



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS



DISEÑO DE UN MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA INTRODUCCIÓN AL  
ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS  
FINITOS ADAPTADO A LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS  
AVANZADAS

Prof. José Quintana  
Tutor

Autor (es):  
Br. Camejo Johan  
C.I.: 21.153.302  
Br. Rodríguez Yuletsy  
C.I.: 22.204.438

noviembre de 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS



DISEÑO DE UN MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA INTRODUCCIÓN AL  
ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS  
FINITOS ADAPTADO A LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS  
AVANZADAS

(Trabajo Especial de Grado presentado como requisito para obtener el título de  
Ingeniero Civil de la Universidad de Carabobo)

Prof. José Alberto Quintana

Tutor

Autor (es):

Br. Camejo Johan

C.I.: 21.153.302

Br. Rodríguez Yuletsy

C.I.: 22.204.438

noviembre de 2016



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS



**DISEÑO DE UN MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA INTRODUCCIÓN  
AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE  
ELEMENTOS FINITOS ADAPTADO A LA UNIDAD CURRICULAR DE  
ESTRUCTURAS AVANZADAS**

**Elaborado por:**

Br. Camejo Johan C.I.: 21.153.302

Br. Rodríguez Yuletsy C.I.: 22.204.438

**Tutor:** Prof. José Alberto Quintana

**Año:** 2016

**RESUMEN**

Los avances tecnológicos han permitido evolucionar el análisis estructural significativamente empleando cada vez los recursos disponibles para la obtención de mejores resultados. Esta consecuencia se observa en Ingeniería Civil, en el cual resulta necesario la utilización de distintos programas de computación acerca del cálculo estructural, generalmente formulados para realizar el análisis estructural mediante el método de los elementos finitos (MEF). De modo que resulta importante para el estudiante obtener información al respecto, en especial dentro de la unidad curricular de Estructuras Avanzadas, es por ello que esta investigación tiene como propósito aportar un material adaptado a la tecnología de información y comunicación que introduzca conocimientos para el análisis estructural mediante el MEF, resaltando que esta iniciativa se delimita en ofrecer a los estudiantes una breve introducción a la teoría del método. El mismo se constituye de contenidos prospectivos derivados de la investigación de los tópicos presentados en distintos ámbitos de la educación e investigación de las Universidades Internacionales; la Universidad de Berkeley, Universidad Nacional Autónoma de México y como Nacionales; la Universidad Central de Venezuela. Esta investigación es de tipo descriptiva bajo un diseño de investigación documental, con una población y muestra de cinco (5) docentes de la Cátedra de Estructuras, la recolección de datos se realizó mediante formularios. Finalmente se ha obtenido la aceptación de la propuesta en el 80% de la totalidad de la muestra.

**Palabras Clave:** Estructuras, Elementos finitos, Material didáctico.



CARABOBO UNIVERSITY  
ENGINEERING FACULTY  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF STRUCTURES



**DESIGN OF A DIDACTIC MATERIAL FOR INTRODUCTION TO THE  
STRUCTURAL ANALYSIS BY FINITE ELEMENT METHOD UNIT  
ADAPTED TO ADVANCED CURRICULUM STRUCTURES**

**Author:**

Br. Camejo Johan      C.I.: 21.153.302

Br. Rodríguez Yuletsy      C.I.: 22.204.438

**Tuthor:** Prof. José Alberto Quintana

**Year:** 2016

**ABSTRACT**

Technological advances have allowed to evolve structural analysis significantly increasingly using available resources to obtain best results. This consequence is observed in Civil Engineering, it is necessary to the use of different structural calculation computer programs by using the method of finite elements. So that is important to the student obtain information to the respect, especially within the unit curriculum of structures advanced. Due to this this research has as purpose provide a material adapted to the technology of information and communication that introduce knowledge basic to the analysis elements finite method structural, highlighting that this initiative only delimits in proffer to students of a brief introduction to the theory of the method. the material is constituted by contents which have been provided through the research of them topical presented in different areas of the education e research of them universities international; the University of Berkeley, University national autonomous of Mexico and as national; the Central University of Venezuela. This research is of type descriptive low a design of research documentary, with a population and shows of five (5) teachers of the Chair of structural, the collection of data was led low forms applied to the shows in question. Finally is has retrieved the acceptance of the proposal in the eighty percent of the whole of it shows.

**Keywords:** Structures, Elements finite, Material didactic.



---

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo a Dios, por ser luz al darnos la salud, el conocimiento y la fuerza necesaria para la confección de esta investigación.

A nuestra Ilustre Alma Máter, la Universidad de Carabobo, por brindarnos la oportunidad para la concesión de esta investigación.

Al Ing. Jose Quintana, por su profesionalismo ante su asesoría y disposición, en la realización de este trabajo de investigación.

A los profesores Ing. Slawko Bondarenko e Ing. Enrique Flores, por su atención y disposición de enseñanza.

A todas aquellas personas, que de alguna u otra manera colaboraron con la realización de este trabajo de investigación.



## INDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	6
INTRODUCCIÓN .....	15
CAPITULO I.....	17
EL PROBLEMA.....	17
1.1 Planteamiento del Problema .....	17
1.2 Formulación del Problema .....	18
1.3 Objetivos del Estudio .....	19
1.3.1 Objetivo General .....	19
1.3.2 Objetivos Específicos .....	19
1.4 Justificación del Estudio.....	20
1.5 Alcances 21	
CAPITULO II.....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	22
2.2 Fundamentos Teóricos .....	27
2.2.1 Tecnologías de la información y la Comunicación.....	27
2.2.1.1 Beneficios de las TICs aplicadas en la Educación .....	27
2.2.1.2 El Papel del Profesor y el Alumno en las Plataformas. Uso de las Herramientas de Comunicación Sincrónica y Asincrónica.....	28
2.2.1.3 Estado del arte de las TIC.....	29



---

2.2.2 Material Didáctico .....	31
2.2.3 Análisis mediante la matriz FODA .....	32
2.2.4 Criterios de clasificación curricular de los contenidos.....	33
2.2.5 Introducción al Método de Elementos Finitos .....	34
2.2.5.1 Breve Reseña Histórica .....	34
2.2.5.2 Método de Elementos Finitos .....	35
2.2.5.3 Discretización del Dominio .....	37
2.2.5.4 Tipos de elementos finitos .....	39
2.2.5.5 Análisis estructural Mediante el Método de elementos finitos .....	43
2.2.5.6 Función desplazamiento .....	44
2.2.5.7 Relación Deformación/ Desplazamiento Y Tensión/Deformación.....	46
2.2.5.8 Matriz de rigidez del elemento finito .....	49
2.2.5.9 Ensamblaje de Matrices, Matriz de rigidez Global del elemento .....	51
2.2.5.10 Condiciones de Borde o de Contorno.....	52
2.2.5.11 Desplazamientos generalizados .....	54
2.2.5.12 Obtención de tensiones y deformaciones .....	54
2.2.5.13 Interpretación de Resultados .....	55
2.2.5.14 Aplicaciones del método de elementos finitos.....	55
2.2.6 Notación empleada dentro de la Cátedra de estructuras.....	58
2.3 Marco Referencial .....	59
2.4 Marco Legal.....	61
2.4.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) .....	61



---

2.4.2 Decreto 825: “Decreto mediante el cual se declara el acceso y el uso de internet como política prioritaria para el desarrollo cultural, económico, social y político de la República Bolivariana de Venezuela” .....	61
CAPITULO III .....	63
MARCO METODOLÓGICO .....	63
3.1 Tipo de Investigación .....	63
3.2 Diseño de la Investigación.....	63
3.3 Población y muestra .....	64
3.3.1 Población 64	
3.3.2 Muestra 64	
3.4 Descripción de la metodología.....	65
3.4.1 Fase de diagnóstico .....	65
3.4.2 Fase documental.....	65
3.4.3 Fase de estructuración y Conceptualización de la Propuesta .....	66
3.5 Técnicas de Recolección de Datos.....	68
3.5.1 Instrumento de diagnóstico.....	69
3.5.2 Instrumento de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos en correlación al perfil egreso de la UC .....	70
3.5.3 Instrumento de Clasificación de Contenidos del Análisis Estructural Mediante el Método de Elementos Finitos.....	70
3.5.4 Validación del Instrumento de Clasificación de Contenidos del Análisis Estructural Mediante el Método de Elementos Finitos.....	71
CAPITULO IV .....	73





---

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
4.1 Fase de diagnóstico .....	73
4.2 Fase de documental.....	75
4.3 Fase de Estructuración y conceptualización de la Propuesta .....	79
4.3.1 ETAPA I: COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESADO UC CON EL MATERIAL DE MEF.....	79
4.3.2 ETAPA II: COMPETENCIAS DE INGRESO DEL ESTUDIANTE A LA UNIDAD CURRICULAR ESTRUCTURAS AVANZADAS .....	84
4.3.3 ETAPA III: CONTENIDO DEL ANALISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	87
4.3.4 ETAPA IV: DESCRIPCIÓN DE ESTRATEGIAS (MATRIZ DOFA) Y DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA.....	96
4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	111
4.4.1 Conclusiones.....	111
4.4.2 Recomendaciones.....	113
CAPITULO V .....	115
PROPUESTA .....	115
ANEXOS.....	117
MANUAL PARA EL USO DEL MATERIAL DIDÁCTICO .....	117
BIBLIOGRAFÍA .....	120



## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>TABLA 3</b> Condiciones de contorno de desplazamientos en vinculaciones de análisis estructural. ....	53
<b>TABLA 4</b> Condiciones de contorno de Fuerzas en vinculaciones de análisis estructural. ....	53
<b>TABLA 5</b> Instrumento de diagnóstico de un material digital en la Cátedra de ingeniería estructural de la Universidad de Carabobo acerca del Análisis Estructural mediante el Método de Elementos Finitos. ....	69
<b>TABLA 6</b> Instrumento de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos. ....	70
<b>TABLA 7</b> Instrumento de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. ....	71
<b>TABLA 8</b> Juicio de Experto para validación de criterios de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. ....	72
<b>TABLA 9</b> Formato de Presentación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos de la Universidad de Berkeley, California. ....	76
<b>TABLA 10</b> Formato de Presentación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos de la UNAM, México. ....	77
<b>TABLA 11</b> Formato de Presentación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos de la UCV, Venezuela. ....	78
<b>TABLA 12</b> Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos. ....	80
<b>TABLA 13</b> Análisis porcentual de la selección de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos. ....	82
<b>TABLA 14</b> Relación entre los pasos generales y contenidos de la Universidad de Berkeley ....	90



---

<b>TABLA 15</b>	Relación entre los pasos generales y contenidos de la UNAM .....	91
<b>TABLA 16</b>	Relación entre los pasos generales y contenidos de la Universidad Central de Venezuela .....	92
<b>TABLA 17</b>	Análisis porcentual de la Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. ....	94
<b>TABLA 18</b>	Juicio de Experto para validación de criterios de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. ....	101
<b>TABLA 19</b>	Capítulo I de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. ....	104
<b>TABLA 20</b>	Capítulo II de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. ....	105
<b>TABLA 21</b>	Capítulo III de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. ....	106



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cálculo de tensiones en una brida. <i>Nota.</i> <a href="http://estructurando.net/2015/04/13/verificacion-de-estructuras-mediante-el-mef-en-el-sector-energetico-parte-iii/">http://estructurando.net/2015/04/13/verificacion-de-estructuras-mediante-el-mef-en-el-sector-energetico-parte-iii/</a> .....	39
Figura 2. Elemento lineal. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	40
Figura 3. Elementos Bidimensionales. <i>Nota.</i> Figura de Autor.....	40
Figura 4. Elementos Tridimensionales. <i>Nota.</i> Figura de Autor.....	41
Figura 5. Sistema de referencia $u(x,y)$ y $v(x,y)$ para nodos. <i>Nota.</i> Figura de Autor	44
Figura 6. Valores nodales de desplazamientos $u(x,y)$ y $v(x,y)$ para el elemento triangular. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	45
Figura 7. Relación Tensión/Deformación. <i>Nota.</i> <a href="http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/matricial/matricial1.pdf">http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/matricial/matricial1.pdf</a> .....	48
Figura 8. Fuerzas nodales en elemento finito unidimensional. <i>Nota.</i> Figura de Autor. .....	50
Figura 9. Discretización de elementos finitos unidimensionales para determinar la matriz de rigidez global. <i>Nota.</i> Figura de Autor.....	52
Figura 10. Análisis de conexión a momento, viga-columna con plancha extrema mediante el método de elementos finitos. <i>Nota.</i> <a href="http://www.imgur.net/media/1261699133039744927_3206659132">http://www.imgur.net/media/1261699133039744927_3206659132</a> .....	56
Figura 11. Evaluación de pieza mecánica mediante el método de elemento finito. <i>Nota.</i> <a href="https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/09/07/postproceso-otro-paso-mas-en-el-analisis-mediante-elementos-finitos">https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/09/07/postproceso-otro-paso-mas-en-el-analisis-mediante-elementos-finitos</a> .....	56
Figura 12. Electromagnetismo mediante el método de elementos finitos. <i>Nota.</i> <a href="http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/10097/Article005.pdf?sequence=1">http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/10097/Article005.pdf?sequence=1</a> .....	57



---

Figura 13. Precios de libros fotocopiados en la Facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	73
Figura 14. Análisis porcentual del diagnóstico de un material digital en la Cátedra de estructuras de la Universidad de Carabobo acerca del Análisis Estructural mediante el Método de Elementos Finitos. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	74
Figura 15. Análisis porcentual de la selección de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	83
Figura 16. Análisis porcentual de la Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	95
Figura 17. Análisis porcentual de la validación de criterios de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	102
Figura 18. Diagrama de contenidos del capítulo I del material didáctico de la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	107
Figura 19. Diagrama de contenidos del capítulo II del material didáctico de la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	107
Figura 20. Diagrama de contenidos del capítulo III del material didáctico de la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	108
Figura 21. Material didáctico para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos adaptado a la unidad curricular de estructuras avanzadas. <i>Nota.</i> Figura de Autor .....	116



---

## INTRODUCCIÓN

Las exigencias laborales y los avances tecnológicos impulsan a la Universidad de Carabobo a promover el uso de información digital mediante los recursos disponibles el cual permitan incorporar recursos didácticos para el desarrollo de clases. Este advenimiento se observa en Ingeniería Civil, en el que cada vez resulta necesaria la utilización de distintos programas de computación relacionados con la formación académica de la carrera.

En consecuencia, se puede destacar a la Cátedra de Estructuras, en la cual uno de los aspectos importantes es la formación del estudiante en el análisis estructural conociendo los distintos métodos para su desarrollo. Entre los métodos avanzados para el análisis estructural se halla el Método de los Elementos Finitos (MEF), conocido como una herramienta de cálculo muy potente que le permite al ingeniero resolver infinidad de problemas, sin embargo, es un método que no facilita la solución “exacta” a un problema dado, sino que, en realidad, posibilita obtener una solución cercana a la real.

Este es conocido desde hace bastante tiempo, pero ha sido en los últimos años cuando ha sufrido un gran desarrollo gracias a los avances informáticos. Estos avances son los que han puesto a disposición de los usuarios gran cantidad de programas que permiten realizar cálculos con el método mencionado. Se debe tener en cuenta que, para manejar correctamente estos programas, es necesario tener conocimiento, no sólo del material o programa con el que se trabaja, sino también de los principios del MEF, de esta manera se podrá garantizar un análisis con los resultados obtenidos con este método que se ajusta a la realidad.



---

La realización del presente estudio se ha estructurado de la siguiente forma: Capítulo I, se plantea el problema de investigación junto a la formulación del mismo, los objetivos de la investigación, la justificación, las limitaciones y el alcance; Capítulo II, que presenta los antecedentes de la investigación y los aspectos teóricos necesarios para la obtención de respuestas a las interrogantes planteadas; Capítulo III, el cual abarca los aspectos metodológicos del trabajo desarrollado, se define el tipo de investigación así como el diseño y la técnica seguida; Capítulo IV, el cual incluye el análisis y la discusión de resultados de acuerdo a las fases de estudio, seguidamente se establecen las conclusiones de la investigación y las recomendaciones sugeridas. Capítulo V, se describe la propuesta de la investigación, por último, las referencias bibliográficas que dan soporte a la investigación



---

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del Problema

El desarrollo constante de la tecnología aplicada en el contexto educativo, corresponde una variable fundamental en el acontecer mundial, donde el fortalecimiento profesional es clave para atender los desafíos y los avances que demanda la sociedad, visto de esta forma, evolucionar y generar soluciones innovadoras permiten abordar problemas con efectividad, como lo indican Dyer, Gregersen y Christensen (2012) “(...) La innovación es la savia de nuestra economía global y una prioridad estratégica para casi todos los directivos de las empresas. El poder de las ideas innovadoras para revolucionar y generar riqueza ha sido una constante en la economía (...)” (p.05).

Atendiendo a los desafíos mencionados en la Declaración de la UNESCO (2004) respecto a la Educación Superior, es de urgencia vincular los conocimientos impartidos con las demandas tecnológicas actuales y realizar una actualización del contenido curricular, considerando la información pertinente de fuentes verídicas, responsables y autorizadas. Evidentemente, generar buenas ideas e innovar, conlleva a poderosas ventajas competitivas en el campo laboral. Quintana (2015) indica; “(...) se deben considerar las implicaciones que tienen las demandas del campo laboral en cuanto al perfil del egresado y las competencias profesionales, calidad y respuesta de desempeño, entre otros aspectos.” (p.07).

En este sentido, es importante aprovechar las oportunidades para la complementación de información difundida por distintos medios, como lo es la utilización de las Tecnologías de la Información y comunicación ante esta realidad, a





nivel nacional se promueven distintas visiones y modelos de desarrollo que involucran a la sociedad en la educación, no solo para formarse académicamente, sino también, para difundir y obtener información vigente de forma más sencilla, facilitando la aplicación de los conocimientos adquiridos.

En este orden de ideas, las exigencias laborales y avances tecnológicos impulsan a la Universidad de Carabobo, creyente de todo proceso evolutivo al mejoramiento continuo, que le permita al egresado, incursar en el desarrollo de nuevas habilidades y la aplicación de nuevas herramientas.

Actualmente existen herramientas de cálculo estructural que requieren de fundamentos teóricos, entre los cuales se encuentra el método de los elementos finitos, siendo este de gran importancia en la solución de problemas ingenieriles. En efecto, la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo se enfrenta ante esta realidad, dentro de la unidad curricular de Estructuras Avanzadas; la cual se centra principalmente en el proceso de aprendizaje del análisis estructural, resaltando que la mayoría de los software de cálculo estructural aplican la teoría del método de elementos finitos, por consiguiente, esta herramienta resulta ser de gran utilidad en el proceso de formulación de análisis y en la simulación de elementos estructurales.

### **1.2 Formulación del Problema**

En razón de trazar el rumbo y los lineamientos del presente estudio, se realizan una serie de interrogantes, el cual servirán para establecer posteriormente los objetivos de la investigación:

- a) ¿Cuál es el contenido referente al análisis estructural mediante el método de elementos finitos pertinentes a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas?



- 
- b) ¿De qué manera pueden desarrollarse los conceptos, términos y fundamentos teóricos claves del Método Elementos finitos adecuados a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas?
- c) ¿Qué herramienta puede implementarse para difundir el contenido del análisis Estructural mediante el método de elementos finitos adaptado a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas?

### 1.3 Objetivos del Estudio

#### 1.3.1 Objetivo General

Diseñar un material didáctico para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos pertinente a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar el contenido para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos pertinentes a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas.
- Adaptar los conceptos, términos y fundamentos teóricos del Método Elementos finitos al contenido de la unidad curricular.
- Crear un material digital para difundir el contenido para la introducción análisis Estructural mediante el método de elementos finito.



---

### 1.4 Justificación del Estudio

A nivel social, la información presentada mediante la tecnología de información y comunicación como apoyo en el acceso del contenido digital del método de elementos finitos, genera un impacto positivo en contraste al poder adquisitivo por libro y la utilización de recursos como el papel en general, evadiendo un poco el impacto económico y medioambiental.

A nivel tecnológico, los avances han obligado a desarrollar el conocimiento íntegro de los métodos de aproximación para el cálculo en la ingeniería, donde cada vez la precisión es mayor y por lo tanto es necesario el conocimiento analítico respectivo de las teorías de cálculo.

A nivel académico, el presente trabajo busca atender aquellas demandas de conocimientos relacionadas a la presentación del método de elementos finitos en la unidad curricular de Estructuras Avanzadas, en razón de establecer los conocimientos prospectivos; presentando fuentes fidedignas por medios efectivos los procedimientos analíticos como base teórica para el aprendizaje de los programas de análisis estructurales.

En resumen, se busca de manera objetiva diseñar un material didáctico que aborde el Método de elementos Finitos y pueda ser difundido a través del Aula virtual o cualquier otro medio que genere el acceso a la información presentada, adecuándose a la unidad curricular de Estructuras avanzadas, además de permitirle a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo una mejor comprensión y aprendizaje de las nuevas tecnologías en cuanto software de cálculo y análisis estructural logrando cumplir con las características que menciona el perfil del egresado y el plan de estudios.



---

### 1.5 Alcances

Los alcances de la presente investigación están orientados en razón de aportar un material adaptado a la tecnología de información y comunicación que introduzca conocimientos básicos para el análisis estructural aplicando el método de elementos finitos en forma teórica y práctica, resaltando que esta iniciativa es para ofrecer a los estudiantes una breve introducción a la teoría del método. A partir de esto se busca abordar las demandas del perfil egresado de la Escuela de Ingeniería Civil, como también promover el uso de información digital por medio del Aula virtual en la Cátedra de estructuras, incorporando los recursos didácticos para el desarrollo de clases y resaltando la actualización permanente con el aprendizaje continuo.



---

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

A los efectos de lo investigado por Quintana (2015), en la Universidad de Carabobo, se presentan las BASES PARA LA EVALUACION DE LOS PROGRAMAS DE LAS ASIGNATURAS PERTENECIENTES A LA CÁTEDRA DE ESTRUCTURAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO, en su trabajo de investigación expresa lo siguiente:

“El presente estudio tiene como objetivo general, proponer las bases para la evaluación de los programas de las asignaturas pertenecientes a la Cátedra de Estructuras en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo. De tal manera clarificar, enfatizar y hacer coherente este documento con los lineamientos institucionales expuestos en el perfil de formación profesional del Ingeniero Civil de la Universidad de Carabobo. (p.12)”

Por otra parte la metodología empleada en razón de orientar el estudio según los objetivos de la investigación, obedece a una secuencia sistemática descrita por medio de un conjunto de fases integradas e interdependientes entre sí. Las mismas, consistieron en: 1) Fase de Diagnostico, 2) Fase documental, 3) Fase de factibilidad de la propuesta, 4) Fase de Elaboración de la propuesta, 5) Técnicas e instrumentos de recolección de datos, 6)Validación interna, 7) Validación externa, 8) Análisis de datos. La población de la investigación, está representada por diez (10) docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo y la muestra que se adoptó, fue una muestra censal, debido a que quedó conformada por la totalidad de los componentes de la población, es decir, los diez (10) docentes.

