

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS, PUEBLA

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DEL SAND CAR PROJECT PARA
SU ADAPTACIÓN Y COMPATIBILIDAD EN UN PROGRAMA DE ELEMENTOS
FINITOS PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN GENERADAS POR
CARGAS ESTÁTICAS**

TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR

OSCAR DAMASO PELÁEZ

COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Santa Catarina Mártir, Puebla Primavera de 2004

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS, PUEBLA

ESCUELA DE INGENIERÍA



**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DEL SAND CAR PROJECT PARA
SU ADAPTACIÓN Y COMPATIBILIDAD EN UN PROGRAMA DE ELEMENTOS
FINITOS PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN GENERADAS POR
CARGAS ESTÁTICAS**

TESIS PROFESIONAL PRESENTADA POR

OSCAR DAMASO PELÁEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN
INGENIERÍA MECÁNICA**

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE: M.C. CARLOS ACOSTA M.

VOCAL Y DIRECTOR: DR. WIESLAW SWITEK W.

SECRETARIO: ING. ANTONIO DE ITA VENTURA

Primavera 2004

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, quiero agradecer a una persona que hizo posible todo este trabajo Jesucristo, ya que sin él no hubiera podido empezar y acabar mi carrera con éxito, también le quiero agradecer a mis padres que tuvieron la fe en mí para que esta carrera fuera terminada sin ningún contratiempo, a mi hermana y a mi cuñado por sus múltiples consejos a lo largo de toda la carrera, a mi familia de Tehuis y a todos mis amigos Ruy, Kika, Paco y a toda la bola de los fresas y teletubies que me brindaron su amistad y el fruto que han producido en mi vida es más de lo que se puedan imaginar, y también sin su apoyo hubiera sido imposible alcanzar este objetivo.

A Dios y a todos los demás muchas, muchas ¡gracias!.

A.T.T.E.

Oscar Damaso Peláez.

Director de Empresas Damazoft.

TEMA Análisis de la estructura y elementos del Sand Car Project para su adaptación y compatibilidad en un programa de elementos finitos para el análisis de esfuerzo y deformación generadas por cargas estáticas.

ALUMNO: Oscar Damaso Peláez.

Dirección: Av. Prolongación Hidalgo No. 1906 interior 27. Col. Centro CP 72760. Cholula Pue.

Teléfono: (01 222) 2475818

I.D # UDLA-PUEBLA

108509.

POSIBLE(S) DIRECTOR(ES)

1. Dr. Wieslaw Switek Wojcik
2. Dr. Daniel Randolph Daniels
3. Ing. Antonio de Ita Ventura

NOMBRE Y FIRMA DEL DIRECTOR _____

Dr. Wieslaw Switek Wojcik

(SELLO Y FIRMA DE AUTORIZACIÓN DEL COORDINADOR DE TESIS)

BREVE DESCRIPCIÓN

Ante la interacción de las distintas cargas estáticas y los factores como la inercia y las deformaciones, en los diferentes sistemas mecánicos que se emplean, se han llevado a cabo estudios acerca de cómo afectan a su forma, funcionamiento, y capacidad para resistir a tales cargas. Es por eso que para poder analizar estos eventos se necesita de métodos y modelos que nos proporcionen una mejor información acerca de cómo influyen en el comportamiento de los cuerpos relacionados con los sistemas mecánicos.

Uno de estos eficaces métodos es el método de elementos finitos que nos permite analizar modelos hechos en computadora a partir de cuerpos reales y nos permite simular la acción de un suceso mecánico sobre un modelo que represente un cuerpo real, optimizar cambios en el diseño de dicho modelo, y cambiar los parámetros que influyan en las deformaciones y esfuerzos del modelo.

Con este proyecto se pretende desarrollar el modelo de la estructura de un automóvil real, y simular la acción de cargas estáticas que se presenten en dicha estructura para su análisis y optimización en el diseño del mismo.

En esta optimización se pretenderá mejorar las condiciones de diseño para una mejor estabilidad en el funcionamiento del automóvil.

OBJETIVO GENERAL

Adecuar el modelo desarrollado en CAD de la estructura del Sand Car Project diseñado por MatrettaDesign, y su compatibilidad dentro del programa de elementos finitos y la posibilidad para su análisis por medio del método de elementos finitos, para la obtención de esfuerzos y deformaciones mejorando con esta información obtenida el diseño del mismo, tratando de conservar el modelo original tanto como sea posible.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se adecuará un modelo CAD de la estructura conceptual del vehículo diseñado por la compañía MastrettaDesign en un programa de análisis de elementos finitos, estableciendo la posibilidad de que este sea compatible y su posibilidad de análisis bajo cargas estáticas en el simulador obteniéndose el esfuerzo y la deformación de la estructura para la optimización del modelo de manera pertinente.

