

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS**

*Departamento de Ingeniería Mecánica*

**EMPRESA MILITAR INDUSTRIAL Cor FRANCISCO AGUIAR RODRÍGUEZ**

*Unidad 7 Desarrollo Tecnológico*



## **Trabajo de Diploma**

***Título: “Estudio del comportamiento estático y de los modos de frecuencia del chasis y la estructura del Proyecto Girón Modernizado.”***

***Autor: Yunelky Brito Fernández.***

***Grupo: 1                  Número: 5***

***Tutor: Dr. César A. Chagoyén Méndez***

***Tutor de la Empresa: Ing. Alexander Pereira Domínguez***

Curso 2010-2011

# PENSAMIENTO

*Saber no es suficiente, debemos aplicar. Desear no es suficiente, debemos hacer.*

*Johann W. Von Goethe*

# DEDICATORIA

*A mi familia, en especial a mi mama por ayudarme y apoyarme en todas mi decisiones. A mis amigos. Sin ustedes esto no hubiera sido posible.*

# AGRADECIMIENTOS

*A todas las personas que de una forma u otra tuvieron que ver para que yo pudiera cumplir mi sueño graduarme y ser un profesional.*

*Primeramente agradecer a mis padres y en especial a mi mamá, también a mi hermano, a mi novia, a mi familia que se preocupó siempre por mis estudios, los que lo que me apoyaron siempre.*

*A mis amigos tanto de la Universidad como de afuera, a ustedes que estuvieron siempre conmigo y juntos pasamos momentos buenos y malos.*

*A Yasmany, Leonel, Yoan, Yoanni, Yasniel aunque te encuentres lejos, Anthony, Armany, Frank R., Ernesto, Lázaro, Yasel, Liban, Pachy, Yunisbel(chinito), Eney, Osvaldo, Dayron, Ortiz, .....*

*A mis primos y parientes que quiero mucho y se preocupan por mis estudios en especial Israel y Fina.*

*A mis amigos y compañeros de aula que han venido desde mis primeros estudios y juntos hemos vivido estos lindos años en lo que se es un aprendiz.*

*A mis maestros y profesores que son los que directamente tienen que ver que todo lo que aprendí y hoy soy, a ustedes les digo son como padres en la vida de nosotros.*

*A mi tutor por ayudarme en la elaboración e inculcarme que siempre que pueda que aprenda.*

*A todos les estoy muy agradecido de corazón.*

# RESUMEN

El chasis y la estructura de un ómnibus representan la columna vertebral estructural del mismo. Su función principal es soportar el peso de los componentes y accesorios así como las cargas útiles a transportar. Cuando el ómnibus transita por una carretera o un camino sin pavimentar, el mencionado chasis está sujeto a vibraciones inducidas y a la excitación producida por los componentes vibrantes montados sobre él. Este Trabajo de Diploma se desarrolló en la Unidad 7 “Desarrollo Tecnológico” de la Empresa Militar Industrial “Cor. Francisco Aguiar Rodríguez” en coordinación con la Facultad de Mecánica de la Universidad Central de las Villas Marta Abreu. En el mismo se presenta el análisis estático y los modos de frecuencia del chasis y de la estructura del Proyecto de Ómnibus Girón Modernizado, para lo cual fue necesario: construir el modelo geométrico, elegir el material adecuado, determinar las cargas y elaborar el modelo de elementos finitos. Finalmente se realiza un análisis de los resultados obtenidos.

# ABSTRACT

The chassis and the structure of a bus represent the structural spinal cord of it. Its main function is to support the weight of the components and accessories and also the useful charges to transport. When the bus is running over a street or a road , the chassis is subject to inducted vibrations and to the excitation produced by the vibrating components placed on it. This Diploma Paper was carried out in Unit 7 "Technological development" from the Industrial Military Enterprise "Cor. Francisco Aguiar Rodríguez" in coordination with Mechanics Faculty of Central University Martha Abreu of Las Villas. The statical analysis and the modes of chassis and structure frequency of Proyecto de Ómnibus Girón Modernizado for which it was necessary to build the geometrical model, to chose the accurate material, to determine the charges and to elaborate the finite elements model; are presented on this paper. Finally an analysis of the obtained results is presented.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN.....	9
Capítulo 1: Aspectos generales del chasis y la estructura del Ómnibus Girón Modernizado.....	13
Clasificación de los ómnibus de pasajeros .....	13
1.2 Descripción del Ómnibus Girón Modernizado. ....	14
1.3 Carrocerías Metálicas. ....	16
1.4 Cálculo de estructuras.....	16
1.5 Cálculo de la resistencia. ....	17
1.6 Definición de los materiales y sus características .....	17
1.7 Componentes estructurales principales de un autobús.....	19
1.8 La carrocería. ....	19
1.9 Diseño del Chasis. ....	20
1.10 Modelado. ....	21
1.11 Estructura.....	22
1.12 Distribución de la carga sobre los componentes de la carrocería .....	23
1.13 Definición de las cargas. ....	24
Capítulo 2: Modelado, Simulación y Análisis Estructural. ....	26
2.1 Fundamentos del análisis de estructuras. Necesidad del modelo físico – matemático.....	28
2.2 Condiciones generales para el modelado de estructuras.....	28
Geometría. ....	28
2.3 Casos de carga en análisis. ....	29
2.4 Determinación de las condiciones iniciales del modelo. ....	29
2.5 Simulación de cargas. ....	29
2.6 Modelo Geométrico del Chasis. ....	30
2.7 Modelo geométrico de la estructura ensamblada en el Chasis. ....	31
2.8 Características principales del ómnibus .....	32
2.9 Aspectos fundamentales en la rigidez del chasis. ....	32
2.10 Comportamiento del chasis con las cargas aplicadas.....	33
2.11 Malla de elementos finitos. ....	33
2.12 Fuerzas que actúan sobre la carrocería. ....	34
2.12.1 Cargas de flexión. ....	34
2.12.2 Cargas torsionales.....	35
2.13 Soporte de cargas: Estructuras de armazón .....	35
2.13.1 Estructura frontal .....	37
2.13.2 Estructura posterior.....	38
2.14 Cálculo de Frecuencias por el Método de los Elementos Finitos. ....	39
2.15 Distribución de las cargas en el Chasis.....	40
2.16 Normas Internacionales. ....	41

2.16.1 Normativas internacionales que afectan unidades de transporte de pasajeros .....	42
2.16.2 Requerimientos del Reglamento 36 [4].....	42
2.16.3 Requerimientos Reglamento 66 [4] .....	43
2.16.4 Aspectos generales relativos a las normas internacionales. (Ecuador)43	
Capítulo 3: Análisis de los resultados obtenidos.....	44
3.1 Resultados del Análisis Estático. ....	44
3.1.1 Análisis Estático del chasis ante cargas de Flexión.....	44
3.1.2 Análisis Estático del chasis ante cargas de Torsión. ....	47
3.1.3 Análisis Estático de la estructura. ....	49
3.2 Resultados del Análisis de Frecuencias del chasis.....	51
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES.....	56
BIBLIOGRAFIA .....	58
ANEXOS .....	61

# INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que el transporte es una de las vías principales de la economía y el desarrollo, el gobierno cubano continúa con la renovación de su sistema de transporte con la llegada de otros buses, locomotoras y vagones desde el exterior, con ello se espera recuperar un sector que tocó fondo tras la caída de la Unión Soviética en los '90.

Joel Archer, viceministro de Transporte en declaraciones a la prensa oficial plantea que desde que comenzó el proceso de recuperación del transporte -año 2005- hasta la fecha, se han adquirido 2.678 ómnibus (autobuses) nuevos procedentes de China, Rusia y Bielorrusia para reemplazar el viejo parque de transporte.

La isla, en la que las deficiencias del transporte público hacen a muchos recurrir a la solidaridad de los automovilistas para llegar a sus destinos, el Gobierno ha invertido más de 260 millones de dólares desde el 2005 hasta la fecha con el fin de mejorar las carencias en esta área.

El gobierno cubano ha centrado sus esfuerzos para mejorar el transporte urbano en las ciudades de La Habana y Santiago de Cuba así como el transporte nacional en general. Se han dado pasos de gran importancia en cuanto al ahorro, la reparación y la remodelación de algunos ómnibus que ya circulaban.

El Ministerio del Transporte prevé que para el 2012 se logre trasladar el 85% de los pasajeros que se trasladaba antes del período especial, etapa en la cual el campo socialista proveía más de 50% de todo el sistema.

La Empresa Militar de Sancti Spiritus aporta a este gran objetivo del país realizando un nuevo proyecto de modernización del ómnibus Girón. En esto se enfoca el presente trabajo.

En este proyecto se pretende utilizar el chasis del ómnibus Girón y sobre él montar una estructura nueva con una mejor forma aerodinámica y apariencia exterior. El modelo geométrico del chasis que es el sistema de interés para éste trabajo, es dibujado con el software SolidWorks SPO 2006. A estos mismos sistemas se les realizará el análisis de los modos de frecuencia y el cálculo estático.

Para este último propósito existen varias vías, una de ellas es la utilización del Método de los Elementos Finitos (MEF).

El MEF es un método para la determinación de Tensiones y Deformaciones conocido con Método de los Elementos Finitos, el cual es muy empleado actualmente e incluso es exigido por las normas de muchos países.

El análisis por elementos finitos desde su enfoque matemático fue desarrollado en 1943 por Richard Courant, quien usó el Método de Ritz del análisis numérico y el cálculo variacional, obteniendo soluciones aproximadas para sistemas oscilatorios. Desde el punto de vista ingenieril, el análisis por elementos finitos se origina como el método de análisis estructural de matrices de desplazamiento, el cual surge luego de varias décadas de investigación, principalmente en la industria aeroespacial inglesa, como una variante apropiada para el uso computadores.

El MEF se aplica comúnmente en determinar los esfuerzos y desplazamientos en sistemas mecánicos. Es además usado de manera rutinaria en el análisis de muchos otros tipos de problemas, entre ellos transferencia de calor, dinámica de fluidos, y electromagnetismo. Con el MEF se pueden manejar sistemas complejos cuyas soluciones analíticas son difícilmente encontradas.

La aplicación de técnicas de cálculo por Elementos Finitos combinada con medidas de extensometría hacen posible realizar cada día estudios y análisis más profundos y con mayor exactitud.

Las técnicas de cálculo basadas en el análisis por Elementos Finitos permiten obtener diseños óptimos para una amplísima gama de problemas estructurales, frente a la aplicación de las teorías clásicas de la Elasticidad y Resistencia de Materiales en las que es necesario adoptar un sinnúmero de hipótesis simplificadoras con los consecuentes sobredimensionamientos estructurales y elevados costes.

Volviendo a la estructura del ómnibus, dentro de toda la estructura el chasis es la armazón metálica sobre el que se montan y relacionan todos elementos del automóvil. Su propósito es conectar rígidamente la suspensión delantera y la trasera y al mismo tiempo ofrecer puntos de amarre para los diferentes sistemas del vehículo, así como de proteger al conductor frente a la posible colisión. El chasis es quien soporta las mayores tensiones y deformaciones. El mismo debe ser rígido para deformarse poco y así no alterar las características de la conducción. **[1]**

Al diseñar un chasis debe existir un compromiso entre la rigidez, el peso y el espacio, sin olvidar el coste final. Deben considerarse la resistencia estática y a fatiga, la estabilidad de los miembros estructurales, la capacidad de soporte de carga de las uniones, la fabricación y el montaje. **[1]**

En este proyecto serán analizados tanto la resistencia estática como los modos de frecuencia del chasis del ómnibus Girón modernizado.

### **Idea inicial**

Necesidad de modernizar la estructura del Ómnibus Girón para lo cual es necesario verificar la resistencia del chasis.

### **Planteamiento del problema**

Se desconoce la resistencia estática y los modos de frecuencia del chasis y la estructura del ómnibus Girón modernizado que se ha diseñado.

### **Objetivo General**

Evaluar la resistencia del chasis y la estructura del ómnibus Girón modernizado así como los modos de frecuencia del chasis.

### **Objetivos específicos**

1. Construir el modelo geométrico del chasis del ómnibus Girón modernizado.
2. Construir el modelo de Elementos Finitos del chasis y de la estructura del ómnibus Girón modernizado.
3. Evaluar la resistencia del chasis y la estructura del ómnibus Girón modernizado así como los modos de frecuencia del chasis.

### **Hipótesis**

Si se construyen adecuadamente el modelo geométrico y de elementos finitos se podrá evaluar la resistencia del chasis y la estructura del ómnibus Girón modernizado así como los modos de frecuencia del chasis.

### **Tareas**

- 1.- Construir el modelo geométrico del chasis del ómnibus Girón modernizado en el software SolidWorks 2010.
- 2.- Hacer la selección del material con el que se van a construir el chasis y la estructura. Definir las condiciones de frontera y de carga a que van a estar sometidos.
- 3.- Construir el modelo de elementos finitos del chasis y la estructura.
- 4.- Evaluar la resistencia estática y los modos de frecuencia mediante los software COSMOSWork de SolidWorks 2010 y MSC. Visual Nastran.

# **Capítulo 1: Aspectos generales del chasis y la estructura del Ómnibus Girón Modernizado.**

Este capítulo tratará sobre los aspectos generales de las partes que forman el ómnibus así como algunos detalles del mismo.

## ***Clasificación de los ómnibus de pasajeros***

Existen en el mundo una gran variedad de vehículos a motor para el transporte de pasajeros por lo que a continuación se expondrán algunos aspectos los mismos.

Según el Reglamento 36 de la Unión Europea [2], un vehículo de transporte de pasajeros es una unidad concebida y equipada para el transporte público de más de 16 viajeros.

### **Categorización de los vehículos de transporte**

De acuerdo con la Directriz UNECE TRANS/WP.29/78/Rev.1/Amend.2 [3], existen 7 categorizaciones para vehículos a motor, pero la estudiada es la siguiente:

- CATEGORÍA M – Vehículos a motor con al menos cuatro ruedas usados para el transporte de pasajeros.

### **Categoría M.**

Las categorías M incluyen las unidades de transporte de pasajeros, dentro de las cuales se numeran, pero la que se estudiará en este trabajo es la M3.

- CATEGORÍA M3: Vehículos usados para el transporte de pasajeros, comprendidos por más de ocho butacas adicionales a la del conductor y con un peso máximo mayor a 5 toneladas

### **Clases.**

Para los vehículos de la categoría M3 cuya capacidad exceda los 22 pasajeros adicionales al conductor se definen tres Clases. El vehículo de transporte de pasajeros que se estudiará es la clase 2, la cual se explica a continuación.

CLASE 2: autobús interurbano, vehículo construido principalmente para transportar pasajeros sentados y diseñado para permitir el transporte de pasajeros

de pie únicamente en el pasillo o áreas que no excedan el espacio provisto para las filas de asientos dobles.