En cuando a los resultados de la investigación se demuestra que las asignaturas presentan fallas a nivel de vinculación de contenidos y falta de temas actualizados y se



establece la propuesta de un listado de temas con carácter de actualización y prospectividad que puede incluirse dentro de las asignaturas, entre los cuales se encuentra como tópico el método de elementos finitos en la unidad curricular de Estructuras Avanzadas, siendo sometidos a las instancias administrativas y de gestión en la Facultad de Ingeniería.

Salcedo (2014), Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, brinda en su tesis de pre-grado la investigación titulada ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ASISTIDO POR COMPUTADOR (VIGAS-PÓRTICOS, PLACAS, SÓLIDOS DE REVOLUCIÓN), en el cual trata de forma objetiva el análisis de estructuras con el método de elementos finitos, empezando en primer lugar con el aprendizaje general del método y luego ejerce la aplicación a diferentes sistemas.

En su investigación, Salcedo expresa lo siguiente:

“Se demuestra que los resultados obtenidos por el método de elementos finitos en este caso representado con el script programado llamado FEMAX son los más cercanos posibles a los resultados aceptados por la comunidad de ingeniería, ya que estos fueron comparados con el software aceptados en forma standard como el SAP 2000 V14, en el ámbito comparativo se vio que los resultados obtenidos con el script programado en este caso por objetivos de la tesis FEMAX fueron satisfactorios obteniendo un error hasta de 0.01% por lo que se da como resultados aceptables y que se ha llegado a un caso satisfactorio de la presente tesis. (p.21)”

En este sentido, como aporte de esta investigación, se resalta la importancia del método de análisis por elementos finitos y su potencial aplicación en el campo laboral, considerando necesaria su comprensión holística en el ámbito académico.

Entre otros antecedentes que enmarcan esta investigación, Hurtado (2013), desarrolla el DISEÑO DE UNA COMUNIDAD VIRTUAL PARA EL APRENDIZAJE DEL DIBUJO DE INGENIERIA DIRIGIDA A LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO, con el fin de apoyar las actividades académicas de los docentes del departamento de dibujo y permitir la



interacción estudiante-profesor de forma que el docente desempeñe un rol de selector y evaluador de la información adaptada a sus estudiantes, es decir, servirá de soporte de información y acceso de recursos a estos. El desarrollo de esta investigación desde el punto de vista metodológico se enmarca dentro de la modalidad de proyecto factible, sustentado a su vez en una investigación no experimental de campo, de carácter descriptivo. La misma se dividió en dos etapas: Una de detección de necesidades, donde se realizó un diagnóstico sobre los conocimientos, habilidades y destrezas de los participantes en relación con el uso de las nuevas tecnologías de información y comunicación, seleccionándose una población de 60 estudiantes de la asignatura Dibujo I; a través de la aplicación de un instrumento validado previamente mediante el juicio de expertos en la materia; a fin de evaluar la posibilidad de implementar una herramienta en línea que fomente la comunicación entre docentes y estudiantes y que sirva de apoyo académico.

Por otra parte, en cuanto al análisis y resultados consistió en su primera fase en el diagnóstico para establecer las necesidades técnicas, operativas y económicas del curso en estudio. Luego, Hurtado expresa lo siguiente:

“La segunda fase contiene los criterios de diseño para la interfaz y uso de la Comunidad Virtual, para ello se estructuró de la siguiente manera: 1) A quien se dirige (Descripción del usuario), 2) Diseño Educativo, que incluye el conjunto de objetivos de aprendizaje y las competencias a desarrollar con los estudiantes 3.) La producción, que abarca los guiones didácticos, técnicos y de contenido y, 4) La realización, a fin de lograr una interfaz que genere una óptima interacción con el usuario. (p.21)”

En consecuencia, esta investigación aclara brevemente el proceso aproximado a seguir para la creación del material digital que se desea obtener en el presente estudio.

Por otra parte Velásquez (2011), Universidad de los Andes, realizó un estudio titulado “USO DE LAS TIC’S COMO HERRMIENTA PARA LA ENSEÑANZA DE ELECTROQUIMICA EN ESTUDIANTES DE 4TO AÑO”, en donde tuvo como propósito



presentar una posible solución a los problemas de bajo rendimiento escolar y dificultad para el desarrollo de actividades que faciliten la comprensión de los procesos electroquímicos desarrollando actividades que permitan la representación de los mismos de manera agradable, al introducir en el aula recursos que pocas veces son utilizados para la enseñanza de electroquímica. En el presente trabajo se menciona la metodología desarrollada como un proyecto factible mediante el diseño de campo, la población de estudios que brindo los datos necesarios para la elaboración de la propuesta para uso de las TIC's como herramienta para la enseñanza de electroquímica fue de cincuenta y siete (57) estudiantes y seis (6) docentes que imparten la asignatura de Química.

Considerando los resultados obtenidos en el análisis de los instrumentos aplicados luego de hacer uso de las TIC's como herramienta para el aprendizaje para electroquímica, se concluye que el diseño de estrategias pedagógicas debe integrar las TIC's a la enseñanza tradicional, no sustituirlas, haciendo de éstas, herramientas complementarias, por lo cual resulta factible elaborar una propuesta pedagógica para el uso de esta herramienta. Finalmente como consecuencia de los resultados se presentó una propuesta para el uso de las tic como herramienta para la enseñanza de electroquímica en estudiantes del cuarto (4to).

En relación a lo descrito anteriormente, se resalta la importancia de emplear herramientas de tecnología de información y comunicación efectivas como complemento didáctico que permita difundir cualquier información veraz académicamente.

En razón de sustentar la información a presentar en esta investigación, Cortez y Sotomayor (2011), Quito, presentan su trabajo de investigación titulado APLICACIÓN DEL METODO DE ELEMENTOS FINITOS Y PROGRAMAS COMPUTACIONALES EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN GALPON PARA EL





TALLER DE LA EMPRESA PROCOPET S.A., el cual tuvo como propósito diseñar el galpón para el taller de la empresa PROCOPET S.A. en base a la aplicación de programas computacionales que aplican el Método de diseño por elementos finitos (MEF), empleando como metodología de diseño 1) Selección del tipo y distribución de la estructura, 2) Determinación de las cargas que actúan sobre ella, 3) Determinación de los momentos y fuerzas internas en los componentes estructurales, 4) Selección del material y dimensionamiento de los miembros y conexiones para lograr seguridad y economía, 6) Revisión del comportamiento de la estructura en servicio, 6) Revisión final.

Por otra parte en relación al MEF, expresan lo siguiente:

“En la actualidad se aplican estos métodos de resolución de sistemas de ecuaciones simultáneas a través del computador.

A través de este método se pueden resolver muchos problemas en los diferentes campos:

1. Cerchas, vigas y pórticos rígidos
2. Placas y cascaras de forma y carga arbitraria
3. Estructuras compuestas
4. Recipientes a presión
5. Torsión en barras de sección irregular
6. Análisis dinámico de entremados, etc. (p.36)”

En cuanto a los aportes y conclusiones obtenidas de esta investigación, afirman que los programas computacionales, generalmente, se sustentan en la aplicación del método de elementos finitos de la misma manera brindan las definiciones fundamentales del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.



### 2.2 Fundamentos Teóricos

#### 2.2.1 Tecnologías de la información y la Comunicación

Según Soler V. (2008), en su trabajo de investigación expresa lo siguiente:

“Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), como concepto general viene a referirse a la utilización de múltiples medios tecnológicos o informáticos para almacenar, procesar y difundir todo tipo de información, visual, digital o de otro tipo con diferentes finalidades, como forma de gestionar, organizar, ya sea en el mundo laboral, o como vamos a desarrollarlo aquí en el plano educativo, donde ha llegado como una panacea que todo lo arregla y que sin embargo va a llevar un tiempo encontrar el modelo más adecuado a seguir en la educación, ya que no se puede cometer el error de abusar de su uso, pero hoy en día sería aún más erróneo su ausencia, ya que su uso como herramienta didáctica se antoja ya imprescindible (...)

(...) Por tanto podemos afirmar que el uso de instrumentos tecnológicos es una prioridad en la comunicación de hoy en día, ya que las tecnologías de la comunicación son una importante diferencia entre una civilización desarrollada y otra en vías de desarrollo.” Pág. (25)

##### 2.2.1.1 Beneficios de las TICs aplicadas en la Educación

Según Riveros V. (2000), en tal sentido se presentan algunos beneficios de las TIC aplicadas en la Educación:

- Aprendizaje vía al descubrimiento estructurado.
- Representaciones del conocimiento tipo red.
- Aprendizaje a través de la construcción, tipo arquitectura del conocimiento.
- Mayor interacción entre los educandos.
- Posibilidades de evaluación mediante diversas vías y estrategias.
- Posibilidades de atender diversos estilos de aprendizaje.
- Posibilidades para el aprendiz de “navegar” y crear su propio “tour” hacia la búsqueda y el logro de aprendizaje que le sean significativos.
- Mayor estimulación”



### 2.2.1.2 El Papel del Profesor y el Alumno en las Plataformas. Uso de las Herramientas de Comunicación Sincrónica y Asincrónica

Los autores Caberero y Llorente. (2005), afirman que:

“Para nosotros, en la formación a través de redes el papel del profesor y del alumno debe ser notablemente diferente, al simple hecho de subir y bajar documentos de la red, su impresión, y trabajo de forma memorística a través de la red. En contrapartida debe implicar la realización de una serie de actividades, individuales y colectivas, del alumno con la información presentada de forma que garantice la construcción significativa del conocimiento; es decir, la reelaboración cognitiva de la información presentada y la transformación en consecuencia de las estructuras mentales, aptitudinales y actitudinales presentadas inicialmente por el sujeto, antes del comienzo de la acción formativa.

Esta estructuración, se consigue, no tanto por la utilización de una u otra plataforma, sino más bien por la combinación de otra serie de variables, como ya señalamos anteriormente como son: las actividades que se desarrollan, las estrategias y técnicas didácticas que se movilicen por parte del profesor, la calidad de los contenidos presentados, la estructura sintáctica-semántica de los materiales, la tutoría virtual, y el manejo que se haga de las diferentes herramientas de comunicación que tanto profesor como estudiante tengan a disposición en la plataforma virtual.

Y es precisamente a este último aspecto, al cual nos vamos a dedicar en el último punto de nuestra intervención, asumiendo como principio básico director, que tal utilización implica aspectos notablemente diferentes al mero manejo instrumental”

Kofi Annan, en el discurso inaugural de la primera fase de la WSIS (Ginebra, 2003), menciona:

“Las tecnologías de la información y la comunicación no son ninguna panacea ni fórmula mágica, pero pueden mejorar la vida de todos los habitantes del planeta. Se dispone de herramientas para llegar a los Objetivos de Desarrollo del Milenio, de instrumentos que harán avanzar la causa de la libertad y la democracia y de los medios necesarios para propagar los conocimientos y facilitar la comprensión mutua”.



### 2.2.1.3 Estado del arte de las TIC

Debido al progreso e innovación de las TICs el enfoque del docente basado en clases magistrales, tiene una tendencia hacia una formación centrada en el alumno dentro de un entorno interactivo. Nicholas Negroponte, informático y arquitecto estadounidense, fundador de la MIT Medi Lab, se imaginaba proyectos de software que atravesarían en veinticuatro horas de este a oeste, de persona en persona el planeta. Microsoft necesitaría abrir sucursales en Londres y Tokio para producir software en tres turnos. La percepción de Negroponte sobre el futuro desde 1995, ha desarrollado de una manera innovadora la transformación de una idea, en un producto nuevo o mejorado en el ámbito de ingeniería en cuanto a las tecnologías de información y comunicación. Inicialmente los humanos empiezan a comunicarse mediante gestos o símbolos, en 1860 se inventa el teléfono, luego a finales de 1800 el radio y finalmente en 1960 se crea el internet, dándonos una amplia comunicación a nivel mundial.

**Análisis Macro:** La UNESCO como organismo especializado de las Naciones Unidas, tiene competencias excepcionales en los ámbitos de la educación, la ciencia, la cultura y la comunicación e información presento una guía donde se propuso un marco conceptual para las TICs, en la formación docente y describe las condiciones esenciales para una integración exitosa de las mismas.

**Análisis Meso:** La Corporación Andina de Fomento (CAF) es una institución financiera multilateral cuya misión es apoyar el desarrollo sostenible de sus países accionistas y la integración regional, promueve un modelo de desarrollo sostenible, mediante operaciones de crédito, recursos no reembolsables y apoyo en la estructuración técnica y financiera de proyectos de los sectores público y privado de América Latina. Este organismo expone el GRADO DE INCLUSIÓN DIGITAL como



la medida de acceso y uso de los servicios TIC para permitir la inserción de todos, ciudadanos, empresas y otras instituciones, en la sociedad de la información.

Esta inclusión digital, necesita dos elementos básicos, la tecnificación por una parte y por otra parte la conectividad. En cuanto a la tecnificación, indica que el número de hogares con computadores en Venezuela se sitúa próximo a la media mundial, específicamente, alrededor de un 35% de los hogares de la región cuentan con computadoras personales. Destaca que Uruguay con más de 60% de los hogares tecnificados, mientras que en el extremo opuesto se sitúa República Dominicana no alcanza todavía el 20% de la población. El déficit es mayor si se habla de la conectividad de los hogares, si bien la tecnificación de los hogares se sitúa en la media mundial, la conectividad de los hogares se sitúa por debajo del promedio mundial. En general, la conectividad sigue siendo una asignatura pendiente de la región Venezolana.

**Análisis micro:** Proyecto presentado ante la dirección de postgrado de la Universidad de Carabobo, adscrito a la línea de investigación de las TIC's de la facultad de ciencias de la educación. Este proyecto tiene por nombre "Utilización de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el proceso de aprendizaje de los estudiantes universitarios del área de ingeniería" desarrollado por Virsman Vásquez, el cual alega que el 100% de los estudiantes de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, ha tenido contacto con Pendrive's y teléfonos y celulares, lo que indica que son las TIC, más usada por los estudiantes. Así mismo expresa que un 43% ha usado los foros de discusión y los Blog un 57% ha tenido acceso a ellos, considerándose conveniente incluir en los programas de formación académica, la utilización de blogs en conexión virtual.



### 2.2.2 Material Didáctico

La educación antigua se regía por un modelo didáctico tradicional, que se centraba en enseñar sin importar demasiado cómo, no se estudiaban los métodos a fondo, ni los contextos en los que se intentaba impartir el conocimiento o la situación de cada individuo; actualmente a la hora de intentar enseñar es muy importante utilizar una didáctica que incluya un análisis previo del contexto de los alumnos en general y de cada individuo, que busque acercarse a cada uno y desarrollar las capacidades de autoformación, imprescindibles para que los conocimientos alcanzados puedan ser aplicados en la vida cotidiana de los individuos.

A fin de lograr establecer los principios generales acerca del material didáctico por la cual se ha enmarcado esta investigación, se resalta lo expuesto en el reglamento para la elaboración de un material didáctico según el Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Oaxaca (CECyTEO, México, 2009):

**Manuales didácticos:** Son considerados los trabajos que se diseñen para apoyar el aprendizaje significativo de los alumnos en los contenidos de las asignaturas correspondiente a los planes de estudio vigentes y que son integrados por varios tipos de materiales y metodologías. Dentro de los manuales didácticos se incluyen: Lecturas, videos...

En este sentido, se puede expresar que el material didáctico es aquel que reúne medios y recursos que facilitan la enseñanza y el aprendizaje. Suelen utilizarse dentro del ambiente educativo para facilitar la adquisición de conceptos, habilidades, actitudes y destrezas. Uno de los puntos fundamentales que debe cumplirse a la hora de elaborar el material didáctico es el equilibrio entre el volumen de información que se provea al lector y el incentivo a seguir aprendiendo e investigando que en él se genere.

Cabe destacar que no sólo los libros, manuales y similares pueden constituir un material didáctico; las películas, los discos, los programas de computación y los juegos, también pueden serlo. Aunque existe una gran variedad de categorizaciones de los



materiales didácticos, generalmente los autores coinciden en clasificarlos de acuerdo a la percepción auditiva, visual y/o audiovisual. En cuanto a la selección del material didáctico, es importante establecer una conexión entre lo que se quiere transmitir en el material y la accesibilidad que puede caracterizar al mismo, además de tener consonancia con determinados aspectos curriculares como:

- Objetivos del material
- Contenidos
- Perfil entrada del receptor
- Perfil de salida del receptor
- Estrategias didácticas a emplear

Los especialistas afirman que, para resultar didáctica, una obra debe ser comunicativa (tiene que resultar de fácil comprensión para el público al cual se dirige), tener una estructura (es decir, ser coherente en sus partes y en su desarrollo) y ser pragmática (para ofrecer los recursos suficientes que permitan al estudiante verificar y ejercitar los conocimientos adquiridos).

### **2.2.3 Análisis mediante la matriz FODA**

FODA es una sigla que significa Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas. El análisis FODA tiene como objetivo el identificar y analizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, permite conformar una Matriz de la situación actual del objeto de estudio.

Quintana (2015), indica que “La Matriz FODA es el nexo que permite pasar del análisis de un ambiente interno y externo hacia la formulación y selección de estrategias a seguir para cumplir metas, propósitos, objetivos y llegar al éxito” pág. (46).



En consecuencia, la realización de este análisis se elabora mediante un análisis interno y un análisis externo.

- **Análisis Interno:** este consta de un diagnóstico estableciendo las fortalezas internamente que intervienen para facilitar el logro de objetivos, y sus debilidades que impiden el alcance de metas de una manera eficiente y efectiva. En este caso se consideran los recursos materiales, financieros tecnológicos entre otros.
- **Análisis Externo:** engloba las condiciones o circunstancias ventajosas del entorno que pueden ser beneficiosas, considerando tanto oportunidades como las amenazas.

### **2.2.4 Criterios de clasificación curricular de los contenidos**

Establecer criterios resulta ser la clave para delimitar algún estudio, en este caso se trata de brindar una clasificación de los contenidos de la unidad curricular en relación a los contenidos del tópico “Método de elementos finitos” a fin de conocer la pertinencia introductoria del método en la unidad curricular de Estructura Avanzadas. Para ello se ha considerado como criterios para la clasificación de contenidos, los siguientes, Quintana (2015):

- **BÁSICO:** Representa lo esencial que garantiza el logro del objetivo.
- **PROSPECTIVO:** Entendiéndose por éste, lo vigente del contenido programático, a medio y largo plazo, en relación con el ejercicio de la profesión.
- **ACTUALIZACIÓN:** El contenido se encuentra vigente a la luz del perfil y del contexto social.





---

### 2.2.5 Introducción al Método de Elementos Finitos

#### 2.2.5.1 Breve Reseña Histórica

El método de elementos finitos ha tenido una gran trayectoria, siendo éste base de cálculo para muchas aplicaciones del presente. Éste método surge de la necesidad de poder predecir el comportamiento de algunos sistemas, y como consecuencia proceder a su diseño general de la forma más eficiente. En búsqueda de la satisfacción, desde hace décadas, se crearon prototipos de los sistemas, ensayando cada uno de ellos y modificándolos iterativamente para conseguir las mejoras necesarias, esta técnica resultaba costosa y suponía un período largo de desarrollo del producto.

Ante la dificultad de modificar el prototipo y el elevado coste que suponía, se estudió la posibilidad de crear modelos matemáticos mediante el uso de conceptos físicos, químicos y matemáticos que definieran el comportamiento del cuerpo. Dicho modelo es un sistema de ecuaciones cuyas incógnitas representan magnitudes que permiten describir el comportamiento del elemento. Sin embargo, las ecuaciones creadas eran directas y resultaban ser poco precisas, es aquí donde entra en juego el método de los elementos finitos, también conocido como análisis por elementos finitos, el mismo es una técnica de cálculo utilizada para obtener soluciones aproximadas en problemas de ingeniería entre otras ciencias.

A principios de los años cuarenta (1943) Richard Courant proporcionó el inicio del estudio mediante el método de elementos finitos, en su investigación propuso funciones de interpolación polinomiales por secciones para formular sub-regiones triangulares como un caso especial del método variacional de Rayleigh-Ritz, que obtiene soluciones aproximadas.

Unos años después, 1956, fueron Turner, Clough, Martin y Topp quienes presentaron el Método de elementos finitos (MEF) en la forma aceptada hoy en día. En



su trabajo introdujeron la aplicación de elementos finitos simples (barras y placas triangulares con cargas en su plano) al análisis de estructuras aeronáuticas, utilizando los conceptos de discretización y funciones de forma.

Las publicaciones clásicas por Argyris y Kelsey a mediados de los 50-as, hicieron surgir los conceptos de análisis de un continuo y análisis de marcos discretizando no sólo en nodos sino además en puntos intermedios de las barras, lo que marcó un crecimiento explosivo en el método del elemento finito.

Entre las aplicaciones de poblaciones antiguas con principios de éste análisis, se pueden a los egipcios, ellos empleaban métodos de discretización para determinar el volumen de las pirámides. Entre otros, se tiene la aplicación por Arquímedes (287-212 a.C.), del cálculo del volumen de todo tipo de sólidos o la superficie de áreas, el matemático Lui Hui (300 d. c.) empleaba un polígono regular de 3072 lados para calcular la longitud de las circunferencias, lograba una aproximación al número  $\pi$  de 3,1416.

Finalmente en la historia, el método de elementos finitos permitió la creación de modelos matemáticos computarizados, representado por un sistema de ecuaciones cuyas incógnitas son magnitudes que permiten describir el comportamiento del elemento. Actualmente, el método del elemento finito es utilizado con la ayuda de las computadoras, lo cual ha contribuido a su desarrollo al mismo ritmo que las tecnologías.