ALCANCE DEL PROYECTO

- El modelo sólido será dibujado a partir del modelo original del Sand Car Project.
- Se evaluará el modelo sólido para su capacidad de compatibilidad en el programa de simulación de elementos finitos.
- Se estudiará su capacidad en el análisis estático de las deformaciones y esfuerzos que afecten a la estructura del automóvil.
- Se obtendrá información necesaria a partir de las gráficas y tablas que se puedan generar utilizando el programa de análisis de elementos finitos (FEA).
- Se realizarán propuestas para mejorar el diseño del automóvil en sus componentes estructurales.

DELIMITACIONES Y LIMITACIONES

- Se considerará solo la parte estructural, es decir los componentes que forman la estructura tubular del automóvil, no incluirá el tren motriz, el sistema de suspensión, dirección o de frenado.
- Se generarán dibujos del automóvil. Si el programa de análisis estático no recupera la información generada, se tratará de no cambiar los aspectos originales del diseño.
- No se analizarán eventos dinámicos en la estructura.

- No se dibujarán planos del automóvil, ni se generará ningún plan de proceso de manufactura o de ensamble.
- Los estudios realizados no podrán conectarse a un sistema de Manufactura Integrada por Computadora (CAM) ni podrá generar planos de dibujo automático.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Método de Elementos Finitos (FEA)

EQUIPO A UTILIZAR:

- Bibliografía relacionada con cargas estáticas.
- Bibliografía especializada en el método de elementos finitos
- Sitios Web que contengan información sobre elementos finitos, como Algor.com y sitios de interés.
- Tesis que se relacionen con eventos mecánicos en el método de elementos finitos.
- Estaciones de trabajo PC, con procesador Pentium IV a 128 Mb de memoria o más.

ESTRUCTURA, OBJETIVOS Y METAS ESPECÍFICAS

CAPÍTULOS

- 1.0 Introducción
- 2.0 Principio del método de elementos finitos.
- 3.0 Descripción de Algor y antecedentes del vehículo tipo buggy.
- 4.0 Desarrollo del modelo en sólido y sus elementos.
- 5.0 Análisis de la compatibilidad del modelo sólido y sus elementos en el programa de elementos finitos y su probabilidad de análisis de cargas estáticas.

- 6.0 Recomendaciones para el diseño del modelo para su adecuación en el programa de elementos finitos.
- 7.0 Conclusiones.

CALENDARIO DE ACTIVIDADES (PROGRAMA DE TRABAJO TENTATIVO)

23 Sep.	Entrega de propuesta de tesis y bibliografía inicial.
Reporte 1	Capítulo 2.
Reporte 2	Capítulo 3.
Reporte 3	Capítulo 4.
Reporte 4	Capítulo 5.
Reporte 5	Capítulo 1,6 y 7.

AMBIENTE O LUGAR EN DONDE SE DESARROLLARÁ

Universidad de las Américas Puebla en convenio con la compañía MastrettaDesign.

En dado caso que se necesiten visitas a la empresa, se establecerá la conexión por medio del Ing. Philip Stabler el cual radica en la actualidad en el edo. de Puebla.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL (inicial)

Malek Madani, Reza. **Advanced Engineering Mathematics**. 1997,
Addison Wesley.

Hughes, Thomas. **The Finite Element method**. 1987,
Prentice Hall.

Steele, Jeffrey. **Applied Finite Element Modeling**. 1989,

Marcel Dekker, Inc.

Weaver, William y Johnston, Paul R. **Finite Elements for Structural Analysis**. 1984,
Prentice Hall

Bickford, William B. **A First Course in the Finite Element Method**. 1994,
Burr Ridge.

Spyrakos, Constantine. **Finite Element modeling in Engineering Practice**. 1994,
West Virginia University Press.

Rockey, K.C. **The Finite Element method: a Basic Introduction**. 1983,
Wiley.

Melosh Robert J. **Structural Engineering analysis by Finite Elements**. 1990,
Prentice Hall.

Chandrupatla, Tirupathi R. **Introduction to Finite Elements in Engineering**. 1991,
Prentice Hall.

Zahavi, Eliahu. **The Finite element Method in Machine Design**. 1992,
Prentica Hall.