### **Tipos de Construcción.**

Los vehículos de transporte de pasajeros se clasifican según varios criterios:

Según su tipo de construcción se clasifican en:

Simple y Articulado. En el presente trabajo se estudiará el de construcción simple.

- Simple: vehículo automotor constituido de una unidad estructural y en el cual el peso de la carrocería se carga en el chasis.

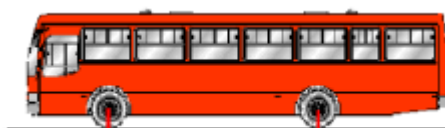


Figura 1.1 Unidad de transporte de construcción simple.

Existen varias clasificaciones de ómnibus según los ejes, la que estudiamos es la 4 x2:

- 4 x 2: con cuatro puntos de apoyo en tierra y 2 de tracción. Es el tipo de unidad generalmente concebida por su versatilidad y abundancia en el mercado.

Según el segmento del mercado al cual se dirija [4], se tiene:

- Transporte urbano: unidades diseñadas para su circulación en centros urbanos densamente poblados, con espacios considerados para pasajeros de pie.

### **1.2 Descripción del Ómnibus Girón Modernizado.**

La Empresa Militar Industrial “Cor. Francisco Aguiar Rodríguez” se encuentra ubicada en la carretera central del municipio de Sancti Spíritus. La misma se dedica a la reparación, modernización, remotorización y fabricación de técnicas de transporte de las FAR. La EMI cuenta con nueve unidades productivas y departamentos que tributan a su producción.

Hay algunas definiciones generales del ómnibus, a continuación se exponen.

Este ómnibus se empleará para el traslado de pasajeros por carreteras pavimentadas. En su fabricación se emplearán diferentes materiales, tales como acero y sus laminados utilizados en la construcción de la estructura, chapa de aluminio para el exterior y fibra de vidrio para el interior y el techo. En la Figura 1.2 se puede apreciar el aspecto exterior del ómnibus.



Figura 1.2 Aspecto exterior del ómnibus.

Posee cuatro ventanas panorámicas a cada lado, las que le brindan al ómnibus buena ventilación, gran visibilidad y estética, las mismas poseen un cristal móvil en la parte inferior lo que permite abrirlas y cerrarlas mediante de una corredera y un cristal fijo en la parte superior que permite la entrada de claridad al interior del mismo.

En la parte trasera se encuentran instalados dos cristales fijos que brindan amplia visibilidad desde el interior del ómnibus. Se ha equipado de seis faroles en la parte trasera, para el alumbrado nocturno, cuatro en la parte inferior que incluye intermitente, estacionamiento y luces de población y dos faroles en la parte superior. Además un parachoques trasero de diseño atractivo que le brinda gran elegancia del ómnibus.

En la parte delantera se encuentran instalado dos cristales fijos panorámicos que brindan amplia visibilidad al chofer del ómnibus. Se ha equipado de seis faroles, para el alumbrado nocturno, cuatro en la parte inferior para el alumbrado de carretera, incluye intermitente, estacionamiento y luces de población y dos

faroles en la parte superior. Además un parachoques delantero de diseño robusto lo cual brinda un cierto atractivo al ómnibus. Las esquinas delanteras son suavizadas con radios de curvaturas que armonizan el diseño en sentido general.

En la parte delantera del lateral derecho, por delante de la goma se ha instalado la puerta de entrada y salida de los pasajeros, dotada esta de un mecanismo de cierre auto basculante de precisión y seguridad.

Los colores de las pinturas se combinan de tal forma en franjas y bandas sobre un fondo de color claro que nos da idea de confort y elegancia en el ómnibus.

Para el diseño y fabricación del ómnibus se prevé utilizar las tecnologías existentes en Cuba que se corresponden con las normas para este tipo de producto, desarrollando metodología de cálculo y ensayos que aseguren la calidad exigida según las normas internacionales.

### ***1.3 Carrocerías Metálicas.***

La carrocería de un autobús es el sistema estructural encargado de brindar soporte, fijación y forma a la unidad de transporte, y al mismo tiempo, seguridad a los pasajeros.

Las carrocerías metálicas están presentes en una gran variedad de vehículos a motor, por lo que inicialmente se expondrán los aspectos principales de los mismos.

A la hora de proyectar un nuevo modelo se deben conjugar de forma satisfactoria una serie de factores, como son la habitabilidad, el confort, la aerodinámica y la seguridad, encaminados a obtener un producto que ofrezca una potencia significativa basada en una notable economía de consumo armonizada con la imagen de la marca. Como ejemplo en un vehículo deportivo se sacrifica la habitabilidad a favor de la estética y aerodinámica, en un ómnibus lo que prima es la habitabilidad interior pasando a segundo plano la aerodinámica.

### ***1.4 Cálculo de estructuras.***

El principio universal en el cálculo de estructuras se basa en el hecho de que las deformaciones resultantes sean proporcionales a las tensiones aplicadas ya

que la estructura del nuevo modelo debe absorber la máxima energía sacrificándose en defensa de los pasajeros.

Para determinar las características estáticas, dinámicas y acústicas se recurre a la integración de elementos finitos, lo cual se basa en la idea fundamental de descomponer cualquier cuerpo tridimensional en figuras geométricas simples cuyos comportamientos elásticos son conocidos y fáciles de formular matemáticamente.

Habitualmente suele descomponerse en triángulos cuyos vértices presentan coordenadas espaciales y que fruto de las tensiones aplicadas se desplazan en el espacio haciendo que los vértices de los triángulos adyacentes se desplacen vuelvan a desplazarse y así hasta que la tensión producida en cadena se equilibre.

### ***1.5 Cálculo de la resistencia.***

El estudio de cálculo de estructuras consiste en determinar la relación entre la fuerza y el desplazamiento para cada elemento componente de la estructura. Una vez realizado dicho estudio se procede al ensamblaje del conjunto de elementos en el que se debe establecer el equilibrio de fuerzas en cada unión.

Además de las tensiones causadas por sistemas de sujeción y cargas suspendidas, que se calculan por el método de los elementos finitos, hay ciertas piezas del vehículo como montantes, travesaños y paragolpes, que se encuentran sometidas frecuentemente a cargas de flexión o torsión. En estos casos resulta adecuado el empleo de programas de cálculo de secciones.

En este capítulo se plantean algunas estrategias a seguir obtenidos del estudio de algunos proyectos ya elaborados. En nuestro país la bibliografía con respecto a esto es pobre y no hay ningún proyecto realizado completamente.

### ***1.6 Definición de los materiales y sus características***

El material escogido debe ser de alta resistencia a los esfuerzos máximos. Los diseñadores de los autos de competiciones como la Formula SAE [5] utilizan materiales de altas aleaciones y son altamente resistentes pero a la vez muy caros. En el trabajo del Ing. Jorge Luis Cepeda [1] se escoge un Acero al carbono con aleación de Si y Mn.

El material que se empleará en el chasis será el CT-3 cuyas características se dan a continuación, mientras que para la estructura se empleará el acero 45:

Composición química del acero Ct3:

Tabla 1.1: Composición química del acero Ct3.

C	Si	Mn	Nb,V	N
0.2	0.2	0.5	-	-

Propiedades mecánicas del acero Ct3:

Tabla 1.2: Propiedades Mecánicas del acero Ct3.

Propiedades mecánicas del acero Ct3	
Límite de fluencia ( $\sigma_y$ ):	25kgf/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura ( $\sigma_B$ ):	45kgf/mm <sup>2</sup>
Alargamiento relativo ( $\delta$ ):	30 %
Resiliencia ( $\alpha_{eIV}$ ).	1 kgf*m/cm <sup>2</sup>

Composición química del acero 45:

Tabla 1.3: Composición química del acero 45.

C	Si	Mn	P	N
0.5	0.05	0.8	0.04	-

Propiedades mecánicas del acero 45:

Tabla 1.4: Propiedades Mecánicas del acero 45.

Propiedades mecánicas del acero 45.	
Límite de fluencia ( $\sigma_y$ ):	51kgf/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura ( $\sigma_B$ ):	59kgf/mm <sup>2</sup>
Alargamiento relativo ( $\delta$ ):	12 %
Resiliencia ( $\alpha_{eIV}$ ).	1 kgf*m/cm <sup>2</sup>

### 1.7 Componentes estructurales principales de un autobús.

En general, un autobús de pasajeros se compone de dos partes fundamentales (Figura 1.3):

- **Chasis:** Según Juan Velázquez [6] en su proyecto constituye el bastidor que sirve de soporte físico, sobre el cual descansa la carrocería. Se emplea principalmente en vehículos de carga como camiones y buses, y también como refuerzo en autos de competición, provee el soporte necesario para montar los componentes que mueven la unidad y todos los sistemas mecánicos que la componen (motor, transmisión, diferencial, tanques de combustible, fluidos hidráulicos, etc.).

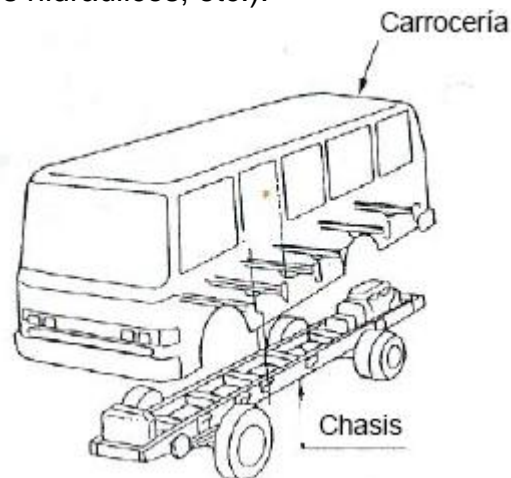


Figura 1.3 Componentes estructurales de un ómnibus.

### 1.8 La carrocería.

La carrocería es el sistema mecánico destinado al transporte de pasajeros y carga, constituyendo tanto la interfaz entre el viajero y el vehículo, es decir, la parte física de la unidad de transporte en contacto con el pasajero, como los sistemas de soporte estructural.

#### Partes de la carrocería

Estructura: Conocida también como superestructura<sup>11</sup> o estructura de esqueleto, es el sistema estático que provee resistencia, rigidez y soporte físico a la carrocería; está diseñada para absorber y dispersar la energía proveniente de pesos muertos, condiciones de manejo, irregularidades, impactos y colisiones

mediante el redireccionamiento de la misma desde miembros expuestos hacia miembros menos solicitados a través de juntas rígidas, consiguiendo su disipación.

Paneles externos o forros: superficie exterior en contacto con el ambiente, constituida por laminas metálicas o piezas de materiales compuestos, dan la forma distintiva a la unidad y son las responsables de la protección de la estructura contra la corrosión a través de capas de recubrimiento.

### **1.9 Diseño del Chasis.**

El diseño del bastidor del chasis se hace tomando en cuenta la carga que va a soportar, el tamaño final del vehículo y las condiciones de uso. En la estructura del chasis lo determinante es la no deformación, es decir la rigidez. Dicha estructura debe ser lo suficientemente fuerte y rígida para soportar las cargas de la carrocería y por lo tanto asegurar un periodo de servicio de millones de kilómetros. Del mismo modo, la rigidez es responsable de la buena adherencia de la unidad, lo que repercute en la facilidad de manejo. Esto significa que la estructura del chasis debe ser lo suficientemente rígida para resistir flexión y torsión. Dado que la mayoría de las cargas que actúan sobre el vehículo lo hacen en las suspensiones frontal y posterior, la rigidez del chasis entre estos dos puntos es de vital importancia.

Existen trabajos como el del Ing. Jaime Alberto [7] en el que se emplean técnicas modernas de medición experimental. En el presente trabajo no se realizan experimentos, debido a que no es el objetivo del mismo.

En el trabajo de Jorge Luis Cepeda [1] utiliza la expresión global para calcular la rigidez una vez teniendo los valores de las cargas aplicadas, es mas fácil y mas rápida

La expresión global de la rigidez es:

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad 2.1$$

Donde:

P - es la carga aplicada,

$\Delta$  - es el desplazamiento.

Existe una relación directa entre la rigidez, el momento de inercia y el área de la sección transversal. Se pretende que sean altas pero solo lo necesario.

### **1.10 Modelado.**

En la modelación de piezas tan importantes como lo es el chasis se puede observar que en el trabajo del Ing. Jorge Luis Cepeda [1] utiliza software AutoCad 2006 y SolidWorks 2006 para el modelado en tres dimensiones. Para la simulación de la estructura completa se utilizó el software estructural SAP2000 9.3, y para la simulación de elementos particulares, CosmosWorks 2006, dada la aceptación y buen desempeño de los programas mencionados.

En otro trabajo como el del Ing. Jaime Alberto [7] se dibujan los modelos por los software CAD y CAE y para la simulación de la estructura utilizó los software como SolidEdge® y el ANSYS WORKBENCH®. En este trabajo se tendrán en cuenta los métodos seguidos por estos autores:

Hay tres tipos de secciones principales de los largueros (vigas) del chasis. Estos son:

**Canal C**  
**Caja cerrada**  
**Canal U**

En los trabajos antes mencionados los tipos de secciones usados principalmente son los de Canal C aunque Juan Velázquez [6] en su trabajo Análisis, Diseño y Construcción de un chasis utilizó el tipo de sección de caja cerrada pero el bastidor del chasis iba a ser sometido a cargas mucho mayores y pruebas más exigentes.

En este trabajo el tipo de sección mas empleado es el de canal C en casi todo el chasis como en la estructura aunque también en algunas partes se usará el tipo de sección caja cerrada con el objetivo de lograr una mayor resistencia en algunos lugares donde serán sometidos a mayores esfuerzos.

Todos los vehículos automotrices requieren la estructura de bastidor para formar el chasis y tener la suficiente resistencia para soportar la carrocería, el motor, la unidad motriz y las suspensiones. Estos elementos estructurales pueden ser un chasis separado, en el caso de los bastidores convencionales, o pueden estar soldados como parte de la lámina del piso en la carrocería unitaria.

### **1.11 Estructura**

La estructura de una carrocería de autobús es el armazón que soporta los embates de las condiciones de manejo a las cuales es sometido, las cargas que se requieren transportar, y el estado de las vías. Las estructuras laterales, juntamente con el techo y el piso forman las unidades estructurales o pórticos que soportan y absorben las cargas externas. Al funcionar como elementos que soportan cargas combinadas es necesario que su diseño sea detallado y probado para garantizar un comportamiento adecuado en circunstancias reales de utilización. La estructura de una carrocería es un sistema en el cual se conjuga distintos tipos de miembros estructurales de comportamientos disímiles. Las estructuras laterales (como se verá más adelante) son armaduras, y la estructura del techo une las columnas de estas armaduras para formar pórticos.

La carrocería completa, la estructura y el bastidor del chasis forman una estructura integrada, es decir, el chasis soporta casi toda la carga que recibirá el autobús porque la misma se distribuye hacia todos los miembros de la estructura la cual esta apoyada en el chasis.