### **2.2.5.2 Método de Elementos Finitos**

Es una herramienta de cálculo que le permite a varias ciencias resolver infinidad de problemas, la idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en elementos discretos, es decir, en un conjunto de pequeños elementos



interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Sobre estos nodos, se definen las incógnitas fundamentales del problema, las mismas simbolizan en el análisis los grados de libertad de cada nodo, el cual representan las variables que determinan el estado y posición del nodo. En elementos estructurales, dichas incógnitas son los desplazamientos nodales. A partir de éstas se pueden determinar las demás variables de interés en el proceso de análisis.

Al respecto, Cortez y Sotomayor (2011) expresan que “De acuerdo con su principio básico se conoce con el nombre de Método de Elementos finitos, debido a que una estructura, en lugar de ser un conjunto de elementos diferenciales, se considera como un conjunto de piezas finitas (p.15)”

De modo que, emplear el método de elementos finitos implica pasar de un sistema continuo, (infinitos grados de libertad), regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

### Ventajas del Método de los elementos Finitos

Entre las ventajas que se encuentran al aplicar el análisis mediante el método de elementos finitos se destacan las siguientes:

- Una estructura modelada en MEF se asemeja mucho al cuerpo real que se analiza.
- Se pueden generar modelos de un dominio irregular.
- El modelado puede emplearse en cuerpos compuestos de diferentes materiales.
- Maneja comportamientos no lineales con grandes deformaciones y materiales no lineales.



### 2.2.5.3 Discretización del Dominio

Desde luego, el método de elementos finitos, considera una estructura como un conjunto de partículas de tamaño finito llamadas elementos finitos entrelazadas mediante nodos, Zienkiwics y taylor indican lo siguiente “(...) En muchos casos se obtiene un modelo adecuado utilizando un numero finito de componentes bien definidos (...)”. Este proceso en el cual se divide el sistema continuo se denomina discretización.

Fuentes (2011), indica que en todo sistema objeto de análisis se puede distinguir:

- “Dominio: es el espacio geométrico en el que se va a describir y analizar el Sistema. Se idealiza el sistema mediante regiones de tamaño finito (elementos).
- Condiciones de contorno: variables conocidas y que marcan la respuesta del sistema, como cargas, desplazamientos, temperaturas, entre otras variables.
- Incógnitas: variables del sistema que se desean conocer, teniendo en cuenta el efecto provocado por las condiciones de contorno sobre el sistema.

Dado que los sistemas pueden analizarse como continuos o discretos, resulta importante establecer el dominio en estudio, Zienkiwics y taylor “Los sistemas discretos serán aquellos en los que se define un número finito de elementos y los sistemas continuos aquellos que se rigen por ecuaciones con un número infinito de elementos implicados” (p. 01). Usualmente al definir un sistema sobre un dominio continuo, las expresiones equivalentes son válidas en todo su dominio y en cualquiera de sus partes exceptuando el caso de las condiciones de contorno, en el cual estas se condicionan a una respuesta.

En este aspecto, siendo indispensable la discretización, esta ha sido abordada para los problemas continuos mediante diversos métodos que permiten alguna



aproximación, tales como diferencias finitas, son aquellos basados en principios variacionales asociados a la minimización de alguna función y métodos de residuos ponderados, se caracterizan por aplicarse directamente sobre la ecuación diferencial y condiciones de contorno que rigen al sistema para obtener soluciones aproximadas, de modo que las respuestas se puedan acercar a la solución continua verdadera. Sin embargo, aun cuando en el problema se puede reducir el número de elementos en estudio, el refinamiento excesivo conduce a grandes sistemas de ecuaciones que pueden tornarse imprácticas en su resolución.

Realizar una discretización del dominio se traduce en generar una malla de elementos finitos que cubra todo el dominio, el método de elementos finitos considera una malla como una estructura formada por un conjunto de elementos de tamaño finito. Entre los principios del método se establece la numeración de los nodos que delimitan a cada elemento finito de la malla asociados a las coordenadas generalizadas, además cada elemento finito es estudiado de manera aislada para aplicar en éste la teoría clásica de cálculo.

Generalmente los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas generadores de malla. Los elementos deben hacerse lo suficientemente pequeño para dar resultados utilizables y todavía lo suficientemente grande como para reducir el esfuerzo computacional, como ejemplo, se puede mencionar el Cálculo de tensiones en una brida.

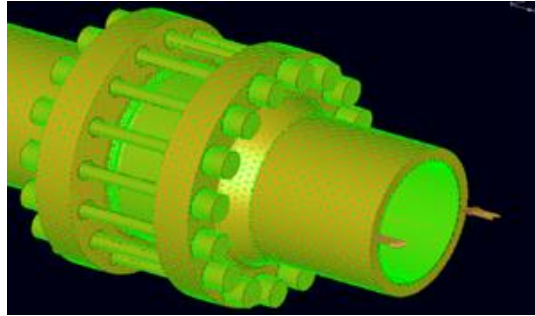


Figura 1. **Cálculo de tensiones en una brida.** *Nota.*

<http://estructurando.net/2015/04/13/verificacion-de-estructuras-mediante-el-mef-en-el-sector-energetico-parte-iii/>

#### 2.2.5.4 Tipos de elementos finitos

Un elemento finito es una subregión de un dominio, generalmente posee una geometría estándar conocida fácil de modelarse matemáticamente, de modo que cualquier estructura complicada puede dividirse en componentes más simples, adecuados a su forma general.

Por ejemplo un pórtico rígido puede tomarse como una agrupación de un cierto número de elementos subdivididos, siempre y cuando cumpla con las siguientes condiciones fundamentales:

1. Equilibrio de fuerzas
2. Compatibilidad de desplazamientos
3. Relaciones entre fuerzas y desplazamientos, determinados de acuerdo con las propiedades geométricas y elásticas de los elementos

En proceso de discretización, la precisión requerida en el análisis determinará la cantidad de elementos finitos empleados en la malla, de acuerdo a la geometría que se adopte para estos elementos se distingue una serie de nodos, es importante resaltar que un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos.

En el ámbito del análisis estructural, se pueden ubicar los tipos de elementos finitos de la siguiente manera:

- **Según su forma en el espacio**

- **Elementos Unidimensionales:** Se caracterizan los segmentos de estudio en los elementos del sistema. El elemento más simple (elemento lineal) con dos nodos, se trabaja con las incógnitas respecto al sistema cartesiano.

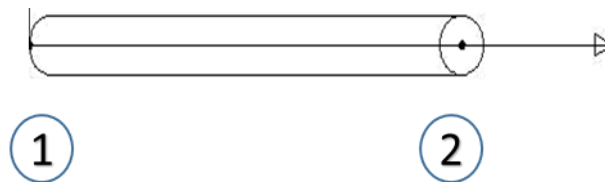


Figura 2. **Elemento lineal.** *Nota.* Figura de Autor

- **Elementos Bidimensionales:** se establece el tipo de figura plana geométrica que mejor se adapte al fenómeno en estudio, y se encuentre en las posibilidades del modelado matemático. Generalmente se caracterizan los elementos de figuras planas en el sistema, como Triángulos y rectángulos.

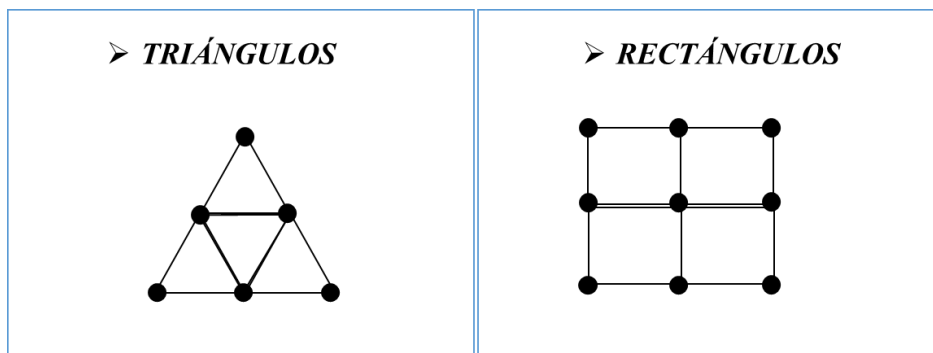


Figura 3. **Elementos Bidimensionales.** *Nota.* Figura de Autor

- **Elementos Tridimensionales:** se establece el tipo de figura geométrica espacial que mejor se adapte al fenómeno en estudio, y se encuentre en las posibilidades del modelado matemático. Generalmente se caracterizan los elementos cúbicos y piramidales de bases rectangulares o triangulares.

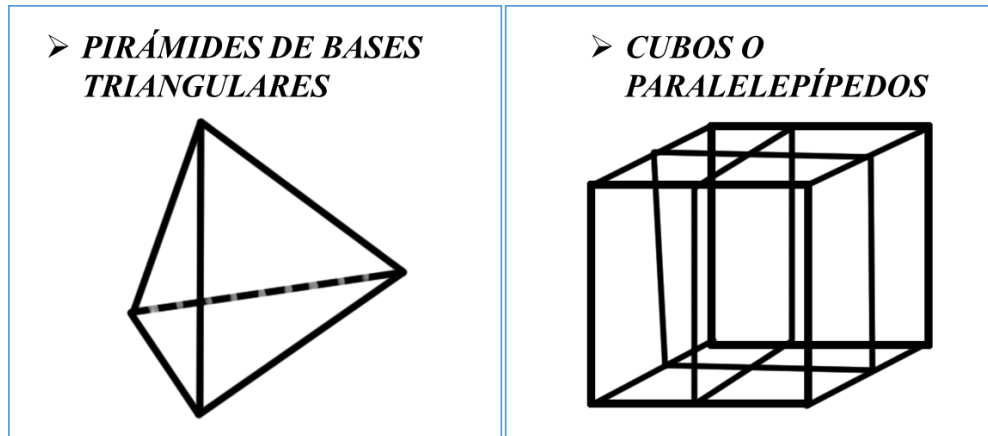


Figura 4. **Elementos Tridimensionales.** *Nota.* Figura de Autor

- Según su función en el sistema o modelo
- **Elementos planos 2D:**

**Hidrodinámicos:** Se utilizan en simulaciones que presentan la interacción de sólidos y fluidos, por ello la principal función es simular las cargas generadas por líquidos sobre estructuras.

**Cinemáticos:** Se utilizan para modelar partes de una estructura que experimentan pequeña deformación relativa durante la aplicación de las cargas. Este tipo de elemento posee masa y pueden transmitir carga, produciendo movimiento y tensiones en elementos flexibles.





---

**Sólidos Flexibles:** Simulan el comportamiento de los sólidos, es apropiado cuando el mismo experimenta flexión. También pueden incluirse en modelos sometidos a tensión plana o deformación plana.

- **Elementos Cáscara (SHELL)**

Son utilizados para simular el comportamiento de sólidos de sección transversal fina, tales como placas delgadas.

- **Elemento sólido**

Simula el comportamiento de un sólido sometido a diferentes tipos de cargas, su principal función es el análisis de estructuras de paredes gruesas.

- **Elemento tipo barra**

Son usados para introducir rigidez entre nodos, transmiten esfuerzos de tracción y compresión a lo largo de su eje. No se considera el efecto de pandeo

- **Elemento tipo viga (BEAM)**

Empleados para proporcionar rigidez a tracción y compresión; flexión o torsión entre nodos. Las cargas son aplicadas en la dirección perpendicular al eje longitudinal del miembro.



### 2.2.5.5 Análisis estructural Mediante el Método de elementos finitos

En el análisis estructural, una estructura modelada en MEF se asemeja mucho al cuerpo real que se analiza, para ello es importante cuidar los siguientes aspectos:

- La Discretización
- La Elección del Tipo De Elemento Finito

Los elementos en menor tamaño generan interés en donde los resultados están cambiando rápidamente, por ejemplo en donde se producen cambios en la geometría. En el análisis estructural mediante el método de elementos finitos se obtienen las respuestas nodales para distintos miembros estructurales como en columnas, muros, vigas, losas, entre otros el cual permiten la evaluación de una edificación en cuanto a su demanda y capacidad.

A fin de lograr seguir un proceso de análisis adecuado Zienkiwics y Taylor, indican:

Es difícil, por consiguiente, ver a primera vista como deben discretizarse los problemas (...). Esta dificultad puede resolverse y efectuarse la aproximación de la siguiente manera:

1. “El continuo se divide mediante líneas o superficies imaginarias, en un número de “elementos finitos”
2. Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos, llamaremos nodos, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán incógnitas fundamentales del problema, tal como ocurre en el análisis simple de estructuras.
3. Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento.
4. Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación dentro del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las deformaciones iniciales y las

propiedades constitutivas del material, definirán el estado de tensiones en todo el elemento y, por consiguiente, también sus contornos.

5. Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos. (p. 21)”

### 2.2.5.6 Función desplazamiento

La función desplazamiento es aquella definida para representar el desplazamiento generado en cada nodo del elemento finito, es decir, los **VALORES NODALES DE DESPLAZAMIENTO**, se establece otro sistema de referencia en cada nodo del elemento finito llamado  $u, v$ .

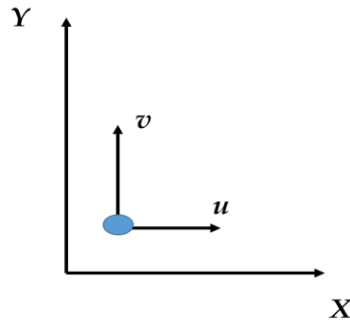


Figura 5. Sistema de referencia  $u(x,y)$  y  $v(x,y)$  para nodos. Nota. Figura de Autor

En consecuencia de la elección del tipo de elemento finito, la función desplazamiento estará asociada a una función de forma (N), generalmente, de tipo lineal, cuadrática, y polinomios cúbicos, son funciones frecuentemente usadas porque son fáciles de trabajar con formulación de elemento limitado. Sin embargo, se puede utilizar series trigonométricas, ésta permitirá registrar la información de cada nodo hasta representar los desplazamientos del elemento en estudio.

Por ejemplo:

En elementos de estudio bidimensionales, el campo de desplazamientos está en función de las coordenadas en su plano (sistema cartesiano, x-y). Las funciones se expresan en términos de los nodales desconocidos (en el problema bidimensional, en términos de x y un componente y) la misma función de desplazamiento general puede utilizarse repetidamente para cada elemento.

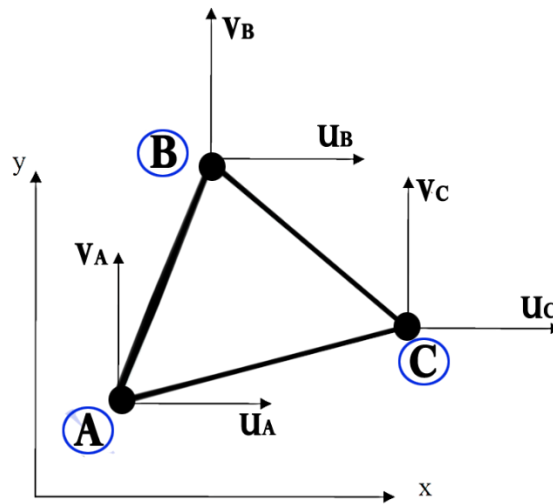


Figura 6. Valores nodales de desplazamientos  $u(x,y)$  y  $v(x,y)$  para el elemento triangular. Nota. Figura de Autor

Debido a que la función desplazamiento está relacionada con el tipo de elemento finito empleado en el análisis estructural, ésta debe ser afectada por la función de forma respectiva que pueda representar el comportamiento físico del elemento. Gracias a las funciones de forma se puede expresar el desplazamiento de todo el elemento finito triangular, a partir de los resultados obtenidos en cada nodo  $i$  que lo conforma.

$$u(x,y) = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 \\ 0 & N_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix}$$



La función de forma  $N(x,y)$  define la influencia del desplazamiento del nodo  $i$  en el desplazamiento total del punto  $P$  para las dos direcciones  $x$ ,  $y$  del elemento. Esta matriz tiene tantas filas como desplazamientos tenga el punto y columnas como grados de libertad haya entre todos los nodos del elemento. En su forma particionada:

$$N(x, y) = [N_A(x, y) \quad | \quad N_B(x, y) \quad | \quad N_C(x, y)]$$

Cada función  $N_i(x,y)$  se compone de funciones de forma asociadas al nodo  $i$  de todos los elementos que contienen ese nodo y se caracteriza por valer la unidad en el nodo  $i$  y cero en el resto de los nodos.

$$N(x, y) = \begin{bmatrix} N_A & 0 & | & N_B & 0 & | & N_C & 0 \\ 0 & N_A & | & 0 & N_B & | & 0 & N_C \end{bmatrix}$$

Finalmente, el campo de desplazamiento para este elemento puede expresarse en forma general de la siguiente manera:

$$u(x, y) = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_A & 0 & | & N_B & 0 & | & N_C & 0 \\ 0 & N_A & | & 0 & N_B & | & 0 & N_C \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_A \\ v_A \\ u_B \\ v_B \\ u_C \\ v_C \end{bmatrix}$$

**2.2.5.7 Relación Deformación/ Desplazamiento Y Tensión/Deformación**

Las relaciones deformación/desplazamiento y tensión/deformación son necesarias para derivar las ecuaciones para cada elemento finito, éstas son las que definen el comportamiento de los materiales en el análisis. En programas de análisis con el MEF, determinar ambas relaciones implica tener conocimiento de las características de los materiales, para ello se deben precisar las propiedades de cada uno como el Módulo de elasticidad, Coeficiente de Poisson, Densidad entre otros.



- **RELACIÓN DEFORMACIÓN/DESPLAZAMIENTO**

- En caso de **DEFORMACIÓN UNIDIMENSIONAL**, es decir, en la dirección  $x$ , se tiene tensiones en  $\epsilon_x$  relacionadas con desplazamiento  $u$  por:

$$\epsilon_x = \frac{du}{dx}$$

- En caso de **DEFORMACIÓN BIDIMENSIONAL**, es decir, en la dirección  $x, y$  tenemos tensiones en  $\epsilon_x, \epsilon_y$  relacionadas con desplazamientos  $u, v$  por:

$$\epsilon_x = \frac{du}{dx}, \quad \epsilon_y = \frac{dv}{dy}, \quad \gamma_{xy} = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}$$

Por ejemplo; en el caso del elemento triangular donde sus nodos son llamados 1, 2 y 3, se establece la relación deformación/ desplazamiento al sustituir los campos de desplazamientos aproximados por los elementos finitos en las expresiones de las deformaciones, y se obtiene para cada elemento:

$$\epsilon(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{du}{dx} \\ \frac{dv}{dy} \\ \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dN_1}{dx} & 0 & \frac{dN_2}{dx} & 0 & \frac{dN_3}{dx} & 0 \\ 0 & \frac{dN_1}{dy} & 0 & \frac{dN_2}{dy} & 0 & \frac{dN_3}{dy} \\ \frac{dN_1}{dy} & \frac{dN_1}{dx} & \frac{dN_2}{dy} & \frac{dN_2}{dx} & \frac{dN_3}{dy} & \frac{dN_3}{dx} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{bmatrix}$$

En forma matricial, una vez determinados los desplazamientos de la estructura, se expresa la relación Deformación/ Desplazamiento como:

$$\epsilon(x, y) = Bg \times u$$

La Matriz  $B_g$ , generalmente es llamada matriz gradiente, la misma estará compuesta por submatrices  $B_i$  de acuerdo a la cantidad de nodos tenga el elemento en estudio.

$$B_g(x, y) = [B_A(x, y) \quad | \quad B_B(x, y) \quad | \quad B_C(x, y)]$$

### - RELACIÓN TENSIÓN/DEFORMACIÓN

La más sencilla de las leyes de tensión/deformación, la Ley de Hooke, la cual es de uso frecuente en análisis de esfuerzos, está dada por:

$$\sigma_x = E \varepsilon_x$$

Donde  $\sigma_x =$  tensión en la dirección  $x$  y  $E =$  módulo de elasticidad.

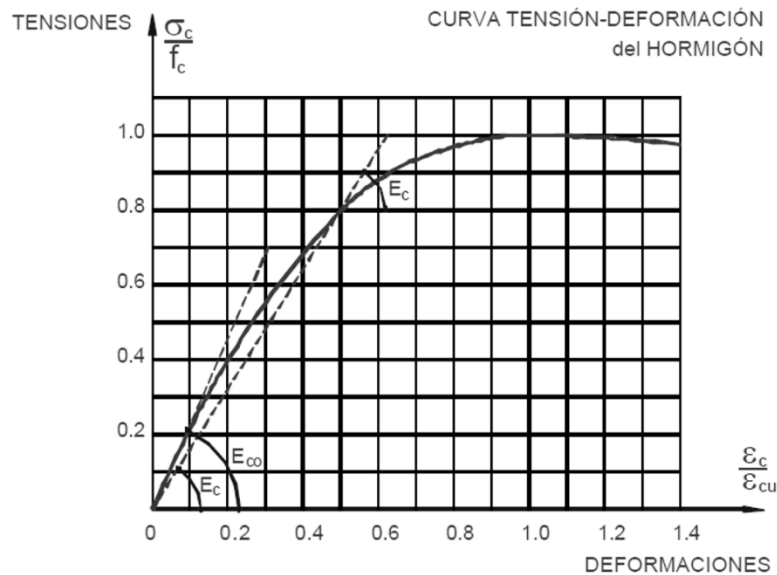


Figura 7. **Relación Tensión/Deformación.** Nota.  
<http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/matricial/matricial1.pdf>



Generalmente, en el contorno del elemento finito pueden existir deformaciones iniciales, tales como las debidas a cambios de temperatura. Al igual que las deformaciones iniciales, por lo que se considera la existencia de tensiones residuales iniciales.

$$\sigma = Dm(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0$$

*Donde:*

- $\sigma_0 =$  *Tensión inicial*
- $\varepsilon_0 =$  *Deformación inicial*
- $Dm =$  *Matriz de elasticidad que contiene las propiedades del material apropiadas*

### 2.2.5.8 Matriz de rigidez del elemento finito

La matriz de rigidez de un elemento es un arreglo bidimensional que representa los coeficientes de rigidez del elemento ante el sistema generalizado de fuerzas y desplazamientos del elemento. La misma se caracteriza:

- Relación fuerzas vs desplazamientos
- Es simétrica
- Cada coeficiente representa la fuerza debido a un desplazamiento unitario

Los términos de la matriz de rigidez dependerán del tipo de elemento finito que se esté estudiando y su consideración estructural en el análisis, que a su vez definen la cantidad de incógnitas. En relación a las incógnitas asignadas en los nodos, se puede decir que entre las principales en el análisis estructural se encuentra aquella que representa la fuerza nodal.



