince días, además se gestionó una tutoría de dos horas semanales para que resuelva problemas debido a que en las clases el tiempo es insuficiente. El número de estudiantes inscritos varía entre treinta y cuarenta, y se imparte en el ciclo I de cada año, el cual comienza en la cuarta semana del mes de enero de cada año. Su propósito es que los estudiantes visualicen las relaciones que se dan entre esfuerzos aplicados y deformaciones resultantes en las piezas y dispositivos estudiados, y así determinar si el material utilizado es confiable o tiene riesgo de fallas. Tales contenidos son necesarios para analizar y diseñar elementos de máquinas y estructuras que soportan cargas, por lo cual esta asignatura es prerequisite de la materia Diseño de Elementos de Maquinas I.

Para cumplir con este propósito, la asignatura se divide en seis temas que son:

1. conceptos de esfuerzo y de factor de seguridad,
2. relaciones esfuerzo-deformación en materiales de ingeniería,
3. elementos sujetos a torsión,
4. elementos sujetos a flexión pura,
5. análisis y diseño de vigas para flexión y
- 6.

transformaciones de esfuerzos y deformaciones. El ciclo está dividido institucionalmente en tres periodos, y el sistema de evaluación está condicionado por tal exigencia. Por disposición institucional, la parte teórica tiene una ponderación del 60 % de la nota final y la parte experimental y de laboratorios tiene una ponderación del 40 %; de modo que en cada periodo se tiene en la parte teórica un examen parcial, con una ponderación del 65 %, un examen corto con una ponderación del 10 % y un proyecto de cátedra con una ponderación del 25 %. En la parte de laboratorios, en el primer periodo se desarrollan dos laboratorios, y en el segundo y tercer periodos, hay tres laboratorios con ponderaciones iguales.

Cada examen parcial está dividido en una parte conceptual, de complementar con una ponderación entre el 40 y el 50 %, y resolución de problemas, del 50 al 60 %.

En la parte del proyecto de cátedra tradicional, hay una guía de asignaciones (ver Apéndice C) en las cuales se dan las indicaciones para desarrollarlo y la rúbrica de cada entrega. El proyecto se desarrolla en grupos de cinco alumnos como máximo; ellos eligen el tema de entre dispositivos de uso común en el hogar o en el trabajo, tal como una bicicleta, una engrapadora, una chapa de puerta entre otros. Los alumnos tienen que elegir individualmente una pieza del dispositivo y analizarla, de modo que se vuelve un trabajo individual, pero con discusiones de grupo por la interacciones existentes entre las diferentes piezas.

**1.2.3. Entorno socioeconómico.** La UDB, se encuentra en el municipio de Soyapango, en el Departamento de San Salvador, a unos ocho kilómetros del centro de la ciudad de San Salvador; ambas ciudades son parte de la región metropolitana, que tiene más de medio millón de habitantes. Soyapango es un municipio con alta

concentración de industrias y de población mayormente pobre, con alta presencia de maras y pandillas. Muchos alumnos que viajan en buses de transporte público han sido asaltados. Dentro de las instalaciones de la UDB se tiene una buena vigilancia, y se cuenta con transporte institucional.

**1.2.4. Características bio-psico-sociales de los estudiantes.** La edad de la mayoría de los estudiantes varía entre 20 y 23 años, es decir, están en la adolescencia tardía, lo cual los lleva a tener una gran energía que se podría encausar para lograr un buen rendimiento académico. Es la época de maduración psicológica, aunque muchos parecen no estar conscientes de sus responsabilidades. Sin embargo, hay un porcentaje apreciable de alumnos que trabaja y la mayoría de éstos tiene una familia que depende de éstos.

Las universidades privadas en general no efectúan examen de admisión, sino un examen exploratorio que es acompañado de algunos cursos remediales, a fin de retener aquellos alumnos realmente interesados en los estudios universitarios. La mayoría de los alumnos no adquiere ninguno de los libros recomendados, algunos incluso llegan sin la guía de laboratorio en la fecha que se ejecuta, a pesar de ser requisito y que se hace un examen previo a su ejecución. El uso de celulares sofisticados está bastante extendido entre los alumnos, aunque por disposición institucional está restringido su uso en las clases. También se observa que la mayoría de alumnos no tiene hábitos de estudio, y en la semana de exámenes se desvelan tratando de asimilar los contenidos de las cinco o seis semanas de clases del periodo. En la carrera de Ingeniería Mecánica de la UDB, la eficiencia académica o terminal, que es la relación de los estudiantes egresados entre los que ingresan en un año de referencia, es bastante baja, llegando a un doce por ciento.

La Universidad Don Bosco atrae a muchos estudiantes por su contacto con la empresa privada y por su equipamiento tecnológico, el cual posiblemente sea el mejor entre las universidades privadas; por ejemplo, tiene una relación muy estrecha con la empresa que le da mantenimiento a las aeronaves comerciales.

Las aspiraciones de la mayoría de los estudiantes de las ingenierías Mecánica y Mecatrónica es conseguir un empleo en el sector tecnológico de la empresa privada; de hecho, hay un buen porcentaje de alumnos que trabaja y estudia simultáneamente, atraídos por los horarios, por el equipamiento y por la calidad de los profesores, a pesar del riesgo de la zona.

Con este trabajo se pretende mejorar el rendimiento de los alumnos en la parte teórica individual, que es donde se han captado las deficiencias, de modo que la investigación arroje información sobre la efectividad de las estrategias a utilizar en el aprendizaje de los temas que más se le dificultan entender a los alumnos.

### **1.3. Definición del problema**

Se buscó aprovechar la capacidad que tiene el ser humano de contemplación, reflexión y observación de los fenómenos naturales, a fin de mejorar el proceso enseñanza –aprendizaje visto desde un esquema de competencias. Para lograr lo anterior se propusieron estrategias didácticas que promovieran el aprendizaje significativo de orientación constructivista (ver Apéndice D), especialmente en los alumnos poco aventajados en el campo de la Resistencia de los Materiales del quinto semestre de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Don Bosco. Además se propuso el desarrollo de algunas competencias en investigación por medio de asignarles un proyecto: el estudio de un dispositivo seleccionado por ellos mismos y que esté a su alcance, de modo que logre motivarlos

y apliquen la observación, la reflexión y la investigación, cuyos avances (informes) se evaluaban por medio de hojas de cotejo (Apéndice E).

La investigación se efectuó en el nivel educativo universitario, debido a que es al que se tiene acceso. Se abordó la temática combinando la estrategia de aprendizaje por construcción de modelos con la de investigación dirigida, de modo que tanto la parte cognoscitiva como el desarrollo de algunas competencias en investigación se abordaran, para lograr un aprendizaje significativo.

Ahora bien, los principales problemas de aprendizaje que se presentan en esta asignatura se relacionan con: el concepto de esfuerzo cortante y deformación por cortante, las relaciones geométricas en elementos estáticamente indeterminados, la comprensión del diagrama esfuerzo-deformación, los concentradores de esfuerzo, la flexión de dispositivos hechos de diferentes materiales, los diagramas de cortantes y de momento en elementos sujetos a carga transversal, y con las transformaciones de esfuerzo.

En esta ocasión, las estrategias didácticas seleccionadas se enfocaron a que los estudiantes aprendan a plantear y utilizar las relaciones geométricas de elementos estáticamente indeterminados colocados en serie o en paralelo, basándose en las propiedades de los materiales en la región elástica proporcional, para conocer los esfuerzos axiales aplicados y las deformaciones experimentadas por cada elemento, debido a las dificultades observadas en los alumnos al analizar problemas teóricos.

#### **1.4. Preguntas de investigación**

##### **a. Pregunta principal**

¿Mejorará el aprendizaje de los conceptos relacionados con los esfuerzos y las deformaciones relativas de piezas de máquinas al utilizar una combinación de aprendizaje basado en la construcción de modelos con la investigación dirigida aplicados desde el punto de vista constructivista?

#### **b. Preguntas subordinadas**

1. ¿Mejorará el proceso enseñanza- aprendizaje si se efectúan los análisis con ayuda de estrategias relacionadas con la construcción de modelos y la investigación dirigida?
2. ¿Despertarán el interés de los alumnos los conceptos relacionados con las deformaciones relativas y los esfuerzos involucrados en piezas de máquinas, si se implementan en clases las estrategias didácticas antes mencionadas?
3. ¿Ayudarán los principios constructivistas a organizar y secuenciar los contenidos para obtener un aprendizaje efectivo de los alumnos?

#### **1.5. Objetivos**

**1.5.1. Objetivo general.** Evaluar el impacto de las estrategias didácticas de aprendizaje basadas en la construcción de modelos con la investigación dirigida desde la óptica constructivista en la cátedra de Resistencia de los Materiales de la Universidad Don Bosco, en el aprendizaje de las deformaciones relativas de elementos ensamblados en dispositivos mecánicos.

**1.5.2. Objetivos específicos.** Son los siguientes:

1. Mejorar el proceso enseñanza- aprendizaje de las deformaciones relativas con ayuda de estrategias relacionadas con la construcción de modelos y la investigación dirigida

2. Despertar el interés de los alumnos en los conceptos relacionados con las deformaciones relativas y los esfuerzos involucrados en piezas de máquinas, implementando en los proyectos las estrategias didácticas antes mencionadas
3. Con ayuda de los principios constructivistas organizar y secuenciar los contenidos para obtener un aprendizaje efectivo de los alumnos.

### **1.6. Justificación**

Estudiar los temas propuestos para mejorar el aprendizaje de los alumnos reviste una gran importancia debido a que las reprobaciones que se dan a nivel universitario en la parte teórica son preocupantes, llegándose a extremos de hasta un setenta y cinco por ciento. Por un lado, el profesor se siente incómodo al asignar calificaciones bajas a un buen porcentaje de los estudiantes, especialmente cuando ha cuidado cada detalle del material presentado a sus alumnos; por otro lado, está el estudiante que cree haber hecho un gran esfuerzo y se siente defraudado con una baja calificación, lo que mina su autoestima y lo hace perder tiempo valioso al tener que repetir la asignatura o retirarse de sus estudios. Pero también se encuentra la familia del alumno, que invierte recursos en la formación del muchacho y al final se convierte en una pérdida de tiempo y de recursos económicos, así como el impacto emocional de ver fracasar al joven en sus estudios universitarios, en el cual se habían puesto muchas ilusiones.

Asimismo, la sociedad pierde, ya que recursos humanos valiosos son mal aprovechados, además la institución educativa pierde una fuente de recursos con la deserción de alumnos, impactándola negativamente.

Esta situación obliga a reflexionar sobre una variedad de aspectos, como son: los programas de asignaturas rígidos que se manejan usualmente en las instituciones educativas, la calidad de la educación, las bases que traen los alumnos de su formación anterior, los hábitos de estudio de los alumnos; que si para elegir la carrera tuvieron una orientación adecuada, si los alumnos llegan alimentados adecuadamente, con buena salud y si cuentan con los recursos (libros, internet, laptop, impresora, lugar, etc.) para estudiar adecuadamente.

Pero el docente también debe esforzarse por evitar algunas concepciones erróneas en la enseñanza de las ciencias, varias de ellas identificadas por Pérez (1993), algunas son las siguientes: visión empirista y atórica, visión rígida, visión aproblemática y ahistórica (dogmática), visión exclusivamente analítica, visión acumulativa o lineal, visión “de sentido común”, visión individualista y visión descontextualizada o neutra. Finalmente, es muy importante seleccionar las estrategias didácticas más adecuadas según el tema que se desarrolla.

### **1.7. Beneficios esperados**

La relevancia de este problema consiste en que los resultados podrían servir para la toma de decisiones de la institución, en lo que respecta a modificar: los pre-requisitos de la materia, las unidades valorativas de la misma, los recursos puestos a disposición de la materia, los compromisos del profesorado con respecto a las estrategias a utilizar en el aula a fin de tener un mayor porcentaje de aprobados; pero principalmente, que los conceptos sean asimilados por los alumnos, ya que servirán de base para sus estudios posteriores, y por lo tanto para mejorar la eficiencia terminal.

Al mejorarse el aprendizaje de los alumnos, mejora la autoestima de los mismos, hay una mayor armonía en el aula y mejor ambiente. El profesor se siente realizado, y la sociedad se ve favorecida con mejores profesionales, los recursos se aprovechan de mejor manera.

Por lo tanto, esta investigación se justifica por su conveniencia, ya que sus resultados orientarán a los profesores sobre estrategias didácticas exitosas; por su relevancia social, ya que responderá a resolver las necesidades detectadas y explicadas con anterioridad; por sus implicaciones prácticas, debido a que se espera que al comparar el nivel de aprendizaje anterior con el que se implementará surjan recomendaciones para proponer y mejorar las estrategias más efectivas en el proceso enseñanza-aprendizaje; por su valor teórico, ya que los resultados de la investigación permitirán revisar diferentes prácticas docentes en lo referente a la evaluación formativa; por su utilidad metodológica, ya que al coleccionar y analizar datos, permitirá proponer guías que mejoren la práctica docente para elevar el rendimiento académico; y por su viabilidad, ya que se tiene una institución en la cual efectuar la investigación y el apoyo institucional, así como los recursos para efectuarla.

### **1.8. Limitaciones del estudio**

Evidentemente en una investigación no se pueden abordar todas las situaciones problemáticas de la asignatura Resistencia de los Materiales, por lo cual ésta investigación se centró en un tema muy específico, que es las deformaciones relativas de dispositivos compuestos de dos materiales y sujeto a fuerzas externas, de modo que cada uno soporta parte de la carga, y tiene su propia deformación. Por otro lado, el tiempo disponible para desarrollar el tema y resolver ejercicios de aplicación es muy limitado.

La experiencia ganada en esta investigación permitirá ampliarla a otros temas de Resistencia de los Materiales, y un esquema similar podrá implementarse en la asignatura Ciencia de los Materiales. Al difundir los logros obtenidos a la comunidad de la UDB, se espera que otras asignaturas retomen la idea, lo cual mejorará el proceso enseñanza-aprendizaje de la institución, para graduar profesionales con mejores competencias, que beneficiarán finalmente al país.

## **Marco teórico**

Con el propósito de revisar los aspectos epistemológicos y abordar las estrategias didácticas: aprendizaje basado en la construcción de modelos y de investigación dirigida, se han recopilado y estudiado una variedad de trabajos relacionados con ambas estrategias. Esto se utilizó también para documentar y fundamentar el trabajo que se presenta a continuación, y se tomaron en cuenta los ambientes social, económico y emocional del alumno, así como el ambiente cultural y político en que se desenvuelven los participantes.

### **2.1. Teorías clásicas relevantes del conocimiento y del aprendizaje**

En la investigación educativa y en la innovación de las estrategias de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, es necesario conocer de la fase epistemológica, la fase cognitiva y la fase didáctica, así como sus relaciones e integración a fin de abordar con éxito los retos que plantean los tiempos modernos en esta área. A continuación se hacen consideraciones de tales fases.

Ramírez (2012) menciona que la educación es una actividad humana que puede orientarse al desarrollo de una sociedad; por lo cual no puede ser ajena a las ideas sobre el tipo de sociedad que se quiere tener y sobre la forma de transformarla. Esto último es lo que se denomina ideología, la cual está presente en toda actividad educativa, incluyendo la investigación. Por lo tanto, toda acción educativa llevará consigo una postura ideológica, frecuentemente con la finalidad de formar nuevos cuadros políticos.

La dimensión política, entendida como una actividad orientada a procurar un beneficio social, va más allá del trabajo que una clase gobernante realiza desde los

distintos poderes gubernamentales de un país; e implica la participación activa de los miembros de una sociedad en las decisiones que afecten su devenir.

Gagliardi (2006) propone dos teorías cognitivas que podemos utilizar para construir un modelo del conocimiento; una de ellas es la teoría de sistemas jerárquicos de restricciones múltiples, que aplicada al campo cognitivo indica que los conceptos y redes de conceptos establecen relaciones de restricción mutuas, que determinan que cada elemento tenga una significación específica; es decir, no hay una significado único de cada concepto, cada significación resulta de las interacciones mutuas entre los elementos intervinientes.

La otra teoría es la de los sistemas autopoyéticos que se caracterizan por producirse a sí mismos, y simultáneamente producir las condiciones de su funcionamiento. Se considera que un sistema autopoyético está organizado como una red de procesos de producción, transformación y destrucción de componentes (ideas, leyes, esquemas mentales, etc.) mediante los cuales se generan esos mismos componentes y esas mismas relaciones. De esta teoría se pueden deducir dos características del sistema cognitivo de gran aplicación en pedagogía: que el sistema cognitivo está en permanente funcionamiento, y que las estructuras cognitivas no existen aisladas de los conceptos. Es decir que al construir un concepto el estudiante construye y reconstruye su sistema cognitivo (Gagliardi, 2006).

Por otra parte, Moya y Campanario (1999) citan que muchos alumnos piensan que el pensamiento científico se articula en forma de ecuaciones y definiciones que tienen que ser memorizadas en vez de ser comprendidas, pero hoy se sabe que este tipo de situaciones se convierten en una barrera para el aprendizaje de las ciencias y

son responsables de muchos fracasos de estrategias propuestas para la enseñanza de las ciencias. Esta situación se da principalmente en la enseñanza por transmisión.

Asimismo, el docente debe analizar sus propias ideas sobre la enseñanza de las ciencias, para tratar de evitar algunas concepciones erróneas en la enseñanza de las ciencias. Tales concepciones son identificadas por Pérez (1993), entre ellas las siguientes: Visión empirista y ateorica, visión rígida, visión aproblemática y ahistórica (dogmática), visión exclusivamente analítica, visión acumulativa o lineal, visión “de sentido común”, visión individualista y visión descontextualizada o neutra.

Según Jonassen (1994, citado por Requena 2008), el ambiente de aprendizaje constructivista tiene ocho características que lo diferencian de otros ambientes: 1) permite a las personas el contacto con múltiples representaciones de la realidad; 2) utiliza múltiples representaciones de la realidad porque el mundo real es complejo y una extrema simplificación lo deforma; 3) enfatiza la construcción del conocimiento dentro de la reproducción del mismo; 4) resalta tareas auténticas de una manera significativa en el contexto, evitando instrucciones abstractas fuera del contexto; 5) proporciona entornos de aprendizaje similares a entornos de la vida diaria o casos basados en el aprendizaje, y no una secuencia predeterminada de instrucciones; 6) fomenta la reflexión en la experiencia; 7) permite el contexto y el contenido dependiente de la construcción del conocimiento; 8) apoya la construcción colaborativa del conocimiento por medio de la negociación social, dejando de lado la competencia entre los estudiantes para obtener algún tipo de reconocimiento.

Coll (1996) explica que constructivismo es el proceso por el cual los humanos llegamos a construirnos como personas iguales a las otras personas, pero

manteniendo la individualidad como parte del proceso de socialización. Cada uno de nosotros tiene rasgos idiosincrásicos y diferenciales, que nos permiten formar parte de un grupo humano y compartir con los otros miembros un conjunto de saberes y formas culturales. Si no se pertenece a una sociedad, no hay desarrollo personal posible. Añade el mismo autor, que la concepción constructivista se nutre de una variedad de disciplinas no estrictamente psicológicas, pero cuyas aportaciones son decisivas para comprender fenómenos y procesos educativos utilizando instrumentos conceptuales y metodológicos de otras disciplinas tales como: la microsociología de la educación, la sociolingüística de la educación, la etnometodología de la educación, las didácticas específicas y otras más, que contribuyen a facilitar la elaboración perceptual y cognitiva de la información que reciben las personas constantemente para transformarlo en nuevo conocimiento.

Gil, Carrascosa, Dumas-Carré, Furió, Gallego, Duch y Valdés (1999), al citar algunas críticas sobre el constructivismo en la educación, advierten sobre el peligro de interpretaciones erróneas debido a lectura superficial de trabajos de orientación constructivista, olvidando el importante trabajo de integración y síntesis que se desarrolla en el campo de la educación científica; mencionan también el uso indiscriminado que se le da al término “constructivismo”, por lo cual algunos lo ven como un concepto sin una definición clara. Agregan que el que existan enfoques diferentes o radicalmente enfrentados es positivo, ya que se traduce en exigencias para seguir profundizando y cotejar los desarrollos parciales con los globales en una comunidad científica cada vez más amplia y rigurosa.

Se enfatiza entonces que el sistema cognitivo está en permanente funcionamiento y sus estructuras están relacionadas estrechamente con los conceptos

por medio de los cuales las personas construyen y reconstruyen su sistema cognitivo. Es imprescindible evitar las concepciones simplistas, algunas muy difundidas como la que afirma que el pensamiento científico se presenta en forma de un algoritmo o de ecuaciones, ya que se convierten en una barrera para el aprendizaje de las ciencias y son las responsables de muchos fracasos académicos (Moya y Campanario, 1999).

Tomando en cuenta lo que mencionan las teorías clásicas sobre el proceso didáctico, en esta investigación nos inclinaremos por una enseñanza-aprendizaje con características constructivista y de orientación epistemológica fenomenológica (Valenzuela y Flores, 2012).

## **2.2. Estrategias utilizadas en la investigación.**

En las dos últimas décadas se ha dado una revolución en el desarrollo de la didáctica de las ciencias que no es de carácter lineal y que produce agudas controversias, pero mostrando usualmente convergencias y avances notables en la orientación del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Muchos investigadores educativos coinciden que se trata de la construcción de un nuevo modelo de enseñanza-aprendizaje de las ciencias capaz de reemplazar a los esquemas tradicionales de transmisión/ recepción de conocimientos. Abordaremos en las siguientes líneas dos estrategias didácticas relacionadas con estos cambios.

**2.2.1. Aprendizaje basado en la construcción de modelos.** Justi (2006) menciona que las ciencias deben formar parte del currículo porque los ciudadanos del siglo XXI deberán enfrentarse a situaciones que cambian rápidamente, y mucho más complejas e inciertas que en otras épocas. Para afrontarlas exitosamente tendrá que tomar decisiones basadas en los conocimientos científicos o utilizar habilidades técnicas para resolver cuestiones prácticas, por lo que no es apropiado pensar que el

fin de la enseñanza de ciencias sea transmitir conocimientos desvinculados de la realidad y muchas veces obsoletos, para que el alumno se limite a acumular tales conocimientos sin reflexionar sobre sus amplias aplicaciones. Por el contrario, incluir las ciencias en el currículo implica implementar un modelo de enseñanza que promueva una comprensión flexible, sistemática, más coherente con la realidad y principalmente crítica.

Después de argumentar deficiencias de las estrategias utilizadas en la enseñanza tradicional, Justi (2006) menciona la utilidad de los modelos en la vida diaria y los define como una representación de una idea, objeto, acontecimiento, proceso o sistema, creado con un objetivo específico, e indica que los modelos son instrumentos mediadores entre la realidad y la teoría porque son autónomos en relación a ambas. A fin de reforzar tal aseveración, menciona cuatro argumentos que contribuyen a tal autonomía (Morrison y Morgan, 1999; citados en Justi, 2006), siendo éstos los siguientes:

- Los modelos se construyen a partir de una mezcla de elementos tomados de la realidad modelada y de la teoría, incluyen también otros elementos externos a ellos. Además la construcción de modelos incluye necesariamente simplificaciones y aproximaciones que son decididas independientemente de los requisitos teóricos o de condiciones de los datos.

- La función de los modelos, pues son instrumentos que adoptan distintas formas y que tienen muchas funciones diferentes, son independientes del fenómeno representado; sin embargo, están muy relacionados con él.

- El poder de representación de los modelos, lo cual permite que los modelos funcionen no solamente como instrumentos, sino que también nos enseñen algo

sobre lo que representan. Es decir, que funcionen como una herramienta de investigación.

– El aprendizaje puede tener lugar en dos momentos del proceso: en la construcción y en la aplicación del modelo. Al construir un modelo, se crea una estructura representativa, y se desarrolla una forma científica de pensar. Por otro lado, al aplicar un modelo, se aprende sobre la situación representada por el mismo y se le confronta con los datos experimentales.

Justi (2006) también explica que si un modelo está fuertemente vinculado a la realidad, necesariamente existirán implicaciones sociopolíticas de los que lo crearon y de quienes lo usen; y que los modelos científicos son usualmente muy complejos, por lo cual los que se enseñan en las clases de ciencias son simplificaciones de los primeros, y se llaman modelos curriculares. Sin embargo, también hay que distinguir estos últimos de los modelos para la enseñanza, que son modelos creados específicamente para ayudar a los alumnos a aprender algún aspecto del modelo curricular. Los modelos para la enseñanza más comunes son dibujos, maquetas, simulaciones y analogías; cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus desventajas, y son muy potentes al ayudar a los alumnos a aprender ciencia.

El aprendizaje basado en la construcción de modelos es una estrategia de enseñanza-aprendizaje que trata de poner a los alumnos en disposición de comprender y saber aplicar los modelos científicos, ampliando simultáneamente la capacidad de manejar con sentido crítico situaciones relacionadas con las ciencias.

Según Gaisman (2006) el método más común de clasificar los modelos es según su tipo, forma y estrategia de utilización: modelos a escala, pedagógico-analógicos, icónicos, simbólicos, teóricos, mapas, diagramas, tablas, de proceso y

conceptos. También se pueden clasificar en estructurales, funcionales y espaciales, y en dinámicos o estáticos, determinísticos o estocásticos, materiales o simbólicos.

Por otra parte, Chamizo (2010) precisa tres aspectos de los modelos que permiten identificarlos claramente:

(1) De acuerdo con la analogía, los modelos pueden ser mentales, materiales o matemáticos.

(2) De acuerdo a su contexto, los modelos pueden ser didácticos, científicos o una combinación de ambos, dependiendo de la comunidad que los justifique y el uso que se les dé. Es muy importante el momento histórico en el que los modelos son construidos. En general los modelos más sencillos son los más antiguos.

(3) La porción del mundo que se va a modelar puede ser una idea, un objeto, un fenómeno o un sistema integrante del mismo.

De los modelos se pueden derivar hipótesis y someterlas a prueba para determinar su utilidad o su congruencia con el fenómeno modelado. Los modelos mentales son representaciones construidas por los estudiantes para dilucidar, explicar o predecir ciertas situaciones, y tienen alto grado de inestabilidad inicialmente; por lo que son descartados cuando ya no son necesarios.

Cognitivamente son modelos de trabajo desechables, los que sobreviven pueden ir perfeccionándose y convertirse en otro tipo de modelo, como los descritos a continuación.

Construir un modelo implica conocer a profundidad las analogías y las diferencias que tienen con la porción del universo que se está modelando. Si el modelo no concuerda con los datos empíricos, será necesario ampliarlo y corregirlo si es posible. Con el paso del tiempo, los modelos se hacen generalmente más

complejos, pues se van desarrollando a través de un proceso iterativo y la evidencia empírica permite revisar y modificar los presupuestos básicos de los mismos. Un modelo sigue generalmente una secuencia histórica en un área particular del saber, ya sea éste científico o escolar. El modelo atómico es un buen ejemplo de los cambios, ya que desde que fue propuesto hasta la actualidad tal modelo ha experimentado cambios sorprendentes y que hoy explica fenómenos de física, química, biología, etc. (Chamizo, 2010)

Según Chamizo (2010), los modelos materiales o prototipos son accesibles a nivel empírico y se construyen para comunicarse con otros individuos. Se iniciaron como modelos mentales probados que se expresan a través de un lenguaje específico, como el de la física, el de la química, el de la matemática, etc.; pueden ser objetos bidimensionales por ejemplo un mapa, o tridimensionales como las maquetas, o los modelos moleculares. Los modelos matemáticos se expresan generalmente como ecuaciones construidas para describir precisamente la porción del mundo que se está modelando. Muchos modelos matemáticos representan leyes que explican hechos aceptados por la comunidad científica. Las simulaciones y las animaciones son modelos materiales y se consideran una combinación de los modelos antes descritos; una vez que se construyen con una formulación matemática, pueden, con ayuda de software ser visualizados en una computadora.

Gran parte del conocimiento científico se hace público y por lo tanto está sujeto a comprobación por otras personas, generalmente otros científicos. Reproducir los experimentos y las observaciones por otros investigadores en diferentes condiciones de tiempo y espacio, y validarlos es lo que hace que el conocimiento científico se presente como objetivo y confiable. La principal forma de comunicarlo

es a través de artículos en revistas especializadas. Una tarea principal de los científicos es construir modelos sobre una determinada porción del mundo y son lo que publican; pero también es importante que los científicos evalúen cuál, de entre dos o más modelos complementarios, encaja con la evidencia disponible y por lo tanto cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno (Valenzuela y Flores, 2012).

El conocimiento escolar comprende los conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar. No es la ciencia cruda de los científicos, sino una reconstrucción de ésta. Aquí la clave, según Chamizo (2010), es la transposición didáctica, que es la transformación del conocimiento científico en un conocimiento posible de ser enseñado en un ambiente específico a unos alumnos que tiene sus propias particularidades. Se podrían reconocer dos tiempos y/o dos subconjuntos de modelos didácticos: los que corresponden a la enseñanza, es decir tal como son presentados por los expertos en el ambiente escolar y los que corresponden al aprendizaje, que son los expresados por los aprendices.

El proceso de construcción de modelos es fundamental en el proceso dinámico y no lineal de construcción de conocimiento científico, ya que debe resultar en un tejido de conceptos y proposiciones interrelacionados que permiten describir, explicar y prever fenómenos. Justi (2006) presenta un modelo para desarrollar el proceso de construcción de modelos, el cual se presenta en el Apéndice F, y propone cuatro etapas de construcción, que se exponen a continuación:

En la primera etapa del proceso, las personas interesadas en construir un modelo deben definir cuidadosamente el objetivo o conocerlo muy bien; luego buscan observaciones iniciales directas o indirectas, cualitativas o cuantitativas,

empíricas o mentales sobre el fenómeno o proceso que está siendo modelado. Después se procede a seleccionar los aspectos de la realidad que se usarán para describir el fenómeno a modelar; es decir, las situaciones con las que podría establecerse una analogía o el empleo de recursos matemáticos para fenómeno en cuestión, que podría ser muy complejo.

La segunda etapa parte de recopilar algunas experiencias vividas por otros, seleccionándolas de fuentes adecuadas y organizándolas, buscando combinar la creatividad con el razonamiento crítico del individuo. A continuación se elabora un modelo mental inicial, siendo muy importante decidir cuál será la forma de representación más adecuada para el modelo: concreta, visual, verbal, matemática, computacional, o una combinación de ellas.

La tercera etapa consiste en la comprobación del modelo propuesto; tales comprobaciones pueden ser de dos naturalezas: mediante experimentos mentales o mediante la planificación y realización de experimentos reales. La cantidad de comprobaciones de cada tipo y el orden de realización de las mismas depende de los responsables del modelo; pero en caso de que éste falle, se deberán hacer modificaciones en el mismo incorporando más elementos, o en casos extremos, regresar a la primera etapa de elaboración del modelo, pero añadiéndole el conocimiento adicional adquirido, que ahora forma parte de las experiencias anteriores del grupo.

Cuarta etapa, si el modelo tiene éxito en la tercera etapa y cumple con el propósito para el que ha sido elaborado, los responsables del mismo, convencidos de su validez, lo difunden. En este proceso de socialización deberán hacerse explícitos

tanto el ámbito de validez del modelo como las limitaciones del mismo, en relación con el objetivo trazado inicialmente.

Si el problema es la construcción de modelos para la enseñanza de las ciencias, el proceso es un poco diferente. Los alumnos no deberán utilizar el modelo como un algoritmo; por el contrario, se espera que a medida que ellos se involucren en actividades planificadas, desarrollen una forma de pensar que abarque los principales elementos del modelo, con capacidad de ser utilizado en una variedad de situaciones relacionadas o no con las ciencias. Los estudiantes podrán experimentar en este proceso aspectos excitantes e interesantes de la producción del conocimiento científico, formular preguntas muy críticas y acertadas, proponer explicaciones y predicciones y evaluar el modelo propuesto recabando información que pueda ayudar en la reformulación del mismo (Justi, 2006). A estas alturas, la mayoría de los alumnos habrán elaborado un modelo mental de los conceptos científicos propuestos en la enseñanza y estarán listos para la elaboración colaborativa.

El ambiente apropiado debe permitir el involucramiento y la cooperación; al principio la comprensión de los alumnos será incompleta, por lo que el profesor deberá reflexionar con ellos aspectos puntuales de la propuesta. Es muy importante clarificar las definiciones de los conceptos relevantes para concretar qué deben modelar los alumnos, así como para establecer una comunicación clara con ellos; también es fundamental que el profesor conozca su nivel de conocimientos, a fin de estimar qué orientaciones necesitarán como punto de partida para la construcción de un modelo mejorado, así como elaborar preguntas que les ayuden a pensar de forma crítica acerca del modelo en construcción. Se logrará motivar a los alumno si la propuesta de elaborar un modelo tiene sentido para ellos, es decir, que esté

contextualizada en el proceso de enseñanza y que sea entendido por los alumnos (Justi, 2006).

Para empezar a elaborar el modelo, Justi (2006) menciona que es preciso que los alumnos tengan algún tipo de experiencia con el fenómeno a modelar, basándose en informaciones, conceptos y las relaciones que existen entre éstos y que ya forman parte de la estructura cognitiva del alumno. Realizar actividades experimentales para contar con datos es particularmente relevante en aquellas situaciones en las que se les pide a los alumnos que elaboren modelos involucrando entidades abstractas, que no se manifiestan en situaciones cotidianas. Esto es común en química, donde los modelos que explican los procesos usan entidades del mundo atómico, fuera del alcance de nuestros sentidos por su tamaño.

Las actividades experimentales no pueden ser de tipo ilustrativo, porque entonces los alumnos seguirían una receta que los llevaría a una respuesta correcta y raramente desarrollarían una actividad cognitiva. Las actividades didácticas deberán ser de naturaleza investigadora, es decir, proporcionar a los estudiantes la oportunidad de pensar, de utilizar sus conocimientos previos y destrezas en la solución de problemas que carecen de una respuesta evidente para ellos y deberá ayudar en la elaboración, evaluación y revisión de los modelos.

También Justi (2006) propone favorecer la negociación de ideas entre alumnos, creando las condiciones necesarias para que las ideas interesantes se desarrollen, y también situaciones en las que los alumnos prueben sus modelos. Cuando los alumnos prueban sus modelos y éstos presentan incoherencias, se hace explícito el desequilibrio cognitivo que experimentan los alumnos.

La ciencia avanza cuando un modelo no explica nuevos aspectos del fenómeno, por lo cual requerirá ajustes por medio de analogías o algún principio de correspondencia; este proceso es muy similar al proceso de elaboración del conocimiento de los alumnos a través de la evolución de sus modelos conceptuales. La estructura lógico-matemática de los modelos teóricos contiene símbolos parcialmente interpretados y alcanza un punto de desarrollo hasta que entra en conflicto con nuestro entendimiento (Justi, 2006)

Islas y Pesa (2004), hablando de la validez de los modelos, explican que dada la intrínseca relación teoría-experimento propia de las ciencias fácticas, los modelos científicos se revisan permanentemente en dos sentidos: 1. Control empírico, es cuando el modelo puede explicar los datos disponibles (hechos experimentales) y predecir el curso de futuros experimentos, siendo indispensable señalar los intervalos de error que se consideran aceptables. 2. La modelización exige tomar decisiones sobre cuáles variables son relevantes y cuáles despreciables, para construir una representación idealizada del fenómeno en estudio También se debe evaluar qué tan bien se ajusta el modelo a otros modelos aceptados y al conocimiento teórico disponible, permitiendo verificar si es posible integrarlo a una teoría aceptada por la comunidad científica.

Zamorano, Gibbs y Viau (2003) utilizaron un modelo didáctico analógico para la enseñanza de circuitos de corriente continua, en el cual los alumnos hacían el papel de las cargas eléctricas, los pasillos del aula equivalían a los conductores por donde pasaban las cargas, las escaleras eran equivalentes a diferencias de potencial, y la directora de la escuela productora de fuerza electro motriz, ya que a la orden que ella daba, los alumnos se movían. Esto activó la intuición de los alumnos y promovió

actuaciones teatralizadas con los alumnos que mantuvieran el interés y el buen humor en la clase.

