



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO DE UNA CARROCERÍA DE UN BUS  
INTERPROVINCIAL EN CONFORMIDAD CON EL INSTITUTO  
ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (NORMA INEN  
1323:2009) Y VALIDACIÓN MEDIANTE MECÁNICA  
COMPUTACIONAL”,**

**AUTOR: VERDEZOTO CARRERA, JOSE ALBERTO**

**DIRECTOR: ING. NARANJO, CARLOS**

**CODIRECTOR: ING. CORTEZ, BYRON**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto “**DISEÑO DE UNA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL EN CONFORMIDAD CON EL INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (NORMA INEN 1323:2009) Y VALIDACIÓN MEDIANTE MECÁNICA COMPUTACIONAL**”, fue realizado en su totalidad por JOSE ALBERTO VERDEZOTO CARRERA, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



Ing. Carlos Naranjo

**DIRECTOR**



Ing. Byron Cortez

**CODIRECTOR**

Sangolquí, Agosto 2015

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

**Yo, JOSE ALBERTO VERDEZOTO CARRERA**

### **DECLARO QUE:**

La tesis/proyecto titulado: **“DISEÑO DE UNA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL EN CONFORMIDAD CON EL INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (NORMA INEN 1323:2009) Y VALIDACIÓN MEDIANTE MECÁNICA COMPUTACIONAL”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.



José Alberto Verdezoto Carrera

CI: 020201622

Sangolquí, Agosto 2015

**AUTORIZACIÓN****Yo, JOSE ALBERTO VERDEZOTO CARRERA**

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“DISEÑO DE UNA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL EN CONFORMIDAD CON EL INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (NORMA INEN 1323:2009) Y VALIDACIÓN MEDIANTE MECÁNICA COMPUTACIONAL”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



Jose Alberto Verdezoto Carrera

CI: 0202021622

Sangolquí, Agosto 2015

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios por brindarme salud y fortaleza para la ejecución de este proyecto.

A mi madre Nelly, por ser el pilar y fuerza que he necesitado en mi vida, por su apoyo e incondicional amor.

A mi padre José, por su total apoyo a lo largo de mi vida y muy especial durante mi vida universitaria,

A mis hermanos Miguel y Nelly, por estar siempre conmigo, por comprenderme y ayudarme siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por bendecirme y permitir disfrutar de esta meta alcanzada con mi familia y amigos, brindándome salud, vida y sabiduría.

Un agradecimiento a la Universidad, a la facultad de Ingeniería Mecánica a sus distinguidos Directivos y Profesores por la formación recibida.

A los Ingenieros Carlos Naranjo y Byron Cortéz, por su respaldo, guía y apoyo para la realización del proyecto de grado.

Agradezco a la Empresa EVA Engineering S.A por su confianza y colaboración en el desarrollo del proyecto

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>i</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	4
1.5. ALCANCE.....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. CARROCERÍAS PARA BUSES INTERPROVINCIALES .....	8
2.2. NORMATIVA.....	8
2.2.1. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN .....	8
2.2.2. NORMA NTE INEN 1323:2009 (ANEXO E).....	8
2.2.3. MÉTODO LRFD (Load and Resistance Factor Design) .....	13
2.2.4. FACTORES DE REDUCCIÓN O RESISTENCIA .....	14
2.2.5. ANÁLISIS DEL MÉTODO LRFD.....	17