Sabonnadiere, jean Claude, Coulomb Jean Louis. **Finite Element Methods in CAD**. 1987,
Springer- Velarg

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
PROPUESTA APROBADA.....	ii
ÍNDICE	viii
LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE TABLAS	6
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 2 PRINCIPIO DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.....	Error!
Bookmark not defined.	
2.1 ANTECEDENTES DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 DISCRETIZACIÓN DE ELEMENTOS	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 FORMULACIÓN DE ESFUERZO, DEFORMACIÓN Y RIGIDEZ...	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 LA ECUACIÓN ENSAMBLADA DEL ELEMENTO Y LA SOLUCIÓN	Error!
Bookmark not defined.	
2.3 TIPOS DE ELEMENTOS	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 ELEMENTOS TIPO VIGA	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 ELEMENTOS TIPO PLACA	Error! Bookmark not defined.
2.3.3 ELEMENTOS TIPO ARMADURA	Error! Bookmark not defined.
2.3.4 ELEMENTOS TIPO MEMBRANA.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.5 ELEMENTOS ELÁSTICOS BIDIMENSIONALES...	Error! Bookmark not defined.
2.3.6 ELEMENTOS TIPO LADRILLO O BLOQUE	Error! Bookmark not defined.
2.4 REQUERIMIENTOS DE MODELADO	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL	Error! Bookmark not defined.
2.4.3 RESTRICCIONES DE DESPLAZAMIENTO Y CONDICIONES DE FRONTERA..	Error!
Bookmark not defined.	

2.4.4	FUERZAS APLICADAS.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 3 BREVE DESCRIPCIÓN DE ALGOR Y ANTECEDENTES DEL AUTOMÓVIL		
TIPO BUGGY		Error! Bookmark not defined.
3.1	BREVE DESCRIPCIÓN HISTÓRICA	Error! Bookmark not defined.
3.2	CAMPOS DE APLICACIÓN DE ALGOR.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.1	UTILIDADES AUXILIARES DE LOS PROCESADORES	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	MATERIALES COMPUESTOS	Error! Bookmark not defined.
3.3	ETAPAS DE PROCESAMIENTO	Error! Bookmark not defined.
3.4	INTERFACES DE ALGOR	Error! Bookmark not defined.
3.4.1	PROCESO DE MODELADO EN SUPERDRAW	Error! Bookmark not defined.
3.4.2	INTERFAZ CAD.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.3	VÍNCULO FEA EDITOR	Error! Bookmark not defined.
3.4.4	POST PROCESAMIENTO, ETAPA DEL SUPERVIEW.....	Error! Bookmark not defined.
3.5	ANTECEDENTES DEL AUTOMÓVIL TIPO BUGGY	Error! Bookmark not defined.
3.5.1	CONCEPCIÓN DEL AUTOMÓVIL BUGGY.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.2	PRODUCCIÓN DEL AUTOMÓVIL BUGGY	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 4 DESARROLLO DEL MODELO EN SÓLIDO Y SUS ELEMENTOS		
Bookmark not defined.		
4.1	EL MODELO SANDCAR TUBOLARE	Error! Bookmark not defined.
4.2	MATERIAL Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	Error! Bookmark not defined.
4.3	ELEMENTOS TRIDIMENSIONALES EN CAD.....	Error! Bookmark not defined.
4.4	MODELO EN CAD DEL AUTOMÓVIL SANDCAR TUBOLARE..	Error! Bookmark not defined.
4.5	MODELO SÓLIDO DEL SANDCAR TUBOLARE.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DEL MODELO SÓLIDO Y SUS ELEMENTOS EN EL PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS Y SU PROBABILIDAD DE ANÁLISIS DE CARGAS ESTÁTICAS.....		
Error! Bookmark not defined.		
5.1	TIPOS DE ARCHIVOS CON FORMATOS BÁSICOS EN UN PROGRAMA CAD	Error! Bookmark not defined.
Bookmark not defined.		