Aunque el uso de analogías y metáforas es parte esencial de la creatividad científica, se debe controlar el uso indiscriminado de ellas como función heurística, ya que podrían impedir la conceptualización de una teoría (Zamorano, Gibbs y Viau, 2003).

Con respecto a la utilidad de los modelos en los procesos de enseñanza-aprendizaje, Bonat, Martínez, Aragón y Mateo (2001) concluyen que el debate no debe centrarse en si son o no útiles las analogías en la enseñanza, sino en cuáles son las condiciones en las que las analogías son útiles desde el punto de vista didáctico; visualizar cuáles son los rasgos metodológicos que pueden mejorar su efectividad en la enseñanza. A veces el modelo análogo no es familiar e incluso en ocasiones resulta tan complejo o más que el fenómeno que se desea explicar.

Ocurre también que algunos alumnos no tienen actitudes favorables hacia el análogo empleado, o que no ven su utilidad. Usualmente el modelo se presenta como algo ya hecho y acabado que debe ser aceptado por los alumnos; por lo que su uso suele limitarse a un proceso de mera transmisión o recepción, limitándose los alumnos a jugar un papel pasivo. El aprendizaje del modelo se concibe como un fin en sí mismo, sin exponer cuáles son sus puntos débiles ni cuáles son los límites de aplicabilidad.

### **2.2.2. Aprendizaje basado en investigación dirigida**

Según Gil Pérez y Valdés Castro (1996), la idea central del modelo de aprendizaje de las ciencias como investigación consiste en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas de interés, a través de las cuales los alumnos

puedan participar en la construcción de los conocimientos, ya que todo conocimiento es la respuesta a una necesidad. La verdadera asimilación de conceptos exige un proceso activo de relación, diferenciación y reconciliación integradora con los conceptos pertinentes que ya existían. Las características esenciales de la nueva visión del aprendizaje, según Resnick (1983, citado por Gil Pérez et al., 1996) se resumen en tres principios:

- Quienes aprenden construyen significados. No reproducen simplemente lo que leen o lo que se les enseña.

- Comprender algo supone establecer relaciones entre conceptos. Los fragmentos de información aislados son olvidados o resultan inaccesibles a la memoria.

- Todo aprendizaje depende de conocimientos previos.

Esta es una simplificación que esconde muchas complejidades, pero revela una innegable similitud con tesis básicas acerca de cómo se construyen los conocimientos científicos. Una característica fundamental del tratamiento científico de los problemas es tomar las ideas que se tienen, incluyendo las más seguras y obvias, como hipótesis de trabajo que es necesario comprobar, esforzándose en visualizar otras hipótesis. No se busca eliminar los conflictos cognoscitivos, más bien se debe evitar que adquieran el carácter de una confrontación entre las ideas incorrectas y los conocimientos científicos. El aprendizaje de las ciencias es concebido así no como un simple cambio conceptual, sino como un cambio a la vez conceptual, metodológico y actitudinal (Gil Pérez et al., 1996)

El planteamiento constructivista del aprendizaje de las ciencias ha de responder a estas características de investigación dirigida, la de un trabajo de investigación en

el que constantemente se cotejan los resultados de los distintos equipos y se cuenta con la inestimable ayuda de un experto (el profesor) a fin de favorecer la máxima interacción entre los grupos por medio de la cual los alumnos pueden acceder a una característica fundamental del trabajo científico: la insuficiencia de las ideas y resultados obtenidos por un único colectivo y la necesidad de compararlos con los obtenidos por otros, hasta que exista la suficiente evidencia convergente para que la comunidad “científica” los acepte. De ahí la importancia de los intercambios entre los diferentes grupos de trabajo, y la participación del profesor como “experto que conoce de los resultados en el tema de una multitud de investigadores”, es decir, de lo que la comunidad “científica” ha ido aceptando como resultado de un largo y difícil proceso (Gil Pérez et al., 1996)

Para el aprendizaje basado en la investigación dirigida, Carrascosa, Pérez, Vilches y Valdez (2008) proponen esta secuencia:

1. Presentar situaciones problemáticas abiertas de un nivel de dificultad adecuado, correspondiente a la zona de desarrollo potencial de los estudiantes.
2. Favorecer la reflexión de los estudiantes sobre la relevancia de las situaciones propuestas, que de sentido a su estudio y evite un estudio descontextualizado, socialmente neutro.
3. Potenciar los análisis cualitativos, significativos, que ayuden a comprender y acotar las situaciones planteadas y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca.
4. Favorecer el planteamiento de hipótesis como actividad central de la investigación científica, susceptible de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas las preconcepciones de los estudiantes.

5. Conceder toda su importancia a la elaboración de diseños y a la planificación de la actividad experimental por los propios estudiantes, incorporando tecnología actual a los diseños experimentales.

6. Plantear el análisis detenido de los resultados, su interpretación física, fiabilidad, etc., a la luz del cuerpo de conocimientos disponible, de las hipótesis manejadas y de los resultados de otros equipos de estudiantes, y efectuar revisiones de los diseños, de las hipótesis o, incluso, del planteamiento del problema.

7. Plantear la consideración de posibles perspectivas (replanteamiento del estudio a otro nivel de complejidad, problemas derivados) y contemplar, en particular, las implicaciones científicas, tecnológicas y sociales del estudio realizado (posibles aplicaciones, repercusiones negativas).

8. Pedir a los alumnos un esfuerzo por integrar las contribuciones de la investigación realizada a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos, así como las posibles implicaciones en otros campos de conocimientos.

9. Conceder una especial importancia a la elaboración de memorias científicas que reflejen el trabajo realizado, para resaltar el papel de la comunicación y el debate en la actividad científica.

10. Potenciar la dimensión colectiva del trabajo científico organizando equipos de trabajo y facilitando la interacción entre cada equipo y la comunidad científica, representada en la clase por el resto de los equipos, el cuerpo de conocimientos ya construido (recogido en los textos) y el profesor como experto.

Gil et al. (1999) mencionan que a la estrategia didáctica basada en la investigación dirigida, se le critica la intención de convertir al estudiante en un científico novel que construye todos los conocimientos científicos, argumentando

que muchos de los conceptos centrales de la ciencia son difíciles de descubrir para la mayoría de los adolescentes y de los estudiantes universitarios. No toman en cuenta que cuando alguien se incorpora a un equipo de investigadores puede alcanzar con relativa rapidez el nivel medio del resto del equipo, no mediante una transmisión verbal, sino abordando problemas en los que quienes actúan de directores/formadores son expertos y cotejando constantemente los resultados de los distintos equipos de investigación.

El modelo de enseñanza y de aprendizaje por investigación dirigida, se basa en ciertos supuestos didácticos que orientan la toma de decisiones en torno al currículo y que se concretan en secuencias organizadas de actividades de aprendizaje. Algunas características de este modelo son: una concepción constructivista del aprendizaje; una metodología activa centrada en el alumno; una actitud indagadora frente a la realidad; la importancia de usar didácticamente las ideas de los alumnos; revalorización de la creatividad y la autonomía en la construcción del conocimiento; necesidad de enfatizar los procesos comunicativos en el aula (Liguori y Noste, 2007).

Hay coincidencias y diferencias entre la Investigación Dirigida y el Aprendizaje Basado en la Resolución de Problemas (ABP), ambas estrategias coinciden en el aprendizaje a través del planteamiento y la resolución de problemas. Lopes y Costa (1996) señalan que el ABP es una manera de organizar la enseñanza-aprendizaje caracterizada por los siguientes aspectos: a) La enseñanza y aprendizaje se basa en la resolución de problemas, asignando usualmente tareas-problema. b) El proceso en el aula inicia al explorar y cuestionar “contextos problemáticos”. c) Los conceptos se identifican, maduran, operacionalizan, desarrollan y formalizan en

forma gradual. d) Los problemas y tareas-problema tienen diferentes características y finalidades, y se usan en distintos momentos de la enseñanza-aprendizaje.

En la investigación dirigida también se plantea un problema como una situación nueva, cuya respuesta está más allá de lo que ya se conoce y que por lo tanto exige utilizar estrategias de búsqueda de información. Todo problema da lugar a la construcción, a partir de las concepciones preexistentes, de nuevas ideas más acordes con las cuestiones planteadas. Los problemas deben ser definidos desde la lógica de los estudiantes y no desde la lógica del profesor, ya que aprendemos en tanto y en cuanto resolvemos los problemas que aparecen en nuestro entorno siempre diverso y cambiante. Una consideración a tener en cuenta es que si bien la enseñanza por investigación constituye una buena oportunidad para trabajar los contenidos procedimentales, los aspectos conceptuales y actitudinales están estrechamente relacionados a ellos y no puede enseñarse ni aprenderse de manera independiente. Liguori y Noste (2007) recomiendan el siguiente proceso para la investigación dirigida:

Primer momento: Presentación de situaciones problemáticas que motiven intelectual y afectivamente a los alumnos, procurando trabajar en la Zona de Desarrollo Próximo de Vygotsky (Z.D.P.). Un problema puede ser percibido por un grupo de alumnos y no por otro.

Segundo momento: Explicitación de las ideas de los alumnos respecto al problema planteado y formulación de hipótesis. Esta instancia constituye una oportunidad para que el docente conozca cuáles son las concepciones que poseen sus alumnos acerca del tema y, también, para que ellos mismos las conozcan para poder cuestionarlas.

Tercer momento: Planificación de la investigación, buscando las estrategias posibles más adecuadas para dar respuesta al problema.

Cuarto momento: Recuperación de nueva información utilizando distintas fuentes tales como experimentos, libros de texto, consultas a especialistas, visitas, trabajos de campo, explicaciones del profesor, Internet, etc., selección de lo más relevante, organización de la información obtenida, interpretación de tablas y gráficos, elaboración de diseños exploratorios y/o experimentales, etc.

Quinto momento: Elaboración de conclusiones y comunicación de las mismas. La organización e interpretación de la información obtenida es fundamental para poder elaborar conclusiones.

Sexto momento: Reflexión sobre lo realizado, reconstruir los pasos seguidos, valorar la importancia de manifestar las propias ideas, de planificar la tarea, etc.

Séptimo momento: Aplicación del conocimiento construido a nuevas situaciones. De esta manera se contribuirá a ampliar, profundizar y consolidar los nuevos conocimientos.

Por lo tanto, se observa que las diferencias entre ambas estrategias consisten en que en la Investigación Dirigida el planteamiento de hipótesis es una actividad central, así como la elaboración de diseños, la planificación de la actividad experimental, la integración de las contribuciones de la investigación a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos y la elaboración de memorias científicas. Estas características no están presentes en el ABP, o lo hacen de una forma parcial y mucho más débil.

En resumen, todas las secuencias de investigación dirigida consultadas presentan rasgos tales como planteamiento de situaciones problemáticas, procesos que involucran activamente a los alumnos, cotejar resultados de diferentes grupos y aplicar los conocimientos a nuevas situaciones.

### **2.3. Conceptos de física involucrados**

**2.3.1. Conceptos básicos.** Hay gran cantidad de conceptos intuitivos de fuerza, de los cuales muchos son erróneos. Fuerza se refiere a una interacción entre dos cuerpos que tiende a producir una aceleración, es una cantidad vectorial y se define operativamente por la segunda ley de Newton del movimiento. Las fuerzas de tensión, de compresión y cortantes producen deformaciones en los cuerpos sobre los que actúan, lo cual es analizado por la Mecánica de los Materiales.

Para analizar el estado de movimiento de un cuerpo se hace un diagrama de cuerpo libre: si el cuerpo está en equilibrio, que implica reposo o movimiento a velocidad constante, la suma de las fuerzas en un marco de referencia inercial es cero. Marco de Referencia Inercial es aquel en que se cumplen las leyes de Newton del movimiento; generalmente se utiliza el planeta Tierra como un marco de referencia inercial (Sears, 2004; Serway y Jewett, 2005; Halliday, Resnick y Walker, 2001; Bauer y Westfall, 2011).

**2.3.2. Conceptos de Mecánica de los Materiales.** En el caso de la Mecánica de los Materiales, los cuerpos están sujetos a fuerzas de tensión cuando las fuerzas externas, que suman cero, tienden a estirar longitudinalmente al material, y fuerzas de compresión, cuando tienden a acortar longitudinalmente el material. Se define como esfuerzo técnico ( $\sigma$ ) a la relación entre fuerza longitudinal y área transversal

inicial (sin carga) del elemento estudiado, y deformación técnica unitaria ( $\epsilon$ ) al estiramiento ( $\delta$ ) del elemento entre la longitud original  $L_0$ ; Las deformaciones pueden ser elásticas (recuperables) o plásticas (permanentes). Muchos materiales de ingeniería cumplen en un rango elástico limitado la ley de Hooke, la cual establece una región de proporcionalidad directa entre el esfuerzo técnico y la deformación técnica unitaria. La constante de proporcionalidad en tal ecuación es el módulo de elasticidad  $E$ , es decir,  $\sigma = E\epsilon$ . (Hibbeler 2006; Johnston y Beer 2012; Vable, González y del Castillo, 2006).

Un problema típico de deformaciones relativas es el siguiente (Johnston y Beer 2012): Las piezas de fundición rígidas A y B están conectadas por dos pernos de acero CD y GH de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de diámetro, y se encuentran en contacto con los extremos de una varilla de aluminio EF de 1.5 pulgadas de diámetro. Cada perno tiene una cuerda única en su parte roscada con un paso de 0.1 pulgadas y después de ajustarse las cuerdas, las tuercas D y H se aprietan un cuarto de vuelta. Sabiendo que el módulo de elasticidad ( $E$ ) es de  $29 \times 10^6$  psi para el acero y  $10.6 \times 10^6$  para el aluminio, determine el esfuerzo normal en la varilla (ver figura siguiente).

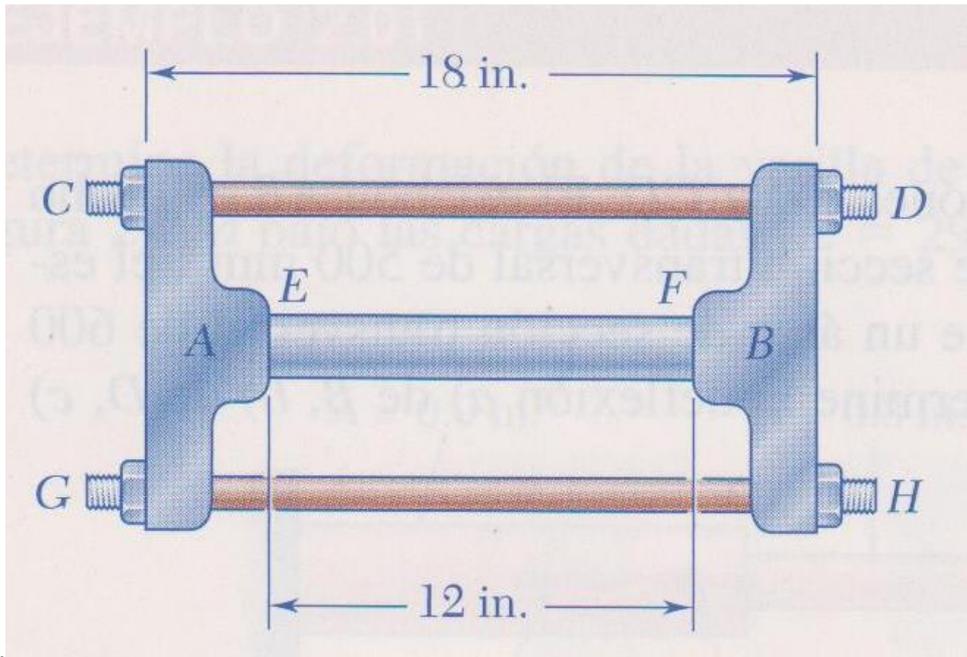


Figura 1: Problema típico de deformaciones relativas

En este problema hay que suponer que las roscas de los extremos de las varillas de acero son indeformables, lo mismo que las tuercas y las piezas de fundición B y A, pero la varilla central EF de aluminio y los pernos de acero CD y GH son elásticos y cumplen la ley de Hooke. Al apretar las tuercas en los extremos de los pernos, éstas obligan a estirarse a los pernos y a comprimirse a la varilla de aluminio; ahora la pregunta es determinar el esfuerzo normal en la varilla de aluminio. En este caso, la fuerza de tensión que soportan los pernos es la misma fuerza de compresión de la varilla de aluminio.

El procedimiento incluye hacer un diagrama de cuerpo libre de la varilla y de los pernos, pero eso no resuelve el problema ya que el sistema es estáticamente indeterminado, por lo que es necesario hacer uso de las propiedades elásticas de cada material.

En este punto, los alumnos tienen dificultades en plantear la estrategia para resolver el problema. El primer paso es la comprensión conceptual del fenómeno,

para lo cual los conceptos antes definidos y los diagramas de cuerpo libre de las partes principales juegan un papel importante, es decir, aplicar las leyes de Newton, particularmente la primera y la tercera a cada uno de los elementos.

Pero también se necesita tener una idea intuitiva del resultado: debería de poder visualizarse que los pernos de acero se estirarán y la barra de aluminio se acortará, y que las otras partes, tales como las piezas de fundición, la rosca y las tuercas no experimentan deformación, las cuales son hipótesis simplificadoras. Lo cierto es que experimentan deformaciones pero son tan pequeñas que se desprecian del análisis, simplificando grandemente la solución del problema sin afectar mucho la precisión de la respuesta.

Sólo después de efectuar este paso se pueden plantear ecuaciones matemáticas para hacer cálculos. Finalmente, se deben evaluar las respuestas: si tienen las unidades de medida adecuadas, si tiene sentido la respuesta. Es útil también buscar casos límite para ver si las respuestas tienen lógica; por ejemplo, si la varilla de aluminio fuera de un material idealmente rígido (módulo de elasticidad infinito) ¿qué sucedería con las deformaciones?, o al revés, que los pernos fueran idealmente rígidos. Entre estos dos extremos hay muchas posibilidades.

La secuencia a utilizar en la construcción de los modelos propuestos en esta investigación es la siguiente: 1. Presentar el problema como una situación que enfrentarán los alumnos en la vida real cuidando que caiga en la Zona de desarrollo Próximo de Vygotsky. 2. Plantear y formular hipótesis a los modelos mentales de los alumnos y sondear las concepciones que usan los alumnos en los temas relacionados al problema por medio de reuniones de los diferentes equipos y llegar a acuerdos. 3. Planificar una investigación sobre modelos similares, equipos y materiales

potencialmente útiles, con base a los modelos mentales y las hipótesis antes formuladas. 4. Construcción de los modelos. 5. Ejecutar experimentos de prueba con los modelos, recopilando resultados preliminares, discutiéndolos y comparándolos con la teoría. 6. Hacer los ajustes pertinentes. 7. Ejecutar experimentos definitivos, recopilar y procesar la información. 8. Discusión de resultados y conclusiones. 9. Elaboración del informe. 10. Aplicar los conocimientos a situaciones nuevas. 11. Evaluar los cambios producidos por aplicar las estrategias antes mencionadas y comparar los resultados con los equipos de control.

#### **2.4. Investigaciones empíricas**

Ferreira y Justi (2005b, citado por Justi, 2006) efectuaron una intervención en el aula de temas de equilibrio químico y enlace iónico, utilizando la estrategia de aprendizaje basado en modelos, concluyendo lo siguiente: Al parecer hay una comprensión amplia de los temas de química, puesto de manifiesto: a) por medio de tests realizados después de los procesos de enseñanza, en los cuales la frecuencia de las concepciones erróneas ha sido muy pequeña entre los alumnos; y b) los alumnos tuvieron la capacidad de dar explicaciones apropiadas y efectuar preguntas sobre aspectos importantes de cada uno de los temas y sobre sus aplicaciones en situaciones cotidianas. Los alumnos en su mayoría, demostraron una buena comprensión adecuada sobre la naturaleza y la utilización de modelos, evidenciado por las discusiones que se dieron entre ellos y por el involucramiento de los alumnos en diferentes etapas del proceso, así como por las respuestas dadas. En los debates y en los argumentos presentados entre alumnos, se utilizaron razonamientos creativos y coherentes con sus ideas previas, con la información estudiada y con las ideas discutidas en grupo.

Carrascosa, Pérez, Vilches y Valdez (2008) citan la experiencia de aplicar la estrategia de investigación dirigida al movimiento con aceleración constante, comentando que los estudiantes y los docentes, en general, valoran de forma muy positiva el enfoque de las prácticas de laboratorio como investigaciones, rechazando su orientación habitual como recetas de cocina.

Zamorano, Gibbs y Viau (2003) utilizaron en la clase la intervención del profesor con un modelo didáctico analógico para la enseñanza de circuitos de corriente continua, incluyendo en el mismo la utilización de elementos del aula, de la escuela y también descripciones antropomórficas a fin de activar la intuición de los alumnos y para promover actuaciones teatralizadas con los alumnos que mantuvieran el interés y el buen humor en la clase. También se indujo un control metacognitivo: la adquisición consciente de la evolución de sus modelos conceptuales, para salvar las limitaciones y simplificaciones que introduce el modelo didáctico. Se abordan las analogías de campo eléctrico, resistencia eléctrica, diferencias de potencial, fuerza electromotriz. La investigación fue cualitativa sobre el conocimiento de los estudiantes.

La investigación se efectuó en dos colegios, en cursos de 30 alumnos en cada colegio con los modelos conceptuales elaborados previamente por los alumnos, a unos se les explicó el tema de la manera que tradicionalmente se expone en los textos, el cual se utilizó como grupo de control a quienes se les tomó un cuestionario diagnóstico, el otro grupo recibió la instrucción a través del modelo didáctico analógico propuesto en la investigación.

Los resultados nos muestran una clara diferencia entre ambos cursos, ya que los alumnos instruidos a través del modelo analógico didáctico, presentaron un 82 %

de modelos teóricos en su perfil conceptual, contra un 43 % de modelos teóricos conceptualizados en el grupo que recibió la enseñanza tradicional. Los tiempos en que los temas fueron comprendidos por los alumnos fueron menores en el grupo que recibió instrucción con el modelo analógico didáctico. Permitiendo alcanzar en forma rápida un manejo y reconocimiento de los distintos elementos del circuito. Lo más relevante de lo observado, es el aprendizaje por parte de los alumnos del concepto de potencial.

Islas y Pesa (2004) presentan los resultados de comparar las concepciones de modelo en científicos, estudiantes de profesorado en Física y docentes de Física, por medio de entrevistas semi-estructuradas sostenidas con integrantes de cada uno de estos grupos. La comparación muestra que las concepciones de modelo en científicos y en docentes difieren principalmente en cuanto a: la relación modelo-realidad y al rol de los modelos en la construcción del conocimiento científico. La realización de trabajos de investigación influye más en la conceptualización del modelo científico que los trabajos en el aula.

Se planteó una hipótesis general, expresada como: Los estudiantes universitarios (de los últimos años de las carreras de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN), y los Profesores del nivel preuniversitario (de la ciudad de Tandil), manifiestan concepciones sobre los modelos científicos, que difieren significativamente de la concepción de modelo que expresan investigadores de los Institutos de Física de la citada Facultad. Los datos a recopilar se organizaron en torno a dos variables: Variable 1: concepto de modelo científico, Variable 2: experiencias personales en el empleo de modelos.

Se adoptó el paradigma cualitativo por medio de la aplicación de entrevistas semi-estructuradas. La información obtenida se procesó mediante un sistema de categorías de análisis.

Población. La población estudiada estuvo compuesta de tres segmentos: los científicos pertenecientes a los Institutos de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina), los docentes a cargo de clases de Física en los niveles EGB 3, Polimodal y Secundario en las Escuelas de la ciudad de Tandil (Provincia de Buenos Aires, Argentina), y los estudiantes avanzados de las carreras de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN.

La entrevista se realiza en un contexto de interacción, donde son posibles las aclaraciones, correcciones y adaptaciones del contenido de las preguntas. Se realizaron: 8 entrevistas a científicos, 6 entrevistas a docentes y 6 entrevistas a estudiantes avanzados de carreras de Física. Todas fueron individuales, y con una duración aproximada de una hora cada una.

Conclusiones: 1. Los científicos, tanto activos como en formación, manifestaron concepciones de modelo científico diferentes de las de docentes activos y en formación en cuanto a: la relación modelo-realidad y al rol de los modelos en la construcción del conocimiento científico. Las ideas de quienes trabajan y estudian en el ámbito de la investigación científica mostraron coherencia con las consensuadas en la literatura específica; sólo se advirtió, en el discurso de los novatos, menor riqueza en el significado y potencialidad del concepto de modelo y el rol del proceso de modelización en el modo de conocer científico. En tanto que los discursos de los docentes (en ejercicio y en formación) presentaron algunas ideas incompatibles con

las consensuadas. 2. La conceptualización de modelo científico es más fuertemente influenciada por la realización de trabajos de investigación que por las experiencias en el aula que versen sobre el tema.

Martínez y Pérez (1997) en una investigación denominada “Estudio de propuestas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica”, elaboraron una secuencia de construcción conceptual para explorar si un modelo molecular de la materia que involucraba los conceptos de energía interna y temperatura ligadas al equilibrio termodinámico, y a variables de estado, mejoraba el aprendizaje de los fenómenos térmicos. La recolección de datos se llevó a cabo entre los años 1992 y 1993 con 134 alumnos provenientes de cinco cursos de nivel medio de dos provincias de Argentina.

Metodología: Se comenzó y finalizó la experiencia con el diagnóstico de las concepciones de los estudiantes en el área mediante un test constituido por 15 ítems de opciones múltiples. Para el seguimiento de ciertas variables de contexto y con la intención de triangular con los datos del test, en algunos grupos se utilizaron registros de observación de algunas clases, y se recolectaron distintos documentos escritos de los alumnos y docentes. Los datos se analizaron de dos maneras: una cualitativa, para explorar ciertas características particulares de las concepciones de los estudiantes y otra cuantitativa, a partir de un análisis de diferencia de medias con los datos del test, con la que se intentó apreciar la influencia global de la estrategia didáctica sobre las ideas de los estudiantes.

Análisis cualitativo: Consistió en la elaboración de proposiciones construidas según determinados conjuntos de opciones del test y otros conocimientos sobre ideas del mismo tipo, provenientes de estudios sobre el tema basándose en entrevistas

personales Asimismo se realizó una categorización más amplia de tal repertorio, en función del énfasis curricular mencionado antes, que permitió valorar mejor la efectividad de la propuesta en cuanto a las preguntas de partida. Los resultados se muestran en una serie de tablas.

Conclusiones: Algunos esquemas cotidianos de pensamiento de los alumnos experimentan transformación. Ideas como “el calor es energía que está en los cuerpos y se mide con la temperatura”, presentes en los alumnos al inicio de la experiencia, se invocan cada vez menos luego de las clases, frente a sus contrapartidas científicas. La estrategia no refuerza sus concepciones previas, como lo hacen por lo general las presentaciones tradicionales.

Badillo y Beltrán (2005) en su trabajo “Enseñanza de los modelos atómicos en programas de ingeniería”, indican que son muchos los problemas que se presentan en la enseñanza y el aprendizaje de los modelos atómicos, y hacen una propuesta de enseñar las teorías y los modelos atómicos, fundamentada teóricamente en la didáctica de las ciencias experimentales. El propósito fue ayudar a los estudiantes a lograr el cambio conceptual, metodológico, actitudinal y axiológico, induciéndolos a reconstruir sus modelos mentales de átomo, de modo que concuerden con una rigurosidad admisible para los programas de ingeniería, con los modelos atómicos científicos; además elaboraron explicaciones sobre el comportamiento de los materiales, conceptual y metodológicamente fundamentadas en los modelos atómicos que reconstruyeron.

Los resultados obtenidos con los instrumentos diseñados fueron positivos con respecto a las hipótesis que se plantearon, pues una proporción significativa de los estudiantes con los cuales se trabajó logró los objetivos. Igualmente, los estudiantes

en su mayoría, reconocieron la importancia del aprendizaje de esta temática para construir su conocimiento sobre los materiales, este último de importancia reconocida por todos para su formación profesional.

Instrumentos aplicados: 1. Un listado de conceptos para que expresaran las concepciones o ideas que tenían al respecto de los modelos atómicos. 2. La presentación sobre el estado de agregación de las partículas en diferentes materiales, cuya explicación no se pudiera dar sin tener conocimiento de los modelos atómicos. 3. Dos composiciones: una sobre la temática de los modelos atómicos, con el fin de que los estudiantes refirieran los cambios sufridos en sus concepciones alternativas durante el proceso de aprendizaje y en la metodología utilizada por ellos para aprender. 4. Entrevista con algunos de los estudiantes seleccionados aleatoriamente. El tamaño de la población objetivo fue de 98. Para un nivel de confianza del 80%, el valor de  $z$  resultó ser 1,2816. El nivel de error aceptado,  $d$ , es de 0,10 (10%). La proporción de estudiantes que usualmente logran construir su conocimiento sobre la estructura atómica de los materiales es del 35% ( $P^* = 0,35$ ).

Conclusiones. El 68% de los estudiantes con los cuales se trabajó lograron reconstruir los modelos atómicos con un nivel de rigurosidad admisible para los programas de ingeniería, y elaboraron explicaciones sobre el comportamiento de los materiales fundamentados en tal reconstrucción. La propuesta conceptual y metodológica desarrollada sobre la enseñanza de los modelos atómicos, propició en los estudiantes el cambio conceptual, metodológico, actitudinal y axiológico esperado. Se confirmó que para el cambio conceptual es necesario que haya un cambio de actitud respecto del aprendizaje, que éste solamente es factible si el alumno le encuentran sentido a aprender esta temática y siente gusto al hacerlo, de tal

manera que haya una motivación que justifique el esfuerzo para un cambio en los métodos de aprendizaje.

Gaisman (2006) en “Un estudio desde una perspectiva de modelación”, trazó como objetivo analizar el conocimiento sobre la física que los estudiantes de ingeniería utilizan cuando modelan situaciones donde los conceptos aprendidos son fundamentales.

**Metodología.** La investigación se llevó a cabo en el contexto de un curso de ecuaciones diferenciales en una universidad de la Ciudad de México. El grupo estaba formado por 24 estudiantes de cuarto semestre de la carrera de ingeniería. El curso hace énfasis en el aprendizaje de los métodos de solución de las ecuaciones diferenciales y en su aplicación a la solución de problemas. Se diseñaron una situación problemática específica ligada a un problema real y los instrumentos que permitieran registrar los elementos de interés que aparecen en la búsqueda de la solución. Los datos se recabaron por medio de presentaciones por escrito y orales y guiones para entrevista.

**Resultados.** El trabajo en el modelo y su solución permitieron a los alumnos recorrer un ciclo en el que el problema a resolver, aun cuando era en esencia el mismo, requería de distintos acercamientos. En cada uno de ellos, el análisis puso de manifiesto diversos aspectos del conocimiento de los alumnos y de su evolución, y se clasificaron como: resultados relativos a las dificultades de los estudiantes, resultados relacionados con la relación de la física con las matemáticas y resultados ligados a la evolución conceptual de los alumnos. La mayoría mostró mejoría en su forma de argumentar, las fórmulas se utilizaron de forma razonada y los resultados se basaron en principios físicos descritos mediante relaciones matemáticas.

Chamizo y Márquez (2006) desarrollaron una investigación que llamaron “Modelación molecular: estrategia didáctica sobre la constitución de los gases, la función de los catalizadores y el lenguaje de la química”. Sus propósitos fueron modelar la Reacción de Haber donde intervienen reactivos de estructura química simple en fase gaseosa.

La metodología consistió en 1) Elaborar y validar un cuestionario en el que se investigó el significado dado por los alumnos a la constitución de los gases, a las representaciones moleculares y al papel del catalizador en la Reacción de Haber. 2) Se modeló la Reacción de Haber, enfatizando la forma en que se rompen enlaces y se forman otros para transformar los reactivos en productos, haciendo intervenir al Hierro (Fe) metálico en el mecanismo propuesto. 3) Se aplicó el cuestionario en dos grupos semejantes: uno experimental y otro de control. 4) Se compararon los resultados obtenidos. Conclusiones: Aunque la muestra fue muy pequeña, permitió constatar que la estrategia de construcción de modelos ayuda a mejorar la comprensión de los estudiantes sobre el significado de coeficientes y subíndices en las fórmulas químicas de los compuestos intervinientes en la Reacción de Haber; también sirve para que relacionen el lenguaje simbólico de las fórmulas con su representación mediante dibujos y con su descripción verbal.

Tal como se observa en los resúmenes de las diferentes investigaciones empíricas revisadas, la mayoría fue de carácter cualitativa y permite asegurar que si la aplicación de las estrategias se planifica cuidadosamente, se ejecutan en detalle interesando e involucrando a los alumnos, se discuten los resultados con los diferentes grupos; los alumnos del grupo experimental efectuarán más preguntas, la

calidad de los argumentos mejorará igual que la comprensión de los fenómenos relacionados con los modelos.

Habiendo planteado los objetivos de la investigación, estudiado las teorías clásicas del conocimiento y de las ciencias en el mundo educativo contemporáneo, seleccionado las estrategias a implementar en la investigación, revisado los conceptos de física aplicables al caso seleccionado y analizado una variedad de investigaciones relacionadas con el tema de investigación, procederemos a planificar el siguiente paso, que es la metodología de la investigación.

## **Metodología**

Las referencias consultadas son contundentes al exponer las deficiencias de la enseñanza tradicional de las ciencias y proponen modelos de enseñanza con bases constructivistas. De las propuestas se derivan dos estrategias, la primera es la de aprendizaje basado en la construcción de modelos, planteándose sus fundamentos epistemológicos, sus ventajas frente a la enseñanza tradicional, los pasos principales en su planificación, situaciones que hay que evitar, su ejecución y su evaluación.

También fue considerada la estrategia didáctica de la investigación dirigida, que es un tratamiento de situaciones problemáticas abiertas de interés, a través de las cuales los alumnos puedan participar en la construcción de sus conocimientos. Se resume en tres principios: 1) Quienes aprenden construyen significados. No reproducen simplemente lo que leen o lo que se les enseña. 2) Comprender algo supone establecer relaciones entre conceptos. Los fragmentos de información aislados son olvidados o resultan inaccesibles a la memoria y 3) Todo aprendizaje depende de conocimientos previos.

Por estas razones y por otras que se explican más adelante, se eligió el método mixto en esta investigación, también se mencionan sus características principales, sus ventajas y limitaciones. Se describe la población participante y cómo se seleccionó la muestra a estudiar, seguido del marco contextual en que se desarrolla. Se indican los tipos de instrumentos de recolección de datos que se emplearon en esta modalidad, la forma en que se procedió a recopilar los datos y las estrategias para su análisis. En Apéndices se presentan algunos de los instrumentos de elaboración propia a utilizar y finalmente se abordan los aspectos éticos de la investigación.

### **3.1. Método de investigación**

Esta investigación se abordó desde la perspectiva constructivista y de orientación epistemológica fenomenológica, por lo cual se empleó un método mixto cuasi-experimental que parte de la premisa de que la combinación de los enfoques cualitativos y cuantitativos provee la mejor comprensión de los problemas que se investigan. Sus características principales son: colecciona y analiza datos cualitativos y cuantitativos basados en las preguntas de la investigación; integra las dos formas de datos según los criterios del investigador (Creswell y Pino Clark, 2011, citados por Valenzuela y Flores, 2012). El propósito de la investigación se ve delimitado por las preguntas y las hipótesis planteadas.

Con el método mixto se utilizan instrumentos abiertos y cerrados, los instrumentos para la parte cualitativa son abiertos y colectan tipos de datos mucho más extensos que los instrumentos cerrados, organizándolos en textos, imágenes, mensajes electrónicos, blogs. Los instrumentos para la parte cuantitativa serán cerrados, basándose en respuestas predeterminadas, escalas y categorías; pueden medir el desempeño individual o las actitudes. Una característica de los métodos mixtos es que algunos instrumentos se diseñan antes de iniciar el estudio, y otros se crean durante el proceso. Los procedimientos se llevarán por medio de un sistema de anotaciones y de diagramas procedurales (Valenzuela y Flores, 2012).