2.3.	DISEÑO DE VIGAS .....	19
2.4.	DISEÑO DE COLUMNAS.....	21
2.5.	MECÁNICA COMPUTACIONAL.....	23
2.6.	MÉTODO FEM (FINITE ELEMENT METHOD).....	23
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>26</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y VALIDACIÓN.....</b>		<b>26</b>
3.1.	DEFINICIONES .....	26
3.2.	NORMATIVA Y REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	27
3.3.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS .....	28
3.3.1.	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	29
3.3.2.	DETERMINACIÓN DE CARGAS ACTUANTES .....	29
3.3.3.	CARGA VIVA [V] .....	29
3.3.4.	CARGA MUERTA [M].....	31
3.3.5.	CARGA DE GIRO [G] .....	32
3.3.6.	CARGA POR RESISTENCIA DEL AIRE FRONTAL [Raf].....	33
3.3.7.	CARGA DE FRENADO [F] Y ACELERACIÓN BRUSCA [Af].....	34
3.4.	CODIFICACIÓN DE ELEMENTOS .....	35
3.4.1.	BASTIDOR DE LA CARROCERÍA .....	35
3.4.2.	VIGA TIPO 1 [VG1].....	36
3.4.3.	VIGA TIPO 2 [VG2].....	36
3.4.4.	VIGA TIPO 3 [VG3].....	36
3.4.5.	COLUMNA TIPO 1 [CL1] .....	36
3.4.6.	COLUMNA TIPO 2 [CL2] .....	36
3.4.7.	ARROSTRAMIENTO TIPO 1 [AR1].....	36
3.4.8.	CARROCERÍA EXTERIOR .....	36

3.4.9. CERCHA TIPO 1 [CR1].....	37
3.4.10. CERCHA TIPO 2 [CR2].....	37
3.4.11. CERCHA TIPO 3 [CR3].....	37
3.4.12. VIGA LATERAL TIPO 3 [VG3] .....	37
3.5. COMBINACIONES DE CARGA PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	38
3.5.1. COMBINACIÓN DE CARGA PARA CARROCERÍA EXTERIOR.....	38
3.5.2. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO CR1 (VIGA) .....	38
3.5.3. COMBINACIÓN DE CARGA PARA BASTIDOR .....	38
3.5.4. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO VG1 .....	39
3.6. DISEÑO DE BASTIDOR Y CARROCERÍA EXTERIOR.....	39
3.7. DISEÑO ELEMENTOS CARGADOS EN SENTIDO TRANSVERSAL ...	40
3.7.1. DETERMINACIÓN DEL ÁREA TRIBUTARIA.....	41
3.7.2. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE VON MISSES.....	41
3.8. DISEÑO ELEMENTOS CARGADOS AXIALMENTE .....	43
3.8.1. CALCULO DEL FACTOR [Cc] .....	44
3.9. VALIDACIÓN DE LA CARROCERÍA .....	45
3.9.1. PRUEBA DE VOLCAMIENTO .....	46
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	48
<b>INFORME DE INTEGRIDAD DE RESULTADOS</b> .....	48
4.1. CASOS DE ESTUDIO.....	48
4.1.1. DETERMINACIÓN DE FUERZAS .....	48
4.2. COMBINACIÓN DE CARGAS.....	51
4.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO CR1 (VIGA) 51	