En este sentido, se define la relación de fuerzas actuantes en los nodos 1 y 2 con los desplazamientos de éstos a través de la matriz de rigidez del elemento finito. En forma de matriz compacta:

$$P = k \times u$$

Donde:

- $\{P\}$  es el vector de fuerzas nodales del elemento
- $[k]$  es la matriz de rigidez elemental,
- $\{u\}$  es el vector de los elementos desconocidos grados de libertad nodales o desplazamientos generalizados, n.

Aquí desplazamientos generalizados pueden incluir cantidades tales como desplazamientos reales, pendientes, o incluso curvaturas

Por ejemplo, Si se considera para este elemento finito solo fuerzas axiales en el análisis estructural, se obtiene El SISTEMA DE FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS como:

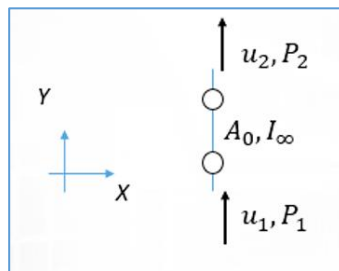


Figura 8. **Fuerzas nodales en elemento finito unidimensional.** Nota. Figura de Autor.

Donde  $p_1$  y  $p_2$  son las fuerzas axiales de cada nodo,  $u_1$  y  $u_2$  los desplazamientos de cada nodo.



La matriz de rigidez asociada a este elemento se establece como:

$$k_e = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} \\ -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \end{bmatrix}$$

Las fuerzas nodales podrán ser determinadas mediante las condiciones de contorno del elemento y la relación fuerzas vs desplazamientos.

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} \\ -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

### 2.2.5.9 Ensamblaje de Matrices, Matriz de rigidez Global del elemento

El objetivo es emplear un método a través del cual se logre definir una matriz de rigidez que englobe a los elementos finitos de la estructura. Existen varios métodos el cual pueden emplearse para la obtención de la matriz de rigidez global:

- Por definición
- Ensamblaje directo
- Transformación de coordenadas

El método empleado generalmente en elementos unidimensionales, debido a la facilidad del cálculo, es el método de ensamblaje directo o comúnmente llamado Método directo.

Por ejemplo, Si se quiere obtener la matriz global ahora para tres elementos finitos:

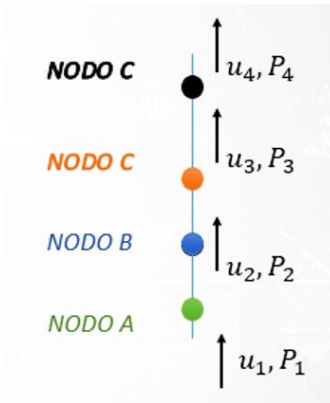


Figura 9. **Discretización de elementos finitos unidimensionales para determinar la matriz de rigidez global.** Nota. Figura de Autor.

En este caso, será suficiente conocer la matriz local del elemento y sumar el coeficiente de rigidez el cual coincide con el nodo compartido para obtener por el método directo la matriz de rigidez global.

$$K_e = \begin{bmatrix} k_{11}^{AB} & k_{12}^{AB} & 0 & 0 \\ k_{21}^{AB} & k_{11}^{BC} + k_{22}^{AB} & k_{12}^{BC} & 0 \\ 0 & k_{21}^{BC} & k_{11}^{CD} + k_{22}^{BC} & k_{12}^{CD} \\ 0 & 0 & k_{21}^{CD} & k_{22}^{CD} \end{bmatrix}$$

### 2.2.5.10 Condiciones de Borde o de Contorno

Fuentes (2011), indica que en todo sistema objeto de análisis se pueden distinguir “Variables conocidas y que marcan la respuesta del sistema, como cargas, desplazamientos, temperaturas, entre otras variables”. Definir cuáles son las condiciones de contorno el cual caracterizan a la estructura ayuda a establecer las fuerzas globales como variables de entrada para resolver el sistema de ecuaciones:

$$P = k \times u$$

Este arreglo matricial tiene como incógnita el vector de desplazamientos nodales  $\{u\}$  y puede resolverse mediante el uso de un método de eliminación (como el método de Gauss) o algún método iterativo. En caso del análisis estructural las condiciones de contorno que se pueden establecer se definen mediante los vínculos internos y externos.

**TABLA 1** Condiciones de contorno de desplazamientos en vinculaciones de análisis estructural.

<i>Internas</i>	<i>Externas</i>
<p><b>CONDICIÓN DE DESPLAZAMIENTOS PERMITIDOS POR CADA VINCULACIÓN</b></p>	

**TABLA 2** Condiciones de contorno de Fuerzas en vinculaciones de análisis estructural.

<i>Internas</i>	<i>Externas</i>
<p><b>CONDICIÓN DE FUERZAS NULAS POR CADA VINCULACIÓN</b></p>	



### 2.2.5.11 Desplazamientos generalizados

Los desplazamientos a considerar en la matriz global, son los que conforman al vector de desplazamiento generalizado, considerando los nodos de cada elemento finito. Conociendo al vector de desplazamiento generalizado como aquel que expresa el conjunto de coordenadas generalizadas de la estructura. Para solucionar el sistema de ecuaciones  $\{P\} = [k] \{u\}$ , que a veces resulta ser complejo, se pueden emplear los siguientes métodos:

- Métodos directos: éstos proporcionan una solución exacta del sistema luego de un número finito de operaciones como lo es el método de Gauss y el método de factorización de Cholesky.
- Métodos iterativos: en primera instancia se supone una solución inexacta y se va llegando a la solución exacta mediante aproximaciones sucesivas como lo es el método de Jacobi y el método de Gauss-Seidel.

### 2.2.5.12 Obtención de tensiones y deformaciones

La obtención de las deformaciones y tensiones se realizan mediante las relaciones Matriciales con los valores nodales de desplazamientos del sistema determinados en el análisis estructural mediante el método de elementos finitos.

- Deformaciones:

$$\varepsilon = Bg \times u$$

$Bg$ : Matriz gradiente

$\varepsilon$ : Deformación unitaria

$u$ : Desplazamientos

- Tensiones:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$E$ : Modulo de elasticidad

$\sigma$ : Tensión del elemento finito



### 2.2.5.13 Interpretación de Resultados

Una de las fases más importantes del análisis estructural es la determinación de ubicaciones en la estructura donde se producen grandes deformaciones y grandes tensiones. *Algunos Programas de procesado computacional, ayudan al usuario a interpretar los resultados mostrando en forma gráfica los resultados. La interpretación de resultados es clave para conocer donde deberá reforzarse algún elemento estructural como precaución ante una falla.*

Luego del análisis estructural, tanto los desplazamientos, deformaciones y tensiones se obtienen en los nodos establecidos en primer instancia. Si, una vez terminado el proceso de análisis, el analista cree que alguna de las etapas del análisis estructural hubo un error, ya sea por mala elección de la teoría de cálculo, una malla inapropiada o cualquier otro aspecto, éste puede hacer las modificaciones pertinentes y repetir los pasos del proceso que sigan hasta regresar a la etapa final.

### 2.2.5.14 Aplicaciones del método de elementos finitos

El Método de Elementos Finitos es una de estas técnicas numéricas, muy apropiada para su implementación en ordenadores debido a su facilidad en el manejo de algoritmos numéricos, rapidez en los cálculos y precisión de respuesta. Esta técnica puede ser aplicada para solución de problemas de Mecánica de Sólidos, Mecánica de Fluidos, Transferencia de Calor, Vibraciones, Etc.

- **Ingeniería estructural:** A menudo se realizan modelos que simulan el comportamiento estructural de edificaciones en concreto y acero estructural. Por ejemplo, existen modelos estructurales que permiten la revisión de Conexiones a momento, viga-columna con plancha extrema mediante el método de los elementos finitos.

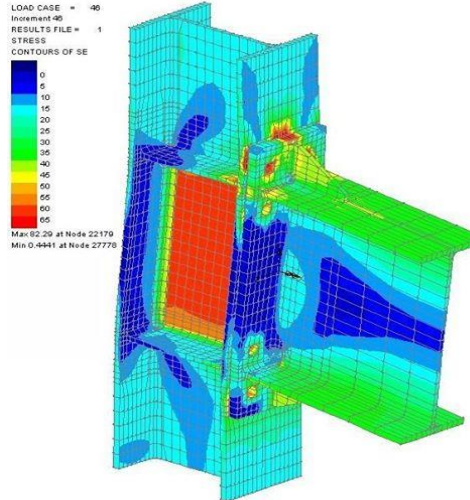


Figura 10. **Análisis de conexión a momento, viga-columna con plancha extrema mediante el método de elementos finitos.** *Nota.* [http://www.imgrum.net/media/1261699133039744927\\_3206659132](http://www.imgrum.net/media/1261699133039744927_3206659132)

- **Ingeniería mecánica:** la evaluación de piezas mecánicas mediante el modelado de componentes, ha disminuido sustancialmente el tiempo necesario para llevar los productos desde el concepto hasta la línea de producción. Los beneficios de la FEM implican una mayor precisión, un planteamiento mejorado y un mejor conocimiento de los parámetros críticos de diseño, creación de prototipos virtuales, menos prototipos de hardware, un más rápido y menos costoso ciclo de diseño, una mayor productividad y mayores ingresos.

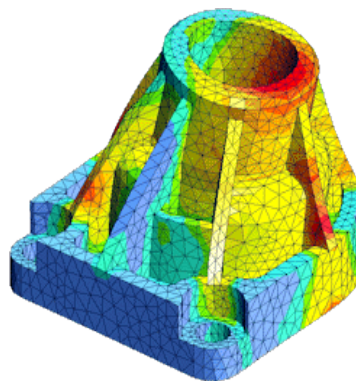


Figura 11. **Evaluación de pieza mecánica mediante el método de elemento finito.** *Nota.* <https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/09/07/postproceso-otro-paso-mas-en-el-analisis-mediante-elementos-finitos>

- **Ingeniería eléctrica:** En el campo de Ingeniería eléctrica existen software que utilizan procedimientos con el método de elementos finitos, con cualidades sobresalientes como la precisión y capacidad para manipular geometrías. En las aplicaciones electromagnéticas basadas en el método de elementos finitos, se consigue una buena discretización de campos eléctricos o/y magnéticos.

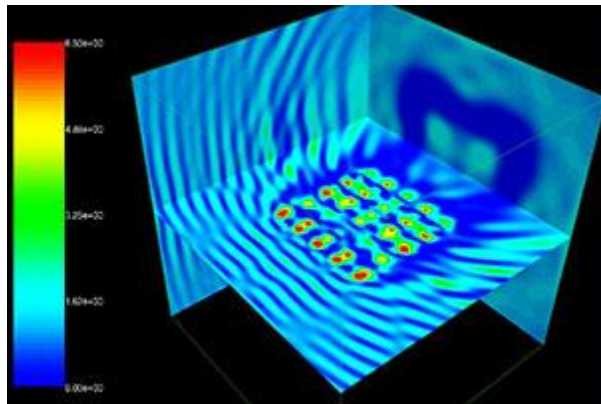




Figura 12. **Electromagnetismo mediante el método de elementos finitos.**

*Nota.* <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/10097/Article005.pdf?sequence=1>





2.2.6 Notación empleada dentro de la Cátedra de estructuras

		UNIVERSIDAD DE CARABOBO FACULTAD DE INGENIERÍA VALENCIA - VENEZUELA <u>ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</u>			
Notación		Folleto:		Libro:	
		(S. Lamar)		(Rubinstein)	
		(C. Fortoul)			
Q	Cargas generalizadas del sistema			Q	F
q	Desplazamiento generalizado del sistema (Desplaz. Nodal)			D	u
Q-q	Sistema de Coordenadas generalizadas o globales del sistema			Q-D	
K	Matriz de Rigidez del sistema (Q = Kq)			K	k
F	Matriz de Flexibilidad del sistema (q = FQ) (En general F = K <sup>-1</sup> )			F	a
P	Fuerza generalizada del elemento			q	P
p	Deformación generalizada del elemento			d	δ
P-p	Sistema de coordenadas locales del elemento			q-d	
k	Matriz de Rigidez del elemento (P = kp)			k	k <sub>s</sub>
f	Matriz de Flexibilidad del elemento (p = fP) (En general f = k <sup>-1</sup> )			f	α <sub>s</sub>
T	Matriz de Transformación				C
A	Matriz de Conectividad o Matriz Desplazamiento-Deformación (p = Aq)				A
B	Matriz de Equilibrio o Matriz Carga-Fuerza (P = BQ)				B
Relaciones de interés:					
p = A q		(Condiciones de compatibilidad geométrica)			
P = k p		(Relaciones constitutivas de los elementos)			
Q = A <sup>t</sup> P		(Condiciones de equilibrio)			
K = A <sup>t</sup> k A					
B = k A F					
Si q = T q* (* indica otro sistema de coordenadas generalizado)					
Q* = T <sup>t</sup> Q					
K* = T <sup>t</sup> K T					



### 2.3 Marco Referencial

En este apartado se desea conocer la pertinencia que se ha venido desarrollando dentro de la cátedra de estructuras respecto a la actualización de contenidos. Dentro de este orden de ideas, se conoce en forma general, que en estos últimos años catalogados como tiempos difíciles a nivel político, social y educacional, el sentido de pertenencia de los profesores ha sido el motor que conduce al desarrollo y mejoramiento continuo de cada unidad curricular. Presentando de manera autentica las clases dentro del aula, en correlación del diseño curricular, buscando siempre la calidad en la transmisión de información y su prospectividad.

En la cátedra de estructuras se ha desarrollado un estudio de la situación para el periodo académico 2014-2015 en cuanto a la pertinencia de los contenidos de las asignaturas Introducción al análisis estructural, Estructuras I, Estructuras II y Estructuras Avanzadas. Quintana (2015), indica lo siguiente:

“La revisión detallada de los contenidos programáticos mediante el proceso de Clasificación Curricular generó cierta lista de contenidos considerados como conocimiento previo. En Virtud del listado se permite la exclusión y/o reubicación de algunos temas, y se genera un espacio pertinente dentro del contenido programático que puede ser ocupado por nuevos contenidos con carácter de actualización y prospectividad en las asignaturas de la Cátedra de Estructuras. (p.225)”

Es importante destacar que dentro de los nuevos contenidos a considerar se encuentra como tópico especial del análisis estructural moderno dentro de la unidad curricular de Estructuras Avanzadas, la Introducción al método de elementos finitos. Como bien puede observarse en la unidad II en la siguiente figura:



## CAPITULO II



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 VALENCIA - VENEZUELA  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



### PROGRAMA SINÓPTICO

DEPARTAMENTO Y/O CÁTEDRA: **INGENIERÍA ESTRUCTURAL** REQUISITO: **IE6C05** FECHA: **1 / 2014**.

ÁREA DE FORMACIÓN: **PROFESIONAL ESPECÍFICA** CARÁCTER: **OBLIGATORIA**

CÓDIGO	ASIGNATURA	T	P	L	HT	UC
<b>IE7C08</b>	<b>ESTRUCTURAS AVANZADAS</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>4.5</b>

### JUSTIFICACIÓN:

Mediante la asignatura ESTRUCTURAS AVANZADAS, se estudia Estado del Arte Análisis Estructural a Nivel Mundial presentando el análisis manual y computarizado, se desarrolla el álgebra matricial orientada al Análisis Estructural aplicando la condensación de matrices, se aplica la formulación matricial del método de los desplazamientos realizando hojas de cálculo y análisis manual, se realiza la interpretación de data de análisis estructural y se construyen modelos matemáticos. Se desarrolla un esbozo del análisis y de temas básicos de la tecnología de elementos finitos. Además, se estudian los osciladores libres y forzados de 1 GL (amortiguados y no amortiguados), se aplican los conocimientos determinar de la ecuación diferencial de movimiento, se desarrolla el Movimiento de base, Transformada de Fourier, Planteamiento de impulso, Métodos numéricos, Método de Newmark para osciladores 1 GDL (elásticos y no elásticos), Espectros de respuesta elástica y no elástica.

**OBJETIVO GENERAL:** Al finalizar el curso, el alumno podrá:

- 1- Determinar e interpretar mediante el Análisis manual y Computarizado la Respuesta Estructural,
- 2- Construir de modelos matemáticos.
- 3- Reconocer los Temas básicos de la tecnología de elementos finitos
- 4- Determinar de la ecuación diferencial de movimiento.
- 5- Conocer método numéricos y Aplicar el Método de Newmark para osciladores 1 GDL

### CONTENIDOS:

#### UNIDAD I. ANALISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS

- Estado del Arte Análisis Estructural a Nivel Mundial, Análisis manual y Computarizado
- Algebra Matricial orientada al Análisis Estructural, Condensación de Matrices
- Formulación Matricial del Método de los desplazamientos (Análisis Manual y Hojas de cálculo)
- Estudio de la Respuesta Estructural, Interpretación de data y construcción de modelos matemáticos

#### UNIDAD II. TÓPICOS ESPECIALES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MODERNO

- Introducción al Análisis de elementos finitos
- Temas básicos de la tecnología de elementos finitos.

#### UNIDAD III. OSCILADORES DE 1 GL

- Osciladores libres de 1 GL no amortiguados y amortiguados.
- Osciladores forzados de 1 GDL no amortiguados y amortiguados.
- Ejercicios. Determinación de la ecuación diferencial de movimiento.
- Movimiento de base. Transformada de Fourier. Planteamiento de impulso.
- Métodos numéricos. Método de Newmark para osciladores 1 GDL (elásticos y no elásticos).
- Espectros de respuesta elástica y no elástica.
- Ejercicios.

### ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA:

1. Presentación de objetivos.
2. Clases magistrales para la presentación de contenidos.

Resolución de problemas dentro del aula.



### 2.4 Marco Legal

#### 2.4.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)

Artículo 108: Los medios de comunicación social, públicos y privados, deben contribuir a la formación ciudadana. El Estado garantizará servicios públicos de radio, televisión y redes de bibliotecas y de informática, con el fin de permitir el acceso universal a la información. Los centros educativos deben incorporar el conocimiento y aplicación de las nuevas tecnologías, de sus innovaciones, según los requisitos que establezca la ley.

Artículo 110: El Estado reconocerá el interés público de la ciencia, la tecnología, el conocimiento, la innovación y sus aplicaciones y los servicios de información necesarios por ser instrumentos fundamentales para el desarrollo económico, social y político del país, así como para la seguridad y soberanía nacional. Para el fomento y desarrollo de esas actividades, el Estado destinará recursos suficientes y creará el sistema nacional de ciencia y tecnología de acuerdo con la ley. El sector privado deberá aportar recursos para las mismas. El Estado garantizará el cumplimiento de los principios éticos y legales que deben regir las actividades de investigación científica, humanística y tecnológica. La Ley determinará los modos y medios para dar cumplimiento a esta garantía.

#### 2.4.2 Decreto 825: “Decreto mediante el cual se declara el acceso y el uso de internet como política prioritaria para el desarrollo cultural, económico, social y político de la República Bolivariana de Venezuela”

Artículo 1: Se declara el acceso y el uso de internet como política prioritaria para el desarrollo cultural, económico, social y político de la República Bolivariana de Venezuela.



## CAPITULO II



---

Artículo 5: El Ministerio de Educación, Cultura y Deportes dictará las directrices tendentes a instruir sobre el uso de internet, el comercio electrónico, la interrelación y la sociedad del conocimiento. Para la correcta implementación de lo indicado, deberán incluirse estos temas en los planes de mejoramiento profesional el magisterio.

Artículo 10: El Ejecutivo Nacional establecerá políticas tendentes a la promoción y masificación del uso de internet. Asimismo, incentivará políticas favorables para la adquisición de equipos terminales por parte de la ciudadanía, con el objetivo de propiciar el acceso a internet.



---

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

**3.1 Tipo de Investigación**

En relación al tipo de investigación, se resalta que la misma es de tipo descriptiva, considerando que “Los estudios descriptivos sirven para analizar como es y se manifiesta un fenómeno” (M. Hernández, Dr. Fernández y Dra. Baptista, 1997, p.77)

En este sentido, esta investigación se concentra en describir los aspectos que caracterizan básicamente al método de los elementos finitos, a fin de brindar un aporte a la unidad curricular de estructuras avanzadas de la Cátedra de Estructuras. El mismo es presentado mediante un material didáctico para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos constituido y estructurado a través del uso de la tecnología, información y comunicación.

**3.2 Diseño de la Investigación**

En cuanto al diseño de la investigación, desde el punto de vista metodológico se sustenta en una investigación documental, el cual “es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.)” (Zorrilla ,1993:43)

Dentro de este orden de ideas, la investigación presenta la consulta de libros y documentos a fin de atender las necesidades que involucran el desarrollo detallado y organizado de un material didáctico digital referente el análisis estructural mediante MEF adaptado a la unidad curricular de estructuras avanzadas perteneciente a la



---

Cátedra de Estructuras en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, el cual introduzca el conocimiento general del método y atienda a la formación holística del egresado implementando la tecnología, información y comunicación

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

Dentro del marco de la investigación, se define “población” como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Selítiz, 1974)” (Fernández y otros, 1997, p.262). Por ende, en razón de justificar dicha investigación y seleccionar una población representativa del estudio, considerando a los profesores de la cátedra de estructuras de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, se ha especificado como población a docentes con conocimientos del MEF y en el área de postgrado, en total cinco (5).

#### **3.3.2 Muestra**

“La muestra suele ser definida como un subgrupo de la población (Sudman, 1976)” (Fernández y otros, 1997, p.262). Dentro de este marco, se ha adoptado como muestra para la presente investigación, no probabilística y censal, conformada por la totalidad de los integrantes de la población a su vez éstos representan un número finito y contable de personas, lo cual propicia ampliamente las posibilidades para consultarlos.



### 3.4 Descripción de la metodología

La descripción metodológica obedece a la definición de todas y cada una de las actividades a desarrollar para llevar a cabo una secuencia sistemática que permita el desarrollo y cumplimiento de objetivos establecidos para la solución del problema planteado. En este sentido se ha discretizado el estudio en diversas fases descritas a continuación:

#### 3.4.1 Fase de diagnóstico

Esta fase se evaluó el conocimiento de algún material académico en la Cátedra de Ingeniería Estructural de la Universidad de Carabobo acerca del Análisis Estructural mediante el Método de Elementos Finitos., el cual pudiese ser facilitado a los estudiantes de la unidad curricular de estructuras avanzadas, para ello se aplicó el **“instrumento de diagnóstico”** presentado en los formatos de recolección de datos.