A la hora de diseñar la estructura hay que tener en cuenta la dispersión de cargas, las fuerzas que actúan sobre la estructura deben ser bien distribuidas para que la estructura completa soporte parte de la carga.

### 1.12 Distribución de la carga sobre los componentes de la carrocería

Cada elemento de la carrocería soporta alguna componente de las cargas aplicadas sobre la estructura debido a la propia naturaleza de las cargas y a su origen.

Así, las cargas de flexión actuarán en mayor medida en diferentes miembros y secciones de la estructura que las cargas de torsión.

A continuación se analizará la incidencia de las cargas sobre la estructura un análisis más detallado mostrará el comportamiento de cada parte de la estructura ante la aplicación de determinada combinación de cargas.

De acuerdo a investigaciones exhaustivas y a la experiencia acumulada a través de los años y según el Manual para el Montaje de carrocerías de la HINO MOTORS LTD[8], es posible estimar la proporción de carga que soporta cada elemento de una carrocería de esqueleto de refuerzo de una unidad de transporte de pasajeros.

Esta estimación proporciona una referencia del comportamiento de la estructura y brinda algunos parámetros para el análisis y diseño de la misma ya que afina el criterio del diseñador de las zonas más propensas a falla durante el funcionamiento. La gráfica siguiente muestra comparativamente la proporción de carga a flexión que soporta cada elemento de la carrocería:

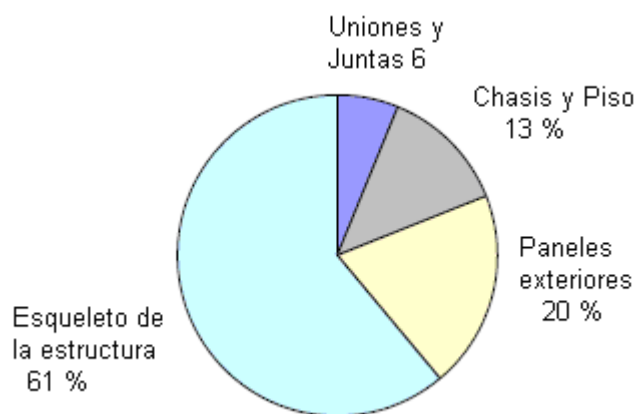


Figura 1.4 Distribución de la carga de flexión sobre los componentes de la carrocería.

Como se puede apreciar en la figura 1.4 el mayor porcentaje de carga es soportada por el esqueleto de la carrocería, lo que afianza el principio de diseño de crear un dispositivo rígido que actúe como una unidad estructural.

**Proporción de la carga de flexión soportada por los componentes de la estructura**

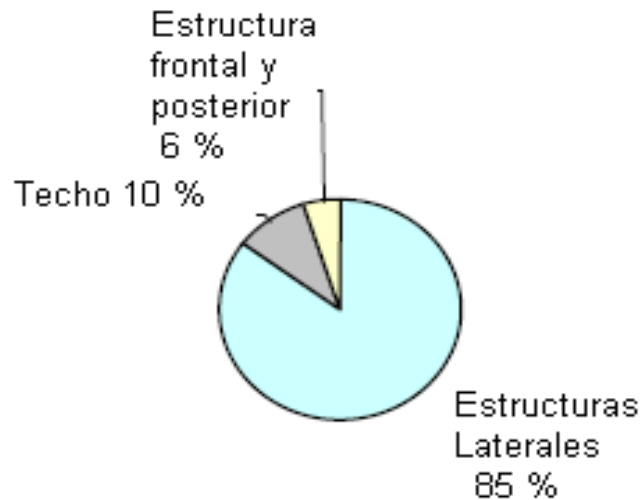


Figura 1.5 Distribución de la carga de flexión sobre el esqueleto de la estructura

La gráfica anterior muestra que la mayor parte de carga flexionante se transmite hacia el bastidor que incluye la estructura del piso de la carrocería a las estructuras laterales, lo que evidencia la gran importancia de analizar su comportamiento y poner cuidado en su diseño, evitando concentradores de esfuerzo y zonas poco rígidas.

### **1.13 Definición de las cargas.**

Jorge Luis Cepeda Miranda [1] en su trabajo determina las cargas de la siguiente manera: se calcula el peso de cada elemento que conforma el chasis con la estructura así como el peso de todos elementos del ómnibus sumándole el peso de los pasajeros. En este trabajo se seguirá esta forma, las cargas serán determinadas a partir de tener en cuenta el peso de la estructura y las chapas, el peso del motor, de los asientos y el peso de los pasajeros sentados y de pie.

Carga estática:

- Estructura y chapa: 1364 kg
- Motor Yuchai: 350 kg
- Asientos: 32\*5:160 kg
- \* Con respecto al peso de los pasajeros se asume un peso estándar del pasajero de 75 kg.
- 32 pasajeros sentados\* 75 kg: 2400 kg.
- 20 pasajeros de pie\* 75 kg: 1500 kg.
- Peso del tanque de combustible (lleno):120 kg.
- Peso de la caja de cambios 105 kg.
- Peso del radiador: 45 kg.
- Peso de la batería: 35 kg.

Peso total: 6079 kgs

## **Capítulo 2: *Modelado, Simulación y Análisis Estructural.***

Para la correcta selección de los paquetes computacionales que ayuden al proceso de análisis de la estructura de la carrocería del autobús Ómnibus Girón Modernizado se deben seguir ciertos criterios generales en orden de importancia:

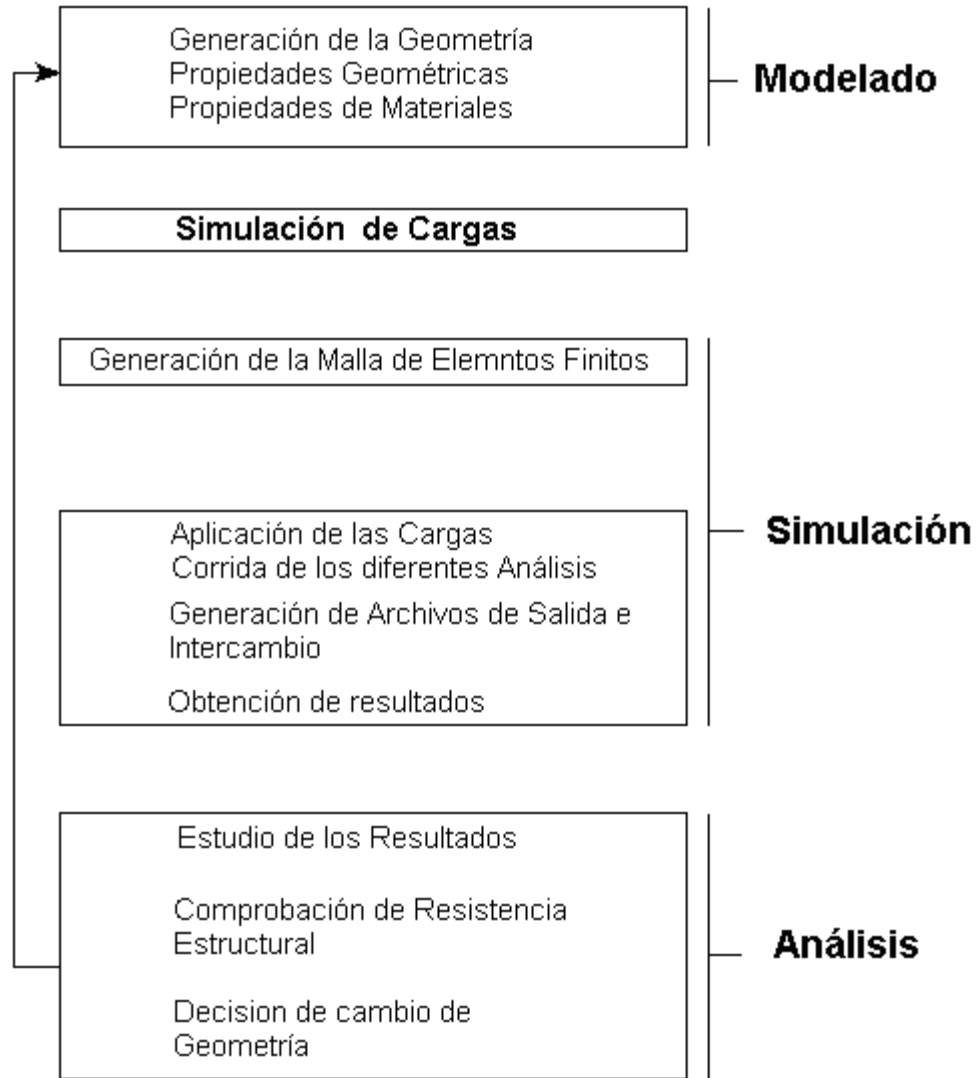
- Aplicabilidad técnica y principio de funcionamiento.
- Capacidad de manejo y procesamiento de la geometría propuesta.
- Principio de cálculo y capacidad de expresión de resultados.
- Disponibilidad y factibilidad de manejo

En este capítulo presentaremos algunos modelos geométricos y de elementos finitos así como modelos donde se puede ver los apoyos de las cargas sobre el bastidor.

El análisis de la estructura de la carrocería de una unidad de transporte consta de un conjunto de procesos que deben ser observados a cabalidad para la obtención de resultados apegados a la realidad. El ordenamiento lógico de estos procesos es dictaminado por las necesidades de la metodología de análisis. Por lo tanto, los procesos que componen la metodología de análisis de la estructura son:

- Modelado
- Simulación
- Análisis

Un esquema de estos componentes y su interacción aparecen en el siguiente esquema.



### **Modelado.**

El proceso de modelado se inicia con la generación de la geometría, la cual, debe tener gran cercanía a la realidad para poder arrojar resultados satisfactorios. Seguidamente se estudiarán las condiciones externas que afectan el comportamiento del modelo de la unidad de transporte, tales como restricciones, cargas, material, etc.

### **Simulación.**

Una vez definido el modelo se procederá al establecimiento de las cargas que soportará y al mallado del mismo para la resolución de las matrices resultantes encontrando de esta manera los esfuerzos a los cuales están sometidos los

miembros en particular. La efectividad de la simulación radica en la cercanía de las condiciones impuestas al modelo con la realidad.

### **Análisis.**

El análisis es el siguiente proceso dentro de la metodología de estudio de la unidad, donde se observan las zonas sometidas a esfuerzos y los miembros más cargados para determinar la validez del diseño y los cambios recomendados para el mejoramiento de su desempeño.

### **2.1 Fundamentos del análisis de estructuras. Necesidad del modelo físico – matemático**

Las estructuras de esqueleto de las carrocerías para autobuses son sistemas estructurales estáticamente indeterminados (hiperestáticos), en los que, a diferencia de los sistemas estáticamente determinados, en los cuales cualquier variación de dimensiones de las secciones transversales de los elementos así como de los materiales no afecta a las fuerzas internas, estos cambios provocan una redistribución de las fuerzas internas. Por lo tanto no se puede evaluar la resistencia sin realizar un nuevo análisis del comportamiento y distribución de las fuerzas en los elementos del sistema. Dada la complejidad geométrica de una estructura de esqueleto como se ha observado en las páginas anteriores, y la reconfiguración de las fuerzas internas de los miembros cuando se realiza una modificación en la geometría o propiedad de un elemento o elementos de la estructura, es necesario desarrollar un modelo físico – matemático de la misma que brinde resultados confiables y permita realizar las iteraciones necesarias en el proceso de rediseño.

### **2.2 Condiciones generales para el modelado de estructuras.**

#### **Geometría.**

Se tienen en cuenta todos los elementos que constituyen la estructura para su modelado con su forma original, es decir que los laterales, techo, apoyos, frontal y trasero serán primeramente esbozados en planos en dos dimensiones para luego ser esquematizados en tres dimensiones de manera que, tanto su ubicación espacial como su dimensiones se acerquen lo más posible a la realidad.

Todas las uniones entre los elementos se consideran rígidas. El chasis se considera en el modelado conservando su forma original, es decir se considera como elemento, tipo barra (canal). La estructura se une rígidamente al chasis y los apoyos de la suspensión se consideran fijos.

#### **Características del material.**

Los elementos del chasis serán constituidos de acero estructural Ct.3, mientras que la estructura será de acero 45, que es un material de fácil consecución para la empresa que desarrolla el presente proyecto.

### **2.3 Casos de carga en análisis.**

Se analizan principalmente dos casos de carga:

- Caso de Flexión.
- Caso de Torsión.

El caso de Flexión, es el caso más frecuente en utilización normal de los vehículos, y el caso torsional, que generalmente resulta en grandes concentraciones de esfuerzo en la estructura del ómnibus.

### **2.4 Determinación de las condiciones iniciales del modelo.**

La definición de las condiciones iniciales del modelo constituye el punto de partida, Es decir, se definirán los tipos de soportes de la estructura, los grados de libertad y los desplazamientos de los mismos. Seguidamente se definen las posiciones iniciales de los elementos de la estructura mediante de la fijación de sus soportes y las velocidades iniciales de los mismos.

### **2.5 Simulación de cargas.**

El sistema estructural en análisis soporta cargas tanto constantes como variables en el tiempo.

Las cargas variables son aquellas cuya magnitud puede cambiar en el transcurso del tiempo del análisis estructural. Principalmente se analizan las cargas generadas por los pasajeros que la unidad transporta, que son conocidas como

cargas vivas y las cargas generadas por las irregularidades del camino. Las cargas constantes en el tiempo, conocidas como cargas muertas, son aquellas cuya magnitud no varía en el intervalo de tiempo en el que se realiza el análisis.

## **2.6 Modelo Geométrico del Chasis.**

El chasis (figura 2.1) está formado por los largueros (L) unidos entre sí por varios travesaños (T), todas ellas de Acero CT-3 con sección en U de diversas formas rectas y curvas. Los largueros suelen estar encorvados en la parte posterior (P) con el objetivo de permitir las oscilaciones verticales del puente trasero. Durante la marcha del Ómnibus el chasis está sometido a violentos esfuerzos que, a pesar de las ballestas, tienden a deformarlo en todos sentidos; por ello conviene darle la máxima rigidez posible ya que asegura una conducción estable y firme sobre la carretera.