5.2 ARCHIVOS QUE PUEDEN LEER LOS PRE PROCESADORES..... **Error! Bookmark not defined.**

5.3 EXPORTACIÓN DE LOS ARCHIVOS NEUTRALES DESDE EL SISTEMA
PRO/ENGINEER.....**Error! Bookmark not defined.**

5.4 EXPORTACIÓN DEL MODELO TUBOLARE DESDE PRO/ENGINEER AL PROGRAMA
ALGOR.....**Error! Bookmark not defined.**

5.5 IMPORTACIÓN DEL MODELO AL PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS ALGOR
Error! Bookmark not defined.

**CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES EN EL DISEÑO DEL MODELO PARA SU ADECUACIÓN
EN EL PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS.....Error! Bookmark not defined.**

6.1 LA INTERACCIÓN DEL DISEÑO DEL VEHÍCULO Y EL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE
ELEMENTOS FINITOS.....**Error! Bookmark not defined.**

6.2 RECOMENDACIONES EN EL DISEÑO DEL VEHÍCULO **Error! Bookmark not
defined.**

6.3 DATOS IMPORTANTES PARA LA ETAPA DEL PRE PROCESAMIENTO **Error!
Bookmark not defined.**

6.3.1 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LOS OBJETOS QUE INTERACTÚAN CON LA
ESTRUCTURA Y SU PESO.**Error! Bookmark not defined.**

6.3.2 CONDICIONES DE FRONTERA**Error! Bookmark not defined.**

6.3.3 DEFINICIÓN DEL TIPO DE ELEMENTO**Error! Bookmark not defined.**

6.3.4 EL MATERIAL Y SUS ESPECIFICACIONES**Error! Bookmark not defined.**

6.4 ETAPA DE PRE PROCESAMIENTO DEL ANÁLISIS**Error! Bookmark not defined.**

6.4.1 INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS EN EL FEA EDITOR **Error! Bookmark not
defined.**

6.5 PROCESAMIENTO O ANÁLISIS DEL MODELO**Error! Bookmark not defined.**

6.6 POST PROCESAMIENTO O RESULTADOS**Error! Bookmark not defined.**

6.6.1 CRITERIO DE FALLAS VON MISES**Error! Bookmark not defined.**

6.6.2 CRITERIO DE FALLAS TRESCA**Error! Bookmark not defined.**

6.6.3 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS ENTRE AMBOS CRITERIOS ..**Error! Bookmark
not defined.**

6.7	DIFERENCIAS ENTRE EL MODELO VIRTUAL Y EL MODELO FÍSICO.	Error!
	Bookmark not defined.	
6.8	ANÁLISIS AL SOPORTE DEL MOTOR	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 7	CONCLUSIONES	Error! Bookmark not defined.
7.1	CONCLUSIONES GENERALES SOBRE EL MODELO ...	Error! Bookmark not defined.
7.2	CONCLUSIÓN DEL TRABAJO REALIZADO.....	Error! Bookmark not defined.
BIBLIOGRAFÍA	Error! Bookmark not defined.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 Representación de un sólido bidimensional como un ensamblaje **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.2 Modelo de elemento finito de una viga empotrada. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.3 Elemento tipo viga con sus grados de libertad. ...**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.4 Representación de los grados de libertad de un elemento tipo armadura. .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.5 Elemento tipo membrana de forma triangular.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.6 Elemento tipo elástico bidimensional triangular .**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.7 Representación grafica de un elemento tipo bloque en forma de puntos nodales.
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.8 Modelo hecho en CAD mallado automáticamente..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.9 Modelo mallado de una pista con trayectoria variable..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2.10 Viga restringida con varias cargas aplicadas.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.1 Logotipo y dibujo emblema de la empresa ALGOR..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.2 Modelo Autodesk en ALGOR.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.3 Modelo utilizado en un análisis dinámico.**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.4 Bicicleta modelada en sólido con análisis en ALGOR. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.5 Interfaz de ALGOR.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.6 Modelo mallado en la interfaz del Superview.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.7 Modelo sólido en la interfaz de CAD.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.8 Modelo sólido en la interfaz FEA Editor.**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.9 Modelo sólido en la interfaz Superview.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.10 Modelo sólido en la interfaz Superview (Von Misses)... **Error! Bookmark not defined.**

- Figura 3.11 Bosquejo de un buggy hecho por Bruce Meyer. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.12 Sistema de moldura en fibra de vidrio hecha por Bruce Meyer. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.13 Uno de los primeros buggies construidos por Meyer. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.14 Primeros anuncios publicitarios de la empresa constructora de buggies. . **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.15 Primeras modificaciones al buggy con chasis de VW. ... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.16 Producción en serie de la segunda generación del buggy. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 3.17 Comparación de los buggies antiguos (derecha) con **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.1 Modelo de un buggy de las primeras generaciones. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.2 Bosquejo dibujado del modelo Sandcar Tubolare. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.3 Sketch del modelo Sandcar Tubolare. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.4 Elementos tridimensionales básicos en CAD. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.5 Modelo suavizado de superficie en tres vistas. ... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.6 Modelo mostrando las superficies como una malla. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.7 Fotografía ampliada de secciones abiertas del modelo. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.8 Secciones abiertas del modelo de alambre. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.9 Modelo de alambre de la estructura del SandCar **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.10 Exportación del modelo de alambre en formato IGES. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.11 Ventana de exportación a formato .IGES. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.12 Rótulo emblema de la firma Pro/ENGINEER. . **Error! Bookmark not defined.**