Según Castro y Godino (2011), entre las fortalezas de los métodos mixtos están: a) que pueden incluir palabras, figuras y explicaciones a fin de complementar el significado de los números; b) que pueden utilizarse números que mejoren la precisión de las palabras, figuras y explicaciones; c) que combinan las fortalezas de las observaciones cualitativas y cuantitativas; d) que el investigador puede generar y comparar una teoría con las observaciones; e) que se puede responder a una gran

variedad de cuestiones de investigación porque el investigador no se limita a un método único; f) que los investigadores pueden usar las fortalezas del método adicional para complementar los vacíos del otro método combinándolos en el mismo estudio; g) que puede revelar evidencias de mayor calidad y conclusiones más convincentes; h) que se puede incrementar la capacidad de generalizar los resultados; i) que la combinación de métodos cualitativos y cuantitativos puede producir un conocimiento más amplio que refuerce la teoría y la práctica.

Y con respecto a las debilidades, Castro y Godino (2011) mencionan las siguientes: a) que para un solo investigador se podría complicar en gran medida el procedimiento al llevar ambas investigaciones: cualitativas y cuantitativas, b) que el investigador debe dominar múltiples métodos y aproximaciones y saber combinarlos apropiadamente; c) que es más costoso y consume más tiempo manejar más de un método; d) que algunos de los detalles de la metodología mixta no están bien comprendidos, un ejemplo sería cuando se da una mezcla de paradigmas ¿cómo se procedería para analizar cualitativamente datos cuantitativos? o ¿cómo interpretar resultados conflictivos?

Según Hernández, Fernández, y Baptista (2010), algunas razones que justifican la implementación de métodos mixtos en la investigación son:

- 1) incrementar la validez por medio de la triangulación.
- 2) la utilización de datos cualitativos y cuantitativos permitiría superar la debilidad de un solo método y robustecer las fortalezas de cada uno.
- 3) se logra una comprensión más abarcadora de los fenómenos en estudio al emplear ambos métodos.

- 4) se responde a un mayor número de preguntas y con más profundidad que con un solo método.
- 5) mayor capacidad de explicación, un método ayuda a explicar de mejor forma los hallazgos del otro.
- 6) reduce la incertidumbre (resultados inesperados) pues el otro método podría ayudar a explicar un resultado no esperado si se aplicara uno solo.
- 7) se facilita el muestreo de casos de un método apoyándose en el otro.
- 8) se pueden generar instrumentos muy enriquecedores y comprensivos apoyados en los resultados del otro método.
- 9) utilizar ambos métodos refuerza la credibilidad general de ambos métodos y sus procedimientos.
- 10) provee a la investigación un contexto más completo, profundo y amplio, y también más generalizable y con validez externa.
- 11) es más ilustrativo al presentar de otra manera los resultados obtenidos por uno de los métodos.
- 12) se incrementa su potencial de uso y de aplicación.
- 13) pueden usarse los resultados obtenidos por un método para generar nuevas hipótesis y probarlas a través del otro método.
- 14) se obtiene una mayor diversidad de perspectivas para analizar los datos recabados en la investigación.

15) se visualizan con mayor claridad las relaciones que no habrían sido detectadas por el uso de un solo método.

16) fortalece las argumentaciones nacidas de la recolección y análisis de los datos de ambos métodos.

### **3.2. Población participante y selección de la muestra**

La investigación se efectuó en los alumnos que cursan la materia Resistencia de los Materiales de una universidad privada situada al oriente de la ciudad de San Salvador en El Salvador, y que estudian las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, correspondientes al quinto ciclo de cada una de las carreras. La inscripción fue de 38 alumnos y se dividió en un grupo de 17 alumnos como grupo de control y 18 como grupo experimental de los que llegaron ese día, pero luego se integraron sin autorización los 3 restantes que faltaron al grupo experimental, lo cual se evidenció al momento de la entrega del primer informe, por lo que se optó por dejar los grupos tal y como estaban. El ciclo I inició el 20 de enero de 2014 y se obtuvieron los primeros resultados al terminar el primer periodo del ciclo, aproximadamente a finales de febrero. Los alumnos de esta materia se eligieron porque hay un tema interesante que en los años anteriores ha sido problemático, tanto para la enseñanza como para el aprendizaje de conceptos y resolución de problemas.

El estudio se ejecutó por medio del Proyecto de Cátedra asignado tanto al grupo de control, que desarrolló el proyecto de la misma forma que la efectuada en años anteriores; y al grupo experimental en el cual se implementaron las estrategias objeto de investigación. Esta información se les dio a conocer el primer día de clases a los alumnos en la guía de asignaciones publicada en el aula virtual. Pero además se

les comunicó a los alumnos las diferentes etapas a cubrir, las referencias recomendadas y los temas a estudiar (ver lista de cotejo del proyecto tradicional en el Apéndice E); así como los aspectos a evaluar y las fechas de entrega de los avances. Los alumnos se distribuyeron al azar en cada uno de los grupos; también se les explicó la importancia de que se desarrollen en paralelo ambas temáticas, la asignada al grupo de control y la asignada al grupo experimental. Los resultados del postest y de otros instrumentos aplicados a los alumnos del grupo de control sirvieron de referencia para evaluar los cambios que tuvo el grupo experimental. La comunicación fue por correo electrónico en cualquier día de la semana, pero una vez a la semana había una reunión presencial para analizar los problemas surgidos con los avances, las observaciones relevantes se anotaron en una bitácora. Se formaron cuatro equipos experimentales, dos para el modelo físico, y dos para el modelo computacional.

Según Teddie y Yu (2007), las características de las estrategias para selección de muestras con métodos mixtos son: usualmente se busca alguna forma de generalización; orientada específicamente a los propósitos de las preguntas de investigación; son típicamente pequeñas (menos de 30 casos usualmente); se enfocan en profundizar y ampliar la información que se genere; se pueden seleccionar antes, durante o después del estudio; utiliza juzgadores expertos para seleccionar las muestras; se enfocan en datos de narrativa, aunque puede generar datos numéricos.

Los participantes en el estudio cumplen la mayoría de las características descritas, Teddie y Yu (2007) estratifican la muestra con base a su rendimiento académico en tres grupos: los destacados (con notas arriba del promedio) los promedio y los debajo del promedio y seleccionar un pequeño número de cada

grupo. En el caso de esta investigación, debido a que la población es pequeña, se tomó todo el universo.

### **3.3. Instrumentos de recolección de datos**

Debido a la naturaleza de la investigación, se tuvieron dos tipos de instrumentos, los cualitativos, en los cuales los tipos de datos que los investigadores colectan son mucho más extensos y variados que en la investigación cuantitativa, y los instrumentos cuantitativos.

Los instrumentos utilizados fueron:

1. Examen exploratorio sobre los preconceptos de los estudiantes relacionados con las deformaciones absolutas y relativas (pre-test) para ambos grupos;
2. Encuesta para conocer el promedio del nivel académico, edad y situación socioeconómica de cada grupo.
3. Examen post-test (el mismo examen exploratorio) para ambos grupos;
4. Test de desempeño académico (Examen parcial del primer periodo)
5. *Focus group*; llamado también grupos de enfoque o sesiones en profundidad, que consistió en reunir a cinco integrantes de los equipos de construcción de modelos e investigación dirigida para plantear los avances y las dificultades encontradas en el desarrollo de las estrategias encomendadas; esta sesión fue registrada en un medio digital.
6. Foro de discusión, dirigido por el profesor, el cual consistió en que los equipos del grupo experimental expusieran a la clase el trabajo realizado en la implementación de las estrategias de construcción de modelos y la investigación dirigida, la duración fue de dos horas. Los alumnos de ambos grupos podían preguntar y cuestionar lo efectuado.

Para el grupo experimental se efectuaron adicionalmente:

7.- Bitácora de campo: observaciones de baja estructuración para obtener información cualitativa de los informes de avance, de las reuniones y de la manipulación experimental.

8.- Encuesta de opinión (cuestionario auto-administrado) con preguntas de opción múltiple tipo escala Likert.

El diseño y las preguntas de los instrumentos antes mencionados son de elaboración propia y específicos para las actividades desarrolladas. La aplicación es la convencional para investigaciones de este tipo, los instrumentos que colectaron información cuantitativa se diseñaron para obtener datos numéricos y se le aplicó la prueba t de Student, los instrumentos que recabaron datos cualitativos fueron sometidos a análisis para descubrir temas, categorías y conceptos por medio de la estrategia de “comparación permanente” (Krause, 1995). Para validar éstos se recurrió a aspectos como los siguientes: densidad, profundidad y aplicabilidad o utilidad; a la transparencia y contextualidad; a la intersubjetividad y a la representatividad.

El diseño de la investigación fue secuencial explicativo e inició con la colección y análisis de datos cuantitativos, que tienen prioridad para responder las preguntas de investigación. Se continuó con una colección y análisis de datos de naturaleza cualitativa, a fin de complementar el análisis cuantitativo. La interpretación se hizo usando los resultados cualitativos para explicar los resultados cuantitativos iniciales (Valenzuela y Flores, 2012).

Debido a la variedad de instrumentos utilizados a lo largo de la investigación, la verificación se efectuó por medio de la triangulación de datos, en los que se

mezclaron los datos arrojados por los diversos instrumentos cualitativos y cuantitativos. Ejemplares del pre-test se pueden consultar en el Apéndice G, y el cuestionario con escala de Likert en el Apéndice H.

### **3.4. Procedimiento en la aplicación de instrumentos**

Antes de iniciar la investigación, se expuso por medio escrito y verbal a las autoridades de la universidad (decanato, directores y docentes de las escuelas involucradas) en qué consistía el proyecto de cátedra, sus beneficios y limitaciones y cómo se encuadra en la visión y misión de la universidad. De igual manera se explicó a los estudiantes los alcances y beneficios esperados. Después de los intercambios de opinión y de los compromisos adquiridos, se procedió a firmar las cartas de consentimiento para el uso de los datos con fines de investigación exclusivamente (ver Apéndice K).

El estudio constó de las siguientes etapas (ver Apéndice I):

- 1) Programar, organizar y secuenciar los contenidos del proyecto de cátedra, lo cual se hizo antes de iniciar el ciclo para ambas modalidades.
- 2) Medición de las condiciones que precedieron a la intervención relacionados con las deformaciones absolutas y relativas de elementos de máquinas y estructuras, que se efectuó el primer día de clases, para ambos grupos por medio del pre-test.
- 3) Dividir el curso en dos grupos, el de control y el experimental, por medio de retirar de una cajita un papelito con el número 1 ó 2, finalmente se rifó entre dos participantes cual sería el grupo de control y cual el grupo experimental.
- 4) Despertar el interés de los alumnos por medio de citar casos reales donde se da el fenómeno, a fin de que tengan una actitud positiva en su aprendizaje de las

deformaciones absolutas y relativas de elementos de máquinas y estructuras, también en la primera clase del ciclo.

5) Parte ejecutiva, en la cual los estudiantes desarrollaron su trabajo de construir los modelos y que se le dio seguimiento por medio de una bitácora de campo. Se desarrolló desde el 27 de enero al 12 de abril. En ésta última fecha los equipos de alumnos del modelo físico tenían el modelo completo y se encuentran efectuando las primeras pruebas. Los equipos con la simulación siguen trabajando en ésta.

5) Evaluación de los resultados obtenidos al aplicar las estrategias antes mencionadas en ambos grupos de alumnos, elaborando tablas, graficas, etc.

6) Medición de las condiciones (variable dependiente) después de la intervención por medio de un post- test aplicado a ambos grupos, que se efectuó el lunes 7 de abril..

7) Discusión de resultados y conclusiones.

Las actividades que acompañaron a las etapas propuestas son:

1) Preparar listado de conceptos y hacer un cuestionario sobre las ideas y los conceptos de deformaciones físicas, para ser respondido por los alumnos en el primer día de clases.

2) Administrar el cuestionario a los alumnos (pre-test).

3) Definir cuidadosamente los objetivos y observaciones iniciales directas e indirectas, cualitativas y cuantitativas, empíricas y mentales sobre el fenómeno o proceso que se está modelando junto con los alumnos del grupo experimental.

4) Seleccionar los aspectos de la realidad que se usaron para describir el fenómeno a modelar; es decir, las situaciones con las que podría establecerse una analogía y los recursos matemáticos útiles para describir el fenómeno en cuestión.

- 5) Combinar la creatividad con el razonamiento crítico del individuo. Se solicitó a cada participante del grupo experimental elaborar un modelo mental inicial el cual se bosquejaría en papel y se discutiría con los diferentes subgrupos. Esta última parte no se efectuó.
- 6) Definir las variables que relevantes y las que se despreciaron del análisis, las cuales se discutieron en un “congreso científico” o foro de discusión en el que participó toda la clase. En esta actividad se obtuvieron varias hipótesis de trabajo a comprobarse en la construcción y pruebas de los diferentes tipos de modelos propuestos sobre el mismo fenómeno. Estas hipótesis se fueron generando a un ritmo bastante lento, pero en el foro de discusión se propusieron una parte importante (ver Apéndice R)
- 7) Construcción de los modelos. Se le dio seguimiento a esta actividad por diversos medios, aunque no avanzó con la rapidez esperada.
- 8) Comprobación de los modelos propuestos por medio de planificar y realizar experimentos reales. También se discutirán la utilidad de las hipótesis formuladas en etapas anteriores, pudiéndose reformular, descartar o proponer nuevas hipótesis. Este es el siguiente paso.
- 9) Potenciar el análisis cualitativo y significativo por medio de probar mentalmente las hipótesis y teorías propuestas para casos extremos. Está pendiente.
- 10) Hacer modificaciones a los modelos, si fuera necesario, y evaluar si las hipótesis se integran a las teorías aceptada por la comunidad científica. Con las pruebas que se están efectuando, se evaluará la posibilidad de hacer cambios a los modelos.
- 11) Identificar los conceptos relacionados con las deformaciones absolutas y relativas de elementos de máquinas y estructuras, después de la intervención en

ambos grupos, por medio del post-test, que es el mismo pre-test. Esto se efectuó el sábado 22 de marzo.

12) Efectuar un examen de conocimientos (test de desempeño) para evaluar la efectividad de las estrategias didácticas utilizadas a ambos grupos y comparar los resultados. Esto se efectuó el 22 de febrero.

13) Análisis de los resultados, reorganizándolos, buscando temas y categorías, efectuar triangulaciones a fin de obtener conclusiones. Se efectuó del 11 de marzo al 5 de abril.

En el grupo de control, la estrategia didáctica usada para abordar el proyecto de cátedra es la del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP, ver Apéndices C y E), en el cual se les proporciona un problema real, se forman grupos de trabajo de no más de cinco alumnos, las lecturas de apoyo se seleccionan de las fuentes de consulta recomendadas en la planificación de la materia, siendo las mismas para ambos grupos y finalmente se presentan y discuten ante el pleno los resultados obtenidos; en cambio en el grupo experimental las estrategias utilizadas fueron: La construcción de modelos y la investigación dirigida. (Valenzuela y Flores, 2012).

En Apéndices I se puede consultar el cronograma de actividades, y en el Apéndice J las sesiones planificadas para la intervención.

### **3.5. Estrategia de análisis de datos**

El diseño inició con la colección y análisis de datos cuantitativos por medio del pre-test, enfocada a responder las pregunta de investigación. Los datos cuantitativos se analizaron por los procedimientos estandarizados como la estadística descriptiva e inferencial, en vista de que se tuvieron dos grupos: un grupo de control y otro experimental. Se planteó la hipótesis de que después de la

intervención habría una diferencia significativa en el dominio del tema de interés entre ambos grupos, por lo que se utilizó la prueba t de Student a fin de comparar las medias de cada grupo.

La hipótesis nula fue que después de la intervención no habría diferencias significativas entre ambos grupos en el tema de interés. La cualificación de los datos cuantitativos se efectuó de la siguiente manera: se examinaron los datos numéricos, reflexionando sobre su significado y sentido, de este significado se establecieron temas que pudieran reflejar tales datos, a continuación se visualizaron como categorías, que se incluyeron para los análisis temáticos y de patrones emergentes, que posteriormente se compararon estos factores con los temas que saldrían del análisis cualitativo (Hernández et al, 2010).

Después, por medio de los instrumentos antes mencionados, se colectaron y analizaron los datos de naturaleza cualitativa, a fin de complementar el análisis cuantitativo, luego se realizó la interpretación de tales datos usando los resultados cualitativos para explicar los resultados cuantitativos inicialmente colectados. En la parte cualitativa, se procedió a la codificación y evaluación temática, es decir, se elaboraron análisis para identificar categorías, temas y conceptos, combinándolos de diferente manera y encontrar correlaciones entre conceptos, temas o categorías. Finalmente se comparan los dos conjuntos de datos (Hernández et al, 2010).

Hernández et al, (2010) proponen que la validez y la calidad de los métodos mixtos se evalúen con base a los siguientes elementos: rigor interpretativo, calidad en el diseño y legitimidad; y para obtener y verificar las conclusiones se haga uso de la triangulación y de la comparación de resultados entre otros. Según los

resultados obtenidos, y en aquellas áreas en que existan dudas, si fuera necesario, hacer entrevistas o encuestas adicionales para clarificar tales partes.

Los datos de la parte cuantitativa se analizaron de forma estadística, los datos de la parte cualitativa se analizaron buscando temas, categorías, por medio de la fragmentación de los mismos, hasta llegar a la saturación.

## **Análisis y discusión de resultados**

En las investigaciones con métodos mixtos existen dos tipos de datos: los cualitativos y los cuantitativos. Para el análisis de datos cuantitativos se utilizó la estadística descriptiva e inferencial; en la parte cualitativa se usó la codificación y la evaluación temática; y finalmente se combinaron ambos análisis. El análisis de los datos dependió de la estrategia y del tipo de diseño elegidos para esta investigación cuasiexperimental mixta; los datos originales requirieron su transformación debido a la variedad de posibilidades de análisis en los métodos mixtos (Hernández et al, 2010).

En la parte cuantitativa se administró a los alumnos un pre-test, un postest y un test de desempeño, a los que se aplicó la t de student para cuantificar la diferencia entre las medias de ambos grupos. También se les administró una encuesta de opinión con escala tipo Likert. En la parte cualitativa se efectuó un *focus group*, entrevistas personalizadas, y un foro de discusión a fin de identificar categorías de análisis.

En esta investigación se procuró dar respuesta a la siguiente pregunta:  
¿Mejorará el aprendizaje de los conceptos relacionados con los esfuerzos y las deformaciones relativas de piezas de máquinas al utilizar una combinación de aprendizaje basado en la construcción de modelos con la investigación dirigida aplicados desde el punto de vista constructivista?

Para responderla se aplicaron las citadas estrategias de aprendizaje desde la óptica constructivista en la cátedra de Resistencia de los Materiales de la Universidad Don Bosco situada en la ciudad de Soyapango, El Salvador; a fin de superar las deficiencias captadas en el aprendizaje de deformaciones relativas de elementos

ensamblados en dispositivos mecánicos, empleando instrumentos tanto cuantitativos como cualitativos.

Las actividades educativas que se efectuaron con el grupo experimental fueron: explicar en qué consisten las estrategias didácticas de construcción de modelos y la investigación dirigida, presentar algunos modelos, explicar lo que se desea obtener y el papel del estudiante, se explicaron las razones por las cuales se necesitaba dividir el grupo en diferentes equipos de trabajo y se elaboró una rúbrica para los equipos que eligieron construir el modelo físico. Debido a que el profesor no conoce mucho sobre el proceso de modelación con ayuda de computadora se buscó ayuda para impartirle a los alumnos de los equipos de simulación la capacitación para manejar el software, pero no se logró integrar una rúbrica detallada de la simulación y se optó por darles indicaciones puntuales cada quince días.

Además, se efectuaron una serie de gestiones para apoyar a los equipos del grupo experimental, entre ellas:

Enero de 2014: reunión con el señor Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica para plantearle formalmente la solicitud de colaboración para implementar en la materia Resistencia de los Materiales las estrategias didácticas construcción de modelos e investigación dirigida, abordándose algunos detalles de la implementación. También se contactó con el profesor Ikeya Uría, de la Universidad Don Bosco (UDB) quien se ofreció en dar apoyo con capacitaciones en el software *SolidWorks* para los equipos que tomaron la simulación en computadora.

Posteriormente se contactó con el Ing. Gilberto Carrillo de la UDB, encargado de los laboratorios de Ingeniería Mecánica, debido a que ofreció buscar apoyo con

personal de Ingeniería electrónica para medir en forma indirecta las deformaciones, por medio de variaciones de voltaje de las Strain Gauges (deformímetros especiales – un hilo de un metal de composición apropiada en forma de micela que se adhiere a las piezas en las que se medirá la deformación- se pasa una corriente eléctrica y el cambio en la resistencia eléctrica es proporcional a la deformación). El Ing. Carrillo ofreció también facilitar deformímetros mecánicos (comparadores de carátula), para los grupos de los modelos físicos.

Se efectuó una visita a la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA), con la Ingeniera Florencia Lartategui de Roshard, del Departamento de Mecánica Estructural, sobre el uso de las Strain Gauges.

Segunda sesión de clases de Resistencia de los Materiales. Después de la clase se le pidió al grupo experimental que se quedara para explicarle la propuesta de implementación de las estrategias didácticas de construcción de modelos e investigación dirigida, indicándole las metas que se desean alcanzar, los temas que tiene que estudiar, definir horarios para recibir la capacitación de *SolidWork* para los equipos de simulación e indicarles que cada equipo debe definir un horario de reuniones semanal y una reunión el siguiente sábado (1 de febrero) para discutir el avance, propuestas, ideas, etc. (reunión de investigadores).

A finales de este mes, algunos estudiantes se acercaron al profesor Uría para ponerse de acuerdo sobre horarios de la capacitación del software.

Febrero de 2014: se efectuó la reunión programada del profesor de la materia con los alumnos del grupo experimental, pero por parte de los alumnos no hubo sugerencias de modelos, el profesor abordó durante la discusión un modelo.

El profesor Ikeya Uría, quien se ofreció para brindar la capacitación, escribió pidiendo que se les diga a los alumnos del grupo de modelo computacional que propongan un día para iniciar las capacitaciones, pero la comunicación llegó tarde para plantearse a los alumnos ese mismo día.

Se les planteó a los alumnos la propuesta de horarios del profesor Ikeya Uría para iniciar la capacitación en el software *SolidWork*.

**Actividades efectuadas con el grupo control.** El grupo de control recibió exactamente las mismas clases que el grupo experimental, la diferencia consistió en el proyecto de cátedra. El grupo de control desarrolló una variante del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), y la calificación fue individual, aplicando una hoja de cotejo detallada que se ha mejorada durante varios años. En la reunión efectuada con este grupo se les explicó que formaran equipos con un máximo de cinco alumnos, y que cada equipo debería seleccionar un dispositivo de uso corriente: licuadora, bicicleta, tenaza, chapa de puerta, o cualquier otro dispositivo a su alcance; cada alumno seleccionaría una pieza y le aplicaría los análisis que se van cubriendo en clases a lo largo del ciclo, sin embargo, no es un trabajo individual, ya que cada alumno tiene la necesidad de identificar la interacción de su pieza con la que eligieron sus compañeros.

En cumplimiento de las normas éticas por parte de investigadores e instituciones, se contactó con el Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad en la que se efectuó la investigación para explicarle: el motivo de efectuarla, los resultados potencialmente beneficiosos esperados, que no era asequible efectuarla por otros medios, que se solicitaría el consentimiento voluntario de los participantes y que los participantes tenían el derecho de cancelar su

participación en cualquier momento. También se explicó a los alumnos la misma situación y finalmente, tanto el señor Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica (esta Escuela administra la asignatura) como los alumnos involucrados firmaron una hoja en la cual se manifestó su conformidad con la investigación y las actividades planteadas. En el Apéndice K se muestran copias de las cartas de consentimiento.

#### **4.1 Resultados**

El 20 de enero de 2014 se efectuó la primera clase de la materia Resistencia de los Materiales, en la cual se les dio la bienvenida a los estudiantes presentes, se les explicó el contenido de la asignatura, las diferentes actividades, la ponderación de las actividades evaluadas, el cronograma de actividades; finalmente se explicó la metodología del proyecto de cátedra y el requerimiento de dividir la cátedra en grupo de control y en grupo experimental; los miembros de cada grupo se eligieron en forma aleatoria; el promedio de edad en ambos grupos es de 21.1 años.

Para el grupo de control el Coeficiente de Unidades de Mérito (CUM) fue de 7.42 con una desviación estándar ( $\sigma_{n-1}$ ) de 0.53, el número de materias cursadas fue de 26.1 con una  $\sigma_{n-1}$  de 5.27, y un 50 % de ellos viajan hacia la universidad en vehículo particular. Para el grupo experimental el CUM es de 7.35 con  $\sigma_{n-1}$  de 0.40, el número de materias cursadas fue de 25.4 con un  $\sigma_{n-1}$  de 5.83 y el 56 % viaja hacia la universidad en vehículo particular; por lo que se concluye que los grupos son bastante homogéneos. Como el nivel académico y el nivel socioeconómico se distribuyen en forma similar, se asume que las varianzas son iguales para los dos grupos.

A continuación se administró el pre-test (ver Apéndice G), indicándoles a los alumnos que era un examen sin ponderación, pero que daría aportes importantes para

replantear algunos temas que se cubren en la materia, pidiéndoles que respondieran con honestidad cada pregunta formulada y que marcaran el frente de la papeleta con el número 1 aquellos del grupo de control, y con el número 2 el grupo experimental. Es importante mencionar que la gran mayoría de alumnos se mostraron dispuestos a colaborar y siguieron con mucha atención las indicaciones. En el Apéndice L, se observan las fotos del desarrollo del pre-test.

El pre-test se dividió en tres secciones (ver Apéndice G), la primera sección consta de una serie de conceptos y preguntas de opción múltiple y evaluó la comprensión escrita de los problemas, la segunda sección consta de una lista de símbolos y está relacionada principalmente con la capacidad de memorizar de los alumnos. La tercera sección es de opción múltiple pero –a diferencia de la primera, se acompañó de esquemas bastante similares a los problemas que encuentra un ingeniero en su vida profesional. Ésta sección fue en la que los alumnos obtuvieron una mejor calificación. Fue notorio que algunos andaban bastante bien en la primera sección pero deficientes en la segunda y viceversa. Para el cálculo de la nota se les dio una ponderación del 33.3 % a cada una de las secciones.

Los resultados individuales del pre-test se agruparon en dos columnas, la primera fue la del grupo control y la segunda la del grupo experimental. Las tablas 1 y 2 muestran los resultados individuales del pre-test.

Tabla1

*Calificaciones individuales del pre-test para el grupo de control*

4.7	3.1	3.1	4.5	2.0	2.9	4.2	3.5	5.7	3.9
4.5	2.7	5.9	5	4.5	5.6	5.0			

Tabla 2

*Calificaciones individuales del pre-test para el grupo experimental*

5.6	5.0	5.2	6.6	5.8	3.2	3.9	4.3	4.0	3.0
4.7	4.1	4.4	2.9	4.9	4.2	4.6	4.8	4.5	4.5

En el transcurso de la semana, al grupo experimental se les envió información general sobre el modelo a construir por medio de correo electrónico; el grupo de control ya tenía en el sitio web de la universidad indicaciones bastante precisas sobre el proyecto que tenían que desarrollar a largo del ciclo. El grupo experimental fue dividido en cuatro equipos de trabajo, dos equipos tomaron la variante de la construcción de modelos en forma física y dos equipos tomaron la construcción de modelos con ayuda de la computadora (simulación); es decir un modelo construido con ayuda de un software, para simular en la computadora el desempeño del dispositivo. También se les indicó los temas del libro que se relacionan con el modelo a construir, así como indicaciones generales: cada uno debería elaborar un modelo mental, reunirse para plantear los modelos y para discutir las dudas, las hipótesis, las ideas, las propuestas y elegir las mejores ideas del equipo.

Asimismo, se habló con el profesor Ikeya Uría a fin de brindar una capacitación en el software *SolidWork* a los alumnos de la simulación, el acuerdo fue que los alumnos lo contactarán para definir los horarios de capacitación.

Para el día sábado 1 de febrero el profesor se reunió con los alumnos del grupo experimental, para considerar particularidades de los modelos. Al considerar con detenimiento los detalles de modelos que cumplan con el comportamiento requerido, se abordaron las dimensiones de los elementos: área transversal, longitud de los elementos, longitud de rosca, paso de rosca, instrumentos de medición, materiales,

accesorios para algunos instrumentos de medición, cuidados en la construcción de modelos, posibles configuraciones de las piezas en las que se apoyan las barras de modo que su deformación sea despreciable, etc.

El 22 de febrero fue el último día la quinta semana del ciclo y el fin del primer periodo, por lo que se administró el examen de periodo (test de desempeño) a ambos grupos. El examen abarcó todos los temas del primer periodo, incluyendo el tema de las deformaciones relativas, cuyo porcentaje fue de un 20 % de la nota del examen; el cual se calificó en base a diez punto cero. Se evitó incluir en los exámenes problemas que fueran parecidos al modelo propuesto para no darle ventaja al grupo experimental con respecto al de control; los resultados individuales se muestran a continuación.

Tabla 3

*Resultados del test de desempeño del grupo de control*

6.0	5.5	6.1	6.8	4.3	7.5	4.0	5.3	4.5
5.8	6.5	4.1	5.0	5.8	8.8	5.5	5.9	

Tabla 4

*Resultados del test de desempeño del grupo experimental*

5.3	4.8	6.3	6.6	3.1	6.8	5.9	6.5	6.5	6.1
5.8	2.5	5.8	6.8	7	4.8	6.5	6	5.8	4.5

## **4.2. Trabajo de Campo**

### **4.2.1. Bitácora de campo.**

Enero de 2014: se observa el entusiasmo de varios estudiantes para avanzar en el proyecto, a pesar de las otras asignaturas que deben atender.

Febrero de 2014: después de la clase de ese día uno de los equipos presentó como avance los primeros esquemas, incluyó la forma de las piezas y dimensiones generales; así como dimensiones y materiales de las piezas rígidas, observándose que se comienzan a concretar las reflexiones sobre materiales flexibles. Se trabaja sobre una de las propuestas del profesor.

El grupo de alumnos que construirán un modelo físico, presentó en el software *SolidWork* los esquemas correspondientes en una imagen que se puede girar para observar los detalles desde diferentes ángulos. No se captaron errores en los esquemas.

Tres alumnos plantearon dudas sobre algunos detalles del modelo físico, por lo que se les explicaron los cuidados a tener dependiendo del diseño que efectuaran.

Se efectuó una reunión con un equipo del modelo físico sobre la parte constructiva; mencionaron que han avanzado en la construcción, pero que aún no la han completado. Este día tenían que entregar los primeros avances del trabajo, sin embargo pidieron prórroga de dos días.

Dos días después de finalizado el primer periodo, los cuatro equipos del grupo experimental rindieron un informe del avance del primer periodo, el cual se encuentra en el Apéndice M. Se observó que los equipos que trabajaban en el modelo físico estaban más adelantados que los del proyecto en computadora (simulación). Posiblemente el retraso se debió a la falta de dominio del software y a que, a diferencia de los equipos del modelo físico, no han abordado detalles sobre la construcción del modelo; por lo que a los equipos de la simulación se les recomendó

que asumieran que tendrían que construir un modelo físico para prever las dificultades constructivas y que eso les serviría para la simulación.

Marzo de 2014: un alumno presentó un avance del modelo físico y el sábado 22 de marzo se acercó a platicar con el profesor un alumno de otro equipo del modelo físico; en ambos casos se plantean situaciones que reflejan que se reparten el trabajo, que hay poca comunicación entre los diferentes integrantes de los equipos, y que hay una idea de que no se pueden salir de las propuestas del profesor.

Debido a la falta de avance, el profesor solicitó los equipos del modelo físico presentaran lo que tenían de su proyecto. Días después llegó uno de los alumnos a mostrar un par de piezas que dijo que eran las bases metálicas del modelo físico, pero que aún estaban incompletas. Un día a la semana iba al taller del abuelo y estaba terminándolas. Él también tenía las otras piezas y solo faltaba roscar los espárragos. Se le preguntó quién más iba con él al taller y respondió que solo a él se le permitía ingresar. Cuando se le preguntó sobre el trabajo colaborativo, mencionó que se habían repartido las tareas.

También se le preguntó que dificultades había tenido su equipo en la construcción de las partes del modelo y mencionó que el maquinado le había consumido mucho tiempo, mostrando de nuevo las bases. Al indicarle que podrían haber simplificado el maquinado, dijo que él no había podido estar en la reunión anterior y que los compañeros no le mencionaron que se podía modificar la base, es más le aseguraron que “de esa forma la quiere el profesor”

Posteriormente después de la clase, otro alumno integrante de uno de los equipos de simulación, se acercó al profesor para mostrarle el cuadro de dialogo

creado en el software *MATLAB* en que se ingresan las diferentes variables del modelo para calcular una variable de interés, tal como el esfuerzo o la deformación de cualquiera de los elementos del modelo. Se le hizo una prueba y no dio los resultados esperados, aunque daban datos aproximados, por lo que se comprometió a revisarlo. Lo importante de esta consulta consistió en que el alumno mencionó que “se habían repartido el trabajo y a él le tocaba esa parte”, y cuando se le preguntó por la contribución de los demás compañeros, mencionó algunos problemas con las reuniones, lo que evidenció problemas de comunicación y discusión sobre la mejor forma de hacer el modelo.

Con respecto a la investigación dirigida, se hizo difícil llevar a los alumnos a discusiones de altura; ellos preguntaron fundamentalmente aspectos constructivos de los modelos, pero no hubo indicios de que haya existido un debate entre ellos; lo cual podría deberse a que las ideas, los conceptos y las propuestas no las habían reflexionado lo suficiente como para formularlas claramente y no deseaban arriesgarse a decir algo inapropiado.

Muchas veces las concepciones que tienen los alumnos no son apropiadas. Al respecto, Moya y Campanario (1999) explican que muchos alumnos conciben el pensamiento científico como una suma de ecuaciones y definiciones que tienen que ser memorizadas en vez de ser comprendidas; tal forma de pensar se convierte en una barrera para el aprendizaje de las ciencias y es responsable de muchos fracasos de estrategias propuestas para la enseñanza de las ciencias.

La situación antes expuesta desmejora más cuando el profesor utiliza algunas concepciones erróneas en la enseñanza de las ciencias. Pérez (1993) menciona este tipo de concepciones, entre ellas están: visión empirista y atórica, visión rígida,

visión dogmática. Por lo que si durante muchos años muchos estudiantes han recibido este tipo de enseñanza, se hace difícil que en el transcurso de unas semanas se pueda cambiar esa forma de pensar por parte de los alumnos. Para la mayoría de los alumnos, es impensable refutar al profesor en algún aspecto de su enseñanza y se comporta mayormente en forma sumisa en el salón de clases.

Por otra parte, según Morrison y Morgan (1999, citados en Justi, 2006), la construcción de modelos requiere necesariamente de simplificaciones y aproximaciones que son decididas independientemente de los requisitos teóricos o de condiciones de los datos, a esto se le llama las hipótesis de trabajo y a los alumnos les cuesta imaginarse estas simplificaciones y el papel que juegan a la hora de interpretar los resultados.

Es importante mencionar que el aprendizaje generalmente tiene lugar en dos momentos del proceso: en la construcción y en la aplicación del modelo. Al construir un modelo, se crea una estructura representativa y se desarrolla una forma científica de pensar, esta parte es en la que se enfrascan los alumnos al ver cómo avanza la construcción del modelo. En el segundo momento, es decir, al aplicar un modelo, existe otra valiosa oportunidad para ejercitar el pensamiento científico: construido el modelo es necesario confrontarlo con la realidad por medio de probarlo y obtener datos experimentales, comparar estos datos con la teoría y probar el modelo –si fuera posible (y en este caso se espera que las simulaciones sean mucho más flexibles que los modelos físicos) idear pruebas para obtener resultados en casos límites; como por ejemplo, espárragos con un módulo de elasticidad infinito (que no existe en la realidad) ante una barra central elaborada con un material de propiedades conocidas.