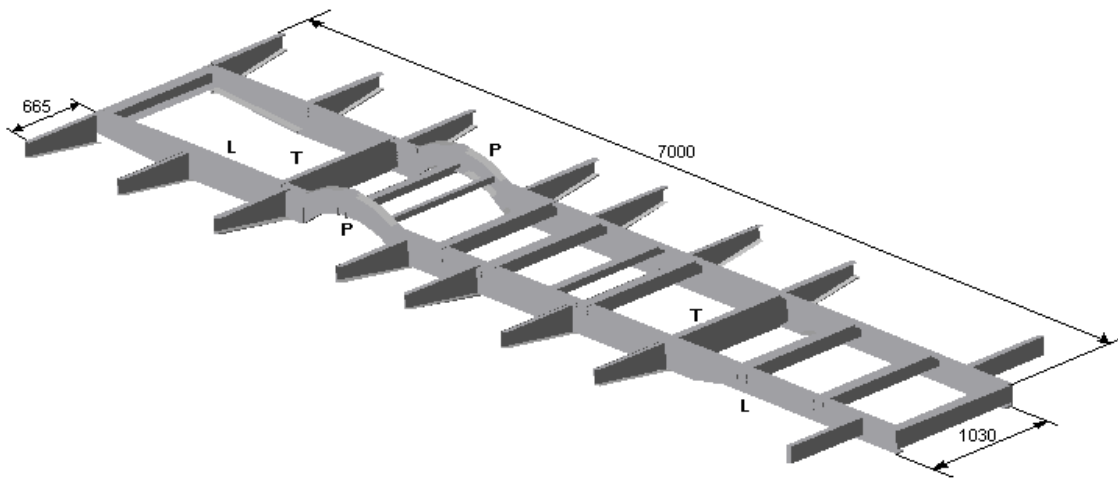


Figura 2.1 Chasis del Ómnibus Girón Modernizado.

La técnica de construcción de bastidor independiente utiliza un chasis que soporta todo el peso y las fuerzas del motor y de la transmisión. La carrocería, en esta técnica, cumple muy poca o ninguna función estructural.

La estructura está formada por varias vigas en secciones perpendiculares y diagonales. En la parte inferior y posterior estas vigas son cubiertas por chapas metálicas, a las ventanas se le añade marcos de aluminio y después se le coloca los cristales.

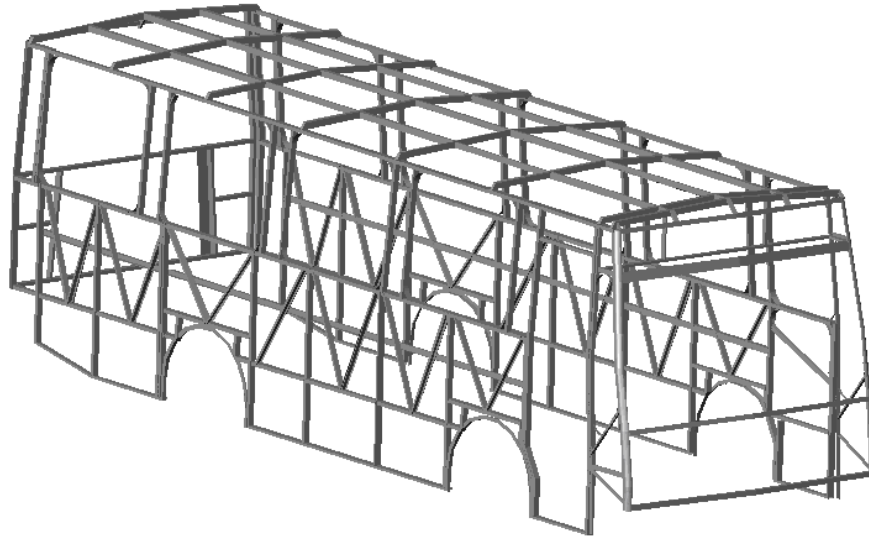


Figura 2.2 Estructura del Ómnibus Girón Modernizado.

### **2.7 Modelo geométrico de la estructura ensamblada en el Chasis.**

El modelo ensamblado del chasis y la estructura se representa en la figura 2.3. Este debe ser el modelo a analizar en un futuro. En el presente trabajo se trabajan el chasis y la estructura de forma independiente a los efectos de poder comparar los resultados obtenidos con los de otros autores que aparecen en la literatura.

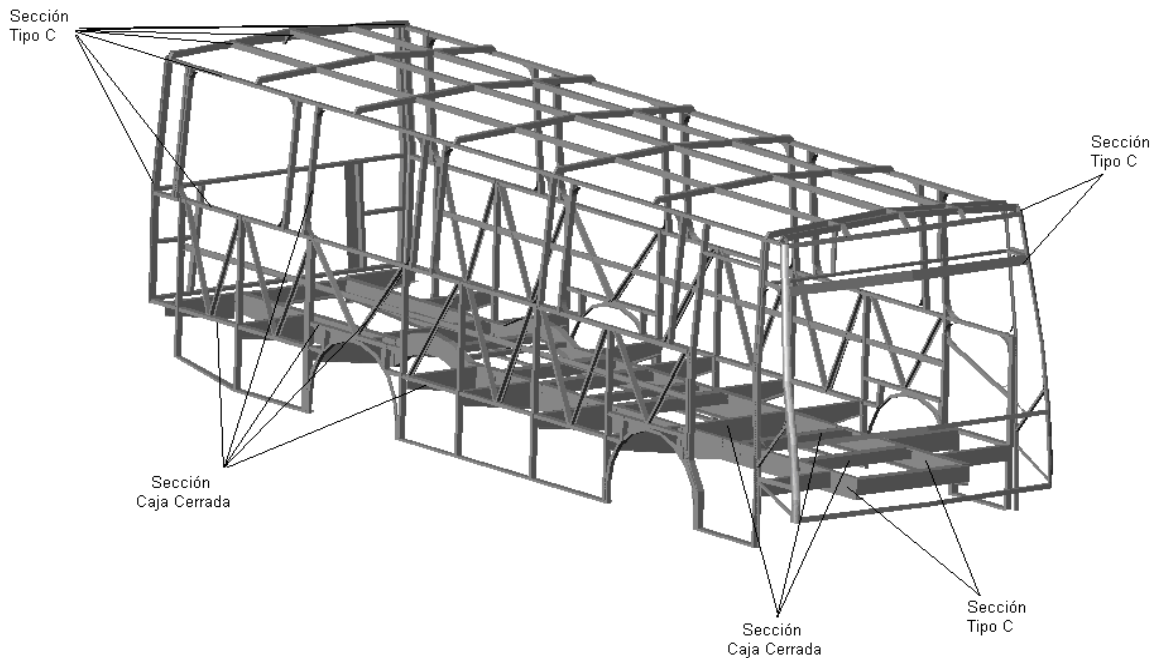


Figura 2.3 Estructura y chasis del Ómnibus Girón Modernizado.

Como podemos apreciar en la figura 2.3 el tipo de sección mas usado en el chasis como en la estructura es el tipo C ya que solo se emplea el tipo de sección tipo Caja Cerrada en los puntos donde puede estar sometidos a mayor fuerza, es decir, en la construcción de ambos algunas vigas son hechas con este tipo de sección para lograr una mayor resistencia.

## 2.8 Características principales del ómnibus

Tabla 2.1 Especificaciones del Ómnibus.

No	Especificaciones	U/M	Ómnibus Girón	Ómnibus Modernizado
1	Velocidad máxima sobre tramo de carretera recta y plana.	m/s	22	22
		(km/h)	(80)	(90)
2	Distancia de frenado en carretera horizontal seca con carga máxima. a 8.3 m/s (30 km/h)	m	11.5	11.5
3	Cantidad de pasajeros	personas	30-32	32- 42

## 2.9 Aspectos fundamentales en la rigidez del chasis.

### Rigidez a flexión

Se refiere a cuánto flexa el chasis cuando es cargado por el peso de los diferentes elementos que componen el vehículo, como son el motor, la transmisión, los tripulantes; soportado en los extremos y con la carga aplicada en el cuerpo, como una viga simplemente apoyada. Ver fig. 2.4 La experiencia indica que las cargas en este sentido no causan deflexiones considerables, por lo tanto no es común tener problemas de deflexión en vehículos.

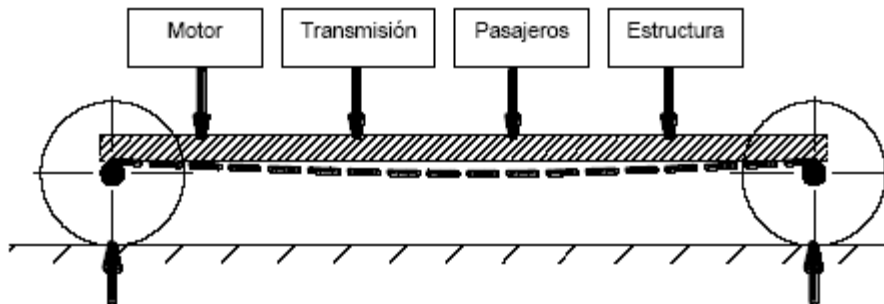


Figura 2.4 Cargas actuales en la deflexión del chasis.

### **2.10 Comportamiento del chasis con las cargas aplicadas.**

En los países desarrollados existen tecnologías, laboratorios y personal altamente calificado los cuales son capaces de calcular por métodos numéricos las estructuras y el chasis obteniendo resultados precisos.

En el proyecto de Colomina Frances [9] se modela el chasis seleccionando un tipo de elementos que se corresponde con el comportamiento de los perfiles estructurales. El chasis analizado está idealizado con una distribución de carga uniformemente repartida a lo largo de toda la longitud de los largueros y dispone de tres ejes con suspensión por ballesta que está unida mediante articulaciones al chasis.

### **2.11 Malla de elementos finitos.**

Se emplearan elementos tetrahédricos parabólicos de 10 nodos ya que de todos los elementos que posee el software de simulación MSC. Visual NASTRAN Desktop éste es el que mejor comportamiento posee. Una representación del tipo de elemento utilizado aparece a continuación así como la malla de elementos finitos del chasis del ómnibus.

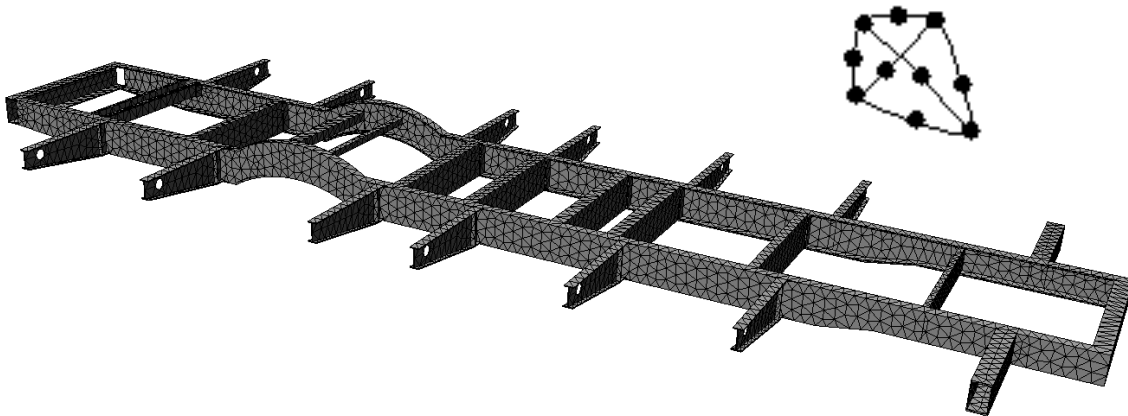


Figura 2.5 Tipo de elemento utilizado y malla de elementos finitos del chasis.

## 2.12 Fuerzas que actúan sobre la carrocería.

Cuando el bus está detenido o en operación, está sujeto a una variedad de fuerzas. Para su estudio y análisis, se seguirán dos criterios para definir y caracterizar las mismas:

- Criterio de efectos producidos.
- Criterio de magnitud y dirección (fuerzas dinámicas).

Es claro que ambos criterios coincidirán en ciertas definiciones, pero es conveniente dicha separación para caracterizar las cargas y determinar las zonas más vulnerables.

En función de los efectos que una carga produce en su acción sobre la estructura de un autobús de pasajeros y su frecuencia, las fuerzas más importantes, son las siguientes:

### 2.12.1 Cargas de flexión.

Son las interacciones que tienden a flexar (combar) la carrocería, actuando longitudinalmente sobre el chasis en dirección vertical hacia el centro de la tierra. Se producen por la acción del peso de la carga útil sobre la estructura y las fuerzas de reacción provenientes de la superficie de rodamiento. Fuerzas significativas de flexión actúan sobre el bus como un conjunto, aún cuando está detenido. La deformación es especialmente grande alrededor de la zona de pasajeros y de los compartimientos para los neumáticos y va progresivamente aumentando la deformación por flexión, dando como resultado una concentración del esfuerzo en las juntas (uniones) sobre cualquier extremo de los pilares tensionados de las ventanas laterales por fuerzas de flexión.

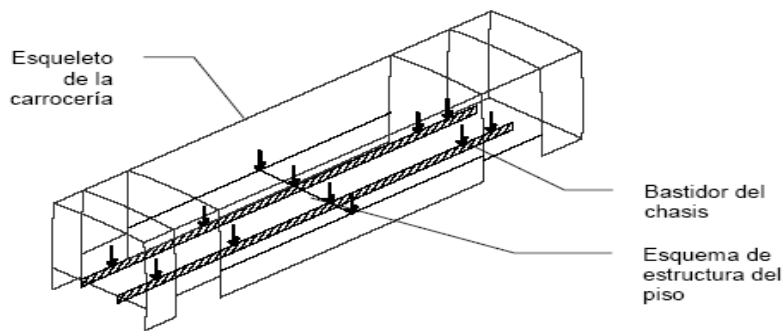


Figura 2.6 Comportamiento de las cargas flexionantes

### **2.12.2 Cargas torsionales.**

Son las fuerzas que tratan de torcer la carrocería, y que se presentan a los costados de la misma en direcciones contrarias, produciendo un momento torsor. Resultan de las interacciones alternativas derecha-izquierda de la carrocería, causadas por reacciones desde la superficie de rodamiento (baches e irregularidades) y el desbalance del peso de la carga útil en las direcciones izquierda y derecha. Cuando el vehículo está en operación, la fuerza torsional, resultante de las fuerzas de reacción desde la superficie del rodamiento, que actúan alternativamente sobre los lados de la carrocería del bus y el incremento de la carga debido a vibración, actúan sobre el bus repetidamente. Estas cargas conducen a extremas deformaciones y concentración de esfuerzo en todas las partes de la estructura de la carrocería, especialmente en las partes en donde hay rigidez insuficiente.

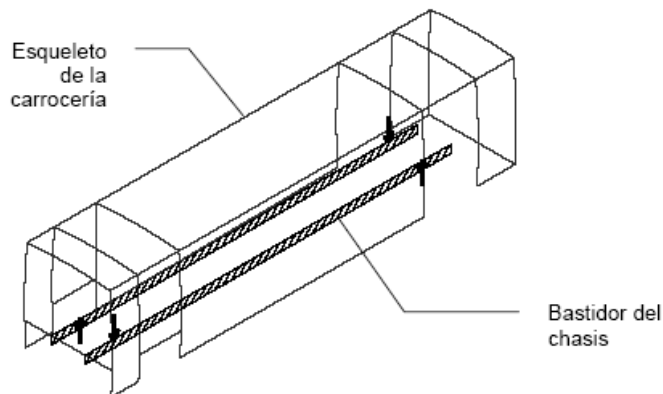


Figura 2.7 Comportamiento de las cargas torsionales

#### *Criterio de magnitud y dirección (fuerzas dinámicas)*

Al analizar y diseñar una estructura para carrocería de autobús es importante comprender que tiene que resistir todas las fuerzas dinámicas que se generen durante la marcha del vehículo.