4.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO CR1 (COLUMNA) .....	52
<b>CAPÍTULO V</b> .....	54
<b>SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN</b> .....	54
5.1. SIMULACIÓN ESTÁTICA .....	54
5.2. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE DEFORMACIÓN MÁXIMA .....	54
5.3. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE VOLCAMIENTO .....	56
5.4. SIMULACIÓN DE CHOQUE FRONTAL .....	59
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	62
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	62
6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
7. BIBLIOGRAFÍA .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura No. 1</b> Vista transversal del espacio de supervivencia.....	11
<b>Figura No. 2</b> Vista longitudinal del espacio de supervivencia.....	11
<b>Figura No. 3</b> Flujograma para el cálculo estructural LRFD .....	16
<b>Figura No. 4</b> Flujograma procedimiento de diseño de vigas .....	20
<b>Figura No. 5</b> Flujograma procedimiento de diseño de columnas .....	22
<b>Figura No. 6</b> Modelo Matemático para Método FEM .....	25
<b>Figura No. 7</b> Parámetros de diseño .....	28
<b>Figura No. 8</b> Vista isométrica del bastidor de la carrocería.....	35
<b>Figura No. 9</b> Vista isométrica de la Carrocería exterior .....	37
<b>Figura No. 10</b> Selección de Diseño Estructural .....	39
<b>Figura No. 11</b> Procedimiento de Diseño de Vigas.....	40
<b>Figura No. 12</b> Procedimiento de Diseño de Columnas.....	43
<b>Figura No. 13</b> Prueba de volcamiento.....	45
<b>Figura No. 14</b> Parámetros de prueba de volcamiento .....	46
<b>Figura No. 15</b> Simulación de volcamiento virtual .....	47
<b>Figura No. 16</b> Vista transversal del espacio de supervivencia.....	47
<b>Figura No. 17</b> Entrada de parámetros para deformación máxima. ....	55
<b>Figura No. 18</b> Simulación de deformación máxima. Vista Isométrica.....	55
<b>Figura No. 19</b> Simulación de deformación máxima. Vista Frontal .....	56
<b>Figura No. 20</b> Entrada de parámetros para Volcamiento virtual .....	57
<b>Figura No. 21</b> Simulación de volcamiento. Vista Frontal .....	58
<b>Figura No. 22</b> Simulación de volcamiento. Vista Frontal .....	58
<b>Figura No. 23</b> Entrada de parámetros para choque frontal .....	59
<b>Figura No. 24</b> Simulación de choque frontal. Vista Lateral .....	60
<b>Figura No. 25</b> Simulación de choque frontal. Vista Superior.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla No. 1</b> Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera .....	9
<b>Tabla No. 2</b> Determinación de cargas .....	10
<b>Tabla No. 3</b> Combinaciones de Cargas según método ASD.....	12
<b>Tabla No. 4</b> Combinaciones de Cargas según método LRFD .....	12
<b>Tabla No. 5</b> Factores de resistencias .....	15
<b>Tabla No. 6</b> Combinación de cargas según LRFD.....	17
<b>Tabla No. 7</b> Combinación de cargas según LRFD.....	18
<b>Tabla No. 8</b> Definiciones para el Diseño .....	26
<b>Tabla No. 9</b> Normativa y Referencia Bibliográfica .....	27
<b>Tabla No. 10</b> Parámetros de diseño según RTE INEN 043 .....	29
<b>Tabla No. 11</b> Cargas Vivas Actuantes .....	30
<b>Tabla No. 12</b> Componentes estructurales.....	31
<b>Tabla No. 13</b> Componentes no estructurales.....	31
<b>Tabla No. 14</b> Velocidad y radio de curvatura para los vehículos .....	32
<b>Tabla No. 15</b> Cargas actuante para carrocería exterior .....	38
<b>Tabla No. 16</b> Cargas actuante para elemento CR1 .....	38
<b>Tabla No. 17</b> Cargas actuante para bastidor de la carrocería.....	38
<b>Tabla No. 18</b> Cargas actuante para elemento VG1 .....	39
<b>Tabla No. 19</b> Cargas Vivas Actuantes .....	48
<b>Tabla No. 20</b> Componentes estructurales.....	49
<b>Tabla No. 21</b> Componentes no Estructurales .....	49
<b>Tabla No. 22</b> Velocidad y radio de curvatura para los vehículos .....	50
<b>Tabla No. 23</b> Combinaciones de cargas actuantes .....	51
<b>Tabla No. 24</b> Cargas actuante para elemento CR1 .....	51
<b>Tabla No. 25</b> Cargas actuante para elemento CR1 .....	52
<b>Tabla No. 26</b> C Parámetros de entrada carrocería.....	54
<b>Tabla No. 27</b> C Deformación máxima de la carrocería.....	56
<b>Tabla No. 28</b> Parámetros de entrada volcamiento virtual .....	57