En el modelo físico se da la oportunidad de explicar las diferencias entre los datos experimentales con los teóricos, entrando en juego las hipótesis formuladas. Si las hipótesis planteadas son insuficientes para explicar tales diferencias, se induce un razonamiento crítico reflexivo al equipo o al grupo para encontrar el porqué de las diferencias y se hace necesario regresar a las hipótesis de trabajo.

En la segunda capacitación en *SolidWork* de 100 minutos, se brindaron dos horas clase por semana durante cinco semanas y se brindó asesoría en temas específicos.

**4.2.1.1. Resultados de la bitácora de campo.** Uno de los alumnos manifestó que él era el encargado de maquinar las piezas debido a que su abuelo tiene un taller de máquinas herramientas y soldadura, por lo que tenía permiso para usar los recursos del taller, no así sus compañeros; entre otras cosas dijo que: “los compañeros no me mencionaron que se podía modificar el diseño de la base, y me aseguraron que de esa forma la quiere el profesor“, señalando unos esquemas hechos anteriormente por uno de sus compañeros. Esto indica dos cosas: 1.- que se repartieron las tareas y solo se comunican cuando lo consideran necesario, pero sin ir al fondo del asunto. 2.- que cuando un alumno menciona “de esa forma la quiere el profesor”, se da por finalizada la discusión de un tema ya que la última palabra la tiene el profesor.

**4.2.2. Focus group.** El sábado 22 de febrero, inmediatamente después del test de desempeño (examen escrito de fin de periodo), y en un ambiente relajado, se efectuó el primer *focus group* con cinco alumnos de grupo experimental, uno de los alumnos se ofreció a grabar la conversación; se expusieron de parte de los alumnos una serie de ideas y planteamientos muy originales y valiosos, la duración

aproximada fue de una hora; sin embargo, después se supo que la grabación que hizo fue de muy corta duración, de modo que no se registró nada interesante. Se tomó la decisión de reconstruir el evento por medio de facilitarles las preguntas e invitarlos a que se reunieran de nuevo a fin de responderla procurando reproducirla. La reunión se efectuó el lunes 3 de marzo. En el Apéndice N se reproduce la transcripción.

En síntesis, se puede asegurar basándose en el *focus group* que la construcción del modelo físico les ha permitido a los alumnos conocer más sobre: los materiales que existen en el mercado, las empresas distribuidoras, los costos de los mismos y los aspectos ligados con los costos (por peso o por volumen), las formas geométricas más comunes existentes (barras de diferente sección transversal, láminas), las dimensiones más comunes, las propiedades de los materiales y los sitios donde investigar las propiedades, los procesos para modificar la forma de los mismos y las máquinas herramientas utilizadas (procesos de fabricación) , algunos instrumentos con los que se podrían medir esfuerzos y deformaciones y la forma en que van acoplados los elementos del modelo, y de cómo influyen las propiedades de los materiales en el desempeño de un dispositivo (el modelo).

También les ha permitido visualizar cómo las dimensiones y la forma del modelo podrían influir sobre los esfuerzos y las deformaciones que experimentarían.

El modelo en computadora o simulación les ha permitido visualizar las potencialidades del software en la carrera que cursan.

Dos alumnos específicamente visualizan algunas hipótesis sobre el comportamiento, por ejemplo: a) la forma final de la rosca, es decir que si fuera una rosca irregular, influiría en el apriete (y por lo tanto en los esfuerzos y en la

deformaciones) de las piezas; el cual ya no sería simétrico, modificando el comportamiento esperado. b) las bases no son idealmente rígidas (módulo de elasticidad infinito) y por lo tanto experimentarán alguna deformación, afectando el comportamiento ideal del modelo.

**4.2.3. Encuesta de opinión.** El lunes 17 de marzo se le administró al grupo experimental la encuesta de opinión sobre la percepción que tienen sobre la implementación de las estrategias didácticas de construcción de modelos y la investigación dirigida (ver Apéndice Ñ) y que constó de 10 ítems con una escala cualitativa que iba desde totalmente de acuerdo con un puntaje de 5, hasta totalmente en desacuerdo con un puntaje de uno; los cuales fueron: 1. ¿Le ayudaron los modelos a comprender las deformaciones relativas?, 2. ¿Es ventajoso aprender las deformaciones relativas por medio de modelos como los presentados, comparado con la enseñanza tradicional?, 4. ¿Se discutieron las simplificaciones y aproximaciones aplicadas al modelo adoptado?, 5. El aprendizaje sobre las deformaciones ¿es más interesante por medio de la construcción de modelos?, 7. ¿Es efectivo el aprendizaje por medio de modelos?, 8. ¿Se involucraron plenamente todos los miembros del grupo en las diferentes etapas del proyecto?, 9. Los modelos construidos ¿lo han hecho reflexionar sobre las implicaciones científicas, tecnológicas y sociales que puede provocar?, 10. ¿Le será útil esta experiencia para aplicarla a situaciones nuevas? El instrumento arrojó datos de que la estrategia de construcción de modelos es bien vista por los alumnos, obteniéndose un resultado sumamente favorable de 4.67/5 calculándolo al dividir la puntuación total entre el número de afirmaciones; el 94 % opinó que los modelos le ayudan a comprender las deformaciones relativas, el 89 % señaló que la enseñanza con modelos es ventajosa con respecto a la enseñanza

tradicional, el 56 % no tuvo opinión sobre los consensos para el diseño del modelo con base en las mejores hipótesis, el 67 % dijo que está parcialmente de acuerdo en que se discutieron las simplificaciones y aproximaciones aplicadas al modelo, el 22 % se abstuvo de opinar al respecto. El 100 % está total o parcialmente de acuerdo que el aprendizaje de las deformaciones relativas es más interesante con los modelos. El 47 % no tiene opinión sobre la coincidencia de los datos experimentales con los teóricos y el 53 % restante está parcialmente de acuerdo.

El 88 por ciento está parcial o totalmente de acuerdo de que el aprendizaje con modelos es efectivo. El 35 % está parcialmente de acuerdo en que todos los alumnos del equipo se involucraron plenamente en las diferentes etapas del proyecto y el 35 % está totalmente de acuerdo, los demás se abstuvieron de opinar o estaban en desacuerdo. El 94 % expresa que esta experiencia le será útil para aplicarla a situaciones nuevas. El 88 % está total o parcialmente de acuerdo en que los modelos construidos lo han hecho reflexionar sobre las implicaciones científicas, tecnológicas y sociales que podría provocar. El 76 % está totalmente de acuerdo y el resto parcialmente de acuerdo en participar en otra experiencia similar. El 71 % está totalmente de acuerdo y el 24 % parcialmente de acuerdo en implementar con más frecuencia la estrategia de construcción de modelos en diferentes asignaturas.

El ítem 3: ¿Se construyeron los modelos después de un amplio consenso de que se diseñaron conforme a las mejores hipótesis e ideas?, relacionado con la investigación dirigida obtuvo baja puntuación, lo cual se debió a que no se implementó por los alumnos, pues requiere de una actitud crítica y reflexiva, además de tiempo para implementarla. El otro ítem de baja puntuación fue el 6: ¿Coincidieron los datos experimentales obtenidos con el modelo con las soluciones

de los procedimientos teóricos desarrollados en los libros?, lo cual es comprensible debido a que en ese momento, ningún equipo había terminado la construcción del modelo y por lo tanto, no contaban con tales datos.

**4.2.4. Foro de discusión.** El sábado 29 de marzo se efectuó un foro de discusión sobre el proyecto didáctico, al que estaban invitados ambos grupos; se les pidió que narraran su experiencia, el grado de avance, los problemas que habían enfrentado, la forma en que pensaban solventar los problemas y finalmente respondieran las preguntas que les efectuaran sus compañeros de otros equipos de trabajo. Se observó que la mayoría de equipos había reflexionado sobre las hipótesis de trabajo, ya que plantearon una serie de hipótesis que sustentaban el comportamiento del modelo, (ver resumen del foro en Apéndice P, y fotos del foro en Apéndice Q) Las hipótesis planteadas por uno de los grupos son:

a) Los materiales empleados son homogéneos e Isotrópicos: Es decir se asume que los materiales poseen la misma composición química a lo largo de su volumen y que sus propiedades son iguales en todas las direcciones aplicables. Pese a que se sabe que lo anterior difícilmente puede llegar a cumplirse en una pieza real, se considera que los efectos de estas variaciones serán mínimos como para representar un factor de error determinate.

b) Ambos espárragos poseen las mismas dimensiones: Aunque es bien sabido que ello requeriría una precisión con la cual no se contó a la hora de su diseño, se considera que es una aproximación relativamente acertada.

c) La placa superior se desplaza en el eje y una longitud igual a la deformación de la barra central de aluminio: Una de las asunciones principales consiste en que la

placa superior traslada la reacción que recibe por la fuerza aplicada a los pernos de forma equitativa a la barra de aluminio sobre el área de contacto.

d) Los errores de paralaje no representan errores determinantes en la medición: Errores como la visualización de valores en un medidor analógico, la medida exacta de una vuelta a la hora de girar la tuerca o similares se considera que no significaran un cambio drástico en los resultados obtenidos por las mediciones.

e) El peso de los implementos de medición no afecta la distribución de fuerzas en el mecanismo. Aunque los comparadores de carátula deberán ser colocados sobre los espárragos para poder obtener una medida, se considera que la fuerza que aplicarán a los mismos no será lo suficientemente grande como para significar un factor de error demasiado grande.

### **4.3. Análisis de Resultados**

**4.3.1. Resultados del pre-test.** A los resultados obtenidos con el pre-test se le aplicó la prueba de t de Student, para determinar si la diferencia entre las medias de ambos grupos era significativa o no, por medio de ingresar los datos al programa Microsoft Excel 2010, utilizando la función Data Analysis. La hipótesis nula asumida fue que ambos grupos no difieren significativamente en sus medias sobre el conocimiento de los temas del primer periodo de clases, incluyendo las deformaciones relativas de elementos de máquinas. Excel calcula las estadísticas del examen y sus valores críticos. Se asumió que las dos muestras tienen igual varianza, por ser alumnos del mismo nivel en las carreras que cursan, ser homogéneamente similares y haber sido distribuidos aleatoriamente en ambos grupos. En la tabla 5 se observan los cálculos.

Tabla 5

*Resultados de aplicar la t de student al pre-test asumiendo varianzas iguales*

	Grupo de control	Grupo experimental
Media	4.164705882	4.51
Varianza	1.291176471	0.829368421
Observaciones	17	20
Varianza mezclada	1.040480672	
Diferencia hipotética entre medias	0	
Df	35	
t Stat	-1.026149807	
P(T<=t) una cola	0.155930524	
t Critical una-cola	1.689572458	
P(T<=t) dos-colas	0.311861048	
t Critical dos-colas	2.030107928	

De los datos obtenidos de Excel se observa que los resultados que sean menores a  $-2.03$  o mayores a  $+2.03$  (t crítica para dos colas) indican que se rechaza la hipótesis nula, en favor de la hipótesis alternativa. La estadística indica que la t es de  $-1.03$ , que es mayor a  $-2.03$  y menor a  $+2.03$ : por lo tanto se asume que con el 95 % de probabilidad ( $\alpha = 0.05$ ) no existe diferencia entre las medias de los dos grupos. Otra forma es comparar P con  $\alpha$ . Si P (la probabilidad de dos colas) es mayor que  $\alpha$ , no hay suficiente evidencia que las medias son diferentes; en este caso P (de una cola) =  $0.156$  y  $\alpha/2 = 0.025$ , o P =  $0.312$  y  $\alpha = 0.05$  para dos colas. Por lo tanto se concluye que los grupos no difieren significativamente. Esto confirma que los grupos son homogéneos.

**4.3.2. Resultados del test de desempeño.** A los resultados obtenidos el sábado 22 de febrero (en la quinta semana de iniciado el ciclo) por ambos grupos en el test de desempeño, antes mostrados en las tablas 3 y 4, también se le aplicó la prueba t de

Student a fin de efectuar las comparaciones de sus medias, sin embargo, no se encontraron diferencias. Lo anterior se observa en la tabla 6.

Tabla 6

*Resultados de aplicar la t de Student al test de desempeño asumiendo varianzas iguales*

	Grupo de control	Grupo experimental
Media	5.729412	5.67
Varianza	1.535956	1.459053
Observaciones	17	20
Varianza mezclada	1.494208	
Diferencia hipotética entre medias	0	
Df	35	
t Stat	0.147335	
P(T<=t) una cola	0.441857	
t Critical una-cola	1.689572	
P(T<=t) dos-colas	0.883713	
t Critical dos-colas	2.030108	

Se esperaba que el test de desempeño reflejara una diferencia entre ambos grupos, lo cual no fue así, ya que P es de 0.88 y por lo tanto mayor que  $\alpha$ . Este resultado pudo deberse a que los alumnos se enfrascaron inicialmente más en aspectos constructivos del ejemplo mostrado y no en la elaboración mental del funcionamiento del modelo; ya que ese procedimiento es usual en varias asignaturas y en los laboratorios donde la reflexión y la crítica están ausentes. Tampoco se expusieron diferentes propuestas de construcción de modelos, y también debido a que el avance de la construcción física de los modelos es lento y a la fecha de cerrar esa etapa, no habían llegado a reflexionar qué sucedería cuando se obtuvieran los primeros datos experimentales y encontrar con que hay datos experimentales que no coinciden con la teoría.

A continuación se procedió a separar el grupo experimental en los equipos físico y simulación, para determinar si existen diferencias significativas debido a la diferente naturaleza de las tareas, las calificaciones obtenidas se muestran en las tablas 7 y 8.

Tabla 7

*Resultados del test de desempeño del grupo experimental, equipos de la simulación*

5.3	4.8	6.3	6.6	3.1	6.8	5.9	6.5
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 8

*Resultados del test de desempeño del grupo experimental, equipos del modelo físico*

6.5	6.1	5.8	2.5	5.8	6.8
7.0	4.8	6.5	6.0	5.8	4.5

Y luego se procedió a aplicar la t de student, los resultados se ven en la tabla 9

Tabla 9

*Resultados de aplicar la t de student al test de desempeño asumiendo varianzas iguales en los equipos experimentales, modelo físico y simulación*

	Equipos simulación	Equipos modelo físico
Media	5.6625	5.675
Varianza	1.539821	1.540227
Observaciones	8	12
Varianza mezclada	1.540069	
Diferencia hipotética entre medias	0	
Df	18	
t Stat	-0.02207	
P(T<=t) una cola	0.491318	
t Critical una-cola	1.734064	
P(T<=t) dos-colas	0.982637	
t Critical dos-colas	2.100922	

Se aprecia que no hay diferencias significativas entre las medias de los diferentes equipos, ya que  $P$  es mayor que  $\alpha$ . Por lo tanto, la naturaleza de las tareas sobre el mismo tema no arroja cambios significativos entre los equipos de simulación y de construcción física.

### 4.3.3. Resultados del postest

El sábado 22 de marzo se administró a los alumnos el post-test, que es el mismo pre-test con la única diferencia de que el post-test lleva una hoja de respuestas (Apéndice O) con los siguientes resultados:

Tabla 10

*Resultados individuales del post-test administrado al grupo experimental*

8.45	3.91	5.36	7.13	8	6.61	5.1	5.87
4.88	5.06	6.72	6.43	4.84	7.27	5.32	3.87

Tabla 11

*Resultados individuales del post-test administrado grupo de control*

3.4	5.95	7.72	4.47	5.51	6.17
6.06	4.66	7.05	6.16	5.46	

Tabla 12

*Resultados de aplicar la t de student al post- test asumiendo varianzas iguales*

	<i>Grupo experimental</i>	<i>Grupo de control</i>
Media	5.92625	5.6918182
Varianza	1.864545	1.4504964
Observaciones	16	11
Varianza mezclada	1.698925545	
Diferencia hipotética entre medias	0	
Df	25	

t Stat	0.459202067
P(T<=t) una cola	0.32502848
t Critical una-cola	1.708140761
P(T<=t) dos-colas	0.65005696
t Critical dos-colas	2.059538553
23 de marzo de 2014	Examen post-test Resistencia de los Materiales

De nuevo se observa en la tabla 12 que P es mayor que  $\alpha$ , y por lo tanto, las medias de ambos grupos no se diferencian significativamente. Sin embargo, el promedio del grupo experimental sí es ligeramente superior.

**4.3.4. Resultados del *focus group*.** Se efectuó con 5 alumnos de los diferentes equipos. Algunos hallazgos obtenidos del *focus group* se mencionan a continuación con algunas citas textuales comentadas.

- Hay un acuerdo casi unánime de los entrevistados sobre la gran utilidad de los modelos en el proceso enseñanza - aprendizaje, confirmado por las siguientes aseveraciones:

Alumno 1: “El modelo es una representación de la parte experimental”

Alumno 2: “la creación de modelos es esencial para visualizar lo que se plantea en la teoría”

Alumno 3: “un enfoque realista en el análisis de las características mecánicas de cada material”

Alumno 4: “ver el modelo físico y comparar con lo teórico es confirmar las bases de lo que se estudia en clases”

Alumno 2: “Es necesario tener más modelos porque es la única forma de comprobar que lo que se enseña en la pizarra corresponde a la realidad, ya que muchos alumnos no creen que la teoría funcione en la realidad”

- La elaboración de modelos les permite conocer de mejor forma las interrelaciones de las asignaturas:

Alumno 5: “Nos lleva a ganar experiencia con el software *SolidWork* que tiene las funciones completas y cosas que el ámbito laboral está exigiendo.”

Alumno 3: “sí, el software es muy útil porque es propio para analizar piezas, nos servirá en el futuro para otros trabajos y proyectos”

Alumno 1: “sí porque ponemos a prueba nuestras competencias adquiridas en bases teóricas fundamentada en los modelos”

- La elaboración de modelos les permite relacionarse con su práctica profesional.

Alumno 5: “Nos lleva a ganar experiencia con el software *SolidWork* que tiene las funciones completas y cosas que el ámbito laboral está exigiendo.”

- En general los alumnos no prestan atención a las hipótesis sobre las que se basa la construcción del modelo, ya que a pesar de que una pregunta del cuestionario se refería específicamente a ese aspecto y que en la rúbrica del informe se incluyeron, los alumno obviaron responderla.
- Se deja entrever que las tareas de la construcción de modelos se las dividen y no trabajan de forma integrada; es decir, siguen la forma tradicional de trabajar.

Alumno 5: “sí, todos han colaborado a la hora de la construcción (física) en diferentes tareas, torneas, fresar, limar, cotización de materiales”

- Se refleja una excesiva y dañina dependencia del profesor y ausencia de crítica y de criterio propio. Esto se evidencia en las clases, ya que las intervenciones (preguntas o comentarios) son escasas y usualmente no van al fondo del asunto.
- Solamente dos alumnos mencionaron aspectos relacionados con las hipótesis: la rigidez de las bases y de las roscas. El resto de hipótesis fundamentales no se mencionan.

**4.3.5. Resultados del análisis documental.** Los estudiantes del grupo experimental presentaron sus informes finales sobre la simulación y el modelo físico en la semana del 10 al 17 de mayo. En el caso de los equipos de simulación se les pidió que presentaran su informe y el video; para los equipos de modelo físico se les pidió presentar el modelo físico, fotos de cuando efectuaban mediciones y el informe. Fue positivo que dos equipos de trabajo se reunieran días antes de la entrega del informe final para compartir las hipótesis de trabajo. En el apéndice T se anexa el informe de un equipo de elaboración del modelo físico, en el apéndice U se anexa la fotografía y en el apéndice V se anexa el informe de un equipo simulación. En estos informes se evidenció una elaboración importante de hipótesis, mayor comunicación al interior del grupo y entre diferentes grupos y que se comenzaban a preguntar si los resultados experimentales coincidirían con el análisis teórico.

**4.3.6. Triangulación de los resultados.** Los resultados cuantitativos obtenidos con la aplicación del pre-test (ver tablas 1, 2 y 5) confirman que inicialmente no existían diferencias de las medias entre ambos grupos. Esto fue corroborado por

medio de una encuesta en la cual se compararon los promedios de edad, del nivel académico y de un indicador socioeconómico; que constató que ambos grupos eran inicialmente bastante homogéneos. el test de desempeño administrado el 22 de febrero indican que no hay evidencia de que después de la intervención las medias entre ambos grupos difieran significativamente (ver tablas 3, 4, 6, 7, 8 y 9) ; esto fue confirmado por el post-test fue administrado el sábado 22 de marzo (tablas 10, 11 y 12); sin embargo la encuesta de opinión, que también es un instrumento cuantitativo, indica que hay un amplio consenso entre los estudiantes del grupo experimental de la utilidad de la estrategia de construcción de modelos en las dos modalidades: construcción física y virtual (ayudado de la computadora). Hay un acuerdo general de que la experiencia fue útil para aplicarla a nuevas situaciones, que recomiendan implementarla en otras asignaturas y que les gustaría participar en una experiencia similar. Las anteriores aseveraciones son corroboradas plenamente por las opiniones vertidas en el *focus group*; en el que mencionaron también que les permite visualizar la interrelación que existe entre diferentes asignaturas del pensum.

Por otra parte, la encuesta de opinión señaló que no hubo consenso en el diseño ni en la hipótesis, lo que probablemente indique que no se discutieron a profundidad esos aspectos, tal como lo requieren ambas estrategias didácticas. Esto concuerda con las observaciones plasmadas en la bitácora de campo, con el *focus group* en el cual prácticamente se dejó de lado abordar las hipótesis de trabajo; también concuerda con lo externado en el foro de discusión, donde los diferentes grupos expresaron claramente las dificultades para reunirse, por los diferentes horarios de los integrantes del equipo. Las razones esgrimidas por los estudiantes con respecto a las reuniones son: que cursan diferentes las materias o se inscribieron en distintos

grupos. El grupo 4 aseguró en el foro de discusión que nunca se pudieron reunir todos para discutir los detalles del modelo.

La encuesta de opinión corroboró que no hay acuerdo sobre la coincidencia en los datos experimentales, lo cual es correcto ya que a la fecha en que se administró, ningún grupo había obtenido datos experimentales aún. Los primeros datos experimentales se obtuvieron hasta el viernes 28 de marzo.

En la encuesta de opinión, los *focus group* y las entrevistas no estructuradas se observó que no se menciona directamente que se hayan dado discusiones o debates al interior de los grupos, y cuando se les preguntó trataron de esquivar la respuesta o a expresar una respuesta ambigua. Esto se verificó en el foro de discusión.

En la exposición de los equipos de trabajo durante el foro, se observó que la mayoría había reflexionado sobre las hipótesis de trabajo y que existió intercambio de información entre equipos, ya que presentaron varias hipótesis comunes.

Por lo tanto, se concluye que la estrategia de construcción de modelos en la modalidad física es ampliamente aceptada por los alumnos: les gusta participar en experiencias de este tipo y la recomiendan como un medio efectivo de aprendizaje. Sin embargo se podría interpretar que dos de los instrumentos cuantitativos no apoyan esas aseveraciones y que hay contradicciones en los resultados obtenidos; pero esta conclusión sería errónea debido a que no se toma en cuenta que implementar tal estrategia necesita de un pensamiento crítico reflexivo de parte del estudiante, para lo cual se necesita tiempo para que los estudiantes elaboren un modelo mental, lo traduzcan a un lenguaje entendible para presentar sus argumentos, y una gran madurez para discutirlo a un nivel académico apropiado con sus

compañeros a fin de aceptar las mejores ideas. También es necesario que los estudiantes dispongan de tiempo para reunirse periódicamente y que presenten un informe semanal de sus avances, de modo que el docente pueda darle el seguimiento requerido; esto se corroboró en las entregas de los informes del tercer periodo, 5 semanas después.

Es de resaltar que la construcción de modelo físico inició con mucho entusiasmo, ya que aparentemente creyeron que eran proyectos constructivos que rápidamente los terminarían; pero gradualmente se fueron dando cuenta de la complejidad de la tarea, de los muchos detalles a considerar en el modelo para que funcionara adecuadamente y obtener datos apropiados, por lo que se fueron retrasando en la programación; lo cual es lógico pues madurar las ideas no es algo que se pueda encajonar en el tiempo. De modo que cada equipo tenía su ritmo de trabajo. Sin embargo, fue altamente gratificante constatar que al salir del “bache” los alumnos fortalecían su confianza para dar el siguiente paso.

Por otra parte, se necesitó una cuidadosa planificación de la intervención por parte del docente y un conocimiento bastante detallado de las actitudes y aptitudes de cada uno de sus alumnos, a fin de aprovechar todas las bondades de esta estrategia.

Sobre las dificultades de aprendizaje de las ciencias, Greca, I. M., y Moreira, M. A. (1998) mencionan que para que los alumnos construyan esas representaciones internas coherentes con el conocimiento científicamente compartido es importante la modelización, por ser la principal actividad de los científicos, ya que les permite generar y aplicar teorías científicas. También afirma que “el juego de la modelización” se aprende de manera implícita y en la mayoría de los casos de

manera “bastante costosa, solamente por los estudiantes en su corrida por convertirse en físicos y por los propios físicos”, ya que es “como el aprendizaje de un nuevo idioma que permitiría percibir de otra manera la nueva descripción de los fenómenos”

Con respecto a la simulación, debido a la capacitación que debieron tomar para manejar un software apropiado, la programación experimentó varios retrasos, pero finalmente cada uno de los equipos logró elaborar una simulación de muy buena calidad y lo editó en video (Martínez Ortega, G.J., Arévalo Medina, R.A., y Grajeda Blandón, L.A., 2014; Hernández, J.A., Maldonado, E.A., Torres, F.D., Morales, R.A., y Rubio, S.; 2014) <sup>1</sup>

Entonces, volviendo a la pregunta de investigación, ¿Mejorará el aprendizaje de los conceptos relacionados con los esfuerzos y las deformaciones relativas de piezas de máquinas al utilizar una combinación de aprendizaje basado en la construcción de modelos con la investigación dirigida aplicados desde el punto de vista constructivista? Para el autor de esta investigación la respuesta es afirmativa siempre y cuando se planifique cuidadosamente la experiencia y los alumnos y el docente dispongan del tiempo adecuado para implementar ambas estrategias.

#### **4.4 Confiabilidad y Validez**

La confiabilidad de un instrumento se refiere al grado en que su aplicación repetida en las mismas condiciones produce resultados iguales, dicho de otra manera: a más bajo error de medición, más confiable es el instrumento. Sin embargo, no basta

---

<sup>1</sup><http://ge.tt/1FbVqrg1/v/0>,  
<https://onedrive.live.com/cid=03bc71e6180f05bc&id=3BC71E6180F05BC%211071&ithint=video.mp4&authkey=!AL-QjmNtiZGz9Xg>

que un instrumento sea confiable, también debe tener validez, que se refiere al grado en que un instrumento mide las variables que tiene que medir y tiene tres componentes: validez de contenido, validez de criterio y validez del constructo (Hernández et al, 2010).

Al revisarse el pre-test y el post-test se verificó que cumplieron parcialmente la validez de contenido, porque no se incluyeron exclusivamente las deformaciones relativas, pues se incluyeron varios términos y conceptos asociados. La validez de criterio se estableció al comparar los datos recopilados del post-test con el test de desempeño. Para lograr el control de la validez interna (Hernández et al, 2010), el grupo se dividió en dos, el de control y el experimental; además se han revisado las fuentes de invalidación interna, a fin de verificar que ninguno de tales factores afectara la validez de los instrumentos, por ejemplo la formación de equipos homogéneos. Se aspiró a lograr la validez interna total.

Los diseños mixtos se basan en la triangulación de fuentes para verificar los datos, lo cual es una fuente de validez; por lo que se efectuaron las triangulaciones necesarias entre datos y métodos cuantitativos y cualitativos para aumentar la validez de esta investigación (Valenzuela y Flores, 2012; Hernández et al, 2010)

Con respecto a la validez externa, es decir, la capacidad de generalizar sus resultados a situaciones de aprendizaje similares, está por el momento fuera del ámbito de esta tesis, y podría determinarse posteriormente.

De igual forma se revisaron aquellos factores que hubieran podido afectar la confiabilidad y la validez, tales como la improvisación, instrumentos

descontextualizados o inadecuados a las personas, condiciones de aplicación de test inadecuadas, cuidando que fuera mínimo el efecto de estos factores.

## **Conclusiones**

### **5.1. Resumen de hallazgos**

La pregunta que se buscó responder con esta investigación es la siguiente:  
¿Mejorará el aprendizaje de los conceptos relacionados con los esfuerzos y las deformaciones relativas de piezas de máquinas al utilizar una combinación de aprendizaje basado en la construcción de modelos y la investigación dirigida aplicados desde el punto de vista constructivista?

La respuesta encontrada indica que cuantitativamente no fue posible asegurar que las estrategias didácticas implementadas mejoraran el aprendizaje, pero cualitativamente hay una percepción generalizada de que varios aspectos del aprendizaje mejoran considerablemente.

A fin de efectuar la investigación, en la primera sesión del ciclo la clase se dividió en dos grupos: el de control y el experimental. Después de comprobar con el pre-test de que los grupos son académica y socioeconómicamente homogéneos, se efectuó una intervención diseñada previamente con el grupo experimental por medio del proyecto de cátedra, la cual por motivos de tiempo no se desarrolló en todas sus etapas y sólo se cubrió en aproximadamente dos terceras partes de lo planificado. El grupo de control desarrolló el proyecto tradicional.

**5.1.1. Hallazgos cuantitativos.** En la quinta semana del ciclo se administró un test de desempeño, a inicios de la octava semana del ciclo se administró una encuesta

de opinión y a finales de la semana nueve del ciclo, un post-test a los alumnos. Los datos obtenidos en el test de desempeño y en el post-test reflejan que no existieron cambios significativos en las medias de ambos grupos en el tema de las deformaciones relativas.

Sin embargo, la encuesta de opinión refleja que los estudiantes tienen opiniones muy favorables sobre la estrategia de construcción de modelos, expresando que les ayuda a comprender el fenómeno en estudio, que es ventajoso con respecto al método tradicional, que es muy interesante ya que es un proyecto constructivo, que es efectivo, que es útil para aplicarlo a nuevas situaciones, que les gustaría participar nuevamente en este tipo de estrategia y que la recomiendan para implementarla en otras materias. En la escala Likert el resultado fue de 4.67/5.

**5.1.2. Hallazgos cualitativos.** Se administraron los siguientes instrumentos: *Focus group*, bitácora de campo y foro de discusión, además se revisaron los informes de los tres periodos. En el *focus group* los estudiantes que tomaron el modelo físico expresaron que la estrategia de construcción de modelos fue muy valiosa debido a que les permitió corroborar el enlace entre diferentes asignaturas; ya que al abordar la construcción del modelo tuvieron que utilizar conocimientos de dibujo técnico, matemáticas, ciencia de los materiales, física, economía, procesos de fabricación, estática, resistencia de los materiales y otras materias. Los estudiantes que tomaron la simulación expresaron que les daba oportunidad de conocer un programa computacional muy importante para el campo laboral.

Integrantes de todos los equipos del grupo experimental opinaron que la construcción de modelos les permite visualizar de mejor manera las deformaciones

en las piezas de máquinas y comprobarlo experimentalmente por medio de los instrumentos, lo cual es fundamental para su carrera. A su vez les permitió ejercitar un intercambio de ideas y el uso de argumentos para llegar a una mejor solución de los problemas a los que se enfrenten, es decir, construir el conocimiento colaborativamente. También les ayudó a entender de mejor manera el papel de las hipótesis, aproximaciones o simplificaciones en los modelos; es decir, les permitió enlazar la teoría con la práctica y la solución de problemas.

Sobre el análisis de los documentos presentados por los equipos de trabajo del grupo experimental: informes finales (ver apéndices T y V), foto del modelo (ver apéndice U), el video y la inspección presencial, los estudiantes elaboraron una lista, a modo de conclusión, de las características de cada modalidad: simulación y modelo físico, que se muestra a continuación:

*Características de la simulación utilizando SolidWork:*

1. El programa incluye varias de las hipótesis de trabajo, entre ellas: material homogéneo e isotrópico; secciones transversales constantes si se requiere y perfectas; simetría si se requiere, la aplicación de las fuerzas se puede efectuar en el centroide del área si así se desea.
2. Indica por medio de una escala de colores la magnitud de los esfuerzos y las deformaciones de cada una de las piezas y también puede dar los valores de tales magnitudes.
3. Cuenta con una base de datos de los materiales de ingeniería con las propiedades más comunes, de modo que con unos clics se puede cambiar de material de una pieza determinada.

4. Indica por medio de colores si una pieza está cerca del punto de falla.
5. Cuenta con una base de formas comunes de sección transversal de piezas.
6. Facilidad para trabajar los modelos en cualquier lugar, ya que no se requiere un taller, solamente una computadora con el software, el conocimiento del mismo y las habilidades para manipularlo.
7. Los resultados pueden ser grabados en un video si se tiene el soporte adecuado (editor de videos) o imprimirse.
8. Pueden aplicarse simultáneamente varias fuerzas
9. Los estudiantes deben de conocer el software y tener acceso a él.
10. No se explicitan algunas hipótesis que el software maneja en sus análisis, por lo cual el docente tiene que debe hacerlo.
11. Se necesita tener la versión completa y no una de muestra del software.
12. Para planificar un proyecto, el docente debe conocer el software a profundidad.

#### Características de la elaboración del modelos físico.

1. Si debido a una construcción deficiente el modelo se aparta de las hipótesis, también los datos experimentales se alejaran de los teóricos. En otras palabras, es muy sensible a la aplicabilidad de cada una de las hipótesis, ejemplos: si las piezas no están centradas con precisión, o se aparta ligeramente de la simetría, las piezas se cargarán excéntricamente y las fuerzas en las diferentes partes de una pieza variarán, teniéndose valores diferentes a los teóricos.

2. Ya que los esfuerzos no se observan a simple vista, ni las deformaciones absolutas, el estudiante descubre la necesidad de utilizar instrumentos extremadamente precisos para medir tales variables.
3. La construcción debe ser sumamente cuidadosa, por lo que usualmente se necesitará personal técnico capacitado para construir cada una pieza.
4. El tiempo y los recursos para la elaboración de modelos pueden ser elevados.
5. Es necesario utilizar un taller bien equipado
6. El montaje, el manejo y la ubicación de los instrumentos es delicada, ya que son muy sensibles.

Adicionalmente, tanto los alumnos de los equipos del modelo físico como los de la simulación elaboraron programas: en Excel unos y en Matlab otros para calcular las fuerzas, los esfuerzos, las deformaciones absolutas y relativas teóricas para compararlas con las obtenidas por simulación o por mediciones experimentales.

En el informe de uno de los equipos del modelo físico, se tabularon y graficaron los datos (tres mediciones de deformación por cada desplazamiento angular de las tuercas), las cuales revelaron un patrón lineal tal como se esperaba, aunque no coincidieron con los datos teóricos; pero les ayudó a los alumnos a reflexionar de porqué las diferencias. Sin duda que si los alumnos hubieran contado con tiempo suficiente, habrían descubierto cuáles son las hipótesis que produjeron las mayores diferencias entre el modelo físico y el teórico.

Como dato curioso que refleja la interacción que hubo entre los equipos de trabajo, se cita el hecho de que uno de los equipos de la simulación propuso un mecanismo que, en caso de construir el modelo físico, permite girar el mismo número de vueltas ambas tuercas, a fin de aplicar simultáneamente la misma fuerza

a ambos espárragos, tal mecanismo es difícil de concebir si se utiliza solamente la simulación. La propuesta está en el apéndice V.