### **2.13 Soporte de cargas: Estructuras de armazón**

En los elementos de la estructura lateral, las estructuras del armazón debajo de las ventanas constituyen en el medio de soporte de cargas más efectivo porque

proveen una alta rigidez contra las fuerzas verticales de combamiento. Por lo tanto, todas las cargas deben ser transmitidas hacia ellas.

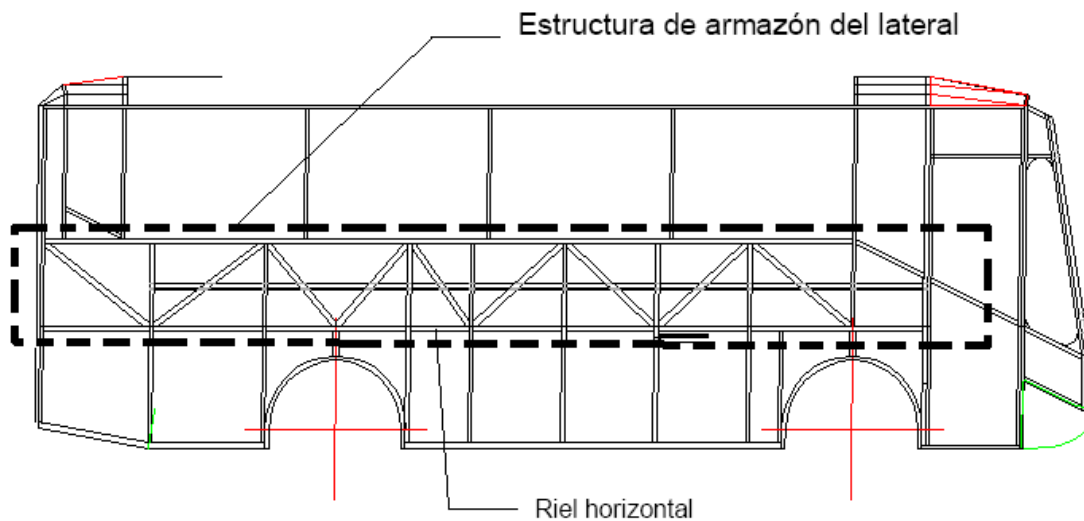


Figura 2.8 Estructura lateral

Las aberturas para las puertas (medio, posterior y de emergencia), interrumpen la alta rigidez al combamiento de esta estructura del armazón y producen una distorsión local extrema y concentración de esfuerzo alrededor de las mismas. Esta distorsión local lleva a un incremento del esfuerzo sobre las uniones de empalme de los pilares de las ventanas. Por lo tanto se debe reforzar las estructuras laterales, particularmente alrededor de las puertas. También se deben reforzar las estructuras laterales alrededor de los compartimientos de los neumáticos, los cuales cortan la estructura del armazón.

#### Reforzamiento para las estructuras laterales.

Las líneas de transmisión de la fuerza en la estructura del armazón deben orientarse de manera continua hacia los pórticos o arcos formados por las columnas y vigas de la estructura principal.

Sin embargo, el espacio disponible para el diseño de las ventanas laterales y el diagrama del equipo montado debajo del piso del vehículo, podría, en algunos casos, impedir la formación de éstos. En este caso, se deben colocar los pilares verticales de tal manera que ellos se cubran dentro de la estructura del armazón y se debe unir estos pilares verticales con miembros de refuerzo diagonales,

siguiendo las líneas de transmisión de fuerza dentro de la estructura del armazón. Esto completa efectivamente un arco en el mismo plano y permite una transmisión de fuerza con igual eficiencia, ayudando a prevenir la concentración de esfuerzo sobre un solo miembro.

En la figura 2.9 se puede apreciar las líneas de transmisión de fuerzas.

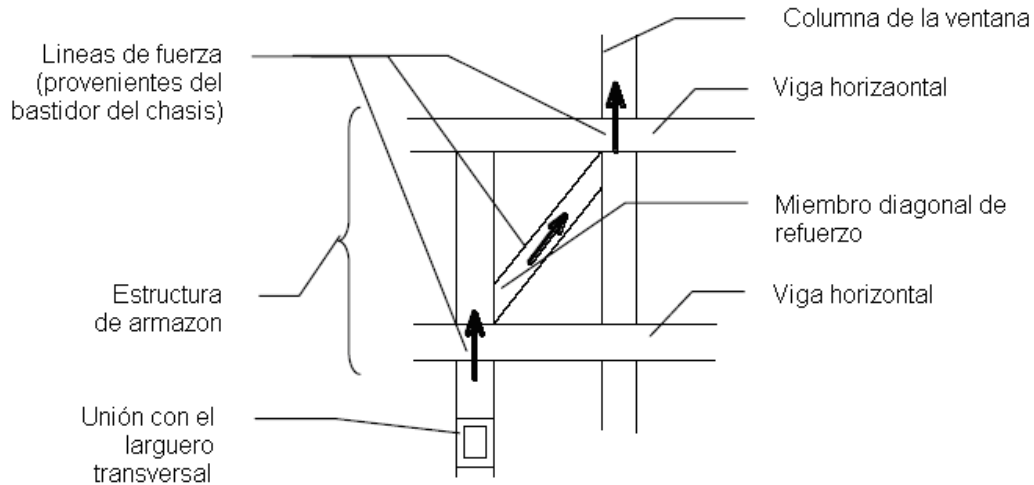


Figura 2.9 Transmisión de las fuerzas.

### 2.13.1 Estructura frontal

#### *Cargas soportadas*

La mayoría de las fuerzas internas causadas por la acción de las fuerzas externas sobre la estructura frontal son cargas que tienden a torser la estructura, puesto que actúan las reacciones desde la superficie de la carretera sobre la carrocería hacia la derecha e izquierda alternativamente.

El montaje de caucho del parabrisas constituye una importante apertura sobre la estructura frontal y es por lo tanto, difícil asegurar suficiente rigidez torsional en la estructura frontal. Por esta razón, se debe maximizar la rigidez torsional de la estructura frontal y prevenir cualquier carga de torsión sobre el parabrisas. La estructura frontal, incluyendo los miembros transversales en el extremo frontal del bastidor del chasis, deben formar un "arco" con alta rigidez torsional.

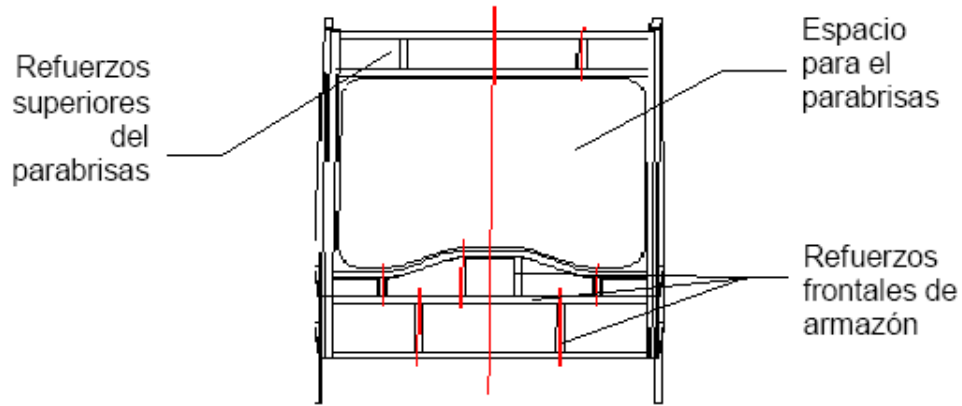


Figura 2.10 Refuerzos de la parte frontal.

### 2.13.2 Estructura posterior

Por esta razón, se debe colocar los elementos de la estructura posterior de tal manera que se asegure que el esqueleto de la estructura posterior por sí mismo tenga una alta rigidez al combamiento y que la carga desde el voladizo posterior sea transmitida lo más suavemente posible hacia las estructuras del armazón debajo de las ventanas laterales. En general, una configuración de estructura posterior aceptada es aquella en la que los miembros verticales y horizontales de la estructura posterior están unidas al bastidor del chasis y a las estructuras laterales de la carrocería.

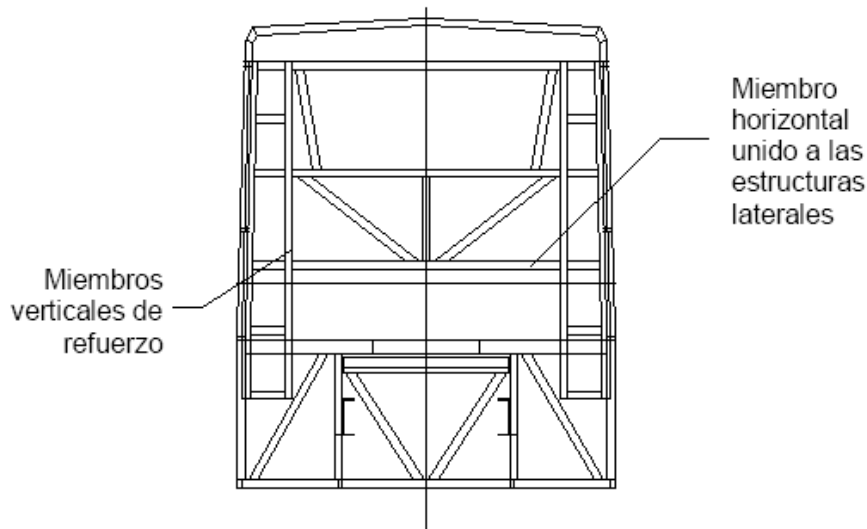


Figura 2.11 Refuerzos de la parte trasera.

## **2.14 Cálculo de Frecuencias por el Método de los Elementos Finitos.**

El cálculo de las frecuencias naturales y los modos es conocido como análisis modal, análisis de frecuencia o análisis del modo normal.

Las características dinámicas del chasis son muy importantes, sobre todo cuando se relacionan con su estado de operación.

Durante el proceso de trabajo del ómnibus, el chasis está sujeto a un conjunto de fuerzas provenientes de diferentes lugares tales como el motor, el sistema de transmisión, la carga que transporta, estado de la superficie de la carretera, etc. Cuando el ómnibus se desplaza por una carretera o por un camino rural el chasis experimenta excitaciones provenientes de la mayor o menor rugosidad de la carretera. Cada una de estas fuerzas de excitación tiene una frecuencia característica, las que al coincidir con la frecuencia natural de oscilación del chasis se produce el fenómeno de resonancia, lo que trae como consecuencia valores elevados los desplazamientos y de las tensiones así como fuertes vibraciones no deseadas, que conllevan a la destrucción parcial o total del chasis.  
[10]

La frecuencia natural del chasis tampoco debe coincidir con la frecuencia de los árboles de transmisión (ejes) debido a que puede ocurrir también el fenómeno de resonancia.

De todas las fuentes de excitación las que provienen de la carretera representa el principal disturbio o perturbación, con valores típicos de 0 a 100 Hz.

Al realizar el estudio de las frecuencias de oscilación (obtención de los valores de las frecuencias y de los modos de oscilación) mediante el Método de los Elementos Finitos, se pueden aplicar básicamente dos condiciones:

- 1ra condición: bajo esta condición no se le impone ninguna restricción al modelo ni ninguna carga, es conocido como "Free-free".
- 2da condición: se le asignan las mismas condiciones de frontera y de carga que en el análisis estático, las cuales deben coincidir con las condiciones críticas a que se encuentra sometido el chasis.

Las frecuencias obtenidas por ambas vías se utilizan para relacionar los modos propios de oscilación de la estructura con las condiciones operativas del ómnibus, es decir, con las frecuencias de vibración que producen las cargas y las restricciones aplicadas.

Un modelo real tiene un número infinito de frecuencias naturales. Sin embargo un modelo de elementos finitos tiene un número finito de frecuencias naturales que es igual al número de grados de libertad considerados en el modelo. Para la mayoría de los propósitos del cálculo de frecuencias sólo son necesarios los primeros modos.

Otro parámetro importante que se calcula dentro del análisis de frecuencias es el factor de participación de masas. En este trabajo será calculado.

### ***2.15 Distribución de las cargas en el Chasis***

El chasis analizado está idealizado con una distribución de cargas de Flexión y de Torsión. Se puede apreciar que en la parte trasera, es donde el chasis puede tender a fallar debido a que en esta zona es donde el vehículo hace la mayor fuerza y donde se efectúa la tracción que permite que el mismo se mueva.

Para el análisis de la resistencia del chasis ante cargas de Flexión, la carga total (6079 kg.) será distribuida en 104 puntos o vértices, a los cuales se les aplicará una carga de 58.45 kg. En la Figura 1.12 se puede apreciar esta distribución. En la Figura 1.13 se puede apreciar un detalle de la malla creada.

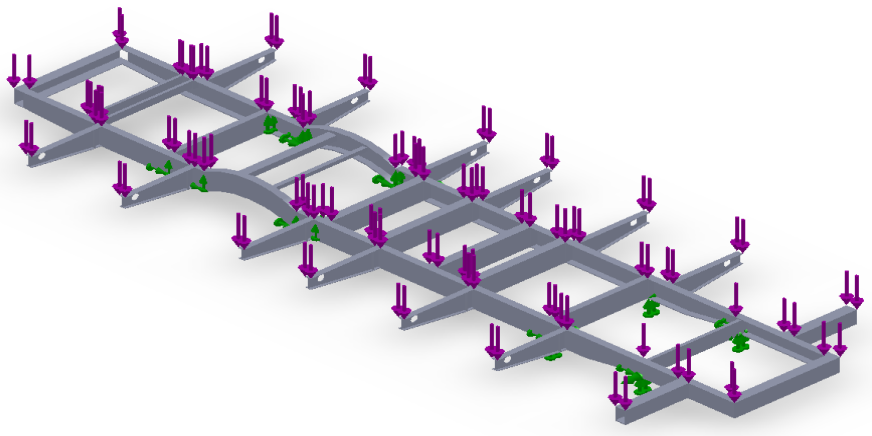


Figura 1.12 Distribución de cargas de flexión en el modelo.

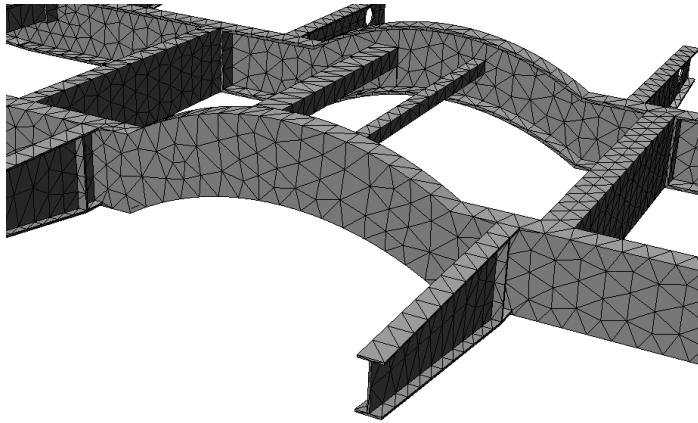


Figura 2.13 Detalle de la malla de elementos finitos.