#### 3.4.2 Fase documental

Esta fase se planteó en cumplimiento del primer objetivo específico de la investigación. En primer lugar, se ha realizado un trabajo arduo en la investigación de los tópicos presentados en distintos ámbitos de la educación e investigación de las Universidades Nacionales e Internacionales, como Internacionales; la Universidad de Berkeley, Universidad Nacional Autónoma de México y como Nacionales; la Universidad Central de Venezuela.

Una vez recopilada la información se exponen en **“Formatos de presentación de contenidos”** el cual permiten observar de manera general los contenidos para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos en relación a la información documentada se definen los contenidos del material, seguidamente se





establece la clasificación de contenidos mediante los criterios de clasificación curricular y a través el instrumento denominado “**Instrumento de clasificación de contenidos**”, para ser aplicado y evaluado en las siguientes fases.

### 3.4.3 Fase de estructuración y Conceptualización de la Propuesta

Respecto al segundo y tercer objetivo de la investigación se establece la presente fase donde se determinan las competencias aportadas por la investigación y se realiza una vinculación con aquellas que se demandan en el perfil del egresado de la Universidad de Carabobo, para ello se aplican los instrumentos necesarios y se evalúan los resultados obtenidos, estableciendo finalmente los contenidos a desarrollar del método de elementos finitos mediante la conceptualización de la propuesta.

En este sentido, se realiza en primer lugar la revisión de competencias aportadas por los contenidos básicos, prospectivos y de actualización referentes al MEF en correlación a las competencias exigentes en el perfil egreso de la Universidad de Carabobo y se presentan aquellas posibles a desarrollar en el instrumento denominado “**Competencias aportadas al perfil egreso de la UC**”, seguidamente se ha aplicado este instrumento en conjunto con el denominado “**Instrumento de clasificación de contenidos**”, mediante una consulta a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo a fin de establecer los contenidos y competencias pertinentes en la elaboración de la propuesta. Los docentes, expresaron sus opiniones al respecto, seleccionando las competencias aportadas en correlación a los contenidos posibles a ser presentados como tópicos al análisis estructural mediante el método de elementos finitos adecuados a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas.

En segundo lugar, se evaluaron los resultados de los instrumentos aplicados a fin complementar toda base teórica en concordancia a la descripción de los contenidos que ofrecen una noción básica del MEF, de acuerdo a las aseveraciones de los evaluadores.



Seguidamente, se adaptaron los conceptos, términos y fundamentos teóricos del Método Elementos finitos al contenido de la unidad curricular. Para ello, se procedió a la consulta de referentes teóricos y conceptuales, que permiten evaluar estos contenidos y adaptarlos a la unidad curricular de Estructuras avanzadas.

En consecuencia, se definen un conjunto de etapas secuenciales a seguir y son las siguientes:

- a) ETAPA I: COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESO DE LA UC CON EL MATERIAL DIDACTICO DEL MEF
- b) ETAPA II: COMPETENCIAS DE INGRESO DEL ESTUDIANTE A LA UNIDAD CURRICULAR
- c) ETAPA III: CONTENIDO DEL ANALISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS
- d) ETAPA IV: DESCRIPCIÓN DE ESTRATEGIAS (MATRIZ DOFA)
- e) ETAPA V: DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA

*a) COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESO DE LA UC CON EL MATERIAL DIDÁCTICO DEL MEF*

Consiste en establecer las competencias desarrolladas por el uso del material didáctico del método de elementos finitos adaptado a la unidad curricular de estructuras avanzadas, fijando objetivos de aprendizaje para la facilidad de atención y comprensión de los contenidos del material.

*b) COMPETENCIAS DE INGRESO DEL ESTUDIANTE A LA UNIDAD CURRICULAR*

Se concentra en el esbozo de las competencias pertinentes en el perfil de ingreso del estudiante considerando a su vez el nivel donde se ubica la unidad curricular de Estructuras Avanzadas en la malla curricular de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo.



c) *CONTENIDO DEL ANALISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS*

En esta etapa se determinan los contenidos a ser desarrollados en el material establecido en la presente investigación, mediante la aplicación de instrumentos en el cual se cuenta con la participación de los profesores de la Cátedra de Estructuras. Se evalúan las observaciones emitidas al respecto para proceder con el diseño conceptual de la propuesta.

d) *DESCRIPCIÓN DE ESTRATEGIAS (MATRIZ DOFA)*

Se describen las estrategias afines, desarrolladas mediante el análisis de la Matriz Dofa de la Cátedra de Estructuras, vinculando sus debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas en relación a la unidad curricular de Estructuras avanzadas proporcionando las respuestas y contribución a las estrategias planteadas mediante el aporte de esta investigación.

e) *DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA*

En esta última etapa, se establece el diseño conceptual del material mediante la descripción de contenidos esquematizados, el ordenamiento del contenido dentro de cada parte del material, entre otras visualizaciones generales a fin de lograr las competencias del perfil de egreso del material en función de las competencias del perfil de ingreso de la unidad curricular de estructuras avanzadas.

### **3.5 Técnicas de Recolección de Datos**

Se basa en recolectar la información, mediante la aplicación de los instrumentos válidos y confiables a un determinado colectivo o sujetos de estudios. Para Brito (citado en Pérez, 2004) las técnicas son las que permiten



obtener información de fuentes primarias y secundarias. Por otra parte para (Pulido, Ballen, & F., 2007) el instrumento es un formulario diseñado para registrar datos observables que representan los conceptos o las variables que son de interés para el investigador. Dada la naturaleza de la presente investigación se implementa la técnica de recolección de datos mediante formularios aplicados a la muestra en cuestión.

### 3.5.1 Instrumento de diagnóstico

*TABLA 3 Instrumento de diagnóstico de un material digital en la Cátedra de ingeniería estructural de la Universidad de Carabobo acerca del Análisis Estructural mediante el Método de Elementos Finitos.*

<b>¿CONOCE USTED DE ALGÚN MATERIAL DIGITAL RELACIONADO AL MEF A SER FACILITADO A ESTUDIANTES DE LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS AVANZADAS?</b>		
<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>OTROS</b>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>DOCENTE EVALUADOR Y CIV</b>		



### 3.5.2 Instrumento de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos en correlación al perfil egreso de la UC

En el instrumento se han presentado las competencias aportadas por los tópicos referentes al MEF en correlación a las competencias exigentes en el perfil egreso de la Universidad de Carabobo. Al respecto se emitieron observaciones y la selección de aquellas competencias pertinentes a la presente propuesta.

*TABLA 4 Instrumento de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos.*

<b>COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESO</b>				
<b>INSTRUCCIONES</b>				
INDIQUE CUALES DE LAS COMPETENCIAS A CONTINUACIÓN, PERTINENTES A DESARROLLAR MEDIANTE EL ESTUDIO DE LOS TÓPICOS DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EN LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS AVANZADAS, RESPONDEN AL PERFIL EGRESO DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO				
DOCENTE EVALUADOR Y CIV: <b>(INDICAR NOMBRE Y APELLIDO, CIV)</b>				<b>(INDICAR PROFESION, OFICIO, NOMBRAMIENTOS)</b>
N°	COMPETENCIAS	SI	NO	OBSERVACIONES

### 3.5.3 Instrumento de Clasificación de Contenidos del Análisis Estructural Mediante el Método de Elementos Finitos

La estructura del instrumento a aplicar se encuentra en la metodología de Quintana (2015), se han presentado los contenidos pertinentes a los tópicos para la introducción del análisis estructural mediante el método de elementos finitos, en relación a las distintas investigaciones y contenidos referentes al MEF de la Universidad de Berkeley, Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Central de Venezuela.



Al respecto se emitieron observaciones diversificadas para ser presentado en la propuesta, además se categorizaron los contenidos en los criterios preestablecidos: Básico, Prospectivo y de Actualización. De modo que éstos representan aspectos importantes a considerar para la inclusión de los contenidos.

TABLA 5 Instrumento de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.

<b>INTRODUCCION AL METODO DE ELEMENTOS FINITOS</b>				
PLANILLA DE CLASIFICACION CURRICULAR				
ASIGNATURA DE INGENIERIA CIVIL	CRITERIOS DE EVALUACION			OBSERVACIONES
ESTRUCTURAS AVANZADAS	B A S I C O	P R O S P E C T I V O	A C T U A L I Z A C I O N	
DOCENTE EVALUADOR Y CIV				
(INDICAR NOMBRE Y APELLIDO, CIV)				
CURRICULUM DEL DOCENTE EVALUADOR				
(INDICAR PROFESION, OFICIO, NOMBRAMIENTOS)				

### 3.5.4 Validación del Instrumento de Clasificación de Contenidos del Análisis Estructural Mediante el Método de Elementos Finitos

La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir (Fernández y otros, 1997). En este caso se ha llevado la validez a juicio de experto con la participación de los docentes de la cátedra de estructuras de la Escuela de Ingeniería civil, para la revisión de los



### CAPITULO III



contenidos bajo los criterios preestablecidos (Básico, Prospectivo y de actualización) el cual logren adaptarse al contenido como introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos de la unidad curricular de Estructuras Avanzadas.

**TABLA 6** Juicio de Experto para validación de criterios de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.

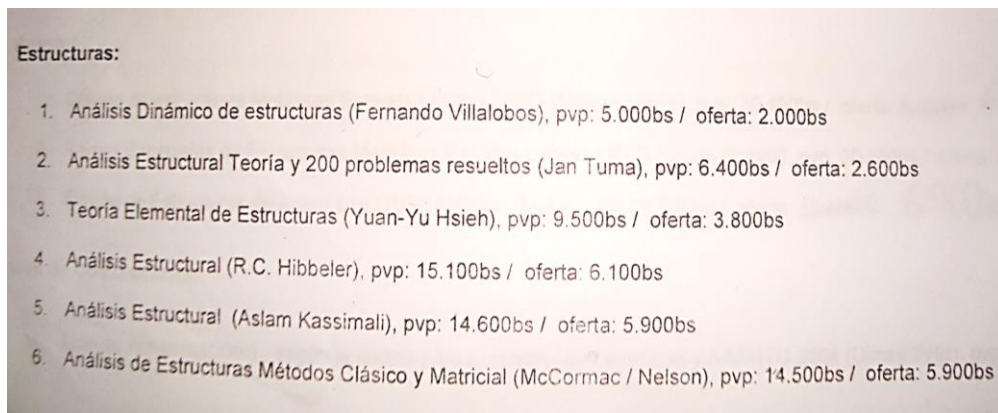
			
		UNIVERSIDAD DE CARABOBO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA INGENIERIA CIVIL <b>CÁTEDRA DE ESTRUCTURAS</b>	
			
<b>JUCIO DE EXPERTO</b>			
<b>¿ESTÁ DE ACUERDO CON LA APLICACIÓN DE LOS SIGUIENTES CRITERIOS PARA LA CREACIÓN DE UN MATERIAL DIDÁCTICO DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ADAPTADO A LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS AVANZADAS: BÁSICO, PROSPECTIVO E INTRODUCTORIO?</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>OTROS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>BÁSICO:</b> Representa lo esencial que garantiza el logro del objetivo.</li> <li>• <b>PROSPECTIVO:</b> Entendiéndose por éste, lo vigente del contenido programático, a medio y largo plazo, en relación con el ejercicio de la profesión.</li> <li>• <b>ACTUALIZACIÓN:</b> El contenido se encuentra vigente a la luz del perfil y del contexto social.</li> </ul>			

## CAPITULO IV

## DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

## 4.1 Fase de diagnóstico

Los materiales de apoyo con el cual se han relacionado los estudiantes de la cátedra de estructuras hasta ahora, han sido libros, guías fotocopiadas, ejercicios resueltos fotocopiados y materiales en formato PDF. En cuanto a los libros, el estudiante tiene la posibilidad de adquirirlos como préstamo en la biblioteca presentando su carnet de biblioteca respectivo, éste dispone de este libro durante dos o tres días máximos para devolverlo, siendo poca la disponibilidad de lectura, algunos optan por fotocopiarlos, incurriendo un costo que puede ser útil para otras necesidades.



Estructuras:	
1. Análisis Dinámico de estructuras (Fernando Villalobos), pvp: 5.000bs / oferta: 2.000bs	
2. Análisis Estructural Teoría y 200 problemas resueltos (Jan Tuma), pvp: 6.400bs / oferta: 2.600bs	
3. Teoría Elemental de Estructuras (Yuan-Yu Hsieh), pvp: 9.500bs / oferta: 3.800bs	
4. Análisis Estructural (R.C. Hibbeler), pvp: 15.100bs / oferta: 6.100bs	
5. Análisis Estructural (Aslam Kassimali), pvp: 14.600bs / oferta: 5.900bs	
6. Análisis de Estructuras Métodos Clásico y Matricial (McCormac / Nelson), pvp: 14.500bs / oferta: 5.900bs	

Figura 13. Precios de libros fotocopiados en la Facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo. Nota. Figura de Autor

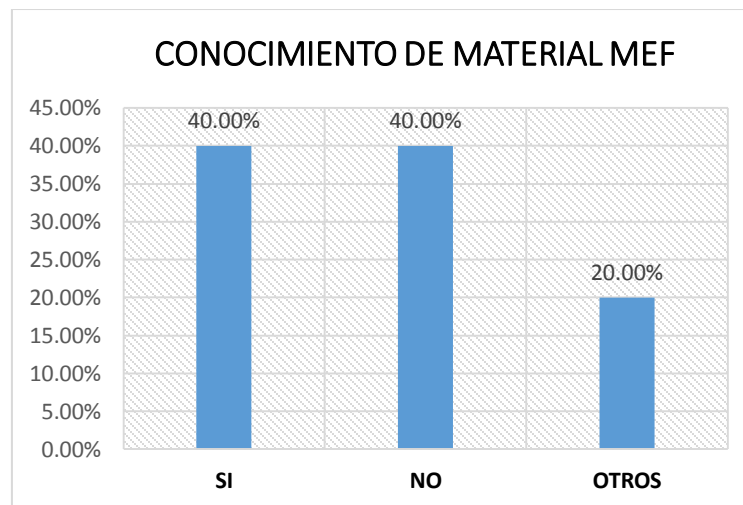
Entre otros recursos los estudiantes se relacionan con ejercicios resueltos fotocopiados, en este caso, aunque el costo por fotocopia es más económico, los ejercicios abarcan una cantidad aproximada de cinco páginas, el cual se estaría elevando con la cantidad de ejercicios que adquiriera. En relación a los materiales en



formato PDF, éstos logran evadir un poco el costo económico, sin embargo, las características son monologas para el estudiante, es decir, tiene poca interacción con el receptor para captar una mejor atención acerca del contenido.

Durante esta fase diagnóstica se aplicó el instrumento pertinente obteniendo diversidad de opiniones de los integrantes de la muestra en el presente estudio. Una parte reconoce la inexistencia de un material digital en la Cátedra de Estructuras que les permita a los estudiantes de la unidad curricular de Estructuras Avanzadas consolidar los conocimientos en cuanto la noción general e introductoria al análisis estructural mediante el Método de Elementos Finitos.

Sin embargo, otra parte afirma que existe material dentro de la institución el cual pudiese ser facilitado a los estudiantes en cuestión, una última parte de la muestra afirma la existencia de otro tipo de material, los resultados se muestran en la figura 4.1.



**Figura 14. Análisis porcentual del diagnóstico de un material digital en la Cátedra de estructuras de la Universidad de Carabobo acerca del Análisis Estructural mediante el Método de Elementos Finitos. Nota. Figura de Autor**



En consecuencia del análisis porcentual obtenido acerca de la existencia de un material de apoyo del MEF dentro de la cátedra estructuras, se procedió a una revisión minuciosa determinando la existencia de dos tesis de grado desarrolladas dentro de la institución enmarcadas específicamente en el estudio del método del elemento finito en la escuela de ingeniería civil.

La primera denominada “*Estudio del método del método del elemento finito en el análisis estructural e implementación de un programa para estructuras aporticadas en el espacio*” Jorge L. Perez Matos y Aristides W. Roach Miranda (1989), y la segunda “*Análisis comparativo entre el método de elementos finitos SAP90 y métodos tradicionales de estructuras*” Orlando Melendez y Vicente Narvaez (1996), como bien se describe fueron realizadas hace muchos años, aunque éstas no han sido utilizadas dentro de la cátedra de ingeniería estructural ni se encuentran adaptadas al programa de estudio de la unidad curricular de Estructuras Avanzadas, podrían establecerse de apoyo al estudiante debido a que la teoría del método sigue siendo la misma.

Consiguientemente, mediante el diagnostico llevado a cabo en la búsqueda de los materiales disponibles acerca del método, se demostró que actualmente en la cátedra estructuras, específicamente en la unidad curricular de estructuras avanzadas, no se dispone de algún material didáctico acerca de contenidos referentes al método de elementos finitos que pueda ser divulgado empleando las tecnologías de información y comunicación, y de la misma manera pueda servir de apoyo a los estudiantes en este tópico.




### **4.2 Fase de documental**

En esta fase se ha recopilado mediante la revisión bibliográfica, destacando en su mayoría los libros desarrollados por Zienkiewicz y Taylor, entre otras investigaciones de aquellos tópicos presentados en distintos ámbitos de la educación e investigación,



en la Universidad de Berkeley, Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Central de Venezuela, el cual permiten establecer contenidos para la introducción al método de elementos finitos dentro de la unidad curricular de Estructuras avanzadas. Dicha información recopilada se ha sintetizado y expuesto en un “Formato de presentación de contenidos” el cual permite observar sólo los contenidos de manera general.

*TABLA 7 Formato de Presentación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos de la Universidad de Berkeley, California.*

<b>ENGINEERING ANALYSIS USING THE FINITE ELEMENT METHOD</b>	
	 <b>Berkeley</b> <small>UNIVERSITY OF CALIFORNIA</small>
	
<b>PLANILLA DE PRESENTACION DE CONTENIDOS</b>	
<b>ASIGNATURA</b>	
<b>Structural Engineering</b>	
<b>CONTENIDOS</b>	
Introducción al análisis de elementos finitos	
Temas básicos de la tecnología de elementos finitos, incluyendo discretización del dominio, la interpolación polinómica, la aplicación de condiciones de contorno, el ensamblaje de matrices globales, y la solución de los sistemas algebraicos resultantes	
Formulaciones de elementos finitos para varias ecuaciones de campo importantes se introducen utilizando enfoques directos e integrales	
Especial hincapié en la aplicación de programas de computación) análisis de los problemas de ingeniería realistas de la mecánica de sólidos y fluidos, transferencia de calor y electromagnetismo	
Utilización del FEMLAB, un programa de elementos finitos basados en MATLAB multifísico que posee una amplia gama de capacidades de modelado y es ideal para la instrucción	
Ejercicios implementando análisis manual y mediante computadoras haciendo hincapié en la construcción y análisis de modelos matemáticos mediante programas de computación	



*TABLA 8 Formato de Presentación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos de la UNAM, México.*




	<b>INSTITUTO DE GEOFÍSICA Y GRUPO DE MODELACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL UNAM</b>	
<b>PLANILLA DE PRESENTACION DE CONTENIDOS</b>		
<b>INVESTIGACION: Método de Elementos Finitos</b>		
<b>Antonio Carrillo Ledesma</b> <b>Ismael Herrera Revilla</b> <b>Robert Yates Smith</b>		
<b>CONTENIDOS</b>		
<b>1.SISTEMAS CONTINUOS Y SUS MODELOS</b>		
Los Modelos		
Física Microscópica		
Cinematica de los Modelos de Sistemas Continuos		
Propiedades Intensivas y sus Representaciones		
Propiedades Extensivas		
Balance de Propiedades Extensivas e Intensivas		
Ejemplo de Modelos		
<b>2. ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES</b>		
Clasificación		
Condiciones Iniciales y de Frontera		
Modelos Completos		
<b>3. ANÁLISIS FUNCIONAL Y PROBLEMAS VARIACIONALES</b>		
Operador Lineal Elíptico		
Espacios de Sobolev		
Trazas de una Función en $H^m(\Omega)$		
Espacios $H_0^m(\Omega)$		
Formulas de Green y Problemas Adjuntos		
Abjuntos Formales para Sistemas de Ecuaciones		
Problemas Variacionales con Valor en la Frontera		
<b>4. SOLUCIÓN DE GRANDES SISTEMAS DE ECUACIONES</b>		
Métodos Directos		
Métodos Iterativos		
Gradiente Conjugado		
Precondicionadores		
Gradiente Conjugado Precondicionado		
Precondicionador a Posteriori		
Precondicionador a Priori		



Tabla 10 (Cont.)

<b>5. MÉTODOS DE SOLUCIÓN APROXIMADA PARA EDP</b>
Método de Galerkin
El Método de Residuos Pesados
Método de Elementos Finitos
<b>6. METODO DE ELEMENTOS FINITOS</b>
Triangulación
Interpolación para el Método de Elementos Finitos
Método de Elemento Finito Usando Discretización de Rectángulos
Método de Elemento Finito Usando Discretización de Triángulos
Implementación Computacional

*TABLA 9 Formato de Presentación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos de la UCV, Venezuela.*

<h1>METODO DE ELEMENTOS FINITOS</h1>		
	<h2>UCV</h2>	 Facultad de Ingeniería
<b>PLANILLA DE CLASIFICACION CURRICULAR</b>		
<b>AMPLIACIÓN DE CONOCIMIENTOS EN INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMORRESISTENTE</b>		
<b>METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS</b>		
<b>CONTENIDOS</b>		
La idealizacion del continuo		
Modelos del campo variable		
Criterios de convergencia		
Condiciones de compatibilidad e integridad		
Metodos fisicos y matematicos		
<b>Integracion numerica</b>		
Cuadratura de gauss y su extension a regiones bi y tridimensionales		
Integración numérica para regiones triangulares y tetraédricas		
Formulas explicitas de integraci3n		
La estabilidad dinámica		



### 4.3 Fase de Estructuración y conceptualización de la Propuesta

La Estructuración y elaboración de la propuesta está desarrollada en la presente fase considerando las siguientes etapas de estudio:

- a) ETAPA I: COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESO DE LA UC CON EL MATERIAL DIDACTICO DEL MEF
- b) ETAPA II: COMPETENCIAS DE INGRESO DEL ESTUDIANTE A LA UNIDAD CURRICULAR
- c) ETAPA III: CONTENIDO DEL ANALISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS
- d) ETAPA IV: DESCRIPCIÓN DE ESTRATEGIAS (MATRIZ DOFA)
- e) ETAPA V: DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA



#### 4.3.1 ETAPA I: COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESADO UC CON EL MATERIAL DE MEF

La intención de este análisis de competencias consiste en delimitar las competencias que se necesiten desarrollar en el material didáctico para así lograr el aporte correspondiente al perfil de egreso de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo. Una competencia conlleva una amplia noción, como lo es la concepción del modo de producción y transmisión del conocimiento, la relación entre educación y sociedad, de la misión y valores del sistema educativo, de las prácticas de enseñanza y de evaluación de los docentes y las actividades y desempeño de los estudiantes.