A estas alturas, es necesario reflexionar sobre las competencias desarrolladas por los alumnos por medio de este proyecto. Evidentemente las competencias técnicas son diferentes, pero las competencias científicas posiblemente no, ya que quienes experimentaron las consecuencias de alejarse más de las hipótesis planteadas fueron los que construyeron los modelos físicos con ayuda de máquinas-herramientas (torno, fresadora, soldadura); situación reflejada al comparar sus mediciones experimentales con los resultados teórico, que les da diferencias sustanciales. Estos resultados obligan a los alumnos a reflexionar de porqué el modelo físico se aleja del modelo teórico. Este hecho lleva a plantear la necesidad de la comunicación entre equipos de trabajo, a socializar las experiencias de ambos modelos de modo que todos los equipos salgan gananciosos, tal como se hace con diferentes equipos científicos que investigan un tema desde diferentes perspectivas.

Modernamente con máquinas de control numérico, no es necesario tener una gran habilidad manual, pues el diseño se ingresa por medio de un software y la máquina construye cada pieza con alta precisión, con lo cual se minimizan las imperfecciones de construcción, que siempre se reflejarían en el modelo físico al efectuar las mediciones.

La última actividad efectuada en la cátedra de Resistencia de los Materiales fue un foro en la que los alumnos del grupo experimental expusieron sus resultados, lo cual fue del agrado de todos los estudiantes de la cátedra evidenciado por medio de un nutrido aplauso, lo cual es inusual en las carreras de ingeniería.

**5.1.3. Áreas de oportunidad.** Fue desafortunado que para la fecha de cerrar el material a incluir en esta tesis, dos equipos de trabajo no hayan terminado de analizar los datos experimentales de su proyecto, ni obtener conclusiones; esto se debió a la complejidad de manejar instrumentos de medida muy sensibles (división de escala  $1 \times 10^{-6}$  m), que para ajustarlos se requiere de un gran cuidado (ver apéndice V). Estas medidas les daría la pauta para explicar las diferencias basándose en las hipótesis de trabajo que no se han cumplido, o a otras hipótesis que se puedan plantear, tomando de referencia el comportamiento teórico.

Con base al *focus group*, a la bitácora de campo y al foro de discusión se lograron determinar que en las primeras seis semanas del ciclo la mayoría de los estudiantes no estaban conscientes de las hipótesis asumidas para construir el modelo. Por otra parte, a pesar de las indicaciones, los alumnos procedieron de la forma tradicional, es decir, se dividieron el trabajo y luego unas horas antes de la entrega juntaron los avances de cada quien sin someter a discusión las aportaciones individuales, por lo cual no hubo un trabajo de equipo, sino una suma de partes. Sin embargo, esta situación cambió dramáticamente con el primer foro de discusión, ya que los obligó a reunirse y coordinarse para exponer una parte del trabajo (en el Apéndice R se presenta un listado de hipótesis aplicables al modelo, que no es exhaustiva).

La bitácora de campo arrojó indicios de que muchos alumnos no tienen una mente crítica y evitan tomar decisiones que piensan que pueden contrariar al profesor, posiblemente porque asumen que les podría afectar su nota.

Dificultades operativas: obtener valores experimentales es complicado, ya que los instrumentos son muy sensibles –pueden detectar milésimas de milímetro; colocarlos es todo un reto, el grupo que completó el modelo físico pasó toda una mañana y parte de la tarde siguiente tratando de obtener datos confiables, lo que hizo que algunos integrantes dejaran de asistir a clases de otras materias

Cada equipo de trabajo presentó un informe, pero fue a nivel de comunicación de logros de ingeniería, pues debido al corto tiempo disponible, no se les planteó la elaboración de una memoria científica, la cual tendría un formato diferente.

Como se esperaba, el análisis de los resultados experimentales en uno de los equipos del modelo físico que efectuó las mediciones y la comparación con los datos teóricos y su discusión, (es decir, su interpretación física, fiabilidad, exactitud, etc., a la luz de la teoría disponible, de las hipótesis manejadas y de los resultados de “otros investigadores” -otros equipos de estudiantes); evidenció algunos conflictos entre los resultados y las concepciones iniciales y posibilitó el replanteamiento del modelo a otro nivel de complejidad o a los problemas derivados.

La validez de contenido de los instrumentos utilizados (post-test y test de desempeño) no se cumplió a cabalidad; ya que no estaban enfocados con precisión en lo que se deseaba medir, pues abarcó una serie de temas diferentes y únicamente un 20 % del contenido de los instrumentos se referían a las deformaciones relativas, lo cual distorsionó los resultados.

Es deseable que el software a utilizar sea de dominio de los alumnos antes de la intervención, a fin de evitar dedicarle tiempo a la capacitación durante la intervención, puesto que les resta tiempo para la elaboración del modelo.

**5.1.4. Limitaciones.** Probablemente el factor que más influyó sobre los resultados de la investigación fue el tiempo, que no permitió que los alumnos maduraran sus ideas, pero además se observaron los siguientes problemas:

1. Interferencias de los horarios de los alumnos, debido a que están en diferentes grupos o que cursan diferentes asignaturas, obstaculizando las reuniones de todos los integrantes de los equipos de trabajo.

2. Aproximadamente un 20 % de los alumnos tiene un empleo formal y se les dificulta asistir a las reuniones de los equipos, e incluso a las clases.

3. La asignatura tiene 3 unidades valorativas y los alumnos reciben 3 horas clase en promedio a la semana (1 sesión de dos horas las semanas pares y dos sesiones de dos horas en las semanas impares), además, la mayoría de alumno cursa cuatro asignaturas más, por lo que el tiempo para dedicarle a la asignatura y al proyecto es limitado.

4. Buena parte de los alumnos no están acostumbrados a reflexionar críticamente y les es familiar y aceptado el autoritarismo; para cambiar esa mentalidad se necesita tiempo y un ambiente favorable a fin de practicar estrategias didácticas que induzcan el pensamiento independiente y la creatividad.

5. El autor de la presente investigación trabaja en la universidad en que se desarrolló esta tesis en la modalidad hora-clase y a tiempo completo en otra institución educativa.

6. El foro se desarrolló en la semana previa a la semana de exámenes, por lo que hubo un escaso intercambio de ideas; no hubo debate.

7.- El profesor que colaboró brindando la capacitación en *SolidWork*, lo hizo de buena voluntad, y los alumnos tuvieron que dedicar tiempo para la misma; pero también afectó el horario, ya que tuvo que buscarse un horario en que coincidieran alumnos y el docente, causando un retraso en las clases y luego el profesor tuvo que salir del país, retrasando más el avance.

## **5.2. Recomendaciones para implementar las estrategias abordadas**

Para el autor de esta tesis, ésta fue la primera experiencia de implementar las estrategias de construcción de modelos y la investigación dirigida. Es comprensible que se cometan algunos errores en la intervención; aun así se visualiza que ambas estrategias tienen un gran potencial por desarrollar, y para que tengan éxito se recomienda:

a) Con respecto a la metodología:

Revisar todos los aspectos de la experiencia para planificar de mejor manera su implementación en una próxima ocasión. Es necesario ponerle mucha atención al diseño de los instrumentos (pre-test, post-test, test de desempeño, entrevistas, encuestas), es decir, la validez de los mismos; para que evalúen principalmente los conceptos relacionados con los modelos que se construyen, y no mezclar en el instrumento diferentes temas. Es necesario recordar que la identificación, maduración, operacionalización, el desarrollo y la formalización se produce en forma gradual, es decir, se necesita de tiempo.

b) Con respecto a la orientación a los estudiantes. Iniciar el trabajo con la formulación de hipótesis de trabajo, resaltando su importancia para la elaboración de los modelos. Remarcar que es importante efectuar debates con argumentos

fehacientes sobre tales hipótesis y las consecuencias sobre las diferencias del comportamiento del modelo con respecto a la realidad, y dado que el trabajo en grupo no es la suma de partes trabajadas aisladamente, sino un resultado en que todos los integrantes del equipo expusieron sus puntos de vista.

Argumentar sobre la importancia de los debates y las deliberaciones dentro del equipo de trabajo y con los otros equipos para madurar las ideas y tomar las mejores. Aclararle a los alumnos que no siempre el profesor tiene la razón y que cualquier alumno que ha madurado alguna idea o hipótesis la debe exponer ante el equipo de trabajo y discutirla, lo cual será de suma importancia para construir su propio conocimiento y el de sus compañeros. El profesor debe animar a los alumnos a que como profesionales que aspiran a ser, deben ejercitar su criterio y no dejarse imponer las ideas sin razonarlas.

c) Con respecto a la actitud de los estudiantes. Existe una característica de los estudiantes universitarios salvadoreños: solamente que esté cerca la fecha del examen parcial o de la entrega de trabajos ex -aula los alumnos se reúnen y se desvelan para cumplir con sus obligaciones. Las actividades planificadas para implementar las estrategias didácticas de construcción de modelos e investigación dirigida no fueron la excepción, sin embargo ambas estrategias exigen para su implementación un esfuerzo continuo, el cual no se dio en la mayoría de los estudiantes. En este último caso, se recomienda una entrega de los avances escalonada, podría ser cada quince días o incluso semanal.

### **5.3. Sugerencias de futuras investigaciones**

Debido a que la construcción de conocimientos científicos tiene exigencias metodológicas y epistemológicas (Gil Pérez, D., y Valdés Castro, P., 1996); y a que es preciso considerar las ideas que los alumnos traen al aula: las que han sido elaboradas en situaciones cotidianas y las que traen de su formación escolar anterior (Justi, R., 2006), es necesario plantear la necesidad de aplicar instrumentos que evalúen tales aspectos y que sirvan de ayuda al profesor en su planificación al implementar estrategias como las abordadas en esta investigación.

Se deberá tomar en cuenta que no todos los alumnos tienen la aspiración de convertirse en científicos (Justi, R., 2006), por lo que la estrategia de investigación dirigida no funcionará con buena parte de los alumnos; si a esto se le agrega la falta de una educación democrática, la situación se complica aún más. Podría trabajarse en una serie de estudios que resalten los efectos de una enseñanza autoritaria en los diferentes niveles educativos, contrastándola con los resultados de una enseñanza donde el alumno participa en la construcción de su conocimiento, sobre todo a nivel latinoamericano.

Justi, R. (2006), menciona que existen opiniones de que la capacidad de construir modelos es una destreza que debe de ser aprendida y no enseñada, lo cual se podría interpretar que no todos los alumnos tienen esa habilidad. En el *focus group* se evidenció que hay alumnos que tienen mayor facilidad que otros para elaborar hipótesis, por lo que podría plantearse efectuar investigaciones sobre tales aspectos, pero delimitándolos más; por ejemplo planteando implementar solamente la estrategia de construcción de modelos acompañada de instrumentos que detecten quiénes de los alumnos tienen tal capacidad.

Por otra parte, en opinión del autor de esta investigación, el problema presentado es lo suficiente complejo como para que pueda estimular varias inteligencias, según la teoría de las inteligencias múltiples propuesta por Gardner, H. (2002); de modo que los alumnos que tiene más desarrollada la inteligencia cinético-corporal, les gustó la idea de poner en juego sus habilidades corporales en el manejo de instrumentos y herramientas; en cambio en los que tienen más facilidad con la inteligencia lógica – matemática visualizaron las relaciones matemáticas potencialmente involucradas; los que tienen más inclinación por la inteligencia espacial visualizaron en su mente con facilidad el comportamiento del dispositivo, y los que tiene más desarrollada la inteligencia interpersonal, aprendieron con facilidad la explicaciones de sus compañeros. En todo caso, según la teoría de las inteligencias múltiples, el alumno puede lograr el propósito sin importar el camino que inicialmente lo llevó a comprender el fenómeno.

En su conjunto, los diferentes equipos descubrieron que la construcción del modelo físico se relaciona con varias asignaturas que han cursado, además les permite visualizar la utilización de otras herramientas que abordarán más adelante en su carrera o en su vida profesional; por lo que un estudio de la transversalidad en el currículo de las carreras universitarias de ingeniería y de otros niveles resulta importante dilucidar.

Esta investigación inició con una serie de expectativas por parte del autor, que fueron reforzadas por la actitud positiva de los alumnos del grupo experimental al conocer sobre la novedosa tarea que se emprendería; posiblemente los integrantes del grupo experimental se imaginaron un trabajo constructivo fuera del aula en el que involucrarían sus habilidades usando herramientas manuales y máquinas y luego

observar cómo funciona. Sin embargo, al leer la hoja de cotejo de la evaluación (Apéndice S) se dieron cuenta que se necesitaba ejercer una reflexión crítica antes de dar el primer paso, ya que los resultados dependerían de que tan cuidadosos fueran en planificar la construcción física. En opinión del autor de esta investigación, las dificultades de ejercer tal reflexión crítica repercutieron en los tiempos de entrega de los avances programados, lo cual se debe tomar en cuenta en planificaciones futuras.

Es más, uno de los equipos de trabajo se adelantó a decir que pronto tendrían el modelo físico; después de eso se entró en periodo de pocos avances, en los que el profesor tuvo que intervenir para evaluar la situación y desentramar, hasta que tomaba impulso nuevamente el trabajo. Las discusiones entre alumnos y con el profesor no tuvieron los resultados esperados ya que pocos alumnos intervinieron activamente en las argumentaciones.

A nivel centroamericano y posiblemente latinoamericano hay un gran reto en los diferentes niveles educativos de hacer avanzar la enseñanza de las ciencias con una serie de estrategias didácticas que se han desarrollado y cuya efectividad está comprobada. Por medio de esta investigación se aplicaron dos valiosas estrategias didácticas que tienen mucho que ofrecer si se conocen a profundidad y se planifica correctamente su aplicación; por lo que con esta tesis se espera dar a conocer cómo se vivió la experiencia de implementarlas, los problemas que se presentaron y la forma de cómo mejorar su aplicación.

#### **5.4. Cumplimiento de los objetivos específicos.**

Con respecto a la medida en que se cumplieron los tres objetivos específicos planteados, que se refieren a a) la aplicación de estrategias relacionadas con la

construcción de modelos y la investigación dirigida, b) despertar el interés de los alumnos en los conceptos relacionados con las deformaciones relativas y los esfuerzos involucrados en piezas de máquinas, implementando en los proyectos las estrategias didácticas antes mencionadas, y c) auxiliándose de los principios constructivistas, organizar y secuenciar los contenidos para obtener un aprendizaje efectivo de los alumnos, se concluye que: la encuesta de opinión y los instrumentos cualitativos evidencian que se cumplieron; esto pareciera contradecir los datos arrojados por el post-test y el test de desempeño que no muestran que el aprendizaje fue mejoró; pero, a criterio del investigador, estos datos deben manejarse con cuidado debido al escaso tiempo proporcionado para madurar las ideas del grupo experimental; pues para la reflexión, para la elaboración de hipótesis y el trabajo en grupo, se necesita tiempo. Esto refuerza lo mencionado por Astolfi, Verin y otros (Citados por Gil Pérez, 1993), de que «Las nociones y los métodos científicos no se adquieren en una o dos veces mediante algunos ejemplos (demasiado) bien elejidos, sino que se logra apropiarlos lentamente, tras refuerzos y regresiones aparentes.»

## Referencias

- Badillo, R. G., y Beltrán, M. V. U. (2005). Enseñanza de los modelos atómicos en programas de ingeniería. *Educación y educadores*, (8), 67-76.
- Bauer, W., Westfall, G. D., y Díaz, J. Á. (2011). *Física para ingeniería y ciencias*. México. McGraw-Hill/Interamericana.
- Bonat, M., Martínez, O., María, J., Aragón, M. M., y Mateo, J. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(3), 453-470.
- Briones, G. (1996). *Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales*. Bogotá: Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, 219 p. p 59 – 60.
- Carrascosa, J., Pérez, D. G., Vilches, A., y Valdez, P. (2008). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157-181.
- Castro, W. F., y Godino, J. D. (2011). *Métodos mixtos de investigación en las contribuciones a los simposios de la SEIEM (1997-2010)*. En M. Marín, G. Fernández, L. J. Blanco, y M. Palarea (Eds.), *Investigación en educación matemática. XV Simposio de la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática* (pp. 99-116). Ciudad Real, España: Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática, SEIEM (<http://www.seiem.es/>)
- Chamizo Guerrero, J. A., y Márquez, J. R. (2006). Modelación molecular: estrategia didáctica sobre la constitución de los gases, la función de los catalizadores y el lenguaje de la química. *Revista mexicana de investigación educativa*, 11(31), 1241-1257.
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1).
- Coll, C. (1996). Constructivismo y educación escolar: ni hablamos siempre de lo mismo ni lo hacemos siempre desde la misma perspectiva epistemológica. *Anuario de psicología*, (69), 153-178.
- Diario el Mundo (22 de noviembre de 2013), recuperado de:  
<http://elmundo.com.sv/de-20-mil-bachilleres-solo-el-6-aprobo-examen-de-las-ues>
- Gagliardi, M. (2006). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 4(1), 30-35.

- Gaisman, M. T. (2006). Ideas acerca del movimiento del péndulo. *Revista Mexicana de Investigación*, 11(31), 1207-1240.
- Gardner, H. (2005). *Las inteligencias múltiples: la teoría en la práctica*. Barcelona: Paidós.
- Gil Pérez, D (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 1993, 11 (2), 197-212
- Gil Pérez, D., y Valdés Castro, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.
- Gil Pérez, D., Carrascosa Alís, J., Dumas-Carré, A., Furió Mas, C., Gallego, R., Duch, A. G, y Valdés, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*. 17(3), 503-512.
- Greca, I. M., y Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno catarinense de ensino de física. Florianópolis. Vol. 15, no. 2 (ago. 1998), p. 107-120.*
- Halliday, D., Resnick, R., y Walker, J. D. (2001). *Fundamentos de física*. México. Compañía Editorial Continental.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Editorial Mc Graw Hill.
- Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de materiales*. México. Pearson Educación.
- Islas, S. M., y Pesa, M. A. (2004). Estudio comparativo sobre concepciones de modelo científico detectadas en Física. *Ciencia, Docencia y tecnología*, 15 (29), 117-144.
- Johnston, E. R., y Beer, F. P. (2012). *Mecánica de materiales*. México. McGraw-Hill.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Krause, M. (1995). La investigación cualitativa: Un campo de posibilidades y desafíos. *Revista Temas de Educación*, 7, 19-40.
- Liguori, L., y Noste, M. I. (2007). *Didáctica de las ciencias naturales: enseñar ciencias naturales*. Rosario (Argentina): Homo Sapiens.

- Lopes, B. y Costa, N. (1996). Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas: Fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Enseñanza de las ciencias* 14, pp. 45-61.
- Madruga, G. A. R. C. I. A. (1990). Aprendizaje por descubrimiento frente a aprendizaje por recepción: la teoría del aprendizaje verbal significativo. *Coll, C. Desarrollo psicológico y educación II. Psicología de la educación*.
- Martínez, J. M., y Pérez, B. A. (1997). Estudio de propuestas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 287-300.
- Martínez Ortega, G.J., Arévalo Medina, R.A., y Grajeda Blandón, L.A., (2014) *Simulación de deformaciones relativas en SolidWork [Video]*. Disponible en: <http://ge.tt/1FbVqrg1/v/0>
- Ministerio de Educación, República de El Salvador (2013). *Estadísticas*. Recuperado de <http://www.mined.gob.sv/index.php/component/k2/item/6131-acceso-al-sistema-educativo.html>.
- Ministerio de Educación de la República de El Salvador (2013), noticias/noticias ciudadano, recuperado de: <http://www.mined.gob.sv/index.php/component/k2/item/6674-promedio-paes-2013-asciende-a-53.html>.
- Moreira, M. A., y Greca, I. M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 16(2), 289.
- Moya, A., y Campanario, J. M. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 179-192.
- Pérez, D. G. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 11(2), 197-212.
- Ramírez, M.S (2011). *Modelos y Estrategias de Enseñanza para Ambientes Innovadores* (presenciales y a distancia) (eBook). México: ITESM.
- Requena, S. R. H. (2008). El modelo constructivista con las nuevas tecnologías, aplicado en el proceso de aprendizaje. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento, RUSC*, 5(2), 6.
- Sears, F. W. (2004). *Física universitaria* (Vol. 1). México: Pearson educación.

- Serway, R. A., y Jewett, J. W. (2005). *Física para ciencias e ingeniería*, Vol. 1. México: Thomson,
- Teddlie, C., y Yu, F. (2007). Mixed methods sampling a typology with examples. *Journal of mixed methods research*, 1(1), 77-100.
- Universidad Don Bosco (2013), *Institucional*. Recuperado de <http://www.udb.edu.sv/udb/index.php/pagina/ver/institucional>
- Vable, M., González, E. C. M., y del Castillo, D. D. (2006). *Mecánica de materiales*. México: Oxford University Press.
- Valenzuela González J. R: y Flores Fahara M. (2011) *Fundamentos de Investigación Educativa*, Volumen I (ebook), México: ITESM.
- Valenzuela González J. R: y Flores Fahara M. (2012) *Fundamentos de Investigación Educativa*, Volumen II (ebook), México: ITESM.
- Zamorano, R., Gibbs, H., y Viau, J. (2003). Descubriendo los modelos conceptuales de los alumnos: un ejemplo de electrostática. *Visiones Científicas*, 5(2), 11-22.

# Apéndices

## Apéndice A: Plan de estudio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la UDB

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA (PLAN 2009)									
CICLO I	CICLO II	CICLO III	CICLO IV	CICLO V	CICLO VI	CICLO VII	CICLO VIII	CICLO IX	CICLO X
1 3 UV Humanística I Bachillerato	6 3 UV Humanística II 1	11 3 UV Humanística III 6	16 4 UV Dinámica 13	21 3 UV Desarrollo Sostenible 11	26 4 UV Termodinámica I 19, 20	31 4 UV Diseño de Elementos de Máquinas II 28	36 3 UV Diseño de Elementos de Máquinas III 31	41 3 UV Análisis de Máquinas Hidráulicas 29	45 4 UV Formulación y Gestión de Proyectos 140 UV
2 3 UV Expresión Oral y Escrita Bachillerato	7 3 UV Dibujó de Ingeniería Bachillerato	12 4 UV Estadística I 9	17 4 UV Sistemas Eléctricos Lineales I 14, 15	22 4 UV Sistemas Eléctricos Lineales II 17	27 4 UV Sistemas de Control Automático 22	32 3 UV Transferencia de Calor 24, 26	37 3 UV Control Industrial 33	42 3 UV Sistemas de Control Hidráulico y Neumático 37, 29	46 3 UV Gestión de Mantenimiento Industrial 42
3 3 UV Álgebra Lineal Bachillerato	8 4 UV Programación I 3	13 4 UV Estática 9, 10	18 4 UV Matemática Avanzada 14	23 3 UV Resistencia de Materiales 13	28 3 UV Diseño de Elementos de Máquinas I 16, 23	33 4 UV Conversión de Energía Electromecánica I 18, 22	38 3 UV Aplicaciones Térmicas 32	43 3 UV Diseño, Tecnología e Innovación 21, 34	47 4 UV Electiva Técnica II Según Área Esp.
4 4 UV Matemática I Bachillerato	9 4 UV Matemática II 4	14 4 UV Matemática III 3, 9	19 4 UV Matemática IV 14	24 4 UV Métodos Numéricos 8, 19	29 4 UV Mecánica de Fluidos 19, 20	34 3 UV Ingeniería Económica 12	39 3 UV Vibraciones 28	44 4 UV Electiva Técnica I Según Área Esp.	48 3 UV Electiva Técnica III Según Área Esp.
5 4 UV Química General Bachillerato	10 4 UV Física I 4	15 4 UV Electrostática y Magnetismo 5, 9, 10	20 4 UV Física II 9, 10	25 4 UV Física Moderna 15, 18, 19	30 4 UV Ciencia de los Materiales 25	35 3 UV Procesos de Fabricación I 7	40 3 UV Procesos de Fabricación II 35		
17 UV	18 UV	19 UV	20 UV	18 UV	19 UV	17 UV	15 UV	13 UV	14 UV
17 UV	35 UV	54 UV	74 UV	92 UV	111 UV	128 UV	143 UV	156 UV	170 UV

CURSOS ELECTIVOS					
ÁREA DE CONVERSIÓN TÉRMICA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			ÁREA DE PRODUCTIVIDAD INDUSTRIAL		
Electiva I	Electiva II	Electiva III	Electiva I	Electiva II	Electiva III
44 a 4 UV Motores de Combustión Interna 38	47 a 4 UV Fuentes Alternas de Energía 21, 37	48 a 3 UV Análisis de Sistemas y Equipos Electromecánicos 33, 38	44 b 4 UV Manufactura Integrada por Computadora 31, 40	47 b 4 UV Sistemas CAD/CAM/CAE 31	48 b 3 UV Soldaduras Especiales 31, 40

Simbología	
A	B
C	
D	
A: Número correlativo B: Créditos Convencionales Salvadoreños C: Nombre del curso D: Pre-requisitos	
Formación Básica = 1000 Horas Formación Social y Humanística = 300 Horas Formación Ciencias de la Ingeniería = 1000 Horas Formación Profesional Orientada = 1060 Horas Total = 3400 Horas	

PROCESO DE GRADUACIÓN

# Apéndice B: Planificación de la asignatura Resistencia de los materiales de la UDB

PLANIFICACIÓN DOCENTE / UNIVERSIDAD DON BOSCO							
FORMATO CLASE TEÓRICO/PRÁCTICO							
FACULTAD: Ingeniería				GRUPO: 01			
ESCUELA: Ingeniería Mecánica				CICLO/AÑO: 01/2013			
ASIGNATURA: Resistencia de los Materiales		Modelo: Presencial		HORARIO DE CLASES: Teórico: Viernes de 7:00 a.m. a 8:40 a.m. y Sábado de 7:00 a.m. a 8:40 a.m., Laboratorios: martes de 3:50 p.m. a 5:30 p.m. (G02), miércoles de 7:00 a.m. a 8:40 a.m. (G03), sábado de 10:20 a.m. a 12:00 m. (G04).			
PROFESOR: Saturnino Gámez, Ing. Mecánico		CONTACTO CON EL DOCENTE: Tel: 7827-0819, e-mail: saturnino.gomez@udb.edu.sv, saturnino_gomez@yahoo.com.mx					
DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA: Esta asignatura establece la relación entre esfuerzos aplicados, deformaciones resultantes y fallas de los materiales, con el propósito de suministrar a los estudiantes como parte esencial de su formación ingenieril, los conocimientos básicos para analizar y diseñar máquinas y estructuras que soportan cargas.							
Objetivo: Desarrollar actividades analíticas para resolver problemas básicos de sistemas mecánicos y estructurales. Incentivar el trabajo en equipo, desarrollar un pensamiento táctico y estratégico.							
UNIDAD: 1- INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE MATERIALES.				De: 25/1/2013 - 8/II/2013			
FECHA	H/C	OBJETIVOS POR UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	ASIGNACIONES	FUENTES DE CONSULTA	
25-ene	2	Que el alumno planifique sus actividades con base al programa académico y conozca la importancia de la asignatura en el desarrollo de su formación ingenieril.	Planificación de la asignatura, importancia de cada tema en su carrera, fuentes de consulta, asignaciones, tipos de evaluación y ponderaciones. Temas de trabajos ex aula	Bienvenida, presentación de la planificación de la asignatura, discusión de evaluaciones y ponderaciones, explicación de las asignaciones.	Presentación de los temas de trabajo ex aula (investigación, tareas) y del portafolio.	Planificación de la asignatura, proporcionada por el profesor. Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
26-ene	2	Que el alumno enuncie los conceptos básicos de la mecánica de materiales.	1.0 Esfuerzos normales y cortantes. Esfuerzos de aplastamientos en conexiones.	Clase expositiva y resolución de problemas.	Problemas propuestos	James M. Gere, Mecánica de Materiales, 5a. Edición, Editorial Thomson, México, 1998	
01-feb	2	Que el alumno aplique los conceptos básicos de resistencia de materiales a situaciones que se le presenten	1.1 Análisis de estructuras simples. Componentes del esfuerzo, Esfuerzos en planos oblicuos con carga axial.	Clase expositiva y resolución de problemas.	Problemas propuestos y asignación de temas de Trabajo de Investigación. (20 %)	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
28/01/2013 al 2/02/2013	2	Que el estudiante describa cómo se efectúa un ensayo de tracción bajo norma	Laboratorio 1. Ensayo de tracción	Laboratorio # 1	Informe de laboratorio (35 % de 70 %)	Guía de laboratorio # 1	
4 al 9/02/2013	2	Discusión de problemas	Unidad 1: Explicación de la dinámica, resolución de problemas sobre los contenidos 1.0 y 1.1	resolución de problemas	Problemas sobre contenidos 1.2	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
08-feb	2	Que el estudiante establezca las consideraciones básicas del diseño.	1.2 Componentes de esfuerzos en condición general de carga, esfuerzo último, factor de seguridad.	Clase expositiva y resolución de problemas.	Problemas propuestos	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	

UNIDAD: 2-Esfuerzos y deformaciones con carga axial.							
De: 9/02 al 2/03/2013							
FECHA	H/C	OBJETIVOS POR UNIDAD	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	ASIGNACIONES	FUENTES DE CONSULTA	
09-feb	2	Que el alumno describa los parámetros que afectan la deformación axial y la vida del elemento	2.0 Deformación normal bajo carga axial, Ley de Hooke. Módulo de elasticidad, fatiga.	Clase expositiva y resolución de problemas.	Problemas propuestos Entrega informe de laboratorio 1	Madhujar Vable. Mecánica de materiales, primera edición, Oxford university press, México 2002	
11/02-16/02/2013	2	Discusión de problemas	Unidad 1: Explicación de la dinámica, resolución de problemas sobre los contenidos 1.2 y 2.0	resolución de problemas	Problemas sobre contenidos 1.2	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
15-feb	2	Que el alumno exprese la relación entre cambios de temperatura, deformaciones térmicas y esfuerzos térmicos	2.1 Estructuras estáticamente indeterminadas. Estructuras sometidas a cambios de temperatura.	Clase expositiva y resolución de problemas.	Problemas propuestos Entrega primer avance trabajo Investigación (20 %)	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
11/02-16/02/2013	2	Ejecutar una prueba de tensión	L2. Análisis de un diagrama esfuerzo - deformación.	Laboratorio # 2	Informe de laboratorio (35 % de 70 %)	Guía de laboratorio # 1	
18-23/02/2013	2	Discusión de problemas	Unidad 2: resolución de problemas sobre los contenidos 2.1	resolución de problemas	Problemas sobre contenidos 1.2	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
22-feb	2	Que el alumno analice la respuesta de los materiales ante los esfuerzos normales.	2.2 Relación de Poisson, ley de Hooke generalizada, Deformación unitaria cortante	Clase, resolución de problemas. Recepción de las asignaciones del periodo.	Problemas propuestos Entrega portafolio primer periodo (10 %)	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
23-feb	2	<b>PRIMER EXAMEN PARCIAL: SÁBADO 23 DE FEBRERO DE 2013.</b>					
25/02/2013-2/03/2013	2	Discusión de problemas	Unidad 2: resolución de problemas sobre los contenidos 2.2	resolución de problemas	Problemas sobre contenidos 1.2	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
01-mar	2	Que el alumno indique las diferencias entre deformaciones normales y cortantes	2.3 Distribución de esfuerzos y deformaciones, principio de saint Venant, concentración de esfuerzos	Clase, resolución de problemas. Devolución de exámenes e informes calificados (primer Periodo)	Problemas propuestos.	Ferdinand P.Beer y otros, Mecánica de Materiales, 5a. Ed. McGraw - Hill, México, 2010	
25/02/2013-2/03/2013	2	Determinar las circunstancias en que se dan los esfuerzos de apoyo, cálculo de	L3: Esfuerzos de compresión y aplastamiento	Laboratorio 3:	Informe de laboratorio (35 % de 70 %)	Guía de laboratorio # 3	

## **Apéndice C: Guía de asignaciones: desarrollo del proyecto de cátedra tradicional.**

Información sobre Tareas:

Los temas de la tarea ex aula se elegirán de modo que cumpla con los requerimientos planteados, no se podrán repetir temas; si el alumno tiene propuestas de interés, discutir su factibilidad con el profesor. La evaluación será individual.

1.- Selección de un elemento de máquina o de un dispositivo que tenga a su disposición, (ejemplos: Bisagra de puerta, aspas de licuadora, rueda Catarina de una bicicleta, chapa de puerta, aspas de ventilador, etc.). Se priorizarán los temas relacionados con el análisis y mejoramiento de un dispositivo que se fabrique artesanalmente en nuestro país, o que tenga posibilidad de fabricarse localmente.

2.- Descripción del dispositivo (esquemas con dimensiones), funcionamiento, indicando lugares de utilización, composición química del material utilizado y propiedades del mismo. Se deberán adjuntar al menos dos patentes de dispositivos similares, las cuales las utilizarán para describir de mejor manera el dispositivo elegido.

3.- Cálculo de cargas, si son constantes o variables, valores máximos y mínimos.

4.- Cálculo de esfuerzos

5.- Cálculo de deformaciones

6.- Cálculo de factor de seguridad

7.- Ensayos recomendados para verificar si soportará las condiciones a que se somete cada pieza

8.- Conclusiones y recomendaciones

Los avances de las tareas deberán de ser entregados una semana antes de los exámenes escritos de los periodos I y II, el tercer avance se deberá entregar 2 semanas antes del examen escrito, sus contenidos serán: primer avance: temas 1,2 y 3; segundo avance: temas 4 y 5, Tercer avance temas del 2 al 8 incorporando cualquier corrección hecha por el profesor. Pueden ser entregadas en formato impreso o en formato digital vía email.

El número máximo de alumnos para desarrollar la tarea será limitado por el número de piezas objeto de análisis del dispositivo o máquina seleccionada. El mínimo es una pieza por alumno.

La tarea se calificará con base a la rúbrica de la misma, la última columna de la rúbrica tiene el propósito de que el grupo se evalúe antes de entregarlo, la evaluación deberá ser en grupo, esta parte no será calificada.