Para el análisis de la resistencia del chasis ante cargas de Torsión, la carga total (6079 kg.) será distribuida en 52 puntos o vértices, a los cuales se les aplicará una carga de 116.9 kg. El chasis es dividido longitudinalmente aplicando estas cargas en sentido contrario, de forma tal que genere en el modelo el efecto de torsión que puede provocar que un neumático caiga en un bache de la carretera. En la Figura 2.14 se puede apreciar esta distribución.

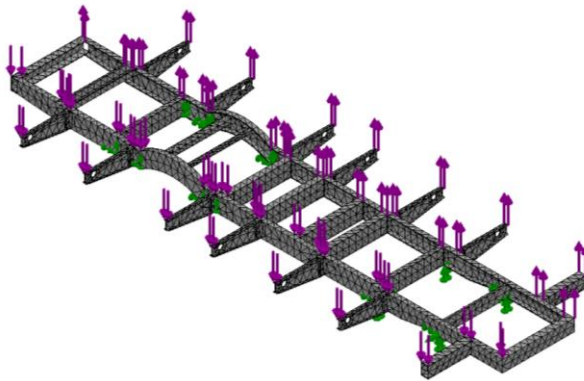


Figura 1.14 Distribución de cargas de Torsión en el modelo.

### **2.16 Normas Internacionales.**

Existen tres legislaciones a escala internacional que afectan significativamente el diseño estructural de vehículos de transporte de pasajeros. Estas son:

- Reglamentos anexos al Acuerdo de Ginebra (UNECE).
- Directivas de la CEE; que son contribuciones de los países europeos que no se superponen a los reglamentos de UNECE;

- Reglamentos de la American Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS), obligatorios para los vehículos en EE.UU.

### ***2.16.1 Normativas internacionales que afectan unidades de transporte de pasajeros***

En relación con los vehículos de grandes dimensiones de transporte de pasajeros, en lo que respecta a resistencia de su superestructura existe un reglamento de la FMVSS: «Regulation 571-220. School bus roll-over protection», no hay ninguna Directiva CEE y existen dos Reglamentos de Ginebra: «Reglamento 36 sobre prescripciones uniformes relativas a las características de construcción de los vehículos de transporte público de personas» y el «Reglamento 66 sobre prescripciones uniformes, relativas a la homologación de los vehículos de gran capacidad para el transporte de personas respecto a la resistencia mecánica de su superestructura». A continuación se describen sus requerimientos.

### ***2.16.2 Requerimientos del Reglamento 36 [4]***

La estructura de las unidades debe ser lo suficientemente sólida como para soportar una carga estática uniformemente repartida sobre su techo, igual al peso máximo técnico del vehículo o de una masa de 10 toneladas si el peso máximo técnico del vehículo sobrepasa esa cifra.

Se considera satisfactorio el requisito si se demuestra que, después de la aplicación de la carga de prueba durante cinco minutos, la reducción permanente de la distancia vertical entre el piso y la estructura del techo (deflexión) no excede de 5 (cm) en los elementos que transmiten la carga de la estructura que soporta el techo y 10 (cm) en cualquier otro punto entre esos elementos. La fuerza de ensayo se aplicará a los elementos resistentes del techo por medio de un dispositivo prácticamente rígido, que se adapte al perfil del techo y cuya proyección vertical envuelva todas las proyecciones verticales de la estructura antes, durante y después de la aplicación de la fuerza de ensayo. Se aplica a los vehículos no articulados y a los articulados de un solo piso, concebidos y construidos para el transporte de personas, que tengan una capacidad de más de 16 plazas.

### **2.16.3 Requerimientos Reglamento 66 [4]**

La estructura del vehículo tendrá la resistencia suficiente como para asegurar que durante y después de pasar por una de las pruebas de volcamiento:

- Ninguna parte desplazada del vehículo invada el espacio asignado a los pasajeros
- Ninguna parte del espacio de supervivencia sobresalga de la estructura deformada.

El presente reglamento es aplicable a vehículos de un solo piso construidos para el transporte de más de 16 personas sentadas o de pie, además del conductor.

### **2.16.4 Aspectos generales relativos a las normas internacionales. (Ecuador)**

A continuación se revisará los aspectos generales relativos a la construcción de carrocerías metálicas para su uso en el país en el transporte urbano interprovincial,

El chasis.

Distancia mínima entre ejes: 3500 mm.

Distancia máxima entre ejes: 5000 mm

Suspensión: Mecánica de ballesta, con estabilizadores y amortiguadores en ambos ejes.

Voladizo delantero: 800 mm. Mínimo.

Voladizo trasero: 40 % de la distancia entre ejes (entre 1400 y 2000mm).

#### **La carrocería.**

Material de la estructura: Aluminio estructural o acero perfilado o tubular galvanizado.

Ventanas: Perfiles de aluminio con cierres herméticos de caucho y vidrio automotriz de seguridad con espesor mínimo de 4 mm,

Material laminado de revestimiento exterior: Chapas lisas de acero o aluminio combinadas con elementos de fibra de vidrio.

Material laminado de piso: Chapas de aluminio anti-deslizante.

Material laminado de revestimiento interior: Chapas de aluminio combinadas con chapas melamínicas o acrílicas.

## **Capítulo 3: *Análisis de los resultados obtenidos.***

En este capítulo se lleva a cabo el análisis de los resultados de de la simulación realizada.

El pos procesamiento de los resultados se puede dividir en dos partes:

- Resultados del análisis Estático.
  - Análisis Estático de chasis ante cargas de Flexión.
  - Análisis Estático de chasis ante cargas de Torsión.
  - Análisis Estático de la estructura.
- Resultados del análisis de Frecuencias.

### ***3.1 Resultados del Análisis Estático.***

El análisis estático fue realizado tanto al chasis como a la estructura del ómnibus. Las principales características de los modelos han sido descritas en el capítulo 2 de este trabajo. Los modelos fueron simulados con las cargas determinadas previamente y con su peso propio.

#### ***3.1.1 Análisis Estático del chasis ante cargas de Flexión.***

El chasis fue simulado con el módulo COSMOSWorks de SolidWork 2010. Se creó una malla sólida estándar con 15621 elementos y 32058 nodos.

En la Tabla 3.1 aparecen los valores de las reacciones surgidas en los apoyos.

Tabla 3.1: Reacciones de apoyo.

Eje X (N)	Eje Y (N)	Eje Z (N)	Resultante (N)
-3.08002	6077.76	2.99423	6077.76

Se determinaron las tensiones von Mises, los desplazamientos, el factor de seguridad y las deformaciones unitarias. A continuación se describen estos resultados.

Como se puede apreciar en la Figura 3.1 las áreas donde ocurren las mayores tensiones se localizan en la parte trasera del chasis, cerca de la zona

donde se montan las ballestas para el soporte de los árboles de transmisión o cercano a la viga curva, alcanzando un valor máximo de 3.6 MPa, muy por debajo del límite elástico del material. En la Figura 3.2 se muestra un detalle de dicha zona.

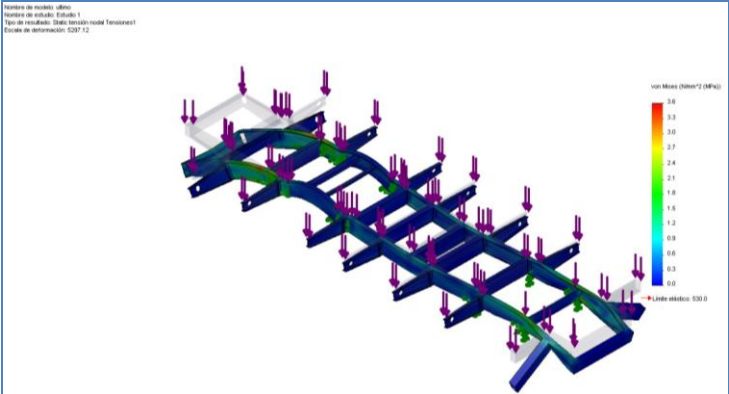


Fig. 3.1 Tensiones von Mises

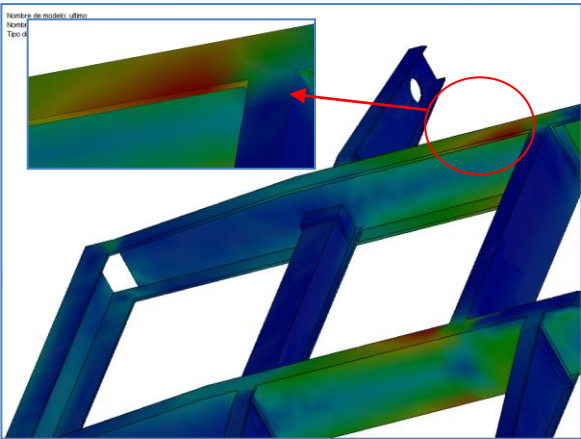


Fig. 3.2 Detalle de las Tensiones von Mises máximas.

Los mayores desplazamientos ocurren en el extremo trasero del chasis, alcanzando un desplazamiento máximo de 0.13 mm como se puede apreciar en la Figura 3.3.

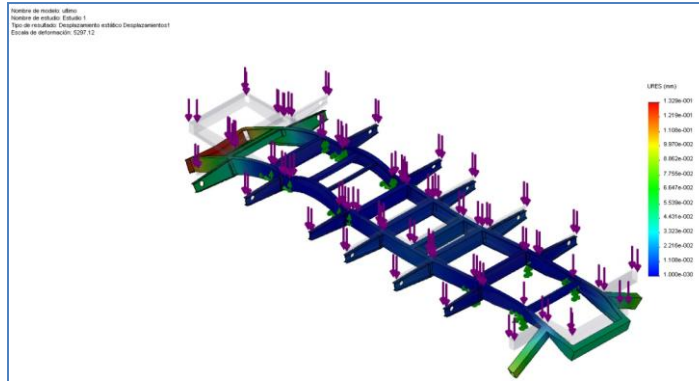


Fig. 3.3 Desplazamientos Resultantes.

Al obtener tensiones calculadas por la teoría de von Mises tan bajas, el factor de seguridad da resultados elevados. En la Figura 3.4 se puede apreciar que el valor de este factor es de 100.

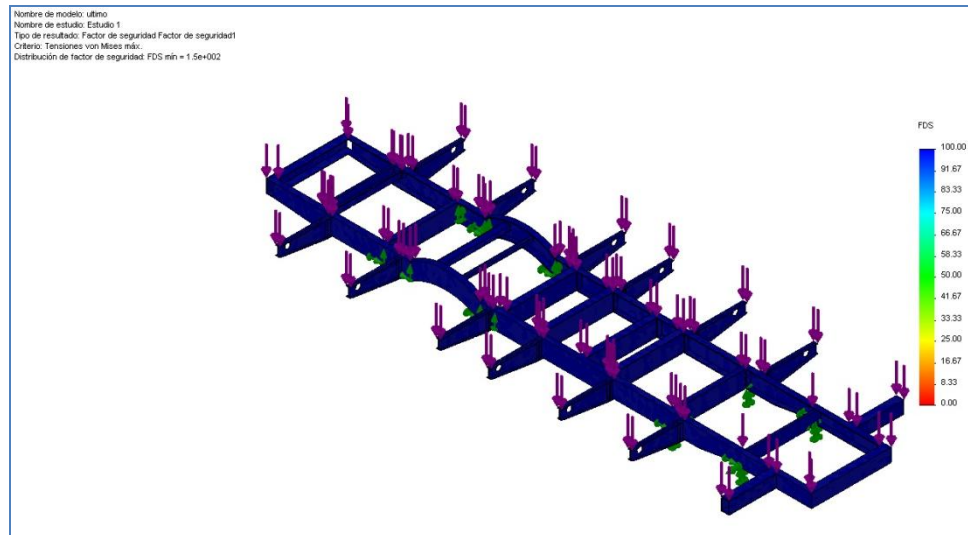


Fig. 3.4 Factor de seguridad para las tensiones von Mises máximas

Las deformaciones unitarias también son bajas. En la Figura 3.5 se puede apreciar que el valor máximo es de  $1.506e^{-5}$ .

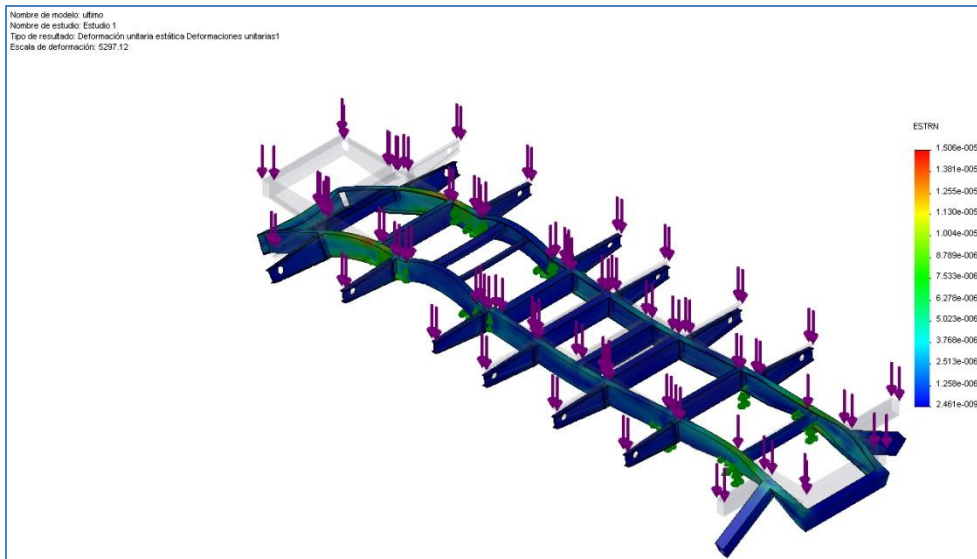


Fig. 3.5 Deformaciones Unitarias del chasis.

### 3.1.2 Análisis Estático del chasis ante cargas de Torsión.

El chasis fue simulado ante cargas de torsión con el módulo COSMOSWorks de SolidWork 2010. Se creó una malla sólida estándar con 15646 elementos y 32087 nodos.

En la Tabla 3.1 aparecen los valores de las reacciones surgidas en los apoyos.

Tabla 3.2: Reacciones de apoyo.

Eje X (N)	Eje Y (N)	Eje Z (N)	Resultante (N)
17.6543	67.9724	-63.9061	94.9522

Se determinaron las tensiones von Mises, los desplazamientos, el factor de seguridad y las deformaciones unitarias. A continuación se describen estos resultados.