- Figura 4.13 Ventana de aplicación en ProE (apertura de archivos IGES). **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.14 Ejemplos de puntos eleccionados para extruir el tubo **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.15 Cuadro que muestra los pasos para hacer elemento sólido **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.16 Tubo extrudido en el modelo de alambre **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 4.17 Modelo sólido del Sandcar Tubolare en Pro/E. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.1 Ejemplo del lenguaje EXPRESS **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.2 Ejemplo de un archivo IGES en 3D (Tamaño = 32K) **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.3 Modelo *part* de la estructura del automóvil creada en Pro/ENGINEER. ... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.4 Ventana que muestra la opción de exportar **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.5 Ventana de exportación en ProE **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.6 Opciones de exportación para archivos IGES en ProE **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.7 Indicación en la ventana de creación del archivo **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.8 Ventana principal de apertura de archivos en ALGOR..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.9 Modelo renderizado en ALGOR del automóvil. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.10 Ventana que establece el mallado para los modelos. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 5.11 Modelo del automóvil Tubolare mallado en ALGOR..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.1 Modelo *part* de la estructura del automóvil creada en Pro/ENGINEER. ... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.2 Modelo modificado del automóvil Tubolare..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.3 Parte delantera modificada al automóvil **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.4 Elemento del chasis antiguo **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.5 Elemento del chasis nuevo. **Error! Bookmark not defined.**

- Figura 6.6 Modelo dibujado del Tubolare señalando los elementos .. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.7 Diagrama de cuerpo libre estableciendo las fuerzas **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.8 Puntos que restringen al modelo o condiciones ..**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.9 Modelo mallado en el FEMPRO.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.10 Ventana de la definición de las unidades en ALGOR..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.11 Ley de Hooke, coeficiente de restitución k **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.12 Ingreso del coeficiente de restitución del resorte helicoidal en ALGOR.. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.13 Puntos de las condiciones de frontera establecidos en el modelo. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.14 Fuerzas establecidas en el modelo de acuerdo a criterio del sketch..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.15 Especificaciones del material 4130 en ALGOR..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.16 Ventana que muestra el avance del análisis.**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.17 Esfuerzos Von Mises mostrando el valor máximo y mínimo en la estructura.
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.18 Deformaciones que existen dentro de la estructura..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.19 Desplazamientos máximos y mínimos en la estructura... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.20 Esfuerzos máximos en la zona de pasajeros 59.19 MPa. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.21 Esfuerzos en el soporte del motor.**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.22 Esfuerzos en la zona de unión entre el soporte y la estructura. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.23 Esfuerzos en los elementos cercanos al soporte del motor. ...**Error! Bookmark not defined.**

- Figura 6.24 Esfuerzos presentados en la placa que soporta la flecha transmisión. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.25 Esfuerzos en la defensa del vehículo y secciones de unión ... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.26 Deformaciones presentadas en la defensa del vehículo. . **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.27 Esfuerzos mostrados por la teoría de fallas TRESCA..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.28 Deformación unitaria que presenta la teoría de fallas TRESCA..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.29 Origen de coordenadas CS1 para las propiedades geométricas **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.30 Modelo del soporte del motor en sólido.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.31 Esfuerzos en el soporte del motor**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.32 Deformaciones en el soporte del motor.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 6.33 Desplazamientos en el soporte.**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 7.1 Fotografía del instrumento de medición *strain gauge*..... **Error! Bookmark not defined.**