## RESUMEN

El presente proyecto desarrolla el diseño y validación mediante simulación virtual de una carrocería, para bus de servicio interprovincial. El diseño de la carrocería para un bus interprovincial está de acuerdo a requerimientos de la Norma INEN 1323:2009, la cual contiene criterios de diseño y parámetros para pruebas para la validación de la carrocería. Además de cumplir con los parámetros necesarios para diseño y validación, en el desarrollo del proyecto se obtuvo una carrocería de menor costo y menos rígida que otras similares, para el cumplimiento de los parámetros antes mencionados se procedió a optimizar el diseño, reduciendo el material de construcción pero manteniendo los mismos parámetros de seguridad y confort. El diseño estructural de los elementos se realizó en base a Resistencia de Materiales, clasificando los elementos como vigas y columnas de acuerdo al tipo de carga que podrían soportar, el modelo de la carrocería cuenta con un diseño seguro para los ocupantes en caso de un accidente, procurando que la estructura absorba la energía de un impacto. La validación de la estructura se realizó de acuerdo al ROLL-OVER-TEST (Prueba de Volcamiento), sometiendo a la estructura a una prueba virtual de volcamiento para comprobar que la estructura no invada el espacio de supervivencia descrito en la norma INEN. Adicional para el presente proyecto se realizó pruebas de choque frontal y lateral bajo condiciones establecidas, lo cual permite identificar el comportamiento de la carrocería para determinar posibles zonas inseguras y rediseñarlas para asegurar la integridad de los pasajeros manteniendo un diseño económico.

**PALABRAS CLAVE:**

**DISEÑO DE VIGAS**

**DISEÑO DE COLUMNAS**

**CHOQUE FRONTAL**

**CHOQUE LATERAL**

**VOLCAMIENTO**

## **ABSTRACT**

This project develop the design a bodywork, which will be used a bus. The validation of a bodywork through virtual simulation. The bodywork design for interprovincial bus is according to requirements of the Standard INEN 1323: 2009, which contains design criteria and parameters for validation testing body. In addition to meeting the parameters required for design and validation in the project a body of lower cost and less rigid than similar. Compliance with the aforementioned parameters proceeded to optimize the design, using less material was obtained construction while maintaining the same parameters of safety and comfort. The design of structural element is performed grounded on the strength of materials theories, sorting elements such as beams or columns according to the type of work that each one could support. The model of the body has a safe design for the occupants in the event of an accident, ensuring that the structure absorbs the energy of an impact. The structure's validation was performed according to ROLL-OVER TEST (Test overturning) subjecting the structure to a virtual rollover test to verify that the structure does not overrun the survival space described in the standard INEN. The Roll-over-test is developed in ADINA Structures. Additionally for the present project, front and side crash were performed under established conditions. This allows to analyze the behavior of the body to identify possible unsafe areas and redesign them to ensure the passengers' security while maintaining an economical design.

### **KEYWORDS:**

**DESIGN OF BEAMS**

**DESIGN OF COLUMNS**

**SHOCK FRONT**

**SIDE IMPACT**

**OVERTURNED**

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

Una de las primeras carroceras metálicas<sup>1</sup> del país fue de la marca Thomas, junto con Superior y Guimsa. Con esa semilla y gracias a la generación de mano de obra especializada creció la actividad. Es así como muchos ex empleados formaron sus propios talleres y se distribuyeron entre Quito y Ambato. Con estos orígenes se puede presenciar el nacimiento de: Varma, Cepeda, Imetam, Utreras, Arandi, Dimen, Maliza, Jorge y Gabino Cajo, entre otros.

Al igual que todos los demás, el mayor problema que enfrentan los fabricantes es la competencia deshonesta, basada en la copia de los diseños y la pésima calidad del producto final, lo cual permite que estos deshonestos competidores puedan ofrecer precios muy bajos, aprovechando la tendencia del mercado que prioriza el precio antes que la calidad. Lo cual incrementa el costo al comprador y afecta a la industria consciente que garantiza la calidad de sus productos.

Los datos recopilados permiten concluir que en Pichincha existen más de 50 talleres, entre pequeños y medianos artesanos y de tamaño industrial, que en conjunto generan aproximadamente 53 000 plazas directas e indirectas de trabajo. Así también, estas unidades productivas adquieren bienes y servicios de más de 300 proveedores a todo lo largo del país.

Un 60% de las unidades productivas del sector analizado emplean a soldadores calificados y entrenados. Aproximadamente un 80% no está agremiado, circunstancia que limita su crecimiento y desarrollo. Prácticamente la mayoría de trabajadores muestran su deseo por encontrar un liderazgo que represente sus intereses ante las autoridades y organismos del Gobierno, así como apoyo en la gestión para mejorar las condiciones del sector.