Como se puede apreciar en la Figura 3.6 las áreas donde ocurren las mayores tensiones se localizan en la parte trasera del chasis, alcanzando un valor máximo de 38 MPa, muy por debajo del límite elástico del material.

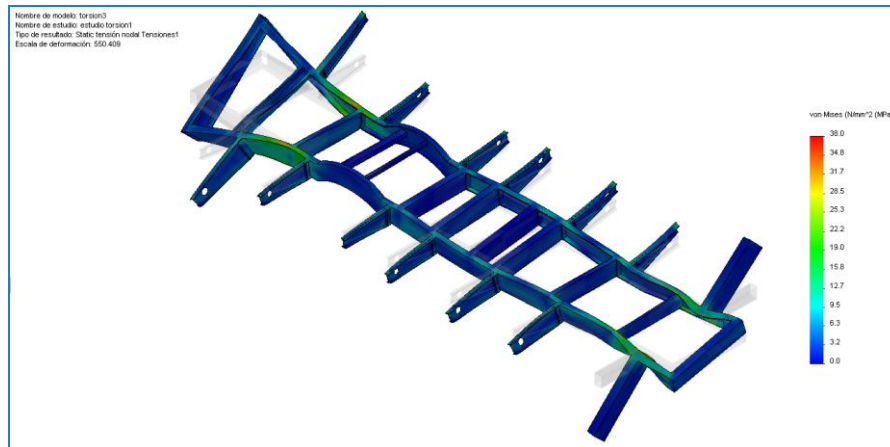


Fig. 3.6 Tensiones von Mises

Los mayores desplazamientos ocurren en el extremo trasero del chasis, alcanzando un desplazamiento máximo de 1.291 mm como se puede apreciar en la Figura 3.7.

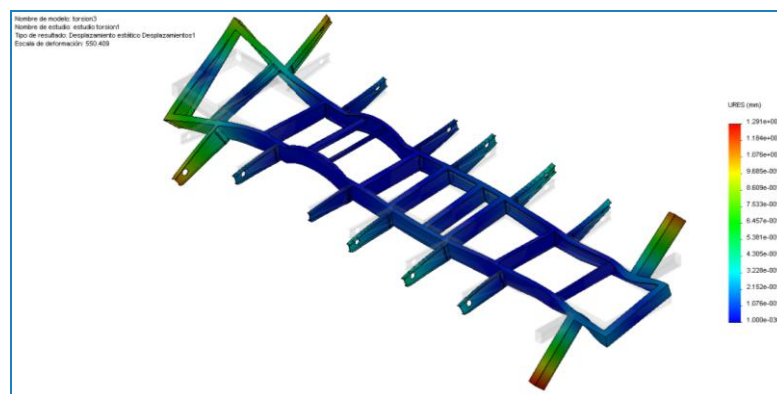


Figura 3.7 Desplazamientos resultantes.

Al obtener tensiones máximas bajas, el factor de seguridad da resultados elevados. En la Figura 3.8 se puede apreciar que el valor de este factor es de 13.95, el cual es algo inferior al que resultó del cálculo de flexión pero es un valor elevado.

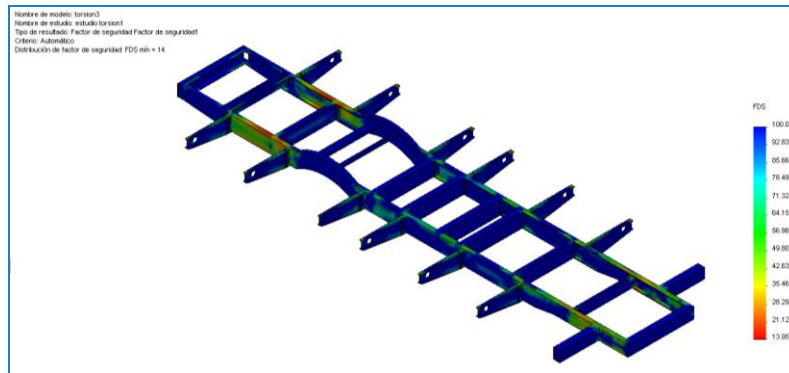


Figura 3.8 Factor de seguridad.

Las deformaciones unitarias también son bajas, aunque algo superiores a las de flexión. En la Figura 3.9 se puede apreciar que el valor máximo es de  $1.594e^{-4}$ .

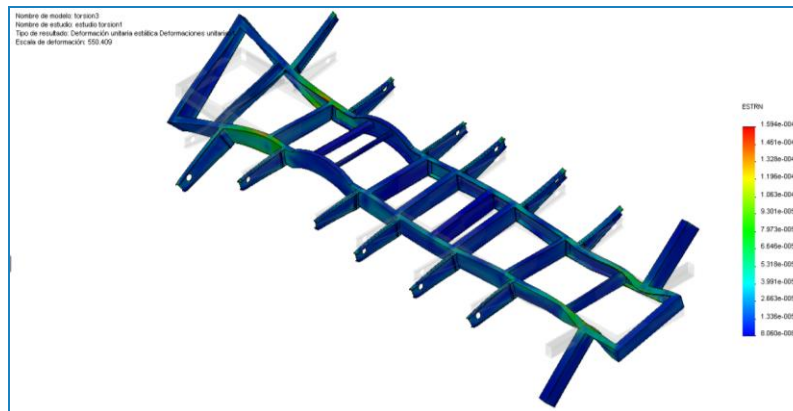


Figura 3.9 Deformaciones Unitarias.

### 3.1.3 Análisis Estático de la estructura.

Para calcular la estructura se empleó el software de simulación MSC. Visual Nastran Desktop. Se calcularon las tensiones von Mises, los desplazamientos y las deformaciones unitarias.

En la Figura 3.9 se puede apreciar la distribución de tensiones von Mises. El máximo valor alcanzado es de 188 MPa y surge en la zona frontal de la estructura, es decir, donde están aplicadas las cargas.

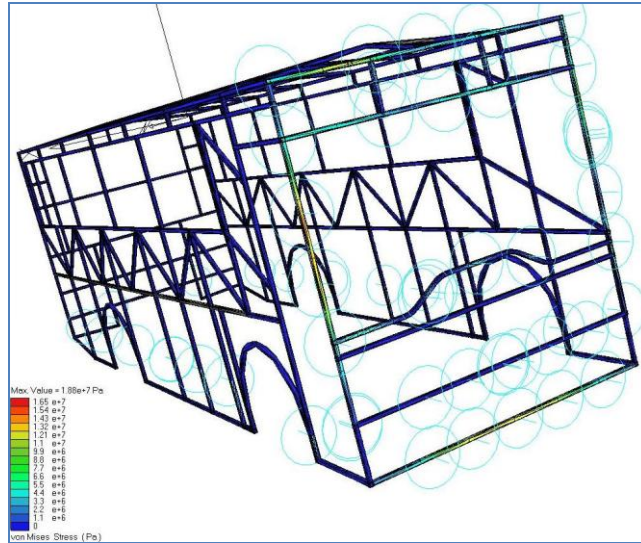


Fig. 3.9 Tensiones von Mises en la estructura.

El desplazamiento máximo (1.99 mm) también ocurre en la zona frontal como se puede apreciar en la Figura 3.10.

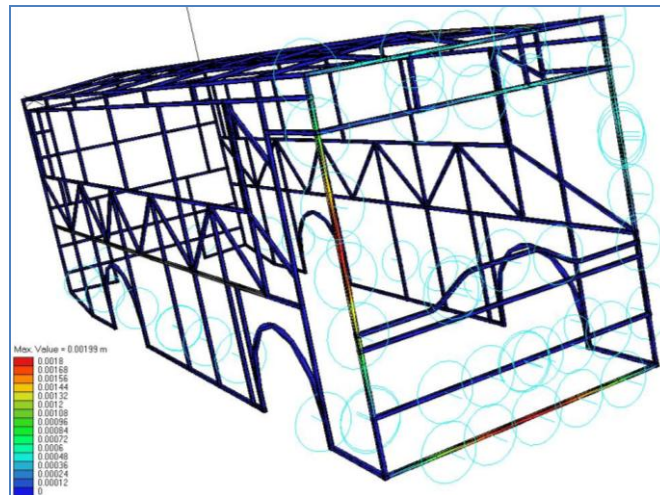


Fig. 3.10 Desplazamientos Resultantes en la estructura.

El valor máximo de la deformación unitaria (Figura 3.11) es de 8.05e-5.

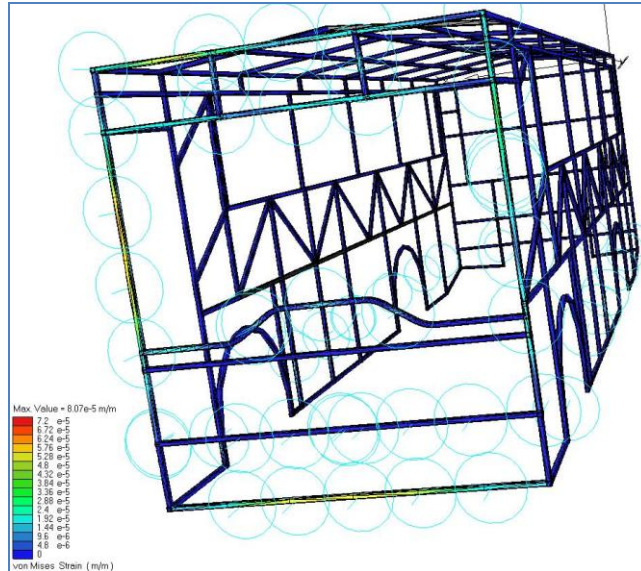


Fig. 3.11 Deformaciones Unitarias de la estructura.

Se puede resumir que el análisis estático, tanto del chasis como de la estructura ofrecen excelentes resultados, desde el punto de vista de la resistencia y de la rigidez de ambas estructuras.

### **3.2 Resultados del Análisis de Frecuencias del chasis.**

Al análisis de frecuencia, como se planteó en el capítulo 2, se pueden aplicar básicamente dos condiciones. Por cuestiones de tiempo, en este trabajo se realizó el análisis para la 1ra Condición, es decir, considerando la estructura “Free-free”, lo que significa calcular las frecuencias sin aplicar cargas ni restricciones.

Se determinaron las primeras cinco frecuencias y los correspondientes modos de oscilación o vibración así como los desplazamientos que surgen. Una descripción de estos resultados es la siguiente:

En el Modo de Frecuencia 1 (Figura 3.12) se produce un desplazamiento máximo lineal de 61.7 mm que ocurre debido a la Flexión de la estructura en el plano X-Z alrededor de un punto. El mismo ocurre en la zona trasera del chasis.

En el Modo de Frecuencia 2 (Figura 3.13) se produce un desplazamiento máximo lineal de 62.88 mm que ocurre debido a la Flexión de la estructura en el

plano X-Y alrededor de un punto. El mismo ocurre también en la zona trasera del chasis.

En el Modo de Frecuencia 3 (Figura 3.14) se produce un desplazamiento máximo lineal de 132.2 mm que ocurre debido a la Torsión de la estructura alrededor del eje X. El mismo ocurre mayoritariamente en la zona trasera aunque también el giro se produce en la zona delantera. Hay una zona central que no gira.

En el Modo de Frecuencia 4 (Figura 3.15) se produce un desplazamiento máximo lineal de 77.08 mm que ocurre debido a la Flexión de la estructura en el plano X-Y alrededor de dos puntos. El mismo ocurre mayoritariamente en la zona trasera.

En el Modo de Frecuencia 5 (Figura 3.16) se produce un desplazamiento máximo lineal de 50.64 mm que ocurre debido a la Flexión de la estructura en el plano X-Z alrededor de dos puntos. El mismo ocurre mayoritariamente en la zona trasera del chasis.

Este análisis se puede resumir planteando que de los 5 primeros modos calculados 4 corresponden a modos de Flexión y 1 a Torsión. El modo 4 se corresponde con el modo 2 y el modo 5 con el 1. La parte trasera del chasis es más propensa a las variaciones de frecuencia. En la Tabla 3.3 se pueden apreciar los resultados numéricos del análisis, es decir, la frecuencia de oscilación, la frecuencia natural y el período de cada uno de los modos de frecuencia calculados. Las expresiones clásicas para el cálculo de las mismas aparecen a continuación:

$$\text{Frecuencia de oscilación (Hz): } f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\text{Frecuencia natural (rad/s): } \omega^2 = \frac{g}{y_{est}}$$

$$\text{Período de oscilación (s): } T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{y_{est}}{g}}$$

Tabla 3.3: Resultados Numéricos del Análisis de Frecuencia (Modos Naturales de Vibración).

Nº de Modo	Frecuencia (Hz)	Frecuencia (rad/s)	Período (s)
1	0.00047431	0.0029802	2108.3
2	0.00052193	0.0032794	1916
3	14.333	90.057	0.069769

4	16.127	101.33	0.062008
5	19.19	120.57	0.052112

A continuación se muestran los modos de vibración naturales o resultados gráficos del análisis de frecuencia. Los modos sólo ilustran el perfil del modo, es decir, el desplazamiento que se muestra es un desplazamiento relativo de un nodo con respecto a otro.