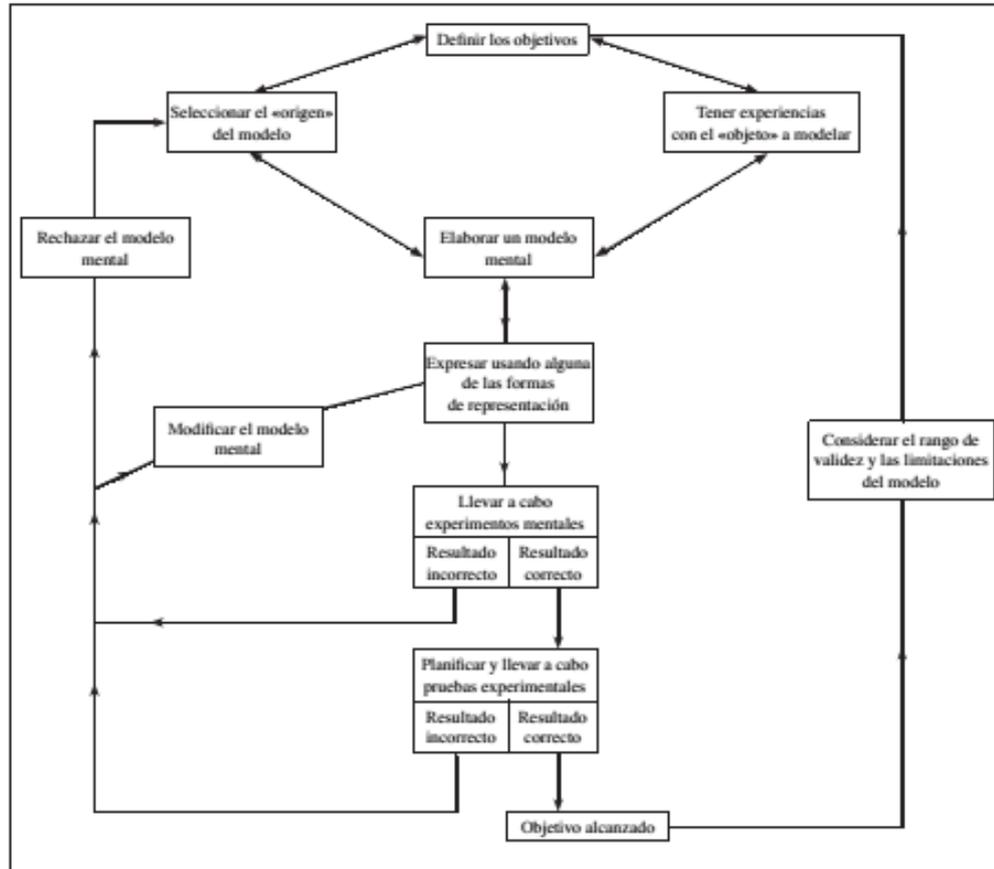
## Apéndice E: Lista de cotejo para calificar el proyecto de cátedra tradicional

Aspecto a evaluar en el primer avance:	Puntaje máximo	Autoevaluación % de cumplimiento
Portada, en Times New Roman 12. Contiene Logotipo de la institución, Nombre del tema, Nombres de los autores, fecha de entrega. Todas las partes deberán ser legibles, incluyendo figuras, esquemas, fotos, videos.	Requisito	
Entrega del tema y del nombre de los alumnos del grupo en la segunda semana del ciclo, anexar fotografía del grupo acompañados del dispositivo a analizar. Indicar claramente la pieza que analizará cada quien	Requisito	
Se fabrica artesanalmente (especificar empresa o persona y el proceso) (extra)	10	
Descripción detallada a) Esquemas y dimensiones del dispositivo y de las piezas seleccionadas b) Función y funcionamiento del dispositivo y de las piezas seleccionadas, en forma general e individual.	30	
Condiciones de funcionamiento (fuerzas, temperatura, desgaste, etc.) a que está sometida cada pieza seleccionada, en forma general e individual.	30	
Referencias consultadas: Investigación efectuada en libros, revistas, sitios web y otros (al menos en 3 sitios confiables)	10	
Patentes (al menos 2) describiendo el dispositivo	10	
Identificación de los materiales de las piezas seleccionadas con base a las patentes o a fuentes confiables, individual.	15	
La ortografía debe ser impecable. La redacción debe ser clara y concisa.	5	
Forma de entrega: Por correo electrónico, identificado como Avanc1-(nombre del grupo), tipo de archivo: .doc o .docx, solo si es muy extenso podrá enviarse en PDF, el envío será al correo electrónico del docente, quien deberá responder de recibido. Si la entrega es impreso, se le dará personalmente al docente; los estudiantes podrán llevar una hoja para que las firme el docente, haciendo constar de que fue recibido.	- 10 % por cada día de retraso.	
<b>TOTAL</b>	<b>100 + 10 % extra</b>	

Nota: Fuentes confiables: Libros y revistas especializados, patentes, profesionales o técnicos expertos en el tema, en estos últimos casos, citar nombres y empresas donde laboran.

## Apéndice F: Un modelo para el proceso de construcción de modelos

Figura 1  
Un modelo para el proceso de construcción de modelos (Justi y Gilbert, 2002a).



**Apéndice G: Examen exploratorio (pretest y postest).**

UNIVERSIDAD DEL ORIENTE DE SAN SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
RESISTENCIA DE LOS MATERIALES  
Examen exploratorio, 20 de enero de 2013

Indicaciones: *Este es un examen exploratorio anónimo y no tiene ponderación, su propósito es únicamente conocer el dominio de conceptos y símbolos, a fin de planificar de mejor forma el desarrollo del programa. No son necesarios libros ni apuntes. Duración: 30 minutos.*

*I: Opción múltiple. Señale para cada término el literal que mejor lo representa*

*1.- Carga:*

- a) Es el peso que soporta el elemento.
- b) Es una fuerza aplicada que tiende a estirar el elemento.
- c) Es una fuerza aplicada que tiende a comprimir al elemento.
- d) No se

*2. Carga de fluencia:*

- a) Peso que deforma de algún modo al elemento.
- b) Fuerza que inicia la deformación elástica longitudinalmente del elemento.
- c) Fuerza que inicia la deformación permanente del elemento.
- d) No se

*3.- Rango plástico de un material:*

- a) Zona donde las deformaciones de un material son exclusivamente permanentes
- b) Zona donde las deformaciones de un material son totalmente recuperables o reversibles
- c) Zona donde se combinan deformaciones permanentes y recuperables
- d) Los metales no tienen rango plástico.
- e) No se

*4.- Rango elástico*

- a) Zona donde las deformaciones de un material son exclusivamente permanentes
- b) Zona donde las deformaciones de un material son totalmente recuperables o reversibles
- c) Zona donde se combinan deformaciones permanentes y recuperables
- d) Los metales no tienen rango elástico.
- e) No se

5.- *Módulo de elasticidad:*

- a) Propiedad de un material que indica que tan rígido es
- b) Propiedad de un material que indica que tan flexible es
- c) Propiedad de un material que indica la cantidad máxima capaz de deformarse
- d) Propiedad de un material que indica la cantidad mínima que se deforma
- e) No se

6.- *Uno de los pasos importantes al analizar un elemento de un dispositivo mecánico es:*

- a) elaborar un diagrama de cuerpo libre del elemento;
- b) Despreciar el peso del mismo elemento;
- c) cuantificar la fuerza que éste hace sobre otros elementos;
- d) asumir que no tiene defectos;
- e) Conocer el costo del mismo.
- f) No se

7.- *La ley de Hooke generalizada dice que:*

- a) una fuerza produce una deformación;
- b) al aplicar un esfuerzo normal este produce una deformación unitaria;
- c) un esfuerzo normal produce una deformación por cortante;
- d) un esfuerzo normal en una dirección produce deformaciones en todas las direcciones; e) que toda pieza está sujeta a esfuerzos tridimensionales

8.- *Las hipótesis (restricciones) para aplicar la ley de Hooke generalizada son:*

- a) deformaciones relacionadas linealmente con los esfuerzos y deformaciones pequeñas;
- b) trabajar en el rango plástico;
- c) no sobrepasar la resistencia última a la tensión;
- d) que el factor de seguridad es grande;
- e) no tiene restricciones

9.- *Objetivos fundamentales de esta asignatura:*

- a) Determinar las fuerzas que actúan sobre cada elemento de un dispositivo
- b) Determinar la forma final de cada elemento de un dispositivo
- c) Calcular el factor de seguridad de cada elemento de un dispositivo
- d) Calcular los esfuerzos y las deformaciones de cada elemento de un dispositivo.

10.- *En una barra que soporta una carga, el esfuerzo será uniforme si:*

- a) La carga se aplica en el centroide de la sección transversal de la barra
- b) La carga se aplica de forma transversal a la barra
- c) El punto de análisis está suficientemente alejado de los puntos de aplicación de la carga
- d) Las deformaciones son pequeñas
- e) La carga es pequeña

11.- *La ley de Hooke indica que:*

- a) La deformación aumenta con el cuadrado del esfuerzo
- b) La deformación aumenta con la raíz cuadrada del esfuerzo
- c) La deformación aumenta en proporción directa al esfuerzo
- d) La deformación aumenta en proporción inversa al esfuerzo
- e) La deformación longitudinal se relaciona con la deformación transversal.

12.- Además de los conceptos de la estática, para nuestros análisis utilizaremos:

- g) la ley de Hooke,
- b) la ductilidad del material,
- c) la resistencia de fluencia del material,
- d) la máquina de tracción,
- e) la resistencia última del material

13.- La ley de Hooke indica que:

- g) la deformación de un material dúctil es mayor que la de un material frágil,
- b) la deformación unitaria aumenta con la raíz cuadrada del esfuerzo,
- c) la deformación unitaria es directamente proporcional al esfuerzo,
- d) la deformación unitaria aumenta en proporción inversa al esfuerzo,
- e) la deformación longitudinal de un elemento se relaciona con la deformación transversal.

## II. Símbolos

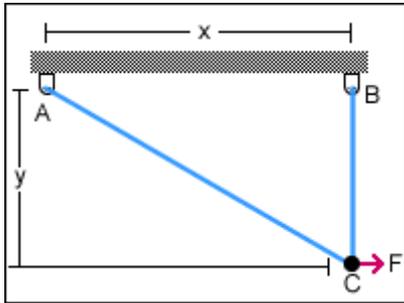
Indique en la siguiente tabla, a la par de cada símbolo su significado, aplicados al estudio de los elementos de máquinas

<b>P</b>	L
<b>T</b>	Hz
<b>F</b>	V
<b>M</b>	K
<b>J</b>	E
<b>I</b>	f
<b>A</b>	$\epsilon_T$
<b>S</b>	$\epsilon$
<b>P<sub>u</sub></b>	$\gamma$
<b>F.S.</b>	kip
$\theta$	$\omega$
$\phi$	$\sigma$
<b>v</b>	$\sigma_u$
$\delta$	$\alpha$
$\tau$	ksi

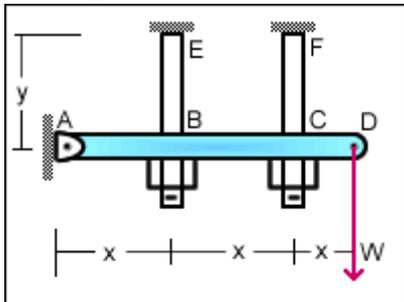
### III. Figuras y esquemas

Opción múltiple. Subraye la respuesta correcta

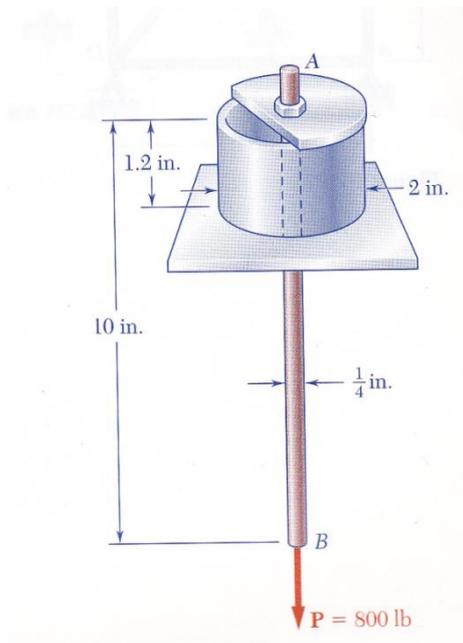
1. La figura muestra dos barras, la AC y la BC sujetas a los elementos rígidos X, A y B, a las barras se les aplica la fuerza F. ¿Cómo se deformarán las barras?



- a) La AC se estira y la BC se encoge
  - b) Ambas se estiran
  - c) La BC se estira y la AC se encoge
  - d) Ambas se encogen
  - e) No cambian sus dimensiones
  - f) No se
2. La figura muestra dos pernos, el EB y el FC sujetos por medio de tuercas indeformables al elemento rígido AD, al elemento rígido AD se le aplica la fuerza W. ¿Cómo se deformarán los pernos?



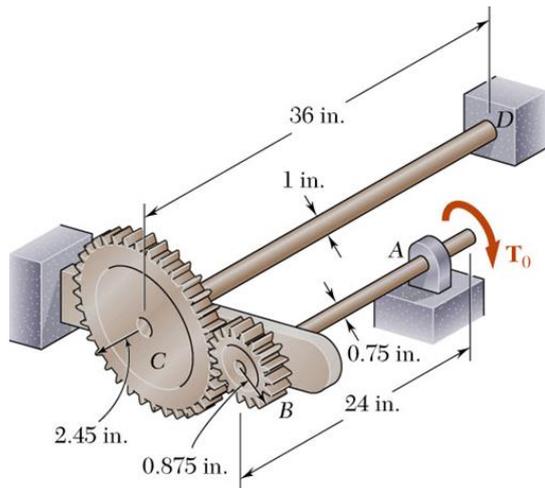
- a) El EB se estira y el FC se encoge
  - b) Ambos se estiran
  - c) El EB se estira y el FC se encoge
  - d) Ambos se encogen
  - e) No cambian sus dimensiones
  - f) No se
3. La figura muestra un cilindro hueco de un polímero (caucho) y en su parte superior una placa circular rígida (de la cual se muestra solo una parte) que se usa para soportar una varilla AB de acero. El cilindro descansa sobre una base rígida que tiene un hueco en el centro. Si se aplica una carga P en el extremo B de la varilla.



- a) El cilindro se estira y la varilla se encoge
- b) Ambos se estiran
- c) El cilindro se encoge y la varilla se estira
- d) Ambos se encogen
- e) No cambian sus dimensiones
- f) No se

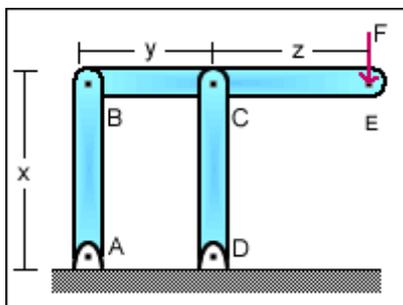
4.- Dos ejes sólidos y elásticos AB y CD del mismo material (ver figura siguiente) están montados en B y C sobre cojinetes de modo que pueden girar libremente y conectados por engranes rígidos fijos a los ejes. En D el eje está fijo, es decir no puede girar. Se le aplica un par de torsión  $T_0$  al extremo A del eje AB, la rotación de los extremos de los ejes vistos de frente será:

- a) El AB en sentido horario y el CD en sentido antihorario
- b) Ambos en sentido horario
- c) El AB en sentido antihorario y el CD en sentido horario
- d) Ambos en sentido antihorario
- e) ninguno gira
- f) no se



5.- Las barras AB y CD sostiene al elemento rígido BCE por medio de los pasadores mostrados, con respecto a las deformaciones de estos elementos, se puede asegurar que:

- a) La barra AB se estira y la CD se encoge
- b) Ambas se estiran
- c) La barra AB se encoge y la CD se estira
- d) Ambas se encogen
- e) No cambian sus dimensiones
- f) No se



## Apéndice H: Cuestionario de opinión en escala Likert

UNIVERSIDAD DEL ORIENTE DE SAN SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
RESISTENCIA DE LOS MATERIALES  
ENCUESTA DE OPINIÓN

Indicaciones: *Este es un cuestionario exploratorio anónimo y no tiene ponderación, su propósito es únicamente conocerla percepción de los participantes en las actividades desarrolladas, a fin de planificar de mejor forma el desarrollo del programa. No son necesarios libros ni apuntes. Duración: 5 minutos.*

Cuestionario, marque la opción que representa mejor su opinión

1.- ¿Le ayudaron los modelos a comprender las deformaciones relativas?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

2.- ¿Es ventajoso aprender las deformaciones relativas por medio de modelos como los presentados, comparado con la enseñanza tradicional?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

3.- ¿Se construyeron los modelos después de un amplio consenso de que se diseñaron conforme a las mejores hipótesis e ideas?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

4.- ¿Se discutieron las simplificaciones y aproximaciones aplicadas al modelo adoptado?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

5.- El aprendizaje sobre las deformaciones ¿es más interesante por medio de la construcción de modelos?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

6.- ¿Coincidieron los datos experimentales obtenidos con el modelo con las soluciones de los procedimientos teóricos desarrollados en los libros?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

7.- ¿Es efectivo el aprendizaje por medio de modelos?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

8.- ¿Se involucraron plenamente todos los miembros del grupo en las diferentes etapas del proyecto?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

9.- Los modelos construidos ¿lo han hecho reflexionar sobre las implicaciones científicas, tecnológicas y sociales que puede provocar?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

10.- ¿Le será útil esta experiencia para aplicarla a situaciones nuevas?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
-----------------------	------------	---------	---------------	--------------------------

Gracias por su colaboración

## Apéndice I: Cronograma de actividades

Nombre del alumno@:		Saturnino Gámez Guadrón																																	
Nombre de sus asesor(a) tutor:		Mtra. Ana Eduwiges Orozco Aguayo																																	
<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b>																																			
	<b>MES</b>	<b>ene-14</b>																																	
	<b>DÍA</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>				
					<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>								
	Actividades																																		
1	Programar, organizar y secuenciar los contenidos del proyecto de cátedra.				x	x	x	x	x	x	x	x																							
2	Identificar los conceptos previos relacionados con las deformaciones absolutas y relativas de elementos de máquinas y estructuras.																																		
3	Elaborar pre-test.														x	x																			
4	Administración del pre-test (primer día de clases)																					x													
5	Charla al grupo experimental sobre la investigación dirigida a la construcción de modelos.																					x													
6	Charla al grupo de control sobre los proyectos de cátedra.																					x													
7	Procesamiento del pre-test.																																		
8	Clases para ambos grupos.																																		
8.1	Revisión conceptos de estática. Análisis de estructuras simples.																																		
8.2	Esfuerzos normales y cortantes.																																		
8.3	Esfuerzos de aplastamientos en conexiones.																																		

	<b>MES</b>	<b>##</b>	<b>feb-14</b>																																	
	<b>DÍA</b>	<b>L</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>				
			<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>														
8.4	Componentes del esfuerzo: Esfuerzos en planos oblicuos con carga axial.					x																														
8.5	Componentes de esfuerzos en condición general de carga.					x																														
8.6	esfuerzo último, factor de seguridad.					x																														
8.7	Deformación normal bajo carga axial, Ley de Hooke. Módulo de elasticidad.					x																														
8.8	Estructuras estáticamente indeterminadas.												x																							
8.9	Test de desempeño (Examen de periodo)																																			
9	Administración del post-test																																			
10	Reuniones de seguimiento grupo experimental					x																														
11	Evaluar los resultados obtenidos de implementar las estrategias antes mencionadas en un grupo de alumnos, y compararlos con otro grupo de alumnos en los que no se implementaron tales estrategias.																																			

## Apéndice J: sesiones planificadas para la intervención

Institución: Universidad del Oriente de San Salvador

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica

Lugar: Zona Oriente

Asignatura: Resistencia de los Materiales

Horario: lunes de 7:00 a.m. a 9:00 a.m., y sábado de 9:00 a.m. a 10:45 a.m.

Instructor: Saturnino Gámez Guadrón

Periodo: Ciclo I/2014

Duración: 16 semanas

Población inicial: 38 Alumnos de las carreras de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica.

Prerrequisitos: Mecánica Vectorial para Ingenieros: Estática

Contenido del curso:

- I. Introducción
- II. Esfuerzos y factor de seguridad
- III. Relaciones esfuerzo- deformaciones
- IV. Elementos sujetos a torsión
- V. Elementos sujetos a flexión pura
- VI. Análisis y diseño de vigas para flexión
- VII. Transformaciones de esfuerzos y deformaciones.

Tabla 1: Sesiones planificadas para la intervención en el grupo experimental

Nº sesión	Objetivo	Actividades	Tiempo	técnicas	Recursos didácticos
1	Medir las condiciones iniciales	Pre-test individual	20 min	Examen exploratorio	Material impreso
2	Interesar a los alumnos	Presentación de los proyectos	30 min	Exposición e intercambio de ideas	Presentación PPT, guía de asignaciones
3	Formar grupos de	Inscripción en	1	Por afinidad	Escrito

	trabajo	temas	semana		
4	Elaborar modelos mentales	Exponer los modelos mentales	1 semana	individual	hablado o por escrito
5	Identificar el mejor modelo mental	Revisar hipótesis de cada modelo	1 semana	Discusión grupal	Papel o presentación PPT
6	Construir los modelos	Construcción de modelos	1 semana	Discusión grupal	Materiales y procesos, según el modelo
7	Recopilar datos	Probar los modelos, mediciones	1 semana	Discusión grupal	Modelos construidos
8	Analizar datos	Ordenar datos	1 semana	Discusión grupal	Computadora, papel (graficas, tablas)
9	Comparar resultados	Comparar con libros y los otros modelos	1 semana	Discusión entre grupos	Computadora, papel
10	Conclusiones	Discutir y concluir	1 semana	Discusión entre grupos	Computadora, papel
11	Medir las condiciones después de la intervención	Examen individual Post-test	20 min	Individual	Examen impreso
12	Aplicación a situaciones nuevas	Resolver nuevos problemas	2 horas	individual	Problemas asignados
13	Evaluar cambios producidos	Calificar exámenes	2 horas	individual	Litado de alumnos
14	Comparar diferencias con el equipo de control	Análisis de resultados	6 horas	Análisis de datos	Computadora programa excel
15	Divulgar resultados	Elaboración de informe	10 horas	individual	Informe escrito y digital

Tabla 2: Sesiones planificadas para el grupo de control

Nº sesión	Objetivo	Actividades	Tiempo	técnicas	Recursos didácticos
1	Medir las condiciones iniciales	Pre-test individual	20 min	Examen exploratorio	Material impreso
2	Interesar a los alumnos	Presentación de los proyectos	30 min	Exposición e intercambio de ideas	Presentación PPT, guía de asignaciones
3	Formar grupos de trabajo	Inscripción en temas	1 semana	Por afinidad	Escrito
4	Elección del tema	Seleccionar uno de los temas propuestos	1 semana	individual	hablado o por escrito
5	Descripción del dispositivo 1	Describir el funcionamiento general del dispositivo	1 semana	Discusión grupal	Papel o presentación PPT
6	Descripción del dispositivo 2	Describir el funcionamiento de cada	1 semana	Discusión grupal	Papel o presentación PPT

		parte del dispositivo			
7	Descripción del dispositivo 3	Hacer esquemas con las medidas generales y de cada parte	1 semana	Discusión grupal	Papel o presentación PPT
8	Identificar las propiedades relevantes de cada pieza	Con base al funcionamiento o identificar propiedades importantes	1 semana	Discusión grupal	Papel o presentación PPT
9	Identificar deformaciones relativas	Comparar con solución de libros	1 semana	Discusión entre grupos	Computadora, papel
10	Conclusiones	Discutir y concluir	1 semana	Discusión entre grupos	Computadora, papel
11	Administrar Pos-test	Examen individual	20 min	Individual	Examen impreso
12	Aplicación a situaciones nuevas	Resolver nuevos problemas	2 horas	individual	Problemas asignados
13	Evaluar cambios producidos	Calificar exámenes	2 horas	individual	Litado de alumnos
14	Comparar diferencias con el equipo de control	Análisis de resultados	6 horas	Análisis de datos	Computadora programa excel
15	Divulgar resultados	Elaboración de informe	10 horas	individual	Informe escrito y digital

## Apéndice K: Cartas de consentimiento



Soyapango, El Salvador a 27 de enero de 2014. Ciudadela Don Bosco

A Quien Intere.  
Presente.-

Me permito expresar mi autorización para que Saturnino Gámez Guadrón, realice en la cátedra de Resistencia de los Materiales de la Universidad Don Bosco, institución para la cual labora desde hace catorce años, una investigación sobre las estrategias didácticas de construcción de modelos y la investigación dirigida, en alumnos de quinto ciclo de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, como parte de su proyecto de tesis para obtener el grado de Maestro en Educación.

Sin más por el momento quedo de ustedes,

Atentamente,



  
Ing. Carlos Azucena  
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica  
Universidad Don Bosco

---

Calle a Plan del Pino Km. 1 1/2, Cantón Venecia, Soyapango, El Salvador, C.A. Apartado Postal 1874  
Fax: (503) 2251-5056, PBX: (503) 2251-8200  
www.udb.edu.sv



### Forma de Consentimiento para Alumnos

Muy estimado alumno:

Por este medio me permito extender una cordial invitación para que participes en un estudio sobre las estrategias didácticas de construcción de modelos y la investigación dirigida. Este proyecto de investigación me posibilitará obtener el grado de Maestro en Educación con Acentuación en la Enseñanza de las Ciencias brindado por la Universidad Virtual del Instituto Tecnológico de Monterrey.

Es importante mencionar que este proyecto de investigación cuenta con el visto bueno de las autoridades de la Escuela de Ingeniería Mecánica. La participación en esta experiencia es voluntaria, los resultados individuales serán confidenciales y se espera que les facilite a los participantes el dominio de un tema específico de Resistencia de los Materiales. Este estudio se centra en registrar la opinión, percepción y experiencia de los alumnos ante las estrategias didácticas antes mencionadas.

Si decides apoyar en este proyecto, por favor firma la parte inferior de esta carta, como una forma de manifestar tu aceptación y consentimiento. De antemano, te agradezco tu valioso apoyo. En caso de que tengas cualquier duda estaré a tus ordenes en el correo electrónico [saturnino\\_gamez@yahoo.com.mx](mailto:saturnino_gamez@yahoo.com.mx)

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

## Apéndice L: Fotos del desarrollo del pre-test



Figura 1: alumnos respondiendo el pre-test

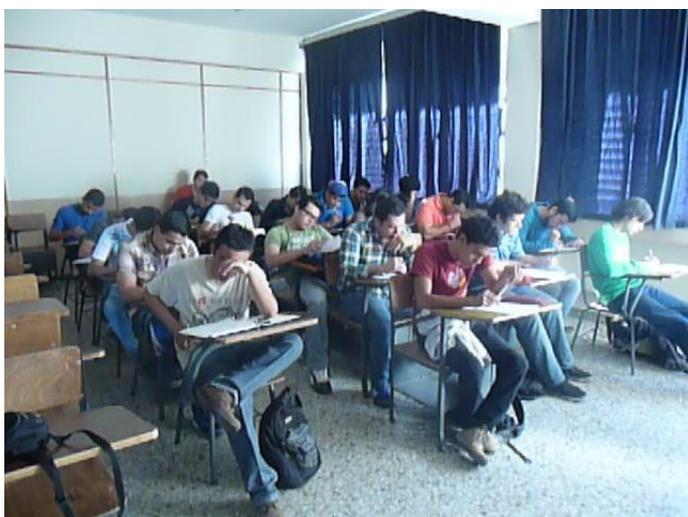


Figura 2: alumnos respondiendo el pre-test

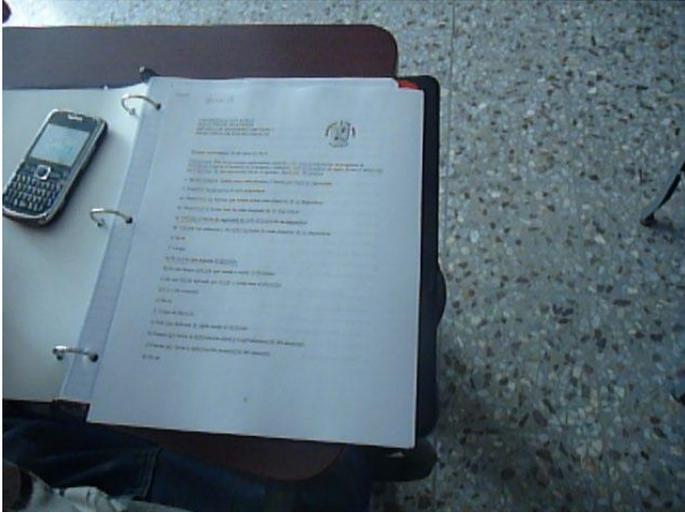


Figura 3: escritorio de uno de los alumnos



Figura 4: alumnos respondiendo el pre-test



Figura 5: alumnos respondiendo el pre-test

## **Apéndice M: Primeros avances del proyecto didáctico**

**OSCAR GERARDO RIVERA LOPÉZ**

**RL111657**

### **INTRODUCCIÓN**

El presente informe se basa en la presentación de los materiales que serán utilizados en la fabricación de un mecanismo, que será capaz de producir sobre la muestra de material un esfuerzo de compresión, también serán presentados lineamientos generales primarios que servirán como base para hacer un análisis más profundo sobre el ensayo que se hará sobre la probeta.

A continuación se encuentra un prototipo de diseño con el cual se pretende hacer la prueba de compresión, medida y materiales con sus costos, que serán tomados más adelante al fabricar el mecanismo deseado.

### **OBJETIVOS**

**General:** Determinar por medio de una prueba de compresión las propiedades mecánicas de una probeta de tubo PVC.

#### **Específicos**

Designar las proporciones de construcción del prototipo.

Enunciar las propiedades de los materiales que constituirán el prototipo.

Definir costos que servirán como guía para la fabricación del mecanismo.

### **MECANISMO DE COMPRESIÓN**

El proyecto didáctico propuesto para la asignatura de Resistencia de los Materiales consiste en el estudio de las propiedades de los materiales de un prototipo que para nuestro caso será hecho de nylon, pvc y bases de acero; posteriormente en este resumen se presentara el modelo de prototipo el cual construiremos.

El mecanismo a desarrollar tiene como finalidad la compresión de una probeta de PVC, esta prueba tiene como objetivo demostrar las propiedades mecánicas del material. Para hacer mediciones de la prueba se contará con dispositivos proporcionados por la Universidad Don Bosco, especializados en la mecánica de los materiales.

Las pruebas a las cuales enfrentaremos al prototipo constan en obtener las propiedades de los materiales en estudio por medio de cálculos. Se ha propuesto que debido a los costos el prototipo se construya de los polímeros ya mencionados.

## ANÁLISIS MATEMÁTICO

El método de análisis consta de pruebas al dispositivo sometiendo las varillas de nylon a fuerzas generadas por las tuercas que se muestran en la figura de ejemplo arriba, al girar estas tuercas las varillas de nylon entraran en tensión mientras que el tubo de PVC experimentara compresión.

La fórmula que emplearemos para las varillas será la siguiente:

$$\delta \text{ Varilla} = \frac{PL}{AE} \text{ Ec.1}$$

Donde A es el área de las varillas L su longitud inicial P es la carga a la cual se somete el elemento y E es el módulo de elasticidad del nylon

Tomando en cuenta que las varillas de nylon son del mismo material están colocadas de forma simétricas en el dispositivos y sus longitudes iniciales son las mismas la deformación que sentirá cada varilla será la misma.

Cabe recordar que al desconocer la carga la respuesta obtenida quedara en función de la carga aplicada en las varillas

La fórmula que emplearemos para el tubo de PVC, el cual se sabe que está a compresión es la siguiente:

$$\delta \text{ Tubo} = \frac{PL}{AE} \text{ Ec. 2}$$

Si bien se observa que se empleara la misma fórmula que para las varillas los datos que se introducirá en la formula no son los mismos.

Cabe recordar que al desconocer la carga la respuesta obtenida quedara en función de la carga aplicada en las varillas

A continuación procederemos a calcular el desplazamiento relativo del punto donde estará la tuerca con respecto al punto central de la base de acero, esto es debido a que al apretar la tuerca habrá un desplazamiento en el dispositivo, mediante la siguiente ecuación:

$$\delta_{D/B} = (\text{Carga de la tuerca})(\text{Paso del perno}) \text{ Ec. 3}$$

Una vez obtenidos estas tres ecuaciones es posible sustituirla en la siguiente ecuación:

$$\delta_{D/B} = \delta_{\text{varilla}} - \delta_{\text{tubo}} \text{ Ec. 4}$$

Lo cual nos ayudara al momento de la resolución al poder relacionar estas tres ecuaciones anteriores en una sola. Quedándonos la ecuación 4 como una ecuación lineal en función de las cargas soportadas por las varillas y el tubo de PVC.

Como siguiente paso se planea realizar un diagrama de cuerpo libre de la parte solidad de acero (base) de la cual se obtendrá una última ecuación la cual relacionara la carga del

tubo con la de las varillas, al sustituir esta última fórmula se obtendrá cada carga buscada, en este paso se encontrará la carga que soporta el tubo la cual se empleará en la siguiente ecuación para determinar el esfuerzo de este:

$$\sigma_r = \frac{P_r}{A_r} \text{ Ec. 6}$$

Este esfuerzo esperamos que sea el mismo esfuerzo que encontraremos por medio de mediciones al finalizar nuestro ensayo.

Modo didáctico, parte de simulación.

### **Introducción** Jorge Adalberto Hernández Herrera

Hoy en día en el área industrial, mecánica, construcción, etc. Se es necesario herramientas y máquinas, estas deben poder optimizar el trabajo y tiempo, el buen funcionamiento de los equipos mecánicos debe ser capaz de realizar relativamente a perfección la función para la que han sido diseñados, como es sabido que al diseñar dichas máquinas o herramientas se necesitan tener en cuenta la construcción, tipo de materiales, función que desempeñará y otros parámetros importantes. Algo que no se puede dejar sin importancia es el tipo de materiales con los que estarán empleados, para ello hay diferentes ensayos que ayudan a dar predicciones de los materiales a diferentes sistemas y ambientes.

En el presente trabajo se quiere dar a conocer una forma óptima de poder estimar cálculos con la ayuda de softwares que permitirán dar resultados de una manera rápida y concisa, un ejemplo puede ser averiguar si un material es más adecuado para soportar alguno o varios de los esfuerzos, se le somete a una serie de pruebas en las que se determina cada una de las propiedades mecánicas, así como la resistencia a un determinado esfuerzo. Gracias a la tecnología tenemos accesos a herramientas que nos facilitan dichas pruebas. Por ende todas las pruebas realizadas que se puedan hacer serán simuladas gracias al programa "SOLIDWORKS". Para ser más específicos la prueba a realizar en la que nos enfocaremos será de compresión-tensión de varios elementos al mismo tiempo. Se espera con

este trabajo poder comprender las características de los materiales a esta condición.

## **OBJETIVO**

Poder realizar satisfactoriamente los ensayos mecánicos simulados y que los datos obtenidos reflejen los comportamientos y parámetros reales que los materiales presentaran a la hora de realizar estos mismos ensayos en forma física. Se espera también poder realizar ensayos que simulen con precisión las condiciones finales de uso.

## **DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

La simulación debe de permitir poder variar las dimensiones de cada elemento no rígido y su respectivo módulo de elasticidad, a la vez mostrar los cambios en los elementos, tiene que ser visible la variación de cada parámetro (deformación longitudinal, esfuerzo, nivel de esfuerzo)

Se debe construir los diagramas de cuerpo libre respectivos para determinar las fuerzas que están actuando en cada uno de los elementos.

## **PROPUESTA A DESARROLLAR**

Para comenzar, la simulación estará hecha en el software "SOLIDWORKS" ya que está especializado para la simulación y creación de modelos computarizados, la pieza ensayada va ser capaz de cambiar de material las veces que el usuario quiera, A la hora de hacer el roscado será importante hacerlo con la mayor cantidad de hilos posibles, para que no sea necesario girar demasiado la rosca y romper o agrietar los espárragos

Interfaz gráfica del programa solidworks

Es importante definir los materiales a utilizar ya que se necesita conocer las propiedades elásticas de cada material, y por medio del software en la simulación, nos permitirá variar las dimensiones, el módulo de elasticidad, entre otros, para poder apreciar de mejor manera los cambios y las deformaciones que actúan en la pieza.

Para facilitar la simulación se ha planteado cada elemento por separado, eso con el objetivo de tener una mejor perspectiva de la estructura, a continuación se presentan los diferentes elementos que la componen:

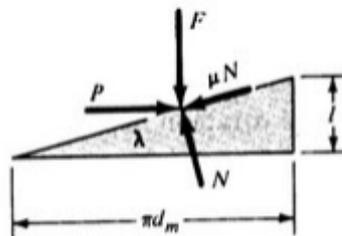
### 1- Pernos de acero

Los pernos de acero que posee el mecanismo son del tipo “Esparrago - pernos con doble rosca”, son básicamente una varilla roscada por ambos extremos con la parte central sin roscar, son los encargados de mantener fijas las piezas de fundición rígidas “A” y “B”. Este elemento por la naturaleza del funcionamiento de mecanismo soporta un esfuerzo de tensión, antes de analizar los esfuerzo de este elemento es importante distinguir unos elementos que caracterizas su rosca

### 2- Tuercas de sujeción

El mecanismo posee 4 tuercas, que son unas piezas con un orificio central, los cuales presentan una rosca con la cual se acoplan a los espárragos que posee el mecanismo.