A fin de establecer las competencias que aporta la elaboración de la propuesta al perfil de egreso de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, se han establecido en el instrumento pertinente una serie de competencias.



**TABLA 10** Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos.

<b>COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESO</b>				
<b>INSTRUCCIONES</b>				
INDIQUE CUALES DE LAS COMPETENCIAS A CONTINUACIÓN, PERTINENTES A DESARROLLAR MEDIANTE EL ESTUDIO DE LOS TÓPICOS DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EN LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS AVANZADAS, RESPONDEN AL PERFIL EGRESO DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO				 
DOCENTE EVALUADOR Y CIV: (INDICAR NOMBRE Y APELLIDO, CIV)				(INDICAR PROFESION, OFICIO, NOMBRAMIENTOS)
N°	COMPETENCIAS	SI	NO	OBSERVACIONES
1	Posee y comprende conocimientos que aportan una base u oportunidad en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Posee habilidades de aprendizaje que le permite continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Posee el conocimiento y la capacidad introductoria para comprender el análisis estructural mediante la aplicación del Método de los Elementos Finitos a elementos unidimensionales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Tiene la capacidad de modelar estructuras unidimensionales mediante el Método de los Elementos Finitos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Tiene la capacidad de síntesis e interpretación de los resultados obtenidos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Cabe destacar que las competencias reflejadas están vinculadas implícitamente con el Proyecto Tuning 2004-2007 acerca de la Educación Superior en América Latina. En relación al Proyecto Tuning 2004-2007, ha sido un proyecto importante a nivel mundial concebido como “*Un espacio de reflexión de actores comprometidos con la educación superior, que a través de la búsqueda de consensos, contribuye para avanzar en el desarrollo de titulaciones fácilmente comparables y comprensibles, de forma articulada, en América Latina*”, el mismo sigue una metodología propia presentando a su vez cuatro líneas de investigación, y son Competencias, enfoques de



---

enseñanza, aprendizaje y evaluación de estas competencias, Créditos académicos y Calidad de los programas.

Indudablemente, a lo largo de estos últimos años el aporte de un material de apoyo como herramienta de estudio ha logrado un mejoramiento y reforzamiento del proceso educativo, promoviendo la capacidad de adaptación ante los nuevos cambios y dando como resultado profesionales de competencias, a propósito en las mismas reflexiones se indica:

Los perfiles profesionales universitarios no solo deben satisfacer los requerimientos de la sociedad, sino proyectarlos, de acuerdo a las necesidades de las regiones y del país. En este sentido, lo recomendable es que su definición se realice a través de competencias. Las competencias representan una combinación de atributos con respecto al conocer y comprender (conocimiento teórico de un campo académico); el saber cómo actuar (la aplicación práctica y operativa a base del conocimiento); y al saber cómo ser (valores como parte integrante de la forma de percibir a los otros y vivir en un contexto). (pág. 25)

En este sentido, definir las competencias deseadas representa el primer paso para el desarrollo de un buen material de apoyo que integre las características suficientes como base en el logro de sus objetivos académicos, aplicaciones y valores implícitos.

A fin de poder establecer las competencias desarrolladas por el uso del material didáctico del método de elementos finitos adaptado a la unidad curricular de estructuras avanzadas, se presenta a continuación el análisis de los resultados producto de la aplicación del instrumento pertinente.







## CAPITULO IV



**TABLA 11** Análisis porcentual de la selección de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos.

<b>COMPETENCIAS APORTADAS AL PERFIL EGRESO</b>				
<b>INSTRUCCIONES</b>				
INDIQUE CUALES DE LAS COMPETENCIAS A CONTINUACIÓN, PERTINENTES A DESARROLLAR MEDIANTE EL ESTUDIO DE LOS TÓPICOS DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS EN LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS AVANZADAS, RESPONDEN AL PERFIL EGRESO DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO				 
DOCENTE EVALUADOR Y CIV:				<b>INGENIERO CIVIL, PROFESOR</b>
N°	COMPETENCIAS	SI	NO	OBSERVACIONES
1	Posee y comprende conocimientos que aportan una base u oportunidad en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.	80%	20%	
2	Posee habilidades de aprendizaje que le permite continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.	60%	40%	
3	Posee el conocimiento y la capacidad introductoria para comprender el análisis estructural mediante la aplicación del Método de los Elementos Finitos a elementos unidimensionales	100%	0%	
4	Tiene la capacidad de modelar estructuras unidimensionales mediante el Método de los Elementos Finitos	80%	20%	
5	Tiene la capacidad de síntesis e interpretación de los resultados obtenidos.	80%	20%	

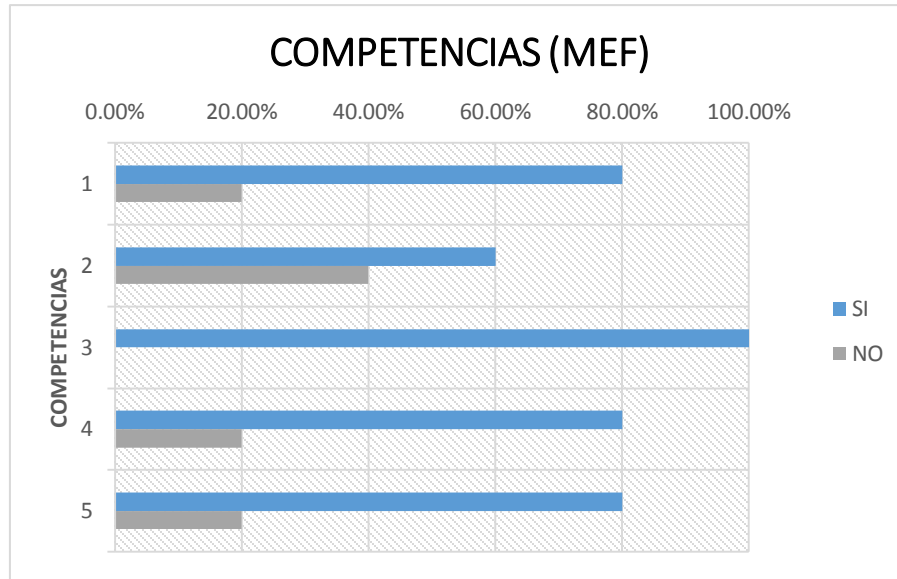


Figura 15. Análisis porcentual de la selección de Competencias desarrolladas mediante el Análisis Estructural del Método de Elementos Finitos.  
*Nota.* Figura de Autor

En definitiva, todas las competencias propuestas han sido aceptadas en más del 50%, sin embargo se ha establecido como criterio de aceptación conservadora sólo aquellas fueron aceptadas en un 80% o más, de modo que **se establece para la propuesta de la presente investigación las competencias** siguientes:

- 1. Posee y comprende conocimientos que aportan una base u oportunidad en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.*
- 2. Posee el conocimiento y la capacidad introductoria para comprender el análisis estructural mediante la aplicación del Método de los Elementos Finitos a elementos unidimensionales*
- 3. Tiene la capacidad de modelar estructuras unidimensionales mediante el Método de los Elementos Finitos*
- 4. Tiene la capacidad de síntesis e interpretación de los resultados obtenidos.*



### 4.3.2 ETAPA II: COMPETENCIAS DE INGRESO DEL ESTUDIANTE A LA UNIDAD CURRICULAR ESTRUCTURAS AVANZADAS

En razón de proponer las competencias con las cuales se encuentra capacitado el estudiante que ingresa a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas, se ha realizado una revisión a la malla curricular conociendo a través de la misma que la unidad curricular está ubicada en el noveno semestre del pensum de estudios de la carrera de ingeniería civil.

Entre las habilidades y capacidades que los estudiantes han debido desarrollar y adquirir para cursar esta unidad curricular se mencionan las siguientes en conjunto con las diversas unidades curriculares implicadas por semestre:

- **Capacidad para la resolución de problemas matemáticos y físicos**

PRIMER SEMESTRE:

Procesos básicos del pensamiento  
Análisis matemático I  
Geometría analítica

SEGUNDO SEMESTRE:

Razonamiento verbal y solución de problemas  
Física I  
Análisis matemático II  
Álgebra lineal

TERCER SEMESTRE:

Física II  
Funciones Vectoriales  
Ecuaciones diferenciales



## CAPITULO IV



- **Destreza en la aplicación de conocimientos teóricos para la resolución de problemas prácticos**

En este contexto se incluyen todas las unidades curriculares de carácter teórico - práctico de semestres anteriores al noveno.

- **Conocimientos básicos en matemática, algebra, ecuaciones diferenciales y análisis estructural**

### PRIMER SEMESTRE:

Análisis matemático I  
Geometría analítica

### SEGUNDO SEMESTRE:

Análisis matemático II  
Algebra lineal

### TERCER SEMESTRE:

Funciones Vectoriales  
Ecuaciones diferenciales

### CUARTO SEMESTRE:

Mecánica racional I

### QUINTO SEMESTRE:

Mecánica racional II  
Resistencia de materiales

- **Conocimientos de los distintos elementos estructurales de una edificación**

### QUINTO SEMESTRE:

Resistencia de materiales  
Materiales y ensayos



## CAPITULO IV



---

### SEXTO SEMESTRE:

Introducción al análisis estructural

### SEPTIMO SEMESTRE:

Estructuras I  
Concreto armado I  
Dibujo de proyectos

### OCTAVO SEMESTRE:

Estructuras II  
Concreto armado II  
Fundaciones y Muros  
Técnica de la construcción

- **Capacidad de interpretar resultados en función a un fenómeno**

En este contexto se incluyen todas las unidades curriculares de carácter teórico - práctico de semestres anteriores al noveno

- **Conocimientos básicos acerca del comportamiento del suelo como terreno de fundación para una edificación**

### SEXTO SEMESTRE:

Mecánica de los suelos

### OCTAVO SEMESTRE:

Fundaciones y muros

En función de las habilidades y capacidades antes mencionadas se proponen las siguientes competencias de ingreso para la unidad curricular:



- *Posee capacidad para la resolución de problemas matemáticos y físicos*
- *Tiene destreza en la aplicación de conocimientos teóricos para la resolución de problemas prácticos*
- *Tiene conocimientos básicos en matemática, algebra, ecuaciones diferenciales y análisis estructural*
- *Tiene conocimientos de los distintos elementos estructurales de una edificación*
- *Posee capacidad de interpretar resultados en función a un fenómeno*
- *Tiene conocimientos básicos acerca del comportamiento del suelo como terreno de fundación para una edificación*

### **4.3.3 ETAPA III: CONTENIDO DEL ANALISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Las competencias presentadas anteriormente han sido premisas para establecer los contenidos a desarrollar en el material didáctico, destacando que la revisión documental establece como principio el conocimiento de los pasos generales del método, debido a ello se ha realizado una vinculación de éstos con los contenidos que se presentan en distintos ámbitos de la educación e investigación, en la Universidad de Berkeley, Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Central de Venezuela, a fin de poder establecer los tópicos para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos.

En relación a los pasos generales introductorios al método a seguir de acuerdo a la literatura investigada, Zienkiewicz y Taylor, se pueden resumir en los siguientes:

#### **1. Discretizar el dominio, seleccionando los elementos finitos**

Consiste en dividir el cuerpo en un sistema equivalente de elementos finitos con nodos asociados y elegir el tipo de elemento más adecuado para modelar más de cerca el comportamiento físico real. El número total de elementos utilizados y su variación en el tamaño y el tipo, dentro de un cuerpo dado, son sobre todo asuntos de juicio de ingeniería.



### **2. Seleccionar una función de desplazamiento**

Consiste en elegir una función de desplazamiento dentro de cada elemento. El desplazamiento de todo el cuerpo, se aproxima mediante un modelo discreto compuesto de un conjunto de funciones por elementos continuos definidos dentro de cada dominio limitado o elemento finito. Esta función es definida dentro del elemento utilizando los valores nodales.

### **3. Definir la relación deformación/desplazamiento y tensión/deformación**

Las relaciones de deformación/desplazamiento y tensión/deformación son necesarias para derivar las ecuaciones para cada elemento finito. Además, las tensiones deben estar relacionadas con las deformaciones a través de la ley de tensión/deformación, generalmente llamado la ley constitutiva. La capacidad de definir el comportamiento material con precisión es más importante en la obtención de resultados aceptables.

### **4. Definir la Matriz de Rigidez y ecuaciones de cada elemento**

Inicialmente, el desarrollo de matrices de rigidez y ecuaciones del elemento está basado en el concepto de coeficientes de influencia de rigidez, que supone una formulación en el análisis estructural mediante la aplicación de métodos.

### **5. Ensamblar la Matriz de Rigidez de cada elemento para obtener la Matriz de Rigidez Global y aplicar las condiciones de borde o contorno**

Respecto al ensamblaje, se emplea un método a través del cual se logre definir una matriz de rigidez que englobe a los elementos finitos de la estructura. En este caso se debe considerar las condiciones y/o restricciones que arroja el sistema estructural.



### **6. Obtener los desplazamientos generalizados a partir de los grados de libertad desconocidos**

El sistema que rige el cálculo de los desplazamientos generalizados, modificado en función a las condiciones de contorno, es un conjunto de ecuaciones algebraicas simultáneas. Estas ecuaciones pueden resolverse para mediante el uso de un método de eliminación (como el método de Gauss) o un método iterativo (por ejemplo, el método de Gauss-Seidel).

### **7. Obtener las deformaciones y tensiones**

En el proceso de obtención de las deformaciones y tensiones para el problema de análisis de esfuerzos estructurales, las deformaciones se obtienen directamente en términos de los desplazamientos generalizados y las tensiones de acuerdo a las relaciones establecidas en el análisis de Tensión/ Deformación.

### **8. Interpretar los resultados**

El objetivo final es interpretar y analizar los resultados para el uso en el proceso de diseño y análisis. En este sentido, determinar ubicaciones en la estructura donde se producen grandes deformaciones y grandes tensiones es generalmente importante en la toma de decisiones de diseño y análisis. En su mayoría, los programas de cálculo ayudan al usuario a interpretar los resultados mostrando los mismos en forma gráfica.

En función a los pasos generales establecidos se presenta la vinculación existente con los contenidos desarrollados en distintos ámbitos de la educación e investigación, en la Universidad de Berkeley, Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Central de Venezuela.





## CAPITULO IV



**TABLA 12** *Relación entre los pasos generales y contenidos de la Universidad de Berkeley*

<b>PASOS GENERALES DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</b>	<b>BERKELEY</b>
1. Discretizar el dominio, seleccionando los elementos finitos	Temas básicos de la tecnología de elementos finitos, incluyendo discretización del dominio
2. Seleccionar una función de desplazamiento	Formulaciones de elementos finitos para varias ecuaciones de campo importantes se introducen utilizando enfoques directos e integrales
3. Definir la relación deformación/desplazamiento y tensión/deformación	
4. Definir la Matriz de Rigidez y ecuaciones de cada elemento	
5. Ensamblar la Matriz de Rigidez de cada elemento para obtener la Matriz de Rigidez Global y aplicar las condiciones de borde o contorno	La aplicación de condiciones de contorno, el ensamblaje de matrices globales
6. Obtener los desplazamientos generalizados a partir de los grados de libertad desconocidos	Solución de los sistemas algebraicos resultantes
7. Obtener las deformaciones y tensiones	Solución de los sistemas algebraicos resultantes
8. Interpretar los resultados	Ejercicios implementando análisis manual y mediante computadoras haciendo hincapié en la construcción y análisis de modelos matemáticos mediante programas de computación



**TABLA 13** *Relación entre los pasos generales y contenidos de la UNAM*

<b>PASOS GENERALES DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</b>	<b>UNAM</b>
1. Discretizar el dominio, seleccionando los elementos finitos	Sistemas continuos y sus modelos, Triangulación, Interpolación para el Método de Elementos Finitos
2. Seleccionar una función de desplazamiento	Método de Elemento Finito Usando Discretización de Rectángulos, Método de Elemento Finito Usando Discretización de Triángulos
3. Definir la relación deformación/desplazamiento y tensión/deformación	
4. Definir la Matriz de Rigidez y ecuaciones de cada elemento	
5. Ensamblar la Matriz de Rigidez de cada elemento para obtener la Matriz de Rigidez Global y aplicar las condiciones de borde o contorno	
6. Obtener los desplazamientos generalizados a partir de los grados de libertad desconocidos	
7. Obtener las deformaciones y tensiones	
8. Interpretar los resultados	Implementación Computacional



**TABLA 14** Relación entre los pasos generales y contenidos de la Universidad Central de Venezuela

PASOS GENERALES DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
1. Discretizar el dominio, seleccionando los elementos finitos	La idealización del continuo, Modelos del campo variable
2. Seleccionar una función de desplazamiento	Criterios de convergencia, Condiciones de compatibilidad e integridad, Métodos físicos y matemáticos,
3. Definir la relación deformación/desplazamiento y tensión/deformación	
4. Definir la Matriz de Rigidez y ecuaciones de cada elemento	
5. Ensamblar la Matriz de Rigidez de cada elemento para obtener la Matriz de Rigidez Global y aplicar las condiciones de borde o contorno	
6. Obtener los desplazamientos generalizados a partir de los grados de libertad desconocidos	Cuadratura de gauss y su extensión a regiones bi y tridimensionales, Integración numérica para regiones triangulares y tetraédricas, Fórmulas explícitas de integración
7. Obtener las deformaciones y tensiones	
8. Interpretar los resultados	La estabilidad dinámica

En resumen de las tablas previstas anteriormente, se pueden establecer los contenidos que caracterizan la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos, como los siguientes:

- Reseña del análisis mediante elementos finitos
- Discretización del dominio, tipos de elementos finitos
- Función de desplazamiento



## CAPITULO IV



- 
- Relación deformación/desplazamiento y tensión/ deformación
  - Matriz de rigidez de cada elemento finito
  - Ensamblaje de matrices de rigidez de cada elemento y obtención de la matriz de rigidez global
  - Condiciones de borde o contorno
  - Desplazamientos generalizados a partir de los grados de libertad
  - Obtención de las deformaciones y tensiones
  - Interpretación de los resultados
  - Aplicaciones del Método de elementos finitos

Seguidamente, se ha constituido el instrumento de clasificación de contenidos, el mismo ha sido aplicado a la muestra correspondiente, el cual ha expuesto su opinión de acuerdo a los conceptos de clasificación de contenidos en conjunto a su experticia profesional.



## CAPITULO IV



**TABLA 15** Análisis porcentual de la Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.

<b>INTRODUCCION AL METODO DE ELEMENTOS FINITOS</b>				
PLANILLA DE CLASIFICACION CURRICULAR				
ASIGNATURA DE INGENIERIA CIVIL	CRITERIOS DE EVALUACION			OBSERVACIONES
<b>ESTRUCTURAS AVANZADAS</b>	<b>B A S I C O</b>	<b>P R O S P E C T I V O</b>	<b>A C T U A L I Z A C I O N</b>	
EVALUADOR				
CURRICULUM DEL DOCENTE EVALUADOR				
Reseña del análisis mediante elementos finitos	57.14%	28.57%	14.29%	
Discretización del dominio, tipos de elementos finitos	42.86%	42.86%	14.29%	
Función de desplazamiento	28.57%	42.86%	28.57%	
Relación deformación/desplazamiento y tensión/ deformación	57.14%	28.57%	14.29%	
Matriz de rigidez de cada elemento finito	22.22%	55.56%	22.22%	
Ensamblaje de matrices de rigidez de cada elemento y obtención de la matriz de rigidez global	37.50%	50.00%	12.50%	
Condiciones de borde o contorno	22.22%	55.56%	22.22%	
Desplazamientos generalizados a partir de los grados de libertad	44.44%	33.33%	22.22%	
Obtención de las deformaciones y tensiones	30.00%	50.00%	20.00%	
Interpretación de los resultados	20.00%	50.00%	30.00%	
Aplicaciones del Método de elementos finitos	27.27%	36.36%	36.36%	

<b>RESULTADOS</b>	35.40%	43.06%	21.54%
	100.00%		

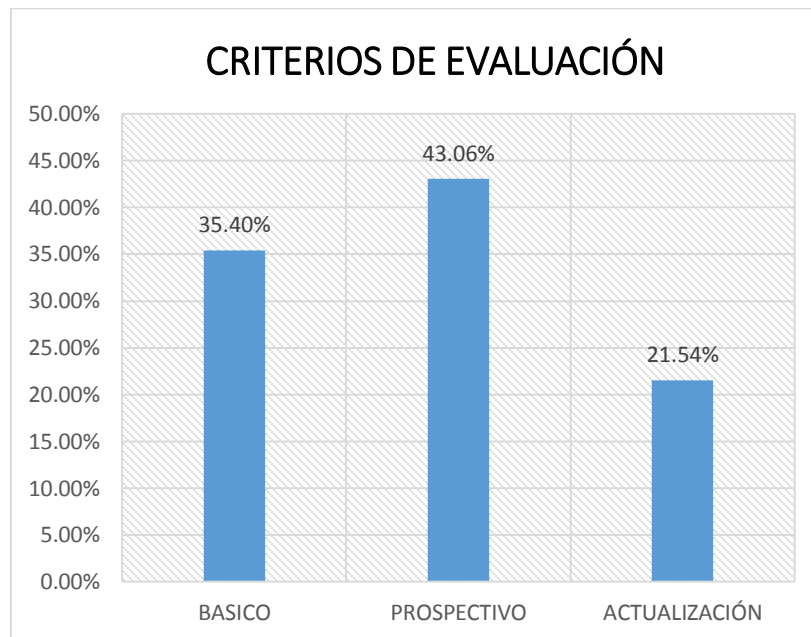


Figura 16. **Análisis porcentual de la Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.** *Nota.* Figura de Autor

En consecuencia, se ha evaluado las opiniones diversificadas de los profesores expertos mediante el análisis de los resultados del instrumento de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. El análisis porcentual presentado anteriormente demuestra la importancia de la realización del material didáctico para la introducción del MEF de acuerdo a los contenidos exhibidos anteriormente, resaltando que la mayoría de éstos han sido clasificados de carácter **PROSPECTIVO**, recordando que ello se refiere a lo vigente del contenido programático, a medio y largo plazo, en relación con el ejercicio de la profesión.