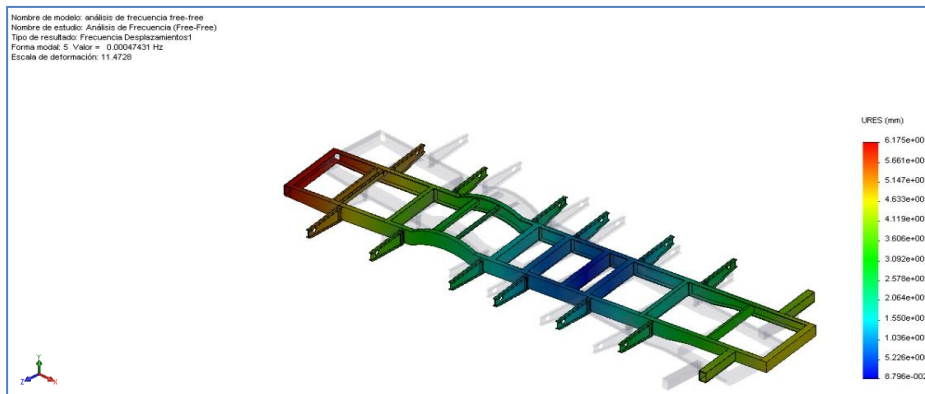


Fig. 3.12 Desplazamientos del Modo de Frecuencia 1: Flexión en el plano x-z (61.7 mm)

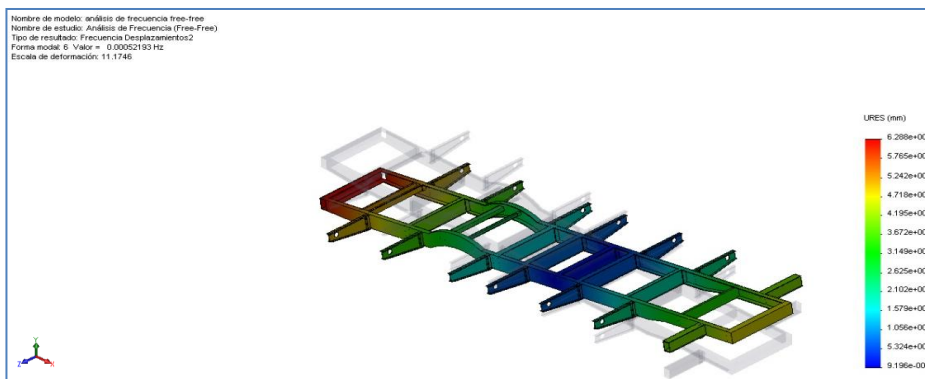


Fig. 3.13 Desplazamientos del Modo de Frecuencia 2: Flexión en el plano x-y (1 punto) (62.88 mm)

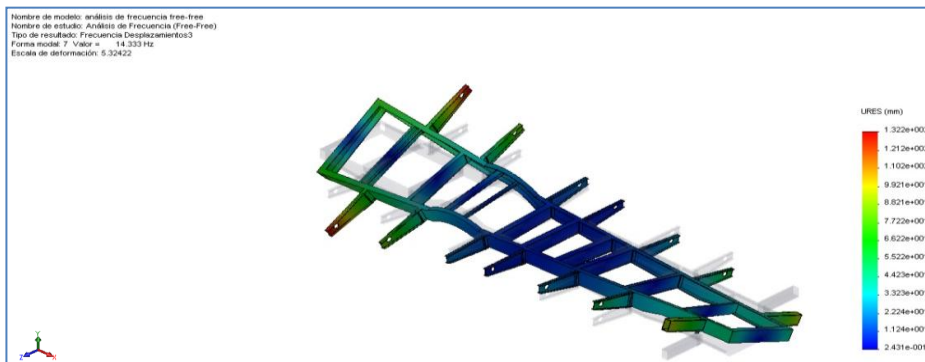


Fig. 3.14 Desplazamientos del Modo de Frecuencia 3: Torsión alrededor del eje x (132.2 mm)

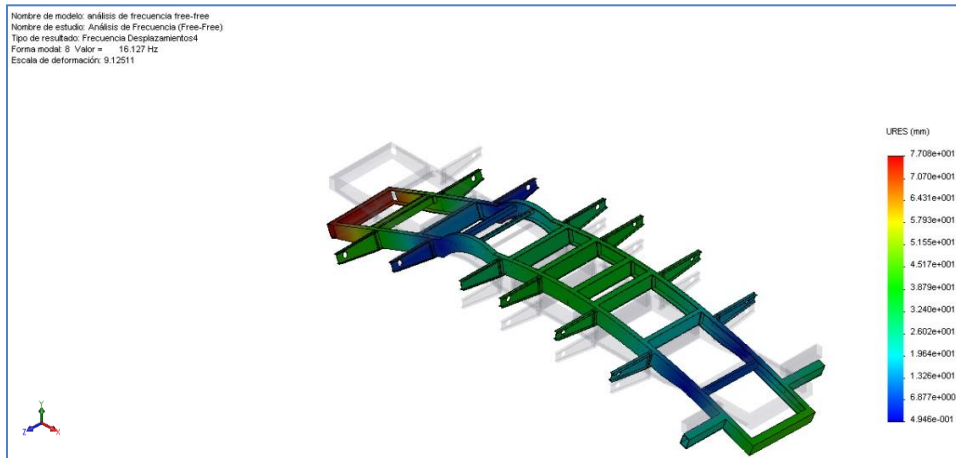


Fig. 3.15 Desplazamientos del Modo de Frecuencia 4: Flexión en el plano x-y (2 puntos) (77.08 mm)

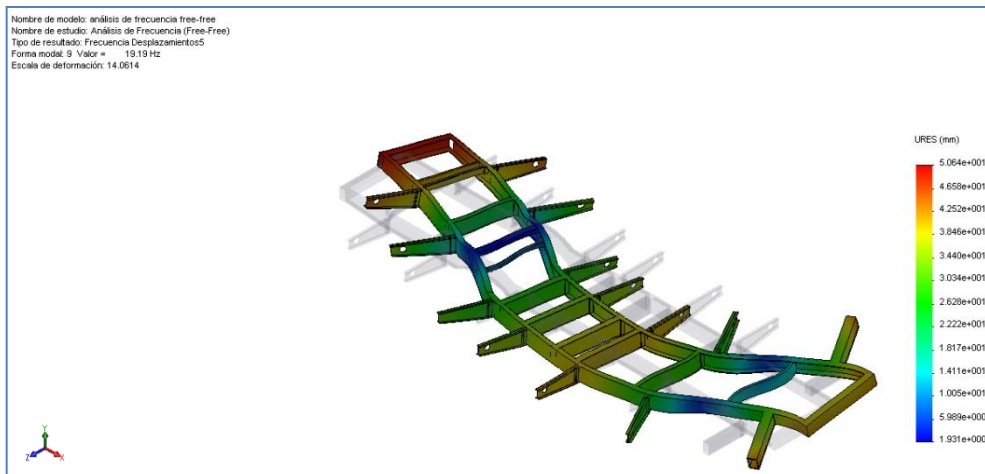


Fig. 3.16 Desplazamientos del Modo de Frecuencia 5: Flexión en el plano x-z (2 puntos) (50.64 mm)

La participación de masa en las direcciones globales X, Y y Z normalizadas con respecto a la masa total (Tabla 3.4) es otro parámetro que brindan los software de simulación y que son importantes para determinar la conveniencia de los modos calculados para resolver problemas dinámicos con movimiento de base. Muchas normas o códigos de distintos países exigen que al menos el 80% de la masa del sistema participe en determinadas direcciones, lo que significa en la práctica que

los valores de participación de masa en las direcciones X, Y y Z sean menores que 0.8. El análisis realizado en este trabajo cumple dicha exigencia.

Tabla 3.4: Participación de masa en las direcciones globales X, Y y Z.

Nº de modo	Frecuencia (Hz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	0.00047431	4.5985e-025	1.6335e-033	3.2349e-022
2	0.00052193	3.8976e-024	3.4092e-022	0
3	14.333	5.0768e-023	5.2141e-022	1.2652e-021
4	16.127	1.513e-022	4.1315e-021	6.5209e-025
5	19.19	5.569e-024	2.0099e-023	6.895e-024
		Suma X = 1	Suma Y = 1	Suma Z = 1

Se puede resumir que el análisis de frecuencia del chasis ofrece los resultados esperados, es decir, las frecuencias, los modos y la participación de masa. En trabajos futuros se deben calcular los modos de frecuencia para las condiciones de carga y restricciones del modelo para así poder hacer la comparación de dichos resultados con los obtenidos en este trabajo.

# CONCLUSIONES

1. En la revisión bibliográfica realizada se determinó que el cálculo del chasis y la estructura de ómnibus es un tema actual con una importancia considerable. Los tipos de cálculos que más se efectúan son el análisis estático, el de frecuencias y el de fatiga.
2. Se realizó la modelación del chasis y de la estructura del Proyecto Girón Modernizado utilizando un software de modelación de avanzada como es SolidWorks 2010. En este trabajo se decidió trabajar de forma independiente el chasis y la estructura para poder comparar los resultados con los de otros trabajos que aparecen en la literatura que también realizan los estudios de forma independiente.
3. El análisis estático del chasis y de la estructura ofrece excelentes resultados, tanto desde el punto de vista de la resistencia y como de la rigidez de ambas estructuras. Los valores de las tensiones von Mises están muy por debajo del límite elástico del material. Los desplazamientos y las deformaciones ofrecen también resultados adecuados.
4. Del análisis de frecuencia del chasis se obtuvo las frecuencias de vibración, los modos en que oscila el chasis y la participación de masa, los cuales eran los resultados esperados en este trabajo.

# RECOMENDACIONES

1-Para trabajos futuros se recomienda:

2-Realizar el análisis estático y de frecuencias del ensamble del chasis y la estructura del ómnibus.

3-Calcular los modos de frecuencia para las condiciones de carga y restricciones del modelo del chasis para así poder hacer la comparación de dichos resultados con los obtenidos en este trabajo.

4-Realizar el estudio de la fatiga del chasis.

# BIBLIOGRAFIA

1. Miranda, J.L.C., *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL AUTOBÚS FELINE PARA LA EMPRESA CARROCERA MIRAL BUSES*, in *Facultad de Ingeniería Mecánica*. 2006, Escuela Politécnica del Ejército: Sangolquí. p. 261.
2. NACIONES UNIDAS, C.E.E., Reglamento Número 36.03 (1986) *Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos de transporte de pasajeros*.
3. NACIONES UNIDAS, C.E.E., Reglamento Número 66 (1986) *Prescripciones uniformes relativas a la homologación de los vehículos de transporte de pasajeros de grandes dimensiones en lo referente a la resistencia mecánica de su superestructura*.
4. NACIONES UNIDAS, C.E.E., (UNECE), Directriz TRANS/WP.29/78/Rev.1 (1999) *Clasificación y definición de vehículos y trailers*. 12.
5. Frank, G., *Proyecto Metodo para diseñar un chasis*. 1999.
6. Velázquez, J. (2002) *Análisis, Diseño y Construcción de un Chasis*.
7. Parra, J.A. *Artículo Reflexión*. 2000; Available from: [www.revistaavances.co/objects/docs/Avances.../a6\\_art10\\_estudio\\_chasis.pdf](http://www.revistaavances.co/objects/docs/Avances.../a6_art10_estudio_chasis.pdf).
8. LTD, H.M. (2000) *Manual para Montaje de Carrocerías*. Decima Ed., 110.
9. Frances, F.J.C. (2002) *METODOLOGÍAS ACTUALES APLICADAS AL PROYECTO DE DISEÑO DE VEHÍCULOS PESADOS*., 10.
10. Franck, G. (1999) *ANÁLISIS DINÁMICO DE UN CHASIS DE SEMIRREMOLQUE DESERVICIO PESADO*.
11. *Directrices para montaje de superestructuras y equipos en chasis para autobuses y plataformas*. Available from: [mercedes-benz.com.co/manuales/Manual\\_carroceria\\_MB.pdf](http://mercedes-benz.com.co/manuales/Manual_carroceria_MB.pdf).
12. *Diseño de Chasis para vehículos de competición*. Available from: [www.scribd.com/doc/.../Diseno-y-tipos-de-chasis](http://www.scribd.com/doc/.../Diseno-y-tipos-de-chasis)

13. *MODELO MATEMÁTICO DEL ENSAYO DE ESTABILIDAD LATERAL DE AUTOBUSES.* Available from: [e-archivo.uc3m.es/bitstream/.../PFC\\_Victor\\_Jimenez\\_Amores.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/.../PFC_Victor_Jimenez_Amores.pdf)
14. Fernández, A. *ESTUDIO MEDIANTE SIMULINK Y ANSYS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CARROCERIA DE UN AUTOBUS.*
15. *CONTACT STRESSES BETWEEN CYLINDRICAL SHAFTS AND SLEEVES.* Available from: [audiophile.tam.cornell.edu/Don%20Conway%20Publications](http://audiophile.tam.cornell.edu/Don%20Conway%20Publications).
16. Nova, D.M., *Simulación de estructuras y propiedades de poliamidas helicoidales.* 2000.
17. Alfaro, W.V. *Simulación de Procesos.* Available from: [www.monografias.com/.../sipro.shtml](http://www.monografias.com/.../sipro.shtml).
18. Antonio Gauchía\*, V.D., María Jesús L. Boada, Beatriz L. Boada. *Modelo Simplificado para Evaluar la Torsión de un Autobús Urbano* [www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718...script](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718...script). Available from: [www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718...script](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718...script).
19. Estupiñan, C.A., *Estudio de Estabilidad Dinámica y Transitoria | ICCE CONSUL.* 2004.
20. García, J.M. *Estudio de Estabilidad dinámica y estructural de los ómnibus*
21. Gauchía, A.D., *Modelo Simplificado para Evaluar la Torsión de un Autobús Urbano/ A Simplified Model for Evaluation of Torsion on an Urban Bus.*
22. Guliáev, A.P., *Metalografía.* 1977, MOscu: Editorial Mir Moscu.
23. Gutierrez, r. *Analísis estructural de carrocerías.* 2001; Available from: [diinbus.blogspot.com/.../nuevo-diseno-carrocerias-logos.html](http://diinbus.blogspot.com/.../nuevo-diseno-carrocerias-logos.html).
24. HERNÁNDEZ, P.G. *MODELADO Y ANÁLISIS DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN AUTOBÚS Y DIAPRESS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.* 2010; Available from: [e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/.../PFC\\_Pablo\\_Gonzalez\\_Hernandez.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/.../PFC_Pablo_Gonzalez_Hernandez.pdf).
25. Martínez, A.E., *Estructura Etapas Estudio De Simulación.* 2008.
26. MOTORS, Y. *MOTOR diesel YUCHAI serie YCD4.* Available from: [html.rincondelvago.com/motor-diesel\\_1.html](http://html.rincondelvago.com/motor-diesel_1.html)
27. Páez, R.B., *ESTUDIO DE ESTABILIDAD DINÁMICA Y ESTRUCTURAL DE LOS ÓMNIBUS CONSTRUIDOS SOBRE CHASIS DE CAMIÓN.*
28. Ramos, D.G.-P. (1999) *Reparto de Cargas.*

29. RIOS, R.A. (2002) *Estudio de comportamiento de un chasis bajo carga para transporte de pasajeros.*
30. RODRIGUEZ, L.C. (2002) *NUEVAS TENDENCIAS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE VEHICULOS PESADOS.*
31. SÁNCHEZ, F.J.B. *EFEECTO DE UN SISTEMA DE CONTROL ACTIVO DE BALANCEO. SOBRE LA ESTRUCTURA DE UN AUTOBÚS.* 2005; Available from: [e-archivo.uc3m.es/.../PFC\\_Francisco\\_Javier\\_Barroso\\_Sanchez.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/.../PFC_Francisco_Javier_Barroso_Sanchez.pdf)
32. Stiopin, P.A., *Resistencia de Materiales.* 1979: Editorial Mir Moscu.
33. Wikipedia. *Chasis.* Available from: [es.wikipedia.org/wiki/Chasis](http://es.wikipedia.org/wiki/Chasis).
34. X. Remírez Perea, J.M.P.B. (2002) *Estudio de Sensibilidad de Diferentes Factores que Influyen en la Realización de Análisis Modales Experimentales.*
35. ZEVALLOS, J.R. (2008) *ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHÍCULO TERRESTRE DE 5,5 TONELADAS MEDIANTE EL USO DE COBERTORES AERODINÁMICOS.*
36. X. Remírez, J.M.P., B. Santafé , V. Clemos (2001) *Establecimiento y Optimización de una Metodología para la Realización de Análisis Modales Experimentales Mediante la Aplicación de Técnicas MIMO.*

# ALEXOS