A este elemento se le aplica un par de apriete, que produce una esfuerzo sobre el esparrago



### 3- Varilla de x materia

Esta varilla de un determinado material es a la cual someterá a un esfuerzo axial el mecanismo, está en contacto en los puntos “E” y “F”, de las piezas de fundición rígidas “A” y “B”, estas varillas deben ser en su totalidad de el mismo material además de poseer una simetría normalmente de forma cilíndrica y totalmente sólidas para que los datos obtenidos, como son la deformación, esfuerzo y módulo de elasticidad sean lo más exactas posibles

### 4- Piezas de fundición rígidas

El mecanismo posee dos piezas de fundición rígidas, las cuales poseen dos orificio cada una, en los cuales se introducirán los espárragos, estos

espárragos debido a su naturaleza de funcionamiento transmiten una fuerza hacia la pieza:

Este esfuerzo es transmitido por los puntos de contacto a la varilla que se va someter el ensayo

A continuación se presentan los diferentes elementos que la componen en 2D:

Ya que se espera que los resultados de la simulación se apeguen a la realidad, es decir, a la parte teórica vista en clase, se muestran las diferentes ecuaciones que describen los parámetros a los que deberán estar los elementos:

$$\delta = \frac{P * L}{A * E}$$

## ACERCA DE SOLIDWORKS

SolidWorks® es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Las principales características que hace de SolidWorks® una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el Gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados. Junto con las herramientas de diseño de Pieza, Ensamblajes y Dibujo, SolidWorks® incluye: Herramientas de Productividad, de Gestión de Proyectos, de Presentación y de Análisis y Simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.

## DELIMITANTES

Se ha mencionado que en la simulación se llegara hasta el problema de poder calcular los esfuerzos en cada elemento y sus diferentes fuerzas, bien, ahora se plantea nuevas interrogantes que se cree que debemos abordar:

- ¿Bajo qué condiciones ambientales estarán los elementos probados?
- ¿Cómo fueron trabajadas las piezas a probar (tratamiento térmico)?
- ¿En qué tipo de materiales se realizaran las pruebas?

**NOTA:** se esperan las respuestas lo más rápido posible, las cuales serán respondidas por el encargado de la materia.

### **DIFICULTADES DE TRABAJO**

Una de las dificultades que se han presentado, son con los horarios de las instructorías, ya que no todos los integrantes pueden asistir a la horas propuesta, eso puede llegar a causar un lento avance en el trabajo porque no todos tendrían el mismo nivel de uso del programa.

### **CONCLUSIONES**

Solid Works nos permitirá simular el proceso práctico de un ensayo de compresión para poder comparar los datos y saber los errores obtenidos en la toma de datos experimentales. Esto nos llevara a saber que tanto afectan los factores del medio en el ensayo práctico, además del hecho de que se sabe que la pieza no estará en sus condiciones ideales.

### **AVANCE de Proyecto Didáctico – Simulación**

Ronald Alejandro Arévalo Medina

AM141438

### **Diagramas de Cuerpo Libre**

En esta sección se procede a explicar las partes que componen el experimento a realizar, las cuales son: Probeta, Soportes, Tuercas y Cordones; Los cuales sufren fuerzas y efectos que se detallan a continuación:

**Probeta:** Está compuesta de tubo PVC, y ésta sufre solo cargas axiales, éstas provocadas por los soportes y por cordones que generan que los soportes que

contienen a la probeta generen compresión sobre ésta, que según la tercera ley de Newton que denota acción reacción, la reacción interna de la probeta es a contrarrestar la compresión que sufre, con lo que se puede concluir que el tipo de esfuerzo que éste sufre es esfuerzo de compresión.

**Soportes:** Ambos soportes tienden a sufrir cargas que lo comprimen, que son las cuatro tuercas, y la que mantiene en equilibrio al objeto que es la probeta lo comprime internamente. El esfuerzo que soportan ambos soportes son esfuerzos de compresión debido a las cargas que sufre. Sin embargo, también se ven tensionados por los cordones que sostienen a ambos lados, debido a que éstos generan fuerzas contrarias a las que se ven obligadas por las tuercas; estas piezas son las que sufren cargas debido a que en ellas se basa la estructura.

**Tuercas:** en el mecanismo, estas ayudan a unir los cordones al soporte del sistema, por lo que hay reacciones con respecto a cada una de esas piezas. Servirán para generar más tensión en los cordones. Un factor a considerar en las tuercas es el paso que posee, lo que nos ayudará a determinar cuánto avanzara la tuerca por cada giro completo. Esto a su vez nos puede ayudar a determinar más fácilmente la fuerza que le realiza al cordón y al soporte.

**Cordones:** la función de los cordones en el mecanismo es, a través del movimiento con las tuercas, generar fuerzas para que el soporte a su vez se las transmita a la probeta. La relación entre la fuerza que ejercen los cordones y la que cada extremo del soporte ejerce a la probeta es de 2. Es decir, la fuerza se duplica, esto se debe a que tenemos 2 sistemas cordón/tuerca por lado.

Luego del análisis de fuerzas de los elementos, pasamos a sintetizar en virtud de las consideraciones supuestas del mecanismo, de esta manera:

- Las tuercas son idealmente rígidas por lo cual no se deformaran
- Las piezas de fundición rígida llamadas soportes también no sufrirán deformación.

### **Ecuaciones relacionadas en torno a las piezas**

$$\delta = \frac{PL}{AE} \text{ (deformación de piezas)}$$

$$\delta_{A/B} = \delta_A - \delta_B \text{ (deformación relativa)}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (esfuerzo en materiales)}$$

$$E_{Ac} = 29 * 10^6 \text{psi (modulo de elasticidad para acero), (En cordones)}$$

$$E_{Al} = 10.6 * 10^6 \text{psi (modulo de elasticidad para aluminio), (En probeta)}$$

$\delta_{cordon} = +\frac{P_{cordon}(18in)}{\frac{1}{4}\pi(0.75in)^2(29*10^6psi)} = +1.405 * 10^{-6}P_{cordon}$ , siendo su signo + ya que el cordón se encuentra en tensión.

$\delta_{probeta} = -\frac{P_{probeta}(12in)}{\frac{1}{4}\pi(1.5in)^2(10.6*10^6psi)} = -0.6406 * 10^{-6}P_{probeta}$ , siendo su signo – ya que la probeta se encuentra en compresión.

Nos importa el desplazamiento existente entre el paso ( $paso = 0.1 in$ ) de las tuercas y los cordones con respecto a los soportes, para determinar las fuerzas y deformaciones en forma gradual y proporcionada. Por lo tanto sabremos que al girar  $\frac{1}{4}(0.1in)$  relativo al soporte, su desplazamiento relativo será:

$$\delta_{cordon/probeta} = 0.025in$$

A partir de ello deducimos que las deformaciones obtenidas en los cordones y la probeta corresponderán debidamente a:

$$\begin{aligned}\delta_{cordon/probeta} &= \delta_{cordon} - \delta_{probeta} \\ &= 1.405 * 10^{-6}P_{cordon} + 0.6406 * 10^{-6}P_{probeta}\end{aligned}$$

Luego a partir del diagrama de los soportes podremos obtener las fuerzas deseadas y el esfuerzo en la probeta.

$$\rightarrow +\sum F = 0:$$

$$P_{probeta} - 2P_{cordones} = 0$$

$$P_{probeta} = 2P_{cordones}$$

$$P_{probeta} = 9.307kips$$

$$P_{cordones} = 18.61kips$$

$$\sigma = \frac{P_{probeta}}{A_{probeta}} = 10.53ksi$$

En las próximas semanas planeamos:

1. Aprender a realizar las simulaciones de los ensayos físicos en SolidWorks y así poder aplicarlos a nuestro mecanismo.
2. Migrar nuestro diseño a SolidWorks, ya que fue creado en otro programa.

3. Hacer las pruebas con distintos materiales, debido a que creemos importante la comparación que se puede llegar a realizar entre los diferentes resultados.

El mecanismo junto con las partes fueron diseñados y ensamblados en SolidEdge.

### **Dificultades que se presentan para el proyecto**

1. El poco recurso para el aprendizaje del uso de solidworks ya que; a pesar, que serán 5 capacitaciones y que se posee de un profesional que imparte el uso de este programa, no se dispone de recursos computacionales que ejecutarían mejor solidworks.

**Solución:** Poder conseguir algún equipo especializado, ya sea dentro de la universidad o fuera de ella, donde se tengan el recurso que lleve a cabo el programa solidworks con mayor fluidez.

2. La dependencia en el manejo del tiempo; debido a que se depende del proyecto físico para posteriormente hacer la simulación virtual; es decir que, luego de que ellos realicen el proyecto y se tenga en físico se facilitaría, la simulación virtual para que esta quede acorde con el proyecto real, y detalle los efectos mecánicos, así como se observarían en la realidad.

**Solución:** Se podría basar primero en los planos del proyecto físico y luego cuando se tenga el proyecto real, realizar la simulación en base a las piezas y los efectos mecánicos que se observan.

### **Facilidades que se presentan en el proyecto**

1. La capacitación que se imparte por el Ing. Ikeya Uría, ya que sin esas capacitaciones sería imposible el buen uso del programa Solidworks y por lo tanto no se podría llevar a cabo el proyecto de simulación virtual.
2. La facilidad que hay para la organización del grupo, ya que llevar a cabo un proyecto que está basado en el uso de un programa computacional, da mayores facilidades como: económicas: ya que no se requieren gastos para el uso del programa, facilidad con el horario: ya que se puede trabajar a cualquier hora, y docilidad en cuanto al manejo del tiempo debido a que depende del proyecto físico para la simulación virtual.

## **Apéndice N: Transcripción del *focus group***

Transcripción de la grabación del lunes 24 de febrero, en la que se trata de reconstruir lo tratado en el *focus group* del 22 de febrero. La transcripción no es fiel a lo dicho ya que se evitan las repeticiones, y la puntuación se coloca según la interpretación de lo dicho.

Cuestionario guía para la entrevista sobre la elaboración de modelos y la investigación dirigida.

Fecha: 22 de febrero de 2014. Lugar: Universidad Don Bosco, Aula: C-31

Hora: inició a las 9:20 a.m. y terminó a las 10:20 a.m.

Entrevistador: Saturnino Gámez Guadrón

Entrevistados: 5 alumnos de género masculino del grupo experimental

Introducción: Estimados alumnos, haremos un *focus group* sobre el impacto que las estrategias de construcción de modelos y la enseñanza dirigida han tenido en el proceso de enseñanza aprendizaje en esta materia; les ruego sentirse relajados y en confianza, así como ser lo más sinceros posible en sus respuestas. Se guardará la confidencialidad de lo aquí expresado. Se espera una duración aproximada de media hora.

El segundo *focus group* efectuado para reconstruir el primero, fue conducido por los mismos alumnos en ausencia del profesor, quien estuvo en el primero. Según la grabación que se efectuó, se constata que la duración fue menor a una hora, ya que posiblemente los estudiantes tenían otros compromisos.

Inicio del *focus group*

Entrevistador: 1.- ¿Que opinión tiene usted sobre la elaboración de modelos para representar las deformaciones relativas en elementos de máquinas y de estructuras?

Alumno 1: el modelo es muy representativo y nos ha ayudado a lo largo del curso, porque ciertos modelos ayudan a representar la parte experimental.

Alumno 2: la creación de modelos es esencial para visualizar lo que se plantea en la teoría, de acuerdo y conforme a lo que se nos está enseñando y para salir de dudas

Alumno 3: Es importante hacer el planteamiento del diseño para un enfoque realista en el análisis de las características mecánicas de cada material.

Entrevistador: 2.- ¿En qué aspectos le ha beneficiado el involucrarse en la elaboración de modelos como los antes mencionados?

Alumno 4: Nos lleva a ganar experiencia con el software *SolidWork* que tiene las funciones completas y cosas que el ámbito laboral está exigiendo

Alumno 2: nos ayuda a trabajar y aprender en grupo creando cosas en temas relacionados con nuestra carrera.

Entrevistador: 3.- ¿En qué aspectos le ha afectado negativamente el involucrarse en la elaboración de modelos como los antes mencionados?

Alumno 1: No veo aspectos negativos, ha sido trabajosa la búsqueda de materiales y las cotizaciones, pero de todo se sacan cosas buenas.

Alumno 3: Existe interferencia de horarios con los equipos que recibimos la capacitación del software, que afectan la realización de las piezas en la simulación.

Entrevistador: 4.- ¿Que opina sobre las hipótesis aplicables a los modelos estudiados? No se respondió esta pregunta

¿Fueron apropiados los tiempos?

Alumno 2: Si, a pesar de las clases y de los trabajos, el proyecto está caminado de buena forma.

Alumno3: Si, el tiempo es suficiente, solo es de disciplinarse con los horarios.

Entrevistador: 5.- ¿Será aplicable el modelo estudiado en la resolución de problemas que se abordan en el ejercicio profesional?

Alumno 1: depende de que tan cercano a la realidad se hará, si se respetan los parámetros propuestos, el modelo sería una prueba muy fiable.

Alumno 4: creo que sí, al ver el modelo físico y comparar con lo teórico es confirmar las bases de lo que se estudia en clases

Entrevistador: 6.- ¿Qué tan útil es el modelo propuesto para comprender el fenómeno de deformaciones relativas en elementos de máquinas?

Alumno 2: La utilidad la tendríamos que ver es a la hora de ejecutar el proyecto, porque antes no se puede saber si en realidad el modelo es útil para representar la teoría.

Alumno 4: En cuestión de tiempos, es muy útil porque se simulará el ensayo de tensión y de compresión, si no hay recursos la simulación es más rápida y ayuda en tiempos y optimización.

Alumno 3: sí, el software es muy útil porque es propio para analizar piezas, nos servirá en el futuro para otros trabajos y proyectos.

Entrevistador: 7.- ¿Recomendaría Usted que parte de la enseñanza en esta materia se basara en la elaboración de modelos?

Alumno 1: sí porque ponemos a prueba nuestras competencias adquiridas en bases teóricas fundamentada en los modelos.

Alumno 2: Es necesario tener más modelos porque es la única forma de comprobar que lo que se enseña en la pizarra corresponde a la realidad, ya que muchos alumnos no creen que la teoría funcione en la realidad.

Alumno 4: sí porque un trabajo de esta magnitud hace que el estudiante despierte el interés y gane experiencia de cómo se hacen las cosas.

Entrevistador: 8.- ¿Considera que ha sido muy provechoso haber desarrollado la construcción de un modelo?

Entrevistador: 9.- ¿Considera que la construcción de modelos provocó discusiones sobre los detalles del mismo?

Alumno 5: la discusión fue sobre la elaboración de modelos y las críticas son constructivas. Ayudó a tener una mejor idea para un mejor modelo.

Alumno 3: Creó discusión en el modelo físico, en la selección de materiales. La rosca podría deformarse o agrietarse.

Alumno 2: sí, han servido para trazar una línea para lo que se pretende obtener, para una planificación y solo se logra discutiendo con los compañeros.

Entrevistador: 10.- ¿Fueron propositivos todos los compañeros del equipo de trabajo?

Alumno 5: Si, todos han colaborado a la hora de la construcción (física) en diferentes tareas, torneas, fresar, limar, cotización de materiales.

Terminadas las preguntas, el alumno 2 menciona que “la rigidez de las bases es importante, ya que si no se cumple esa condición afectará las medidas, en cambio el alumno 5 comentó que “si las roscas no se hacen bien el apreté será distintos en los espárragos y alterará las lecturas”; lo que indica que hay alumnos que visualizan algunas de las hipótesis involucradas en los datos que arroje el modelo.

Fin del *focus group*

## Apéndice Ñ: Encuesta de opinión y resultados obtenidos.

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
RESISTENCIA DE LOS MATERIALES  
ENCUESTA DE OPINIÓN

Indicaciones: *Este es un cuestionario exploratorio anónimo y no tiene ponderación, su propósito es únicamente conocerla percepción de los participantes en las actividades desarrolladas, a fin de planificar de mejor forma el desarrollo del programa. No son necesarios libros ni apuntes.*  
*Duración: 5 minutos.*

Indicaciones: marque la opción que representa mejor su opinión

1.- ¿Le ayudaron los modelos a comprender las deformaciones relativas en dispositivos de máquinas?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
5	12	1	0	0

2.- ¿Es ventajoso aprender las deformaciones relativas por medio de modelos como los presentados, comparado con la enseñanza tradicional?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
8	8	2	0	0

3.- ¿Se construyeron los modelos después de un amplio consenso de que se diseñaron conforme a las mejores hipótesis e ideas?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
3	5	10	0	0

4.- ¿Se discutieron las simplificaciones y aproximaciones aplicadas al modelo adoptado?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
2	12	4	0	0

5.- El aprendizaje sobre las deformaciones ¿es más interesante por medio de la construcción de modelos?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
14	4	0	0	0

6.- ¿Coincidieron los datos experimentales obtenidos con el modelo con las soluciones de los procedimientos teóricos desarrollados en los libros?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
0	9	8	0	0

7.- ¿Es efectivo el aprendizaje por medio de modelos?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
5	10	1	1	0

8.- ¿Se involucraron plenamente todos los miembros del grupo en las diferentes etapas del proyecto?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
6	6	2	1	1

9.- Los modelos construidos ¿lo han hecho reflexionar sobre las implicaciones científicas, tecnológicas y sociales que puede provocar?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
4	11	1	1	0

10.- ¿Le será útil esta experiencia para aplicarla a situaciones nuevas?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
13	3	0	1	0

11.- ¿Si tuviera la oportunidad, participaría nuevamente en la construcción de modelos en otras asignaturas de su carrera?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
13	4	0	0	0

12.- ¿Recomendaría Usted implementar con más frecuencia la estrategia de construcción de modelos en diferentes asignaturas de su carrera?

Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
12	4	0	1	0

Gracias por su colaboración

Nota: Uno de los alumnos no vio que al revés de la página seguía la encuesta y la dejó en blanco; por eso los primeros seis ítems tiene 17 respuestas y los siguientes solo 16.

## Apéndice O: Hoja de respuestas para el pos-test

UNIVERSIDAD DE DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
RESISTENCIA DE LOS MATERIALES  
Segundo Examen exploratorio, 22 de Marzo de 2013

### HOJA DE RESPUESTAS

*Respuestas de la Sección I: Opción múltiple:* Marque en la casilla correspondiente la respuesta de la pregunta.

	Número de pregunta								
respuesta	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A									
B									
C									
D									
E									

Continuación respuestas de la sección I

	Número de pregunta			
Respuesta	10	11	12	13
A				
B				
C				
D				
E				

Sección II: Cuente el número de símbolos identificados y escríbalo aquí \_\_\_\_\_

Respuestas de Sección III: Figuras y esquemas

Marque en la casilla correspondiente la respuesta de la pregunta

	Número de pregunta				
Respuesta	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					
D					
E					
F					

## **Apéndice P: Resumen del foro de discusión**

Equipo 1, simulación en computadora: Se expusieron una serie de hipótesis aplicables al modelo. Presentaron en el software *MATLAB* un cuadro de diálogo en el que se ingresaban las variables del modelo: longitudes, diámetros, módulos de elasticidad, paso de la rosca y número de vueltas y se obtenían los valores de fuerza, esfuerzo, deformación absoluta y unitaria de cada uno de los elementos. Se les recomendó que efectuaran pruebas en casos límites: módulos de elasticidad muy altos o muy bajos, áreas muy grandes o muy pequeñas, longitudes de los elementos muy grandes o muy pequeñas. También podía comprobar el programa aplicándola a problemas similares propuestos en los libros y verificar si las respuestas eran similares.

Se tuvieron dos dificultades en las representaciones o dibujos: el diseño de la rosca de los espárragos y la parte dinámica; es decir, observar las deformaciones en la simulación. Ambos temas no se han cubierto en las clases del profesor Ikeya Uría;

Equipo 2, simulación en computadora: También expusieron una serie de hipótesis, solo que algunas no eran aplicables al modelo propuesto. Presentaron en el software *EXCEL* un cuadro de diálogo en el que se ingresaban las variables del modelo: longitudes, diámetros, módulos de elasticidad, paso de la rosca y número de vueltas y se obtenían los valores de fuerza, esfuerzo, deformación absoluta y unitaria de cada uno de los elementos. A diferencia del primer equipo, este comprobó las ecuaciones, por lo que se les pidió que las probaran con el caso límite en que los espárragos tenían un módulo de elasticidad muy alto, en este caso el avance de la tuerca se reflejaría en la deformación de la barra central; en efecto, las ecuaciones trabajaron bien. Se les pidió que probaran el software para otros casos límites.

Las dificultades que presentaron fueron: a) el programa *SolidWork* es difícil entenderlo en unas pocas sesiones y b) los horarios de reunión, ya que cada alumno

está inscrito en diferentes materias o grupos de clase, siendo muy difícil encontrar un horario de coincidencia para reunirse.

Equipo 3, construcción física del modelo: Eligieron utilizar acero para los espárragos y aluminio para la barra central. Tuvieron una serie de dificultades constructivas, es aquí donde se aprecia en toda su dimensión la importancia de las hipótesis, pues con cada simplificación el modelo se aparta del comportamiento de la deformación real. Un caso especial para este equipo fue el paso de la rosca, ya que entre más fino sea el paso, más pequeñas serán las deformaciones al darle una fracción de vuelta y por lo tanto, más puntos experimentales pueden obtenerse en la región elástica de los materiales. Otro detalle constructivo fue la depresión en las bases para evitar que resbalara la barra central. También se pensó en magnitudes de influencia, como la temperatura ambiente, aunque no hubo control sobre ésta porque el local de laboratorios tiene ventilación natural. Se tuvieron resultados preliminares pues el estiramiento de los espárragos tuvo aproximadamente el mismo valor que la compresión de la barra central. Se estimó el porcentaje de error en un 28 % del valor experimental con respecto al teórico.

También se observó la introducción de error debido a que las tuercas de la parte inferior no estaban fijas y tendían a aflojarse, por lo que en el desarrollo del experimento dos compañeros de equipo mantenían a las tuercas inferiores en su lugar. El tiempo fue un factor crítico ya que posicionar el modelo para obtener datos experimentales es bastante complejo y tardaron toda una mañana para poder obtener datos confiables. Hubo un par de alumnos que tuvieron que faltar a sus clases para completar esta parte.

Otro aspectos fueron los costos de materiales y de maquinado, ya que no todos los alumnos saben manejar las máquinas herramientas y eso hizo que pagaran por la elaboración de algunas piezas.

Equipo 4, construcción física del modelo: eligieron como materiales teflón para los espárragos y PVC para el tubo central, pero tuvieron problemas con el maquinado de las roscas de teflón y optaron por hacerlos de nylon, además tuvieron que mandar a hacer las terrajas para las roscas pues no encontraron de la medida adecuada. También tuvieron problemas para reunirse, pues nunca pudieron estar todos en una reunión por los diferentes horarios. También tuvieron problemas para medir las deformaciones pues los deformímetros son demasiados sensibles, pues tienen capacidad de medir hasta milésimas de milímetro.

## Apéndice Q: Fotos del foro de discusión



Figura 1: Fotografía de del equipo 1 de simulación

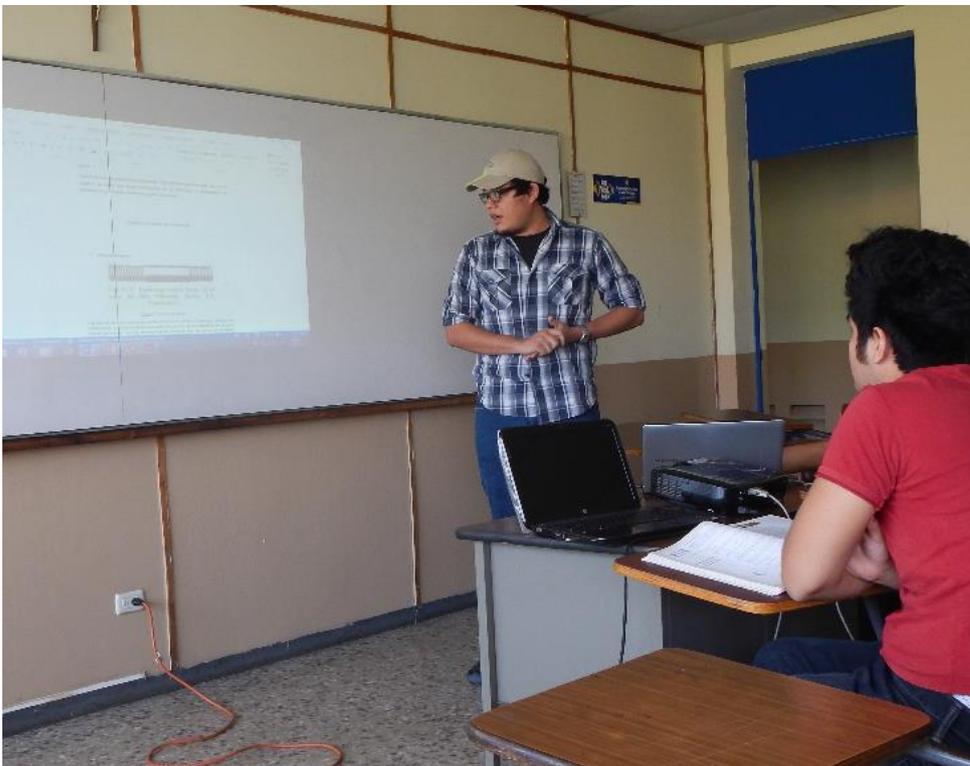


Figura 2: Fotografía de del equipo 2 de simulación



Figura 3: Fotografía de del equipo 1 de modelo físico



Figura 4: Fotografía de del equipo 2 de modelo físico

## **Apéndice R: Hipótesis de trabajo para el modelo.**

### **Hipótesis formuladas por el equipo 1 de simulación**

Hipótesis a utilizar

- a) Idealizantes del material.
- b) Elasticidad perfecta y se cumple la Ley de Hooke.
- c) Mantenimiento de las secciones planas: hipótesis de Bernoulli.
- d) Principio de Saint Venant.
  - El modelo a simular, para cada pieza será ideal. Es decir, si las condiciones (fuerzas, deformaciones transversales) en los extremos cambian y se permite el desplazamiento radial (no hay fuerzas de fricción en los puntos de contacto entre la barra y las bases), el estado tensional sería completamente uniforme y se correspondería a una compresión pura y tensión pura en el caso de los espárragos.
  - El módulo de elasticidad de las bases y de las tuercas son infinitos. Lo que nos dice que éstos no se deformarán.
  - La composición de cada elemento simulado es homogénea en todo su volumen.
  - La composición química de los materiales no tiene impurezas, es decir el material con que están compuestos es 100 % homogéneo.
  - Los materiales ensayados son isotrópicos.
  - Los materiales ensayados cumplen con la Ley de Hooke en tensión y compresión  $\sigma = E \cdot e$ .
  - Para los cálculos de deformación se considera que las secciones originalmente planas se mantiene planas luego de la deformación.
  - Para los pernos, a cierta distancia de la sección donde actúa el sistema de fuerzas, la distribución de tensiones es prácticamente independiente de la distribución del sistema de fuerzas, siempre que su resultante y momento resultante sean iguales

### **Hipótesis formuladas por el equipo 2, modelo físico**

Para realizar las mediciones y posteriormente realizar nuestras conclusiones es necesario tomar en cuenta algunas hipótesis o idealizaciones de las piezas:

- f) Los materiales empleados son homogéneos e Isotrópicos: Es decir se asume que los materiales poseen la misma composición química a lo largo de su

volumen y que sus propiedades son iguales en todas las direcciones aplicables. Pese a que se sabe que lo anterior difícilmente puede llegar a cumplirse en una pieza real, se considera que los efectos de estas variaciones serán mínimos como para representar un factor de error determinante.

- g) Ambos espárragos poseen las mismas dimensiones: Aunque es bien sabido que ello requeriría una precisión con la cual no se contó a la hora de su diseño, se considera que es una aproximación relativamente acertada.
- h) La placa superior se desplaza en el eje y una longitud igual a la deformación de la barra central de aluminio: Una de las asunciones principales consiste en que la placa superior traslada la reacción que recibe por la fuerza aplicada a los pernos de forma equitativa a la barra de aluminio sobre el área de contacto.
- i) Los errores de paralaje no representan errores determinantes en la medición: Errores como la visualización de valores en un medidor analógico, la medida exacta de una vuelta a la hora de girar la tuerca o similares se considera que no significaran un cambio drástico en los resultados obtenidos por las mediciones.
- j) El peso de los implementos de medición no afecta la distribución de fuerzas en el mecanismo. Aunque los comparadores de carátula deberán ser colocados sobre los espárragos para poder obtener una medida, se considera que la fuerza que aplicarán a los mismos no será lo suficientemente grande como para significar un factor de error demasiado grande.

#### **Otras Hipótesis:**

- El modelo debe conservar su simetría en todo momento para que se distribuyan las fuerzas por igual entre los pernos.
- Las cuerdas de las tuercas y de los espárragos deben ser perfectas e iguales.
- Los tres elementos: los dos espárragos y la barra central deberán estar paralelos en todo momento.
- No se sobrepasará la resistencia de fluencia ni la de tensión para ninguno de los materiales.
- Los tres elementos son perfectamente cilíndricos en todo momento.
- Debe de evitarse que se presente el fenómeno de pandeo para la barra central, debido a que está en compresión, cuidando que la relación de esbeltez apropiada no se sobrepase.

## **Apéndice S: Guía de asignaciones y lista de cotejo para la evaluación del proyecto didáctico**

### **Información sobre Tareas y Parciales:**

Los temas de la tarea ex aula se elegirán de modo que cumpla con el logro de los objetivos propuestos en la asignatura; no se podrán repetir temas; si el alumno tiene propuestas de interés, discutir su factibilidad con el profesor. Se trabajarán en grupos, **pero la evaluación será individual**. Habrá dos posibilidades para elegir los temas; la forma tradicional, que se refiere al análisis de un dispositivo y la elaboración de un modelo didáctico

#### **A. Análisis de un dispositivo:**

- 1- Selección de un elemento de máquina o de un dispositivo que tenga a su disposición, (ejemplos: Bisagra de puerta, aspas de licuadora, rueda catarina de una bicicleta, chapa de puerta, aspas de ventilador, etc.). Se priorizarán los temas relacionados con el análisis y mejoramiento de un dispositivo que se fabrique artesanalmente en nuestro país, o que tenga posibilidad de fabricarse localmente.
- 2.- Descripción del dispositivo (esquemas con dimensiones), funcionamiento, indicando lugares de utilización, composición química del material utilizado y propiedades del mismo. Se deberán adjuntar al menos dos patentes de dispositivos similares, las cuales las utilizarán para describir de mejor manera el dispositivo elegido.
- 3.- Calculo de cargas, si son constantes o variables, valores máximos y mínimos.
- 4.- Calculo de esfuerzos
- 5.- Calculo de deformaciones
- 6.- Calculo de factor de seguridad
- 7.- Ensayos recomendados para verificar si soportará las condiciones a que se somete cada pieza
- 7.- Conclusiones y recomendaciones

Los avances de las tareas deberán de ser entregados una semana antes de los exámenes escritos de los periodos I y II, el tercer avance se deberá entregar 2 semanas antes del examen escrito, sus contenidos serán: primer avance: 1,2 y 3; segundo avance: 4 y 5, Tercer avance del 2 al 7 incorporando cualquier corrección hecha por el profesor. Pueden ser entregadas en formato impreso o en formato digital vía email.

El número máximo de alumnos para desarrollar la tarea será limitado por el número de piezas objeto de análisis del dispositivo o maquina seleccionada. El mínimo es una pieza por alumno.

La tarea se calificará con base a la rúbrica de la misma, la última columna de la rúbrica tiene el propósito de que el grupo se evalúe antes de entregarlo, la evaluación deberá ser en grupo, esta parte no será calificada.

#### **B. Elaboración de modelos didácticos:**

Se formarán al menos tres grupos de unos tres estudiantes cada uno. El primer grupo construiría un modelo material (físico) con los materiales e instrumentos adecuados, el segundo grupo un modelo matemático (conjunto de ecuaciones) y el tercer grupo

una simulación en computadora aplicando algún software apropiado. Habrá reuniones los sábados para explicarles con más detalles lo que se requiere, o comunicarnos vía correo electrónico.

El modelo que se trabajará en esta ocasión es el de las deformaciones relativas como el siguiente, tomado de Johnston y Beer 2012: Las piezas de fundición rígidas A y B están conectadas por dos pernos de acero CD y GH de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de diámetro, y se encuentran en contacto con los extremos de una varilla de aluminio EF de 1.5 pulgadas de diámetro. Cada perno tiene una cuerda única en su parte roscada con un paso de 0.1 pulgadas y después de ajustarse las cuerdas, las tuercas D y H se aprietan un cuarto de vuelta. Sabiendo que el módulo de elasticidad (E) es de  $29 \times 10^6$  psi para el acero y  $10.6 \times 10^6$  para el aluminio, determine el esfuerzo normal en la varilla (ver figura siguiente).

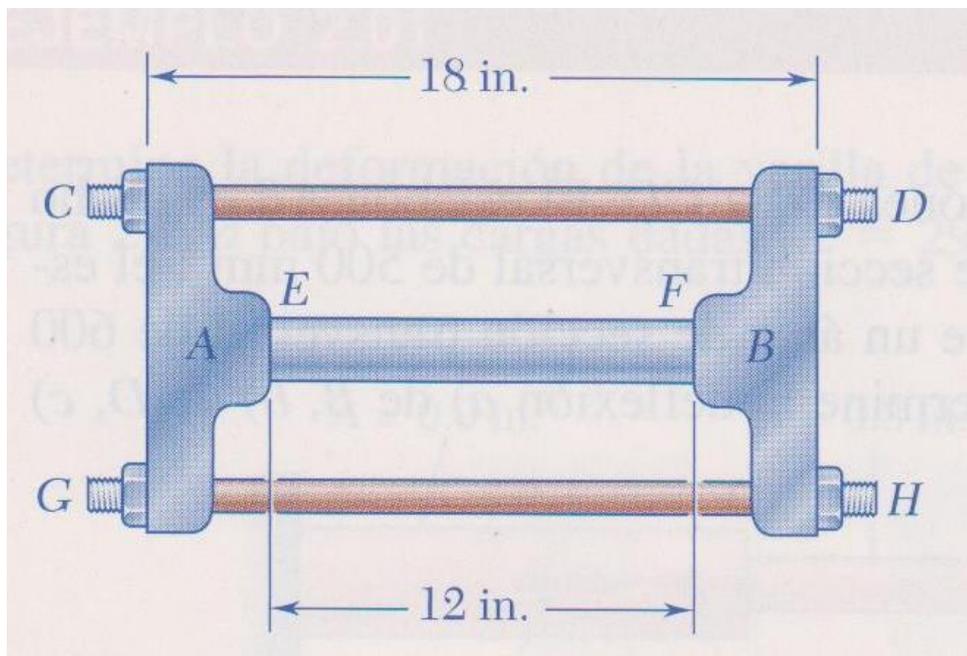


Figura 1: Problema típico de deformaciones relativas

En este problema hay que suponer que las roscas de los extremos de las varillas de acero son indeformables, lo mismo que las tuercas y las piezas de fundición B y A, pero la varilla central EF de aluminio y los pernos de acero CD y GH son elásticos y cumplen la ley de Hooke. Al apretar las tuercas en los extremos de los pernos, éstas obligan a estirarse a los pernos y a comprimirse a la varilla de aluminio; ahora la pregunta es determinar el esfuerzo normal en la varilla de aluminio. En este caso, la fuerza de tensión que soportan los pernos es la misma fuerza de compresión de la varilla de aluminio.

El procedimiento incluye hacer un diagrama de cuerpo libre de la varilla y de los pernos, pero eso no resuelve el problema ya que el sistema es estáticamente indeterminado, por lo que es necesario hacer uso de las propiedades elásticas de cada material.