Precisamente, las exigencias laborales en el ámbito profesional cada vez incursionan al estudiante a prepararse formando las bases para nuevos conocimientos, para ello a veces se necesita realizar hasta un cambio de “paradigma”, Barker en su libro “PARADIGMAS. El negocio de descubrir el futuro”, ofrece la definición como “Un conjunto de reglas y disposiciones (escritas o no) que hace dos cosas: 1) Establece



o define límites e 2) Indica cómo comportarse dentro de los límites para tener éxito o no”. Realizar el aporte del material didáctico en la cátedra de estructuras, amerita un cambio de paradigma capaz de incursionarse en otras áreas de la facultad de ingeniería y mejor aún si los contenidos han sido clasificados como prospectivos.

### **4.3.4 ETAPA IV: DESCRIPCIÓN DE ESTRATEGIAS (MATRIZ DOFA) Y DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA**

#### **Descripción de Estrategias (Matriz Dofa)**

Consiste en el la descripción de las estrategias que enmarcan el presente trabajo de estudio, las mismas establecidas en el análisis de la matriz DOFA, este consta de un análisis interno, análisis externo, confección de la matriz, y determinación de las estrategias. Atendiendo a las afirmaciones por Quintana (2015) en su trabajo de investigación donde realiza el análisis mediante la matriz Dofa:

El objetivo del análisis es determinar las ventajas y virtudes que dispone la Cátedra de Ingeniería Estructural y establecer estrategias genéricas a emplear por la misma en función de sus características propias y de la Universidad de Carabobo, donde el personal docente de la Cátedra desarrolla su trabajo para hacer cumplir objetivos y metas. (pág. 169)

Ante ello se extraen textualmente sólo aquellas estrategias pertinentes al presente estudio, las mismas descritas a continuación:

#### **ESTRATEGIA (FO)**

##### **(Estrategia ofensiva)**

- ✓ Usar las fortalezas para tomar ventaja de las oportunidades
- Apertura de trabajos de investigación relacionados a la cátedra, utilizando el alto compromiso de liderazgo del personal docente.



### ESTRATEGIA (FA)

#### **(Estrategia de Supervivencia)**

✓ Usar fortalezas para manejar las amenazas

- Mediante la responsabilidad y compromiso del personal docente, cumplir los objetivos de la cátedra y evitar el impacto desfavorable de la inestabilidad económica y social del país.
- Crear un portafolio de Clases que le permita al Alumnado y Docente manejar la información de los temas a desarrollar en clases como base del mínimo desempeño exigido en la gestión docente, sin limitar la creatividad del docente encargado de impartirlo en el proceso de enseñanza.

### ESTRATEGIA (DO)

#### **(Estrategia de Reordenamiento)**

✓ Superar las debilidades aprovechando las oportunidades

- Realizar un Intercambio de conocimientos del Personal docente en constante interacción con el mercado laboral para establecer Programas académicos alineados con las exigencias laborales para un ingeniero Civil.

### ESTRATEGIA (DA)

#### **(Estrategia Defensiva)**

✓ Minimizar las debilidades evitando las amenazas

- Inclusión de la tecnología para la realización de actividades prácticas que permitan el desarrollo teórico, sin ocasionar un excesivo gasto en la población estudiantil. Pág. (185-188). Quintana (2015)

En relación a las estrategias antes mencionadas, éstas han sido establecidas para la cátedra de estructuras, sin embargo en el presente estudio ha de tenerse en cuenta es a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas en cuanto a la demanda de conocimientos básicos del análisis estructural mediante el Método de Elementos Finitos, es por ello que se ha previsto las siguientes observaciones como respuesta a cada estrategia antes mencionada mediante la propuesta planteada en esta investigación:





ESTRATEGIA (FO): como respuesta a esta estrategia devengada en la cátedra de ingeniería estructural se ha establecido la presente investigación como aporte importante para la unidad curricular de Estructuras Avanzadas, utilizando el compromiso de liderazgo del personal docente de la cátedra.

ESTRATEGIA (FA): justificando las estrategias al respecto, se resalta que la presente investigación evade el impacto de la inestabilidad económica del país considerando también la demanda del estudiante de obtener información digital el cual le permita adaptarse los tiempos y a la tecnología en que se desenvuelve constantemente. Además de ello cabe destacar que se está colaborando con la Creación del portafolio de clases de la unidad curricular de estructuras avanzadas.

ESTRATEGIA (DO): En razón de satisfacer las demandas labores mediante el presente estudio, el personal docente podrá de alguna manera realizar un Intercambio de conocimientos relacionados a las exigencias laborales para un ingeniero Civil, integrando de esta manera la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos como un tópico importante en el área de Ingeniería Civil.

ESTRATEGIA (DA): La aplicación de esta estrategia está sustentada en el desarrollo del material el cual será de forma digital, y a través del mismo el personal docente podrá reforzar los conocimientos teóricos sin generar costo alguno a los estudiantes.

Ante la diversidad de requisitos de un material didáctico y la necesidad de establecer estrategias que permitan cumplir los objetivos, se ha empleado el análisis mediante la matriz Dofa del material didáctico para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos.



---

Análisis Interno: se establecen las fortalezas y debilidades del material didáctico.

Fortalezas:

- Material de apoyo para estudiantes y profesores
- Al ser digital va a poder transmitirse utilizando internet, además al incluir los enlaces de páginas web
- Puede ser utilizado mediante otras tecnologías de información

Debilidades:

- Falta o exceso de información para algunos receptores
- Evaluación deficiente para algunos receptores
- En celulares requiere del uso de Datos de navegación

Análisis Externo: se establecen las Amenazas y Oportunidades del material didáctico.

Amenazas:

- Rechazo de la institución, docentes, estudiantes o cualquier receptor
- Falta de recursos por parte del docente o del estudiante
- Desactualización de la información del material didáctico
- Caducidad de los enlaces de las páginas web

Oportunidades

- Aula virtual de la facultad de ingeniería
- Laboratorio de computación de ingeniería civil
- Fácil acceso al internet
- Dispositivos de almacenamiento
- Docente con conocimientos del MEF



---

### Estrategias ofensivas

- Aprovechar el Aula Virtual de Ingeniería para incorporar el material didáctico
- Utilizar el laboratorio de computación de Ingeniería como espacio para visualizar el material mediante el computador
- Emplear el acceso a internet como medio de visualización de los enlaces de páginas web incluidos en el material
- Compartir el material mediante el uso de los dispositivos de almacenamiento

### Estrategias de Reordenamiento

- Mediante el conocimiento de los profesores, realizar en el aula una lluvia de preguntas el cual permita el aprendizaje de lo expresado en el material
- Realizar una consulta de las competencias del material mediante formularios a los docentes de la cátedra de estructuras
- Realizar una consulta mediante formularios de los contenidos a los docentes de la cátedra de estructuras

### Estrategias de supervivencia

- Ante la posibilidad de rechazo del material, fundamentar el contenido del material mediante la bibliografía pertinente
- Utilizar el formato digital del material didáctico para evadir la poca disponibilidad de recursos de estudiantes y de la propia institución






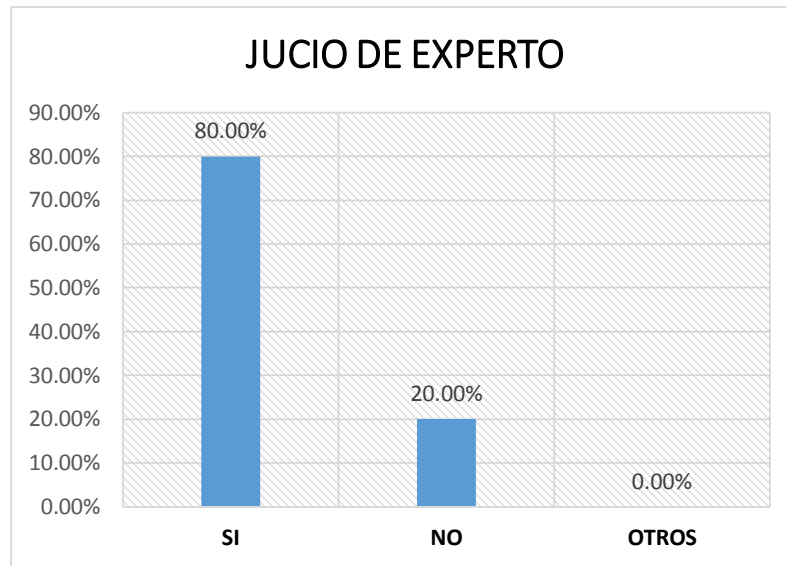
Estrategias defensivas

- Planificar de actividades en el aula el cual permitan la actualización de los enlaces de páginas web incluidos en el material
- Apertura de Investigaciones dentro de la institución el cual permitan el mejoramiento del material así como la inclusión de contenidos actualizados
- Ante la poca disponibilidad de recursos de parte de los estudiantes, utilizar la experticia de los profesores para la transmisión de información acerca de los contenidos del material

A fin de reafirmar la aceptación de la creación del material digital para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos, se presentan los resultados del juicio de experto.

**TABLA 16** Juicio de Experto para validación de criterios de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.

			
		UNIVERSIDAD DE CARABOBO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA INGENIERIA CIVIL <b>CÁTEDRA DE ESTRUCTURAS</b>	
			
<b>JUICIO DE EXPERTO</b>			
<b>¿ESTÁ DE ACUERDO CON LA APLICACIÓN DE LOS SIGUIENTES CRITERIOS PARA LA CREACIÓN DE UN MATERIAL DIDÁCTICO DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ADAPTADO A LA UNIDAD CURRICULAR DE ESTRUCTURAS AVANZADAS: BÁSICO, PROSPECTIVO E INTRODUCTORIO?</b>	SI	NO	OTROS
	80.00%	20.00%	0.00%
• BÁSICO: Representa lo esencial que garantiza el logro del objetivo.			
• PROSPECTIVO: Entendiéndose por éste, lo vigente del contenido programático, a medio y largo plazo, en relación con el ejercicio de la profesión.			
• ACTUALIZACIÓN: El contenido se encuentra vigente a la luz del perfil y del contexto social.			



**Figura 17. Análisis porcentual de la validación de criterios de Clasificación de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.**

Nota. Figura de Autor

### **Diseño Conceptual de la Propuesta**

En esta etapa se ha establecido la conceptualización de la propuesta, el cual describe de forma general el material didáctico y se establece la esquematización del contenido a desarrollar entre otras visualizaciones generales a fin de lograr las competencias del perfil de egreso del material en función de las competencias del perfil de ingreso de la unidad curricular de estructuras avanzadas.

Considerando los principios de la elaboración de un material didáctico se establece lo siguiente:



- **Objetivos del material**

En función de cada una de las competencias expuestas anteriormente, se han establecido los **objetivos de aprendizaje** para la facilidad de atención y comprensión del contenido del material. Los objetivos son los siguientes:

1. Conocer la proveniencia, importancia y aplicaciones antiguas del método del elemento finito en ingeniería
2. Conocer algunos conceptos teóricos para la aplicación del análisis estructural mediante el método del elemento finito
3. Modelar elementos unidimensionales con el método de elementos finitos
4. Comprender e interpretar resultados introductorios del análisis estructural mediante el método del elemento finito

- **Contenidos**

En relación al método de elementos finitos este ha sido descrito en una serie de pasos a seguir, los contenidos que engloban la introducción del método son los siguientes:

1. Reseña del análisis mediante elementos finitos
2. Discretización del dominio, tipos de elementos finitos
3. Función de desplazamiento
4. Relación deformación/desplazamiento y tensión/ deformación
5. Matriz de rigidez de cada elemento finito
6. Ensamblaje de matrices de rigidez de cada elemento y obtención de la matriz de rigidez global
7. Condiciones de borde o contorno
8. Desplazamientos generalizados a partir de los grados de libertad



- 9. Obtención de las deformaciones y tensiones
- 10. Interpretación de los resultados
- 11. Aplicaciones del Método de elementos finitos

En primera instancia, a fin de conceptualizar la propuesta se ha dividido el contenido antes mencionado en tres capítulos, estableciendo para cada una de ellas la descripción general.

*TABLA 17 Capítulo I de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.*

INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	
CAPITULO I	
<b>1.1) RESEÑA DEL ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS</b>	Se explicará brevemente la proveniencia del método de elementos finitos, sus creadores, definición del método y aplicaciones antiguas.
<b>1.2) DISCRETIZACIÓN DEL DOMINIO, TIPOS DE ELEMENTOS FINITOS</b>	Se desarrollará el concepto de discretización del dominio; realizando la vinculación de contenidos de estudios previos y se explicarán los tipos de elementos finitos clásicos y su utilidad en el análisis estructural.
<b>1.3) FUNCIÓN DESPLAZAMIENTO</b>	Se explicará cómo se define la función dentro de cada elemento finito utilizando los valores nodales del mismo.
<b>1.4) RELACIÓN DEFORMACIÓN/ DESPLAZAMIENTO Y TENSIÓN/</b>	Se explicará el comportamiento del material, estableciendo la relación tensión/deformación mediante la Ley de Hooke $\sigma_x = E \epsilon_x$ siendo $\sigma_x$ = tensión en la dirección x y $E$ = Módulo de elasticidad.



*TABLA 18 Capítulo II de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.*

<b>INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</b>	
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2.1) MATRIZ DE RIGIDEZ DEL ELEMENTO FINITO Y FUERZA NODAL</b>	Se explicara la matriz de rigidez de un elemento basado en la teoría del método del elemento finito y la obtención de fuerzas nodales, realizando la vinculación de contenidos de estudios previos.
<b>2.2) ENSAMBLAJE DE MATRICES, MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL</b>	Se desarrollara un ensamblaje de matrices utilizando el Método de ensamblaje directo, cuya base es realizar el código de ensamblaje, cual se utilizara para obtener las ecuaciones globales de fuerzas nodales para todo el elemento.
<b>2.3) CONDICIONES DE BORDE O DE CONTORNO</b>	Se destaca la importancia y la utilización de las condiciones de contorno o de soporte, como función estabilizadora, el cual modifica la ecuación global y establecen ciertas restricciones o condiciones de entrada en la matriz global
<b>2.4) DESPLAZAMIENTOS GENERALIZADOS</b>	Se establecen los desplazamientos generalizados para el análisis estructural mediante el método de elementos finitos empleando el conocimiento de estudios previos.

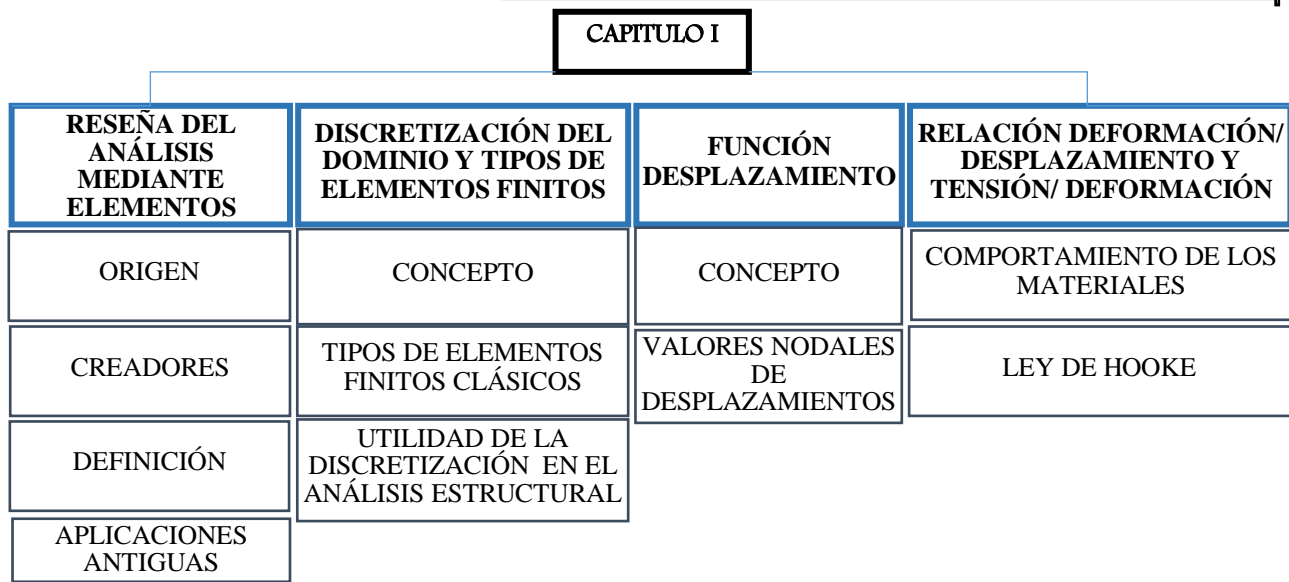




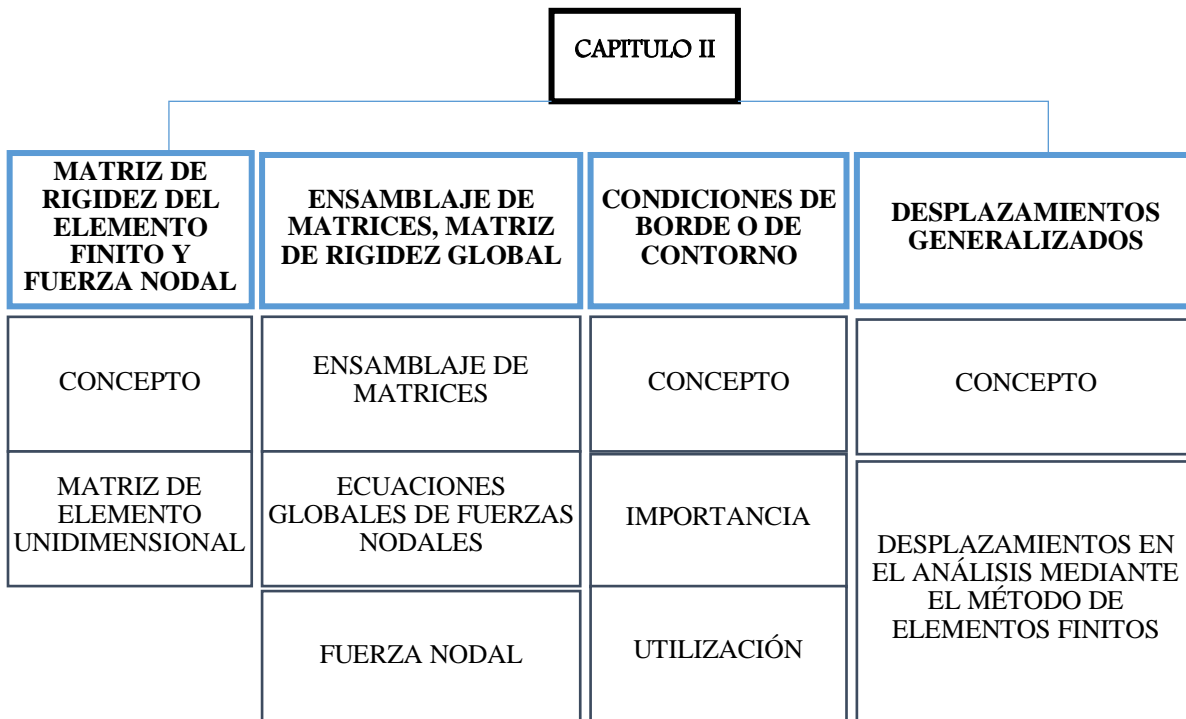
*TABLA 19* Capítulo III de contenidos del análisis estructural mediante el método de elementos finitos.

INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	
CAPITULO III	
<b>3.1) OBTENCIÓN DE LAS DEFORMACIONES Y TENSIONES</b>	Para el análisis estructural del elemento finito puede expresarse directamente en términos de los desplazamientos
<b>3.2) INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	El objetivo final es interpretar y analizar los resultados para el uso en el proceso de diseño y análisis. Resaltando que Programas de computadora ayudan al usuario a interpretar los resultados mostrando éstos en forma gráfica.
<b>3.3) APLICACIONES DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</b>	Para esta última etapa se explicaran la importancia del método de elementos finitos y las distintas aplicaciones del mismo con el avance de la tecnología en el campo de ingeniería civil.

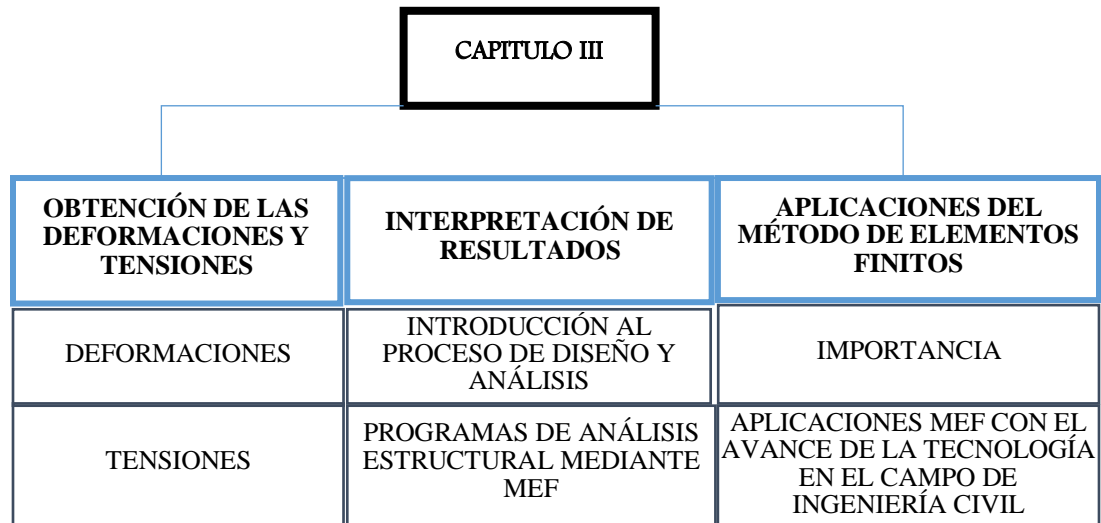
Mediante la descripción de contenidos ordenados en tres unidades dentro del material, se establecen los siguientes diagramas de contenido para una mejor visualización.