LISTA DE TABLAS

- Tabla 4.1 Composición química del Chromemoly 4130**Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 4.2 Tipos de medidas que se encuentran para la aleación Chromemoly 4130 ... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 4.3 Composición química de el acero 1026.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 4.4 Propiedades físicas de el acero 1026 DOM.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 5.1 Entidades que soportan los archivos IGES.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 6.1 Calibre del tubo para un diámetro exterior de 1 ½ pulg. **Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 6.2 Composición química del Chromemoly 4130**Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 6.3 Información adicional de las propiedades geométricas del modelo. **Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 6.4 Diferencias entre el modelo real y el modelo virtual..... **Error! Bookmark not defined.**
- Tabla 7.1 Propiedades del acero 4130 en sus tratamientos térmicos.. **Error! Bookmark not defined.**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico de nuestros días es una llave poderosa, que con el tiempo ha sido refinada para poder mejorar el nivel de eficiencia de los procesos y trabajos que en las empresas o industrias es necesario optimizar. Uno de estos avances es el diseño asistido por computadora, que nos permite diseñar un objeto con características y propiedades particulares e inclusive tomar estas características para simular el comportamiento de estos objetos y obtener resultados dentro de un ambiente virtual para optimizar dichos diseños.

El campo de trabajo no es nuevo sin embargo es en estos tiempos, la capacidad de los ordenadores se ha incrementado en un porcentaje muy alto para crear junto con ellos programas poderosos que simulen algún determinado suceso, el campo de aplicaciones es muy extenso sin embargo en este trabajo solo nos enfocaremos a una rama de la ingeniería mecánica; la estática.

Este campo de acción sobre simuladores de análisis ha tenido un gran impacto dentro de los procesos de diseño, ya que es posible redefinir las propiedades y características determinadas de cierto elemento o mecanismo, minorizando el tiempo y los costos que se tendrían si normalmente se hicieran pruebas físicas a prototipos de estos elementos.

Este trabajo tiene una conexión muy estrecha con el campo de simuladores de análisis, y esta basado en el análisis por el método de elementos finitos. Este método no es nuevo y sus bases matemáticas han permitido establecer el uso de algoritmos para poder

desarrollar nuevos softwares de análisis que nos ayudan a mejorar y prevenir fallas en algún modelo determinado de estudio, en este caso el modelo de estudio fue establecido por la empresa Tecnoidea S.A. de C.V. que otorgó la información requerida del modelo para el cuál se estableció un estudio de adaptación y compatibilidad en un programa de elementos finitos, para el análisis de esfuerzo y deformación generadas por cargas estáticas que estuvieran presentes en un modelo real. El presente trabajo, desarrolló este objetivo, tratando de optimizar la estructura del modelo Tubolare para así mejorar las condiciones de diseño y obtener un mejor funcionamiento del vehículo en general.

El capítulo dos explica los antecedentes del método de los elementos finitos, también se explican sus bases y los fundamentos matemáticos que este método posee, se hace también una reseña práctica de los datos necesarios para poder hacer un análisis por medio de este método.

En el capítulo tres se compone de dos partes en la primera se explica el funcionamiento del programa de análisis de elementos finitos, estableciendo sus antecedentes, así como los tipos de interfaz que se pueden tener dentro del mismo programa. En la segunda se establecen los antecedentes de este tipo de vehículo y su desarrollo, el cual fue denominado “buggy”.

El capítulo cuatro hace referencia al proceso del modelado en sólido tomando las bases de la información proporcionada por la empresa para así poder desarrollar en un programa CAD con alta capacidad en modelaje de sólidos, la estructura general del modelo. También se inicia el proceso de importación y exportación de los datos lo cuál es uno de los objetivos principales para el estudio de este trabajo.

En el capítulo cinco se hace un estudio sobre la compatibilidad y adaptación del modelo sólido dentro del programa de elementos finitos, estimando la probabilidad para su análisis dentro del programa de elementos finitos.

El capítulo seis establece las bases para el proceso de análisis dentro del programa de elementos finitos, como los datos necesarios y propiedades particulares del modelo así como también se presentan los resultados del post procesamiento que fueron obtenidos por el programa de análisis de elementos finitos para implementar una modificación pertinente y así obtener un desempeño eficiente de la estructura.

El capítulo siete presenta las conclusiones planteadas a partir de los resultados obtenidos en el programa de análisis de elementos finitos, así como las recomendaciones que se pueden seguir para asegurar el buen funcionamiento del vehículo cuando es sometido a cargas estáticas.

Es así como a partir del supuesto de poder hacer el análisis con elementos curvos dentro del programa de análisis de elementos finitos se procedió a realizar este trabajo que tuvo como objetivos poder adaptar el modelo hecho en sólido dentro del Software FEA, estableciendo su posibilidad de importación/exportación de datos que contienen los archivos CAD, para su posterior análisis y así poder completar el estudio sobre las cargas estáticas que existen en la estructura del automóvil.