En este punto, los alumnos tienen dificultades en plantear la estrategia para resolver el problema. El primer paso es la comprensión conceptual del fenómeno, para lo cual los conceptos antes definidos y los diagramas de cuerpo libre de las partes principales juegan un papel importante, es decir, aplicar las leyes de Newton, particularmente la primera y la tercera a cada uno de los elementos. Pero también se necesita tener una idea intuitiva del resultado: debería de poder visualizarse que los pernos de acero se estirarán y la barra de aluminio se acortará, y que las otras partes, tales como las piezas de fundición, la rosca y las tuercas no experimentan deformación, las cuales son hipótesis simplificadoras. Lo cierto es que experimentan deformaciones pero son tan pequeñas que se desprecian del análisis, simplificando grandemente la solución del problema sin afectar mucho la precisión de la respuesta. Sólo después de efectuar este paso se pueden plantear ecuaciones matemáticas para hacer cálculos. Finalmente, se deben evaluar las respuestas: si tienen las unidades de medida adecuadas, si tiene sentido la respuesta. Es útil también buscar casos límite para ver si las respuestas tienen lógica; por ejemplo, si la varilla de aluminio fuera de un material idealmente rígido (módulo de elasticidad infinito) ¿qué sucedería con las deformaciones?, o al revés, que los pernos fueran idealmente rígidos. Entre estos dos extremos hay muchas posibilidades.

<b>Aspecto a evaluar en el primer avance:</b>	<b>Puntaje máximo</b>	<b>Autoevaluación % de cumplimiento</b>
Portada: contiene logotipo de la institución, nombre del tema, nombres de los autores, fecha de entrega. Todas las partes deberán ser legibles, incluyendo figuras, esquemas, fotos, videos. Texto: Times New Roman 12	Requisito	
Entrega del tema y del nombre de los alumnos del grupo en la segunda semana del ciclo, anexar fotografía escaneada de cada integrante. Indicar claramente el modelo que se construirá y su modalidad (físico, matemático o simulación)	Requisito	
Descripción del modelo (esquemas) con sus dimensiones y con las partes asignadas a cada quien	10	
Exposición de las ideas de cómo construir el modelo y de los instrumentos que medirán los esfuerzos y deformaciones, formulación de hipótesis y simplificaciones	15	
Elección del mejor modelo para construir, debidamente justificado, presentación de los planos constructivos.	15	
Identificación de los materiales de las piezas seleccionadas con base a sitios confiables	15	

Ecuaciones matemáticas generales para calcular las fuerzas y los esfuerzos aplicados a cada elemento	15	
Explicar los procesos de fabricación de cada pieza	10	
costos de fabricación y de adquisición de instrumentos de medición	15	
La ortografía debe ser impecable. La redacción debe ser clara y concisa.	5	
Forma de entrega: Por correo electrónico, identificado como RMPDFx, para el proyecto físico o RMPDSx si es el proyecto de simulación, x es el número de subgrupo, tipo de archivo: .doc o .docx, solo si es muy extenso podrá enviarse en PDF, el envío será al correo electrónico del docente, quien deberá responder de recibido. Si la entrega es impreso, se le dará personalmente al docente; los estudiantes podrán llevar una hoja para que las firme el docente, haciendo constar de que fue recibido.	- 10 % por cada día de retraso.	
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	

<b>Aspecto a evaluar en el segundo avance:</b>	<b>Puntaje máximo</b>	<b>Autoevaluación % de cumplimiento</b>
Portada: contiene Logotipo de la institución, Nombre del tema, Nombres de los autores, fecha de entrega. Todas las partes deberán ser legibles. Texto: Times New Roman 12.	Requisito	
Indicar claramente la parte que le toca a cada quien	Requisito	
Fabricación y ensamble del dispositivo	20	
Pruebas de funcionamiento y ajustes	15	
Cálculos de esfuerzos y deformaciones normales de cada pieza.	20	
Discusión y conclusiones sobre comparación de los cálculos con las mediciones efectuadas	20	
Ajustes finales	20	
La ortografía debe ser impecable. La redacción debe ser clara y concisa.	5	

Forma de entrega: Por correo electrónico, identificado como RMPDFx, para el proyecto físico o RMPDSx si es el proyecto de simulación, x es el número de subgrupo, tipo de archivo: .doc o .docx, solo si es muy extenso podrá enviarse en PDF, el envío será al correo electrónico del docente, quien deberá responder de recibido. Si la entrega es impreso, se le dará personalmente al docente; los estudiantes podrán llevar una hoja para que las firme el docente, haciendo constar de que fue recibido.	- 10 % por cada día de retras o.	
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	

<b>Aspecto a evaluar en el tercer avance:</b>	<b>Puntaje máximo</b>	<b>Autoevaluación % de cumplimiento</b>
Portada: contiene logotipo de la institución, nombre del tema, nombres de los autores, fecha de entrega. Todas las partes deberán ser legibles. Texto: Times New Roman 12.	Requisito	
Indicar claramente la parte que le toca a cada quien	Requisito	
Evaluación del funcionamiento del modelo, intervalos de error aceptables con respecto al modelo en los libros, que se tomará como modelo teórico.	20	
Difusión (explicación por medio del modelo a compañeros de cátedra)	15	
Evaluación de la eficacia del modelo en el aprendizaje	20	
Alcances del modelo según las teorías o hipótesis normalmente aceptadas ejemplo. ¿Es aplicable a los diferentes materiales de ingeniería? ¿Y a los materiales biológicos?	25	
Reflexión final sobre la experiencia	15	
La ortografía debe ser impecable. La redacción debe ser clara y concisa.	5	

<p>Forma de entrega: Por correo electrónico, identificado como RMPDFx, para el proyecto físico o RMPDSx si es el proyecto de simulación, x es el número de subgrupo, tipo de archivo: .doc o .docx, solo si es muy extenso podrá enviarse en PDF, el envío será al correo electrónico del docente, quien deberá responder de recibido. Si la entrega es impreso, se le dará personalmente al docente; los estudiantes podrán llevar una hoja para que las firme el docente, haciendo constar de que fue recibido.</p>	<p>- 10 % por cada día de retras o.</p>	
<p><b>TOTAL</b></p>	<p><b>100</b></p>	

## Apéndice T: secciones importantes del informe del equipo 2 de la elaboración del modelo físico.

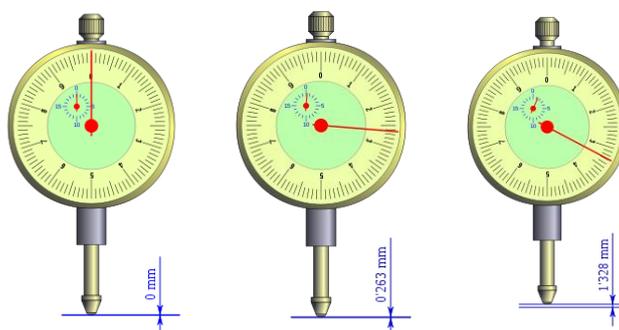
### PRUEBAS

Se debe mencionar que nuestras pruebas se enfocaran en el uso del torquímetro y el comparador de carátula. Un reloj comparador o comparador de caratula es un instrumento de medición de dimensiones que se utiliza para comparar cotas mediante la medición indirecta del desplazamiento de una punta de contacto esférica cuando el aparato está fijo en un soporte. Constan de un mecanismo de engranajes o palancas que amplifica el movimiento del vástago en un movimiento circular de las agujas sobre escalas graduadas circulares que permiten obtener medidas con una precisión de centésimas o milésimas de milímetro (micras). Además existen comparadores electrónicos que usan sensores de desplazamiento angular de los engranajes y representan el valor del desplazamiento del vástago en un visualizador, cabe mencionar que el que se usara para esta prueba e analógico debido a que es el que se encuentra a disposición del estudiante en la Universidad Don Bosco.

La esfera del reloj que contiene la escala graduada puede girarse de manera que puede ponerse el cero del cuadrante coincidiendo con la aguja y realizar las siguientes medidas por comparación. El reloj comparador debe estar fijado a un soporte, cuya base puede ser magnética o fijada mecánicamente a un bastidor o bancada.

Es un instrumento que permite realizar controles dimensionales en la fabricación de manera rápida y precisa, por lo que es muy utilizado en la inspección de la fabricación de productos en series grandes.

Ahora, la lectura de dicho instrumento es un poco compleja por lo cual se ha resumido su uso brevemente a continuación: en la esfera del reloj comparador hay dos manecillas, la de menor tamaño indica los milímetros, y la mayor las centésimas de milímetro, primero se mira la manecilla pequeña y luego la mayor. Cuando la aguja esté entre dos divisiones se toma la más próxima, redondeando la medida a la resolución del instrumento:



En la figura se pueden observar varios relojes. El primero indica 0 mm y en el segundo la lectura será 0,26 mm si bien el valor exacto es mayor (0,263 mm según se indica), la lectura

nunca debe de darse con mayor precisión de la resolución que tenga el instrumento. En el tercer reloj la lectura será de 1,33 mm.

El uso mayoritario del reloj comparador es para determinar pequeñas diferencias de medida; como en el caso en estudio, este instrumento facilitara la medición de la deformación con respecto al avance del paso de la rosca, también sirve para medir alienaciones o excentricidad, cuando se emplea para en dimensiones que abarcan varios milímetros, es preciso percatarse, en la aguja pequeña, del milímetro exacto en el que se encuentra la medida, que puede ser más dificultoso que señalar la centésima de milímetro, indicada con la aguja grande, como se puede ver en la figura.

Además de este instrumento, en las pruebas haremos mediciones con respecto a un torquímetro. El torquímetro es una herramienta manual que se utiliza para ajustar el par de apriete de elementos roscados.

Una llave dinamométrica consiste en una llave fija de cubo que puede ser intercambiable con otras llaves de cubo de otras dimensiones, a la que se acopla un brazo que incorpora un mecanismo en el que se regula el par de apriete, de forma que si se intenta apretar más, salta el mecanismo que lo impide. Nunca se debe reapretar a mano un tornillo que antes haya sido apretado al par adecuado ni utilizar una llave dinamométrica para aflojar tornillos. El torquímetro también nos da una medición del torque aplicado al perno por lo tanto se podrá saber el momento de torsión respectivo al paso de tuerca en cada momento de la prueba.

El torquímetro a disposición es un torquímetro de reloj, este consta de una esfera de reloj en la que se muestra mediante una aguja móvil el valor del par de apriete medido.

De las pruebas pudo obtenerse los siguientes datos de deformaciones relativas gracias al comparador de caratula:

<b>Paso de las tuercas</b>	<b>Deformación relativa de los espárragos con respecto al tubo central</b>	<b>Deformación en sistema inglés (in)</b>
¼ vuelta	0.17mm	0.00796875
½ vuelta	0.26 mm	0.0121875
¾ vuelta	0.35 mm	0.01640625
1 vuelta	0.44 mm	0.020625
1 ¼ vuelta	0.53 mm	0.02484375
1 ½ vuelta	0.61 mm	0.02859375
1 ¾ vuelta	0.72 mm	0.03375
2 vuelta	0.77 mm	0.03609375
2 ¼ vuelta	0.89 mm	0.04171875
2 ½ vuelta	0.99 mm	0.04640625
2 ¾ vuelta	1.09 mm	0.05109375
3 vuelta	1.16 mm	0.054375
3 1/4 vuelta	1.23 mm	0.05765625
3 ½ vuelta	1.30 mm	0.0609375
3 ¾ vuelta	1.39 mm	0.06515625

4 vuelta	1.41 mm	0.06609375
4 ¼ vuelta	1.43 mm	0.06703125

En esta grafica se muestra el número de vueltas vs Deformación relativa de los espárragos con respecto al tubo central



Teóricamente las deformaciones relativas deberían ser de la siguiente forma:

$$\delta_{e/p} = \text{paso} * \text{numero de vueltas}$$

Se debe tomar en cuenta que nuestro roscado es de 14 hilos por pulgada y por lo tanto el paso correspondiente es de 1/14 in por cada vuelta lo cual es 0.071429 in por vuelta.

Por lo tanto puede obtenerse un % de error referente a nuestras mediciones:

Paso de las tuercas	Deformación relativa de los espárragos con respecto al tubo central	Deformación en sistema inglés (in)	Deformación teórica	% de error
¼ vuelta	0.17mm	0.00796875	0.018	55.73
½ vuelta	0.26 mm	0.0121875	0.036	66.15
¾ vuelta	0.35 mm	0.01640625	0.054	69.90
1 vuelta	0.44 mm	0.020625	0.072	71.35
1 ¼ vuelta	0.53 mm	0.02484375	0.09	72.40
1 ½ vuelta	0.61 mm	0.02859375	0.108	73.52
1 ¾ vuelta	0.72 mm	0.03375	0.126	73.21
2 vuelta	0.77 mm	0.03609375	0.144	74.93

2 ¼ vuelta	0.89 mm	0.04171875	0.162	74.25
2 ½ vuelta	0.99 mm	0.04640625	0.18	74.21
2 ¾ vuelta	1.09 mm	0.05109375	0.198	74.20
3 vuelta	1.16 mm	0.054375	0.216	74.82
3 1/4 vuelta	1.23 mm	0.05765625	0.234	75.36
3 ½ vuelta	1.30 mm	0.0609375	0.252	75.82
3 ¾ vuelta	1.39 mm	0.06515625	0.27	75.87
4 vuelta	1.41 mm	0.06609375	0.288	77.05
4 ¼ vuelta	1.43 mm	0.06703125	0.306	78.09

Ahora, del análisis realizado en el primer informe de proyecto se obtuvo que:

$$P_p = 2P_e$$

$$\delta_{e/p} = \delta_e - \delta_p = (10E - 6)P_e + (27E - 6)P_p$$

$$\delta_{e/p} = \delta_e - \delta_p = (10E - 6)P_e + (27E - 6)(2P_e)$$

Donde  $P_p$  es la fuerza axial sobre el PVC y  $P_e$  la fuerza axial sobre cada uno de los espárragos de nylon.

En la siguiente tabla se muestran los datos teóricos versus los datos experimentales obtenidos en las pruebas.

<b>Pe teórica</b>	<b>Pe experimental</b>	<b>Pp teórica</b>	<b>Pp experimental</b>	<b>%error Pe</b>	<b>%error Pp</b>
281.5	124.5	563	249	55.77	55.77
562.5	190.625	1125	381.25	66.11	66.11
843.75	256.25	1687	512.5	69.62	69.62
1125.25	328.125	2249	656.25	70.83	70.82
1406.75	390.625	2811	781.25	72.23	72.2
1688.25	453.125	3373	906.25	73.16	73.13
1969.75	531.25	3935	1062.5	73.02	72.99
2251.25	562.5	4497	1125	75.01	74.98
2532.75	656.25	5059	1312.5	74.08	74.05
2814.25	718.75	5621	1437.5	74.46	74.42
3095.75	796.88	6183	1594	74.25	74.21
3377.25	843.75	6745	1687.5	75.01	74.98
3658.75	937.5	7307	1875	74.37	74.33
3940.25	1015.63	7869	2031.26	74.22	74.18
4221.75	1031.25	8431	2062.5	75.57	75.53

4503.25	1093.75	8993	2187.5	75.71	75.67
---------	---------	------	--------	-------	-------

Se debe de recordar que las áreas transversales d nuestras probetas son:

$A_e=0.3067 \text{ in}^2$  la cual es el área transversal de cada esparrago

$A_p=0.82 \text{ in}^2$  la cual es el área transversal del tubo central de PVC

$\sigma_e=Pe/A_e$ teórico	$\sigma_p=Pp/A_p$ teórico	$\sigma_e=Pe/A_e$ experimental	$\sigma_p=Pp/A_p$ experimental	% error $\sigma_e$	% error $\sigma_p$
132221.7003	98876.00983	58478.15876	43730.24236	55.77	55.77
264208.5486	197576.3962	89537.34147	66956.44538	66.11	66.11
396312.8229	296276.7826	120361.6721	90007.02494	69.62	69.62
528534.5233	394977.1689	154121.6534	115252.8978	70.83	70.82
660756.2236	493677.5553	183478.1588	137205.8307	72.23	72.2
792977.9239	592377.9417	212834.6642	159158.7636	73.16	73.13
925199.6242	691078.3281	249530.2959	186599.9298	73.02	72.99
1057421.325	789778.7144	264208.5486	197576.3962	75.01	74.98
1189643.025	888479.1008	308243.3067	230505.7956	74.08	74.05
1321864.725	987179.4872	337599.8121	252458.7285	74.46	74.42
1454086.426	1085879.874	374297.7924	279943.8005	74.25	74.21
1586308.126	1184580.26	396312.8229	296364.5943	75.01	74.98
1718529.826	1283280.646	440347.581	329293.9937	74.37	74.33
1850751.527	1381981.033	477045.5613	356736.9161	74.22	74.18
1982973.227	1480681.419	484382.3391	362223.393	75.57	75.53
2115194.927	1579381.805	513738.8445	384176.326	75.71	75.67

En la siguientes graficas se muestran:

- Numero de vueltas vs Esfuerzo esperado de los espárragos



- Numero de vueltas vs Esfuerzo esperado del tubo PVC



Se puede observar en ambos casos que tanto el número de vueltas es directamente proporcional al esfuerzo esperado

Vueltas	Deformaciones(m <sup>-6</sup> )			Promedio (m <sup>-6</sup> )
	Prueba 1 (m <sup>-6</sup> )	Prueba 2 (m <sup>-6</sup> )	Prueba 3 (m <sup>-6</sup> )	
¼	85	100	70	85
½	250	240	280	256.67
¾	340	360	406	368.67
1	400	410	440	416.67
5/4	460	460	450	456.67
3/2	507	510	480	499
7/4	590	620	585	598.33
2	640	660	630	643.33

A continuación se presenta una tabla resumen de valores necesarios para la comprobación de hipótesis:

Paso de las tuercas	Deformación relativa de los espárragos con respecto al tubo PVC (mm)	Deformación en sistema inglés (in)	Deformación teórica (in)	Deformación unitaria € teórica	Deformación unitaria € experimental	% de error
¼ vuelta	0.085	0.003346	0.018	3.147E-3	5.85128E-3	81.41
½ vuelta	0.25667	0.010105	0.036	6.2954E-3	1.7671E-3	71.93
¾ vuelta	0.36867	0.01451	0.054	9.4432E-3	2.5374E-3	73.12
1 vuelta	0.41667	0.01640	0.072	12.5909E-3	2.8679E-3	77.22
1 ¼ vuelta	0.45667	0.017979	0.09	15.7386E-3	3.1440E-3	80.02
1 ½ vuelta	0.499	0.01964	0.108	18.8864E-3	3.4345E-3	81.81
1 ¾ vuelta	0.59833	0.023556	0.126	22.034E-3	4.1193E-3	81.30
2 vuelta	0.64333	0.025327	0.144	25.1818E-3	4.4290E-3	82.41

Se deben de incluir datos como la fuerza que se da en ciertos giros de la rosca y los esfuerzos que los espárragos experimentan al ponerlos en prueba, pero estos datos ya fueron presentados anteriormente.

Además se tienen que comprobar las hipótesis del modelo y ver cuáles son los factores que pudieron haber afectado para que los datos dieran similares o diferentes. Para esto se presentan a continuación la lista de hipótesis y la conclusión de los resultados:

De las hipótesis presentadas anteriormente y en base a los datos repetitivos presentados anteriormente se puede concluir que:

- El mecanismo generaba un aumento en la carga de los espárragos a medida que aumentaba el giro de la rosca en éstos.
- En el mecanismo puede no haber una repartición equitativa de fuerzas de parte de los espárragos hacia el tubo PVC, esto debido a que pueden existir desniveles en las estructuras de soporte metálicas que hagan que un espárrago experimente más esfuerzo que el otro.
- Los valores de deformaciones medidos con los comparadores de carátula difieren mucho del valor teórico, esto puede ser causado por el criterio del operario para el manejo del comparador y a la hora que éste se encarga de hacer las lecturas de los medidores. También otro aspecto que debe de ser tomado en cuenta es que el comparador de carátula estaba posicionado de manera correcta para efectuar las mediciones necesarias.
- Los materiales fueron seleccionados con el fin de que proporcionarán valores de

deformaciones con el mecanismo implementado, por ende se puede concluir que si cumplieron con el objetivo ya que si se pudieron hacer mediciones.

- Los parámetros de diseño se siguieron a partir del modelo presentado en los primeros informes.

Otros parámetros a tomar en cuenta por los cuales se pudieron haber presentado fallas son:

- Los espárragos y el tubo de PVC no eran completamente rectos.
- Los espárragos y el tubo de PVC no tenían áreas uniformes en toda la longitud.
- Las placas de acero no fueran completamente rectas en las superficies de contacto con los espárragos y el tubo de PVC.
- Las roscas no tuvieran un acabado fino para que la rosca pudiera correr sin dificultad.
- Que los materiales en estudio no fueran puros, sino que tuvieran otro tipo de materiales en su estructura molecular.
- Que en el ambiente no circularan condiciones óptimas para el desarrollo del ensayo, ya que podría haber dilatación de materiales o tender a compactarse.

## **CONCLUSIONES**

- Cuando mayor fue el paso de las vueltas que se le aplicaron a la tuerca, se pudo observar en el comparador de caratula que presentaba mayor deformación en el tubo PVC.
- Se cambió el material de los espárragos de teflón a nylon, ya que este nuevo material nos brindaba un mejor acabado a la hora de ser trabajado por el torno y también porque este nos presentaba mayor rigidez.
- Existen variables que se deben de tomar en cuenta con mayor rigidez para el correcto funcionamiento del mecanismo y para que los datos no arrojen tanto porcentaje de error con respecto a los valores teóricos.
- Este tipo de mecanismos tiene un gran campo de aplicación y un gran rango de estudios que pueden ser materializados con este mecanismo.
- Gracias al estudio de este mecanismo se tiene una mejor base para seguir parámetros de investigación y verificación de datos.

**Apéndice U: Fotografía del modelo físico construido por el equipo 2, los espárragos son de nylon y la barra central de PVC.**



## **Apéndice V: Secciones importantes del informe de uno de los equipos de simulación.**

### **Hipótesis del Trabajo:**

- **El par de tuercas giran idealmente un entero o fracción de vuelta iguales que deben dárseles a ambos.**

Debido a que debe suponerse que ambos giros se producen al mismo tiempo y se les aplica el mismo torque a ambos para que generen el efecto de tensión en los espárragos y apliquen idealmente igual la compresión en la probeta central.

- **Material Isotrópico.**

Se debe suponer que es un material que a lo largo de toda su estructura posee las mismas propiedades mecánicas y esto debido a que de lo contrario habría que hacer un análisis con distinto tipo de fórmulas con las que se han aplicado en este trabajo y que se han adquirido en las clases de la materia.

- **Material Geométrico.** Se ha supuesto un material idealmente geométrico; es decir, que ha pasado por el torno, fresadora y pulidora idealmente aunque se sabe que en la realidad no es así. Se ha procurado suponer esto debido a que sino las deformaciones y esfuerzos se verían afectados de la forma en que han sido calculados y analizados.

- **Los hilos de las roscas son iguales.**

Para una mayor coherencia en cuanto a los cálculos efectuados en las deformaciones de los espárragos y a que se supone que éstas giran idealmente iguales se tiene que suponer que los hilos de las roscas son iguales.

- **Los diámetros de los cordones son iguales.**

Debido a que se desconoce si el proceso de fabricación ha sido el mismo para los espárragos es necesario suponer que los diámetros están idealmente tratados mecánicamente una misma forma geométrica, al menos al cálculo de su diámetro.

- **Las tuercas son idealmente rígidas.**

Se supone esto debido a que si no se supone que las tuercas son idealmente rígidas en el momento de la simulación virtual como en los cálculos las tuercas tendrían deformaciones, y debido a que nuestro objeto de estudio son los espárragos y la probeta central se ha despreciado la deformación que se produciría si las tuercas no fueran rígidas.

- **La superficie de la probeta que se encuentra en contacto con los soportes no tienen desnivel, o sea es idealmente plano.**

Debido a que se tiene una situación idónea en cuanto al tratamiento mecánico de todas las piezas se ha propuesto suponer que la superficie es idealmente plana para evitar exponer cálculos erróneos ya que si fuera así la pieza estaría en movimiento, y para objeto de estudio es estático.

- **Aproximación de los datos reales a los obtenidos virtualmente.**

Debido a que se busca que tanto los proyectos que se han realizado físicamente y virtualmente tienen que estar de la mano también es de tener en cuenta que los resultados esperados sean los mismos.

### **Análisis de Resultados:**

Debido a los inconvenientes de rigor que el grupo didáctico-físico tuvo con respecto a las mediciones, se acordó no dar muestra de la comparación y aproximación de resultados físicos-simulación, sin embargo en una discusión con un miembro del grupo, se logró integrar en similitud de, hipótesis de trabajo y limitaciones en el desarrollo del proyecto.

En el caso de las hipótesis de trabajo verificamos que siete de ellas son iguales y la octava hipótesis la conservamos como grupo de simulación la cual es, “El par de tuercas giran idealmente un entero o fracción de vuelta iguales que deben dárseles a ambos”, por lo que como grupo se dio a la invención de dos nuevas propuestas para mejorar el modelo de prensa de compresión tomando en cuenta esta hipótesis de trabajo. Otro aspecto en el que se coincidió fue en la sugerencia tomada por la Ingeniera de la Universidad Centro Americana José Simeón Cañas, en que el elemento a analizar debía ser hueco y con un empotramiento fijo y otro articulado, como una semiesfera en uno de los soportes, esto debido a que resultaría más fácil la medición del elemento solo por ser hueco, espacialmente se alcanzaría a concebir una idea en una puesta de medición más cómoda.

En cuanto a las limitaciones, ambos grupos señalamos la diferencia entre la magnitud del proyecto y el tiempo invertido, al igual que la limitación de recursos técnicos, de medición (físico), computacionales (simulación).

### **Conclusiones:**

1. Acordamos dar por veraz la hipótesis de material Geométrico, ya que en el caso de simulación como se posee el software computacional, la pieza realizada es exactamente geométrica; esto al igual que sus otras características e hipótesis de trabajo, como señalar la rigidez de los soportes y las tuercas, material isotrópico, todas ellas proporcionadas por el software.
2. De los cálculos realizados a mano, en Matlab y en simulación SolidWorks, los tres coinciden en que, las fuerzas sobre la probeta es el doble que la de los cordones tanto en el cilindro sólido como el hueco; en comparación con los

esfuerzos de probeta-cordones se observa un cambio significativo del elemento sólido al hueco, ya que en el elemento sólido el esfuerzo calculado en la probeta tiene aumentar en más de 4 veces el valor esfuerzo probeta-cordones.

3. En versatilidad de uso por el programa Matlab calculadora de esfuerzos, cuya realización se detalla en el video, se coincidió en que a la hora del cálculo de esfuerzos, deformaciones y fuerzas para el modelo especificado, tomar únicamente el parámetro de la vuelta en la tuerca resulta muy conveniente y de gran facilidad para calcular parámetros más complejos por lo cual categorizamos al conjunto como eficiente en parámetros.
4. Sobre el Análisis de Pandeo<sup>2</sup> determinamos que de los cuatro tipos de “condiciones de extremos” en los cuales puede encontrarse una pieza bajo fuerzas de compresión, nuestro modelo está con dos extremos fijos, lo cual ocupamos  $Le = 0.5L$ , la cual  $L$  es la longitud del elemento, incluimos la ecuación del esfuerzo de pandeo crítico:

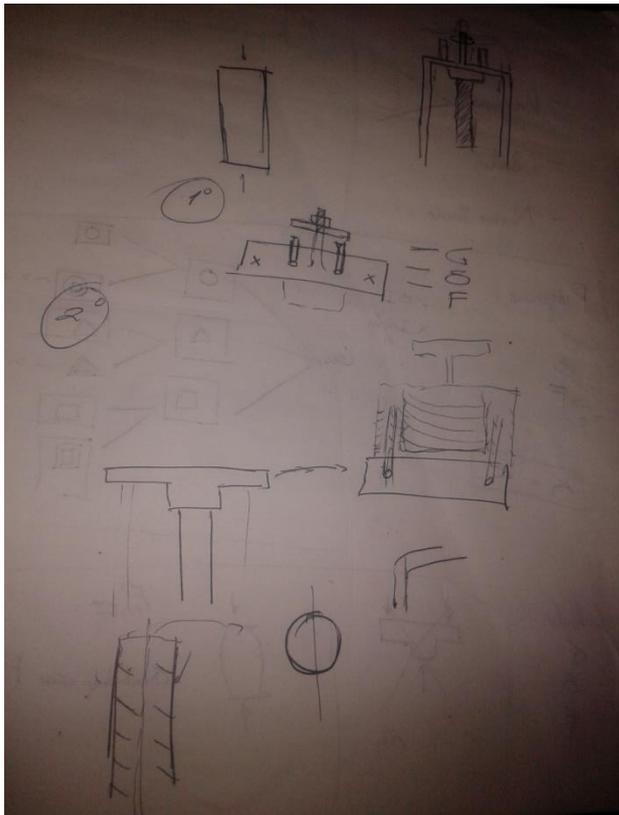
$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 EI}{A_{elemento} L e^2}$$

De ella se procede a comparar con esfuerzos obtenidos y verificar si esta falla bajo pandeo.

5. En cuanto a los inconvenientes propios del grupo físico en cuanto a dificultades de medición o de manipulación del conjunto, el grupo de simulación propone dos nuevas invenciones del modelo para mejorar únicamente la hipótesis de trabajo que consiste en que no se tiene control sobre el giro simultáneo y sincronizado de las tuercas en el conjunto original, estas dos propuestas se realizaron debidamente como idea en papel y por motivos de tiempo no se lograron en versión de modelaje y mucho menos en pruebas de estudio físico de simulación, aquí en la imagen se explica:

---

<sup>2</sup> Ferdinand P. Beer y otros, Mecánica de Materiales, 6ª. Ed. McGraw – Hill, México, 2013, pág 532-539



Ambas propuestas tienen como finalidad girar una sola tuerca para evitar la mal logración de dos de ellas, en la primera se propone un diseño de soporte con dos barras saliendo de ella como misma pieza y una central rosacada en esta central irian una placa rigida que toparia con las dos barras del soporte y en conjunto con la tuerca darian el resultado supuesto del modelo original.

La segunda propuesta es mas ambisiosa ya que consiste un tambor roscado, lo especial de este modelo es que los pernos no van roscado de la forma convencional sino de una forma presisa se han ranuras en mitades de la barra a lo largo de ella en consideracion que coincida con el

roscado de, el tambor que es un elemento cilindrico hueco y con otro elemento cilindrico roscado en su cara externa pero este dentro del primero lo cual da un roscado interno y uno externo acoplados a las ranuras especificadas de los cordones, luego encima de este tambor se coloca una palanca para darle razón de vuelta y de esta forma asemejar el modelo al original pero esta vez con un control absoluto del numero de vueltas.

### Alcances y Limitaciones Durante el Desarrollo del Proyecto:

#### **Limitaciones**

3. El poco recurso para el aprendizaje del uso de solidworks ya que; a pesar, que se recibieron capacitaciones y que se posee de un profesional que imparte el uso de este programa, no se dispone de recursos computacionales que ejecutarían mejor solidworks, como lo sería la licencia para el uso de simulación en solidworks

**Solución:** Poder conseguir algún equipo especializado, ya sea dentro de la universidad o fuera de ella, donde se tengan el recurso que lleve a cabo el programa solidworks con mayor fluidez, como el uso de computadoras de diseño o incluso la adquisición licita del programa para poder realizar la simulación.

4. La poca independencia del tiempo; debido a que se depende de los resultados del proyecto físico para posteriormente hacer la simulación virtual basándonos en ese resultado; es decir que, luego de que ellos realicen el proyecto y se tenga en físico se facilitarían, la simulación virtual para que esta quede acorde con el proyecto real, y detalle los efectos mecánicos, así como se observarían en la realidad y luego comparar los resultados virtuales vs resultados físicos.

**Solución:** Se podría basar primero en los planos del proyecto físico y luego cuando se tenga el proyecto real, realizar la simulación en base a las piezas y los efectos mecánicos que se observan.

5. Poca Claridad en el desarrollo del trabajo. Debido a que muchas veces hubo cierta incertidumbre con respecto a lo que se quería lograr del experimento en simulación virtual y que se prestaba mucha más atención por parte del docente al proyecto físico, faltaban detalles en cuanto al objetivo del proyecto virtual.

**Solución:** Dejar detallados desde el principio los aspectos a evaluar del proyecto de simulación virtual así como lo que se requiere en cada avance y en la entrega del proyecto junto con el reporte para evitar incertidumbres con respecto a la entrega.

6. Una de las mayores dificultades en cuanto al desarrollo del programa ha sido lograr la simulación dinámica de la pieza. Ya que se ha contado con la versión demo del programa y no con la completa que tiene la licencia para hacer simulaciones nos hemos tenido que limitar a hacer un video con la persona que tiene completa la licencia y que realizo las simulaciones respectivas del programa.

**Solución:** Para futuros proyectos contar con programas que se tenga la versión completa ya que así su uso puede ser más adecuado a lo que se solicita en el objetivo de la materia que era mostrar dinámicamente los esfuerzos y deformaciones cuando se le aplican fuerzas a la pieza hecha.

### **Alcances**

3. La capacitación que se impartió por el Ing. Ikeya Uría, ya que sin esas capacitaciones sería imposible el buen uso del programa Solidworks debido al poco conocimiento que se adquiriría por parte de los estudiantes acerca de este programa pero que guiados por el Ing. Ikeya se pudo desarrollar y llevar a cabo el proyecto de simulación virtual, culminando con la clase expositiva donde se mostraba el dinamismo de la pieza al realizarle su simulación.

4. La facilidad que hay para la organización del grupo, ya que llevar a cabo un proyecto que está basado en el uso de un programa computacional, da mayores facilidades como: económicas: ya que no se requieren gastos para el uso del programa, facilidad con el horario: ya que se puede trabajar a cualquier hora, y docilidad en cuanto al manejo del tiempo debido a que depende del proyecto físico para la simulación virtual.
5. La forma de ver las cosas virtualmente y utilizar la tecnología computacional para el desarrollo y solución de los problemas aplicados en la materia impartida. Ya que esto facilita a los estudiantes la mejor comprensión de temas como deformación y esfuerzo y la aplicación de ellos en proyectos reales y en este caso, virtuales; esto sirvió de material de apoyo para la comprensión de la materia en sí.
6. La apertura ante recursos tecnológicos como lo son el programa SolidWorks y el programa Camstasia que se usa para la realización del video. Estos programas nos permiten no solo para desarrollarlos con esta materia sino para el uso como herramientas de apoyo en materias futuras que se necesite la fabricación y simulación de piezas(solidworks) y presentación de tutoriales o video para exponer estas piezas (Camstasia), así se da facilidad a nosotros los estudiantes para desarrollarnos como estudiantes integrales.

## **Currículum Vitae**

### **Saturnino Gámez Guadrón**

Ingresó a la docencia universitaria como instructor en el Departamento de Física de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) de la Universidad de El Salvador (UES) en octubre de 1978. Obtuvo su grado de Ingeniero Mecánico en 1981 en la UES. En 1985 fue trasladado a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la misma Facultad. En 1986 participó en el VI Curso Panamericano de Metalurgia y Tecnología de los Materiales realizado en el Departamento de Materiales de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, obteniendo el post-grado en esa área. En 1987 es nombrado Profesor Universitario, impartiendo cursos en el Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación y asesorando y coordinando proyectos y trabajos de graduación en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UES. En 1990 es nombrado jefe del Departamento de Metalurgia y Tecnología Mecánica, impulsando reformas en el mismo que repercutieron en el plan de estudios. Diseño e implementó las asignaturas de Ciencia de los materiales I y II que sustituyeron a la asignatura de Metalurgia; la asignatura de Solidificación y Tratamientos Térmicos fue dividida en dos materias especializadas: Tecnología de la Fundición fue una y Tratamientos Térmicos la otra. Apoyó el proceso de construcción de equipo para reforzar los laboratorios tales como máquinas para pruebas de impacto, para ensayo Jomini, para pruebas de torsión entre otras. En el año 2002 regresa al Departamento de Física impartiendo materias como Métodos Experimentales y Física. También se desempeña desde hace 14 años como profesor hora – clase en la Universidad Don Bosco impartiendo las cátedras de Ciencia de los Materiales y Resistencia de los Materiales para las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica. Obtiene su Maestría en Educación con acentuación en Enseñanza de las Ciencias en la Universidad Virtual del Instituto Tecnológico de Monterrey en 2014.