**Figura 18.** Diagrama de contenidos del capítulo I del material didáctico de la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos. *Nota.* **Figura de Autor**



**Figura 19.** Diagrama de contenidos del capítulo II del material didáctico de la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos. *Nota.* **Figura de Autor**



**Figura 20.** Diagrama de contenidos del capítulo III del material didáctico de la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos. *Nota.*

**Figura de Autor**

### Perfil entrada del receptor

Es importante señalar que el perfil de ingreso, se ha propuesto mediante las siguientes competencias:

- *Posee capacidad para la resolución de problemas matemáticos y físicos*
- *Tiene destreza en la aplicación de conocimientos teóricos para la resolución de problemas prácticos*
- *Tiene conocimientos básicos en matemática, álgebra, ecuaciones diferenciales y análisis estructural*
- *Tiene conocimientos de los distintos elementos estructurales de una edificación*
- *Posee capacidad de interpretar resultados en función a un fenómeno*
- *Tiene conocimientos básicos acerca del comportamiento del suelo como terreno de fundación para una edificación*



- **Perfil de salida del receptor**

En cuando al perfil de egreso del material didáctico del método de elementos finitos, se propone como competencias:

- *Posee y comprende conocimientos que aportan una base u oportunidad en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.*
- *Posee el conocimiento y la capacidad introductoria para comprender el análisis estructural mediante la aplicación del Método de los Elementos Finitos a elementos unidimensionales*
- *Tiene la capacidad de modelar estructuras unidimensionales mediante el Método de los Elementos Finitos*
- *Tiene la capacidad de síntesis e interpretación de los resultados obtenidos.*

- **Estrategias didácticas a emplear**

Básicamente, las estrategias a emplear en el material están basadas en la accesibilidad del material, la motivación para que el receptor pueda captar la información mediante algunos repasos de contenidos, al igual que en el auge existente con la tecnología, información y comunicación, en este caso el uso de internet.

Al respecto, Barker, afirma lo siguiente:

- Nuestras percepciones del mundo están muy influenciadas por paradigmas.
- Nos resistimos a utilizar nuevos paradigmas porque somos efectivos en nuestros actuales paradigmas.
- Por lo general quien crea un nuevo paradigma es un intruso
- Quienes cambian hacia un nuevo paradigma obtienen un nuevo modo de ver el mundo.



En este orden de ideas se considera relevante incorporar los siguientes comentarios reflejados en una investigación acerca de *La relevancia del material didáctico dentro del aula*, Anderson (s.f.):

(...) El internet es un medio que se puede usar en miles de maneras. Tanto Warschauer y Meskill (2000) como Singhal (1997) señalan que una de las ventajas con el internet es las posibilidades de comunicación que ofrece. (...) p. 05

(...) Los medios de comunicación son populares entre los estudiantes, especialmente dado que hacen que la enseñanza trate sobre la realidad (...) p. 35

(...) En otras palabras, el internet como un material didáctico en la enseñanza en varios sentidos responde a los intereses de los estudiantes. (...) p. 36

En este sentido, el material se proyecta con las siguientes características principales:

- a. El material didáctico es de **Tipo visual**, presentando imágenes relacionadas al método y a Ingeniería Civil.
- b. Contiene **Links de información**, el cual conectan directamente al receptor con páginas de internet.
- c. Dispone de **Preguntas de repaso** que permiten la interacción entre el material y el receptor.



---

### 4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.4.1 Conclusiones

El desarrollo de este trabajo de investigación determinó la necesidad de suministrar a los estudiantes de la unidad curricular de estructuras avanzadas, un material que permite involucrarlos en el campo de los métodos numéricos empleados por programas de cálculo estructural, como lo es el método de elementos finitos. En su mayoría, quienes optan por esta rama de Ingeniería Civil, se enfrentarán a la práctica profesional con dichos programas y deberán tener las competencias necesarias para la interpretación del análisis estructural mediante el método de elementos finitos. Adicionalmente, al tener la oportunidad de estudios superiores en el mismo ámbito profesional, los estudiantes estarían aventajados teniendo una noción acerca de la teoría del método y lo que implica.

Consecuentemente, mediante el diagnóstico llevado a cabo en la búsqueda de los materiales disponibles acerca del método, se demostró que actualmente en la cátedra de estructuras, específicamente en la unidad curricular de estructuras avanzadas, no se dispone de algún material didáctico que pueda ser divulgado empleando las tecnologías de información y comunicación, y de la misma manera pueda servir de apoyo a los estudiantes en este tópico. Debido a ello, los resultados para la aprobación del Diseño de un material didáctico para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos pertinente a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas han sido satisfactorios.

En términos generales, los contenidos a difundir en el material han sido clasificados de carácter Prospectivo, coincidiendo de esta manera con lo expuesto anteriormente, a su vez éstos han sido suficientes para el desarrollo de competencias expuestas en esta investigación que serán desarrolladas en los estudiantes en función



de las competencias de ingreso a la unidad curricular como aporte al perfil egresado de Ingeniería civil de la Universidad de Carabobo.

En relación a los objetivos planteados por esta investigación se puede resumir en las siguientes conclusiones:

- ✓ Seleccionar el contenido para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos pertinentes a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas.

Los contenidos para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos pertinentes a la unidad curricular de Estructuras Avanzadas han sido seleccionados mediante la relación existente entre el procedimiento general del método y los contenidos devengados en el ámbito académico y de investigación en las Universidades Internacionales, Berkeley y Unam, y la Universidad Central de Venezuela.

- ✓ Adaptar los conceptos, términos y fundamentos teóricos del Método Elementos finitos al contenido de la unidad curricular.

En la documentación de información se observó que los conceptos descritos, términos y fundamentos teóricos, en su mayoría, están en consonancia con los impartidos en la unidad curricular de estructuras avanzadas. Sin embargo, en cuanto a las variaciones existentes, la única modificación llevada a cabo durante el desarrollo del material, ha sido en la ecuación que relaciona fuerzas/ Desplazamiento:

$$P = k \times u$$



En este caso se ha cambiado “ $f$ ” por “ $P$ ” para representar la fuerza nodal del elemento finito. De la misma manera se ha adoptado “ $u$ ” para representar el desplazamiento nodal.

- ✓ Crear un material digital para difundir el contenido para la introducción análisis Estructural mediante el método de elementos finito

La creación del material atraviesa dos partes, la primera está compuesta por la conceptualización de la propuesta, en resumen se establece las características del material, estrategias didácticas y la estructura del material definida por unidades de contenidos, y la segunda parte corresponde la fase de elaboración de la propuesta el cual se centra en la digitalización y la conformación de los contenidos empleando las estrategias didácticas definidas en el proceso de conceptualización.

### 4.4.2 Recomendaciones

- Suministrar el material didáctico a los estudiantes con el fin de orientar junto al profesor, el estudio por el Método de Elementos finitos.
- Fomentar un programa de análisis estructural mediante distintas herramientas con el fin de complementar la enseñanza del Método de Elementos Finitos.
- Proponer ejercicios sencillos que permitan aplicar parte de la información relevada en el material.
- Realizar el mejoramiento continuo y actualización del material didáctico, así como realizar la creación de éstos en distintas áreas de ingeniería civil.





## CAPITULO IV



- 
- El uso de las herramientas computacionales, ha de comenzarse en los primeros niveles de formación, en cursos o asignaturas obligatorios del componente de Formación General, de manera que el alumno incorpore dichas competencias de manera natural durante el resto de la carrera, sin importar el ámbito de conocimientos que deba abordar.



---

## CAPITULO V

### PROPUESTA

En relación al diseño del material didáctico para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos, se procede a su desarrollo en función de la conceptualización ya establecida. En primera instancia, se han desarrollado los contenidos en el material antes expuestos en esta investigación principalmente a partir de la bibliografía que ofrece Zienkiewicz y Taylor en su cuarta edición acerca del Método de elementos finitos. Seguidamente, se optado por emplear en el proceso de la elaboración del material, el software de Microsoft Power Point, realizando las diapositivas necesarias para el desarrollo de la propuesta.

Luego, se ha guardado en Adobe Rider como archivo de PDF y posteriormente, como último detalle de la propuesta se ha utilizado el software de diseño de manuales tipo libro, llamado Flip PDF Professional, el cual es capaz de crear libros de paso de página para mostrar sin problemas en el iPad, iPhone, laptops, computadoras de escritorio, entre otros dispositivos de Android. Entre sus funciones se encuentra la posibilidad de **convertir archivos PDF ordinarios en folletos con animaciones y sonido.**

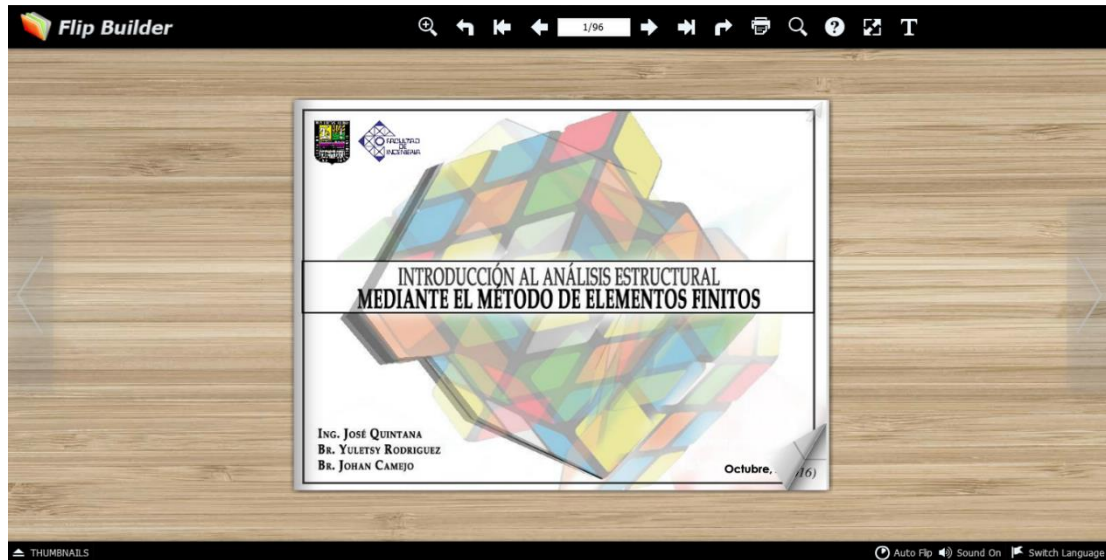
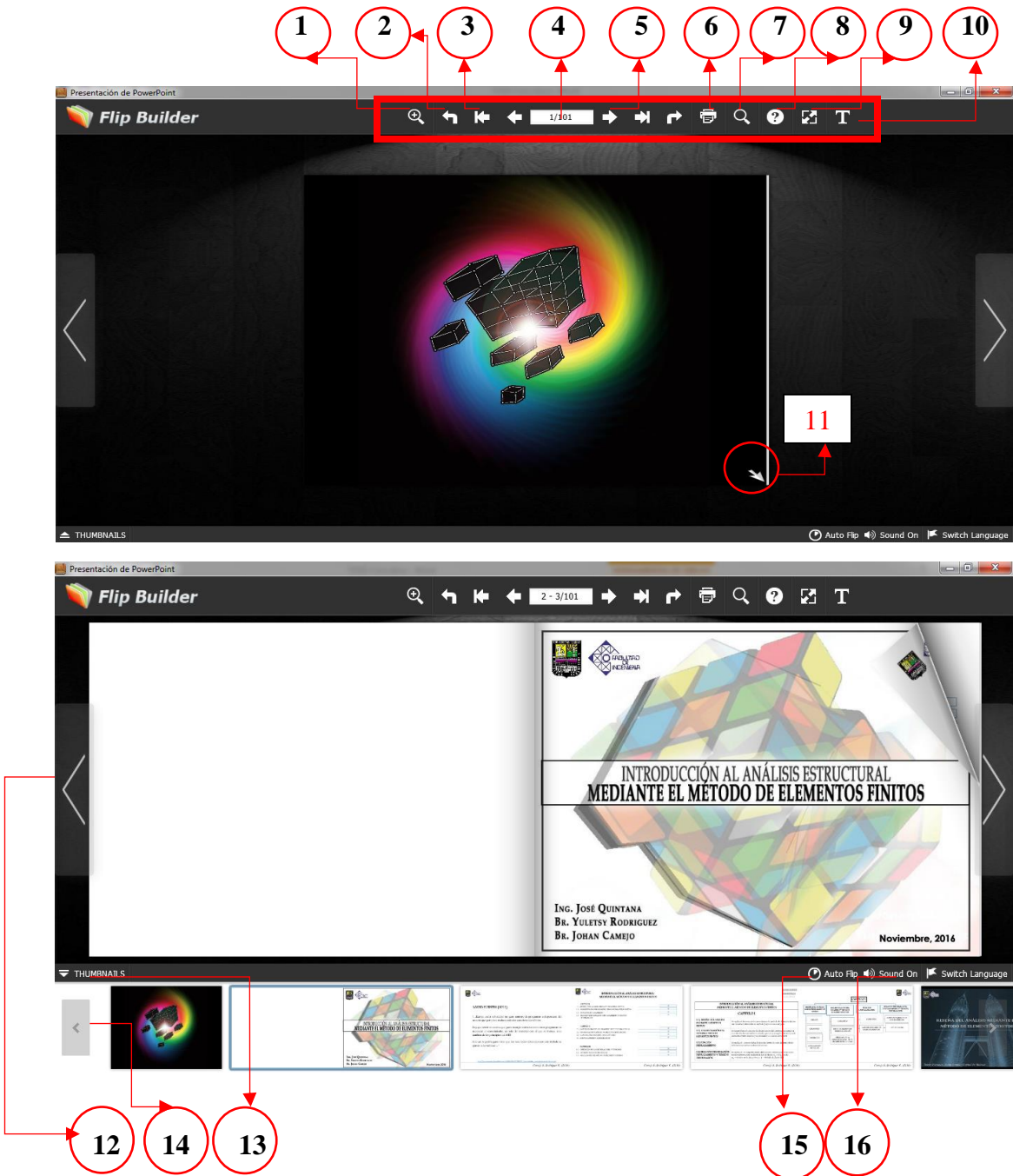


Figura 21. Material didáctico para la introducción al análisis estructural mediante el método de elementos finitos adaptado a la unidad curricular de estructuras avanzadas. *Nota.* Figura de Autor

ANEXOS

MANUAL PARA EL USO DEL MATERIAL DIDÁCTICO

MENÚ PRINCIPAL

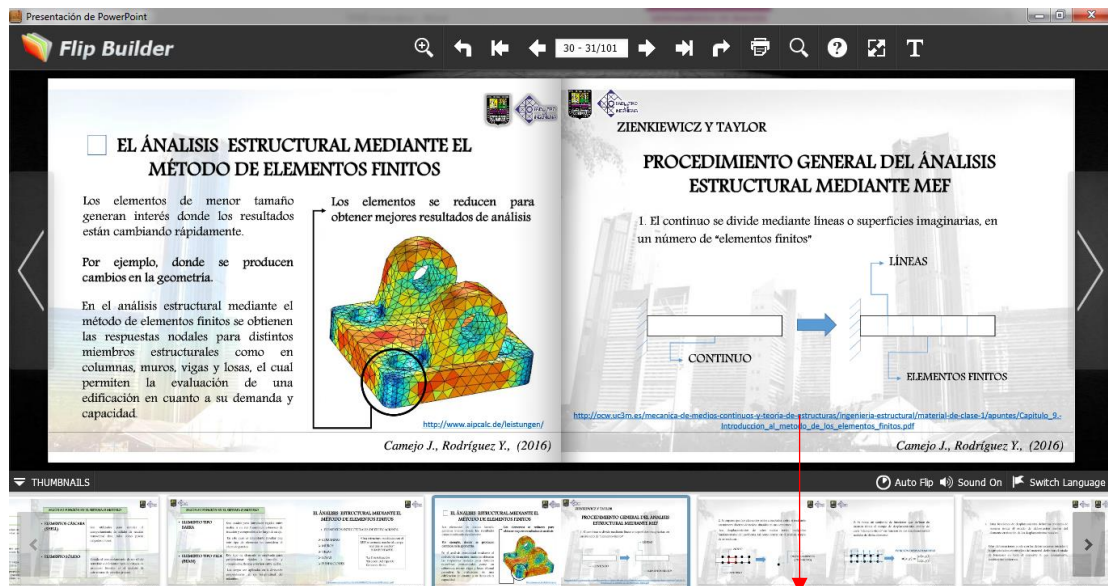
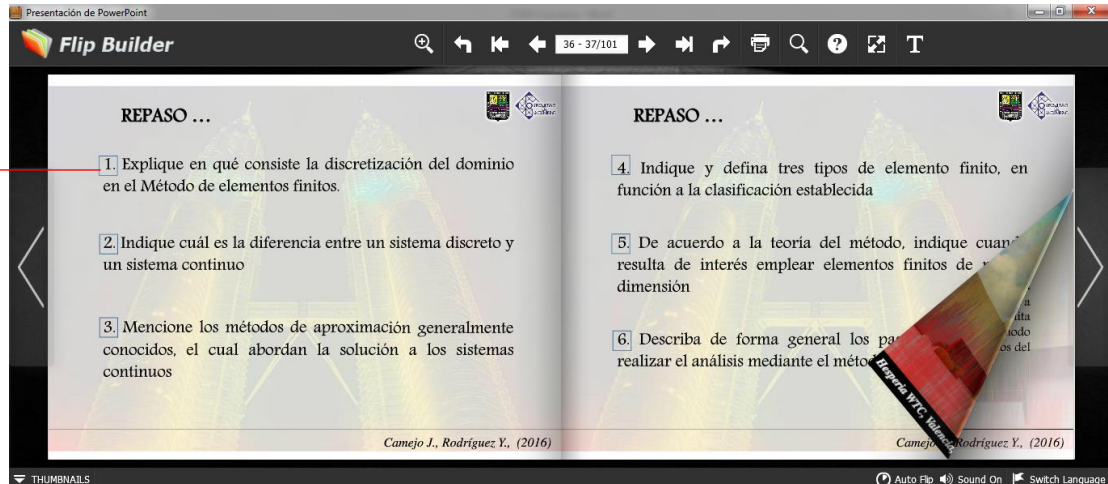




1. **AJUSTE DE PANTALLA:** este icono es empleado para obtener un acercamiento o alejamiento de la visualización en pantalla.
2. **RETROCEDER O AVANZAR DE PÁGINA:** cada click sobre este icono representa un avance o retroceso de página.
3. **SALTAR CONTENIDO:** se emplea para retroceder o avanzar directamente a la página inicial o final.
4. **NÚMERO DE PÁGINA:** especifica el número de página actual y al insertar el número deseado se podrá dirigir a la página especificada.
5. **ANTERIOR O SIGUIENTE:** representa otra opción para el avance o retroceso de página.
6. **IMPRIMIR:** este icono se utiliza para realizar la impresión de las páginas deseadas.
7. **BUSCADOR:** proporciona la opción de ubicación de términos de interés o palabras claves en todo el contenido.
8. **AYUDA:** facilita el listado con la descripción de iconos.
9. **PROYECCIÓN DE PANTALLA COMPLETA:** se emplea para la visualización del material en pantalla completa.
10. **SELECCIÓN DE TEXTO:** permite la seleccionar algún texto o término de interés y copiarlo posteriormente.
11. **AVANZAR MANUALMENTE:** mediante el uso del mouse haciendo click en los bordes de las páginas se puede avanzar o retroceder manualmente las páginas del material.
12. **AVANZAR O RETROCEDER PÁGINA CON EFECTO:** icono activo para avance rápido de páginas con el efecto de páginas.
13. **VISTA MINIATURA:** este icono permite visualizar en vista miniatura y en una ventana independiente todas las páginas del material.
14. **AVANZAR O RETROCEDER PÁGINA EN VISTA MINIATURA:** cada click sobre este icono representa un avance o retroceso de página en la vista miniatura.
15. **PRESENTACIÓN AUTOMÁTICA:** permite colocar la presentación en modo automático, en intervalos de diez segundos aproximadamente.
16. **SONIDO:** este icono permite encender o apagar los sonidos del material.

## OTRAS OPCIONES

17



18

**17. PREGUNTAS DE REPASO:** estas permiten reforzar los conocimientos del material, al pulsar click sobre el recuadro azul de cada numeración se ubica la página donde se encuentra la respuesta de la pregunta en cuestión.

**18. ENLACES DE PÁGINAS WEB:** mediante estos enlaces podrá acceder a la información ampliada del contenido.



---

## BIBLIOGRAFÍA

- Cortez y Sotomayor (2011). *Aplicación del método de elementos finitos y programas computacionales en el diseño estructural de un galpón para el taller de la empresa procopet s.a.* Quito, Ecuador.
- Hurtado (2013). *Diseño de una comunidad virtual para el aprendizaje del dibujo de ingeniería dirigida a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.* Valencia, Venezuela.
- Quintana (2015). *Bases para la evaluación de los programas de las asignaturas pertenecientes a la Cátedra de Estructuras de la Escuela de Ingeniería Civil en la Universidad de Carabobo.* Valencia, Venezuela.
- Salcedo (2014). *Análisis estructural por el método de elementos finitos asistido por computador (vigas-pórticos, placas, sólidos de revolución).* Quito, Ecuador.
- De Velásquez, A. (2011). *Uso de las TIC's como herramienta para la enseñanza de electroquímica en estudiantes de 4to año.* Mérida, Venezuela.
- Soler, V. (2008). *El uso de las TIC (Tecnologías de la información y la comunicación como herramienta didáctica en la escuela).* Sevilla, España.
- Leme, M. (2008). *Uso de las Tics en el aula.* Buenos Aires, Argentina.
- Riveros, V. (2000). *Algunos fundamentos teóricos de uso de las TIC para la comunicación de contenidos matemáticos.* Maracaibo, Venezuela.
- Caberro y Llorente. (2005). *Las plataformas virtuales en el ámbito de la teleformación.* Sevilla, España.
- Kofi Annan (2003). *Discurso inaugural de la primera fase de la WSIS.* Ginebra.
- Resta, P. (2004). *Las tecnologías de la información y la comunicación en la formación docente.* UNESCO.
- Velásquez y Salazar. *Tecnologías de la información y la comunicación (TIC): Eje transversal en la formación docente.* Caracas, Venezuela.



## CAPITULO V



- 
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999).
  - Decreto 825: “Decreto mediante el cual se declara el acceso y el uso de internet como política prioritaria para el desarrollo cultural, económico, social y político de la República Bolivariana de Venezuela” (2000).
  - Zorrilla, Arena. “Introducción a la metodología de la investigación”. México, Aguilar Leon y Cal, Editores, 11ª Edición. 1993.