---

Otro aspecto digno de mencionarse es la formación profesional, o más bien dicho, la ausencia de ella. Gran parte solamente tiene experiencia lograda en el trabajo. Es decir, son autodidactas o empíricos. Perfectamente conscientes de esta debilidad manifiestan la necesidad de contar con instituciones dedicadas a la capacitación técnica. Desgraciadamente, hasta el momento no se ha podido identificar alguna institución que cubra a satisfacción este requerimiento indispensable para garantizar el adecuado y firme desarrollo del sector.

En Ecuador, la fabricación e importación de la carrocería de buses para servicio público anterior al año 2002 se realiza sin la verificación del cumplimiento de especificaciones y requerimientos técnicos para el diseño de las carrocerías, así como las dimensiones y distribución interior del equipamiento.

Por los datos antes mencionados en el país existen vehículos que no cuentan con ningún tipo de confort y estándares de seguridad para los pasajeros y el conductor. Por estos motivos empresas dedicadas al transporte masivo de personas como Trans Esmeraldas y Occidental se vieron obligadas a importar buses que cumplan con estándares de calidad y mayor confort, la mayoría de las unidades importadas pertenecen a las carrocerías Comil y Marcopolo ambas brasileñas. En el año 2012 el número de autobuses importados fue de 25000 unidades. <sup>BusEcuador\_<<Industria Carrocera en Crecimiento\_>></sup>

Esto produjo una crisis en las carroceras nacionales llevándolas algunas a la quiebra, mientras que las que se mantienen trabajan por fabricar productos de calidad.

La necesidad de implementar un reglamento que contengan estándares de calidad fue tomada por el Distrito metropolitano de Quito en el año 2002 en la cual normaliza las dimensiones de las carrocerías de los buses de servicio público, así como la utilización de vidrios de usos automotriz en ventanas y parabrisas.

## 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El desarrollo del presente proyecto va a impulsar a la industria carrocera ecuatoriana, el proyecto está enfocado en el desarrollo de carrocerías para buses interprovinciales, este tipo de carrocerías en el país presentan diversos problemas entre los cuales podemos mencionar, un deficiente diseño en cuanto a seguridad y comodidad para los ocupantes. Al contar con un deficiente diseño en cuanto a seguridad, es necesario desarrollar estudios para incrementar la seguridad del vehículo en su uso cotidiano, los beneficios de estos estudios no solo involucraría la seguridad sino que también se optimizaría el uso de los materiales de construcción.

Se debe considerar la relación que existe entre la seguridad y comodidad que brinda el vehículo para los ocupantes, por tal motivo se tiene que diseñar la carrocería considerando los dos parámetros mencionados anteriormente. Ya que no es viable ofrecer un diseño con altos estándares de seguridad pero descuidando la comodidad para los ocupantes. O el caso contrario ofrecer un diseño cómodo para los ocupantes descuidando la seguridad.

Un problema importante que poseen los diseños existentes en el mercado nacional, es el deficiente estudio del diseño sometidos a casos de volcamiento. Por tal motivo en el proyecto se van a realizar estudios, simulaciones de volcamiento del diseño analizando el comportamiento de la estructura para implementar mejoras e incluso se va a proponer mejoras para las normas vigentes concernientes a requisitos para carrocerías de buses.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una carrocería de un bus interprovincial, en conformidad con el Instituto Ecuatoriano de Normalización (Norma INEN 1323:2009).

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Definir los parámetros de diseño de la carrocería para un bus interprovincial.
- ✓ Diseñar la estructura mediante Resistencia de materiales para el cumplimiento de la Norma INEN 1323:2009.
- ✓ Analizar el diseño de la carrocería mediante la mecánica computacional para que garantice la integridad de los ocupantes.
- ✓ Validar el diseño mediante simulaciones en las condiciones que establece la Norma INEN 1323:2009.
- ✓ Detección de errores y planteamiento de mejoras en la Norma INEN 1323:2009.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El presente proyecto es de suma importancia ya que busca desarrollar una carrocería que disponga de una estructura lo menos rígida posible frente a una colisión o volcamiento, asegurando con esto la integridad de los ocupantes, además se considera que la carrocería tenga un precio competitivo en diseño y construcción

El Gobierno Nacional plantea transformar el patrón de especialización de la economía ecuatoriana y lograr una inserción estratégica y soberana en el mundo, lo que nos permitirá:

- ✓ Contar con nuevos esquemas de generación, distribución y redistribución de la riqueza;
- ✓ Reducir la vulnerabilidad de la economía ecuatoriana;
- ✓ Eliminar las inequidades territoriales;
- ✓ Incorporar a los actores que históricamente han sido excluidos del esquema de desarrollo de mercado.

La transformación de la matriz productiva implica el paso de un patrón de especialización primario exportador y extractivista a uno que privilegie la producción diversificada, ecoeficiente y con mayor valor agregado, así como los servicios basados en la economía del conocimiento y la biodiversidad.

El proyecto a ser desarrollado se diferencia de proyectos similares, en la utilización de la mecánica computacional para la validación de la carrocería, con la utilización de esta herramienta se obtienen modelos más seguros y confiables. Esto es posible mediante la mecánica computacional ya que combina la mecánica teórica y aplicada con los métodos numéricos y la informática. La industria carrocera necesita que sus productos finales sea el resultado directo o indirecto de la utilización de aplicaciones computacionales que cuenten con principios de la mecánica.

Además con la utilización de la mecánica computacional se obtendrán prototipos de buses en lo que se optimice el material, mediante la simulación de los prototipos sometidos a las mismas cargas y condiciones que establece la Norma INEN 1323:2009.

Los proyectos similares se limitan a realizar el estudio de diseño de la carrocería y el comportamiento en un volcamiento. Pero el presente proyecto a ser desarrollado va a realizar la simulación de un choque frontal simétrico de la carrocería, lo que ayudaría a la obtención de un diseño seguro en condiciones de volcamiento y choque.

También por la deficiente producción nacional de carrocerías para buses interprovinciales, es primordial realizar trabajos de investigación que desarrollen

productos nacionales de calidad, a fin de mejorar el mercado nacional y reducir las importaciones de países vecinos, se plantea que el proyecto a ser desarrollado cumpla con normas nacionales para encontrar un modelo de alta calidad, para una producción eficiente y eficaz.

De modo que los consumidores prefieran un producto nacional de calidad que ofrezca las mismas prestaciones de los productos de países vecinos y hasta los productos de la unión europea. El desarrollo del proyecto también busca desarrollar un modelo innovador tanto exterior como interior rigiéndose a las indicaciones de las normas para aumentar su acogida en el mercado.

Gracias a la mecánica computacional se pueden prever de diversos prototipos virtuales para realizar varias simulaciones de volcamientos, choques a bajos costos y optimizando tiempos de diseño lo cual es realizado por empresas de diseño como EVA Engineering de formación internacional avaladas por el conocimiento teórico y herramientas computacionales óptimas para un diseño, análisis y validación de altos estándares ingenieriles.

## **1.5. ALCANCE**

El presente proyecto tiene como alcance: diseñar, analizar y validar una carrocería de un bus interprovincial en conformidad con el Instituto Ecuatoriano de Normalización (Norma INEN 1323:2009).

- ☑ Diseñar la estructura bajo un estudio estático, rigiéndose a las normas establecidas por la normativa INEN.
- ☑ Análisis mediante Mecánica Computacional a fin de observar el comportamiento de la carrocería.
- ☑ Realizar simulaciones en las diferentes combinaciones de cargas que estable la norma INEN 1323:2009 para validar los prototipos.

- ✓ Analizar el comportamiento de la carrocería al sufrir un choque frontal, para ofrecer un diseño superior a los existentes en el mercado.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. CARROCERÍAS PARA BUSES INTERPROVINCIALES**

En conformidad con la norma NTE INEN 1323:2009, que define al vehículo destinado para el transporte masivo de personas en largas distancias como bus interprovincial y turismo. Este concepto está de acuerdo a la norma NTE INEN ISO 3833 vigente, en la cual establece lo siguiente.

Es considerado como bus interprovincial y turismo a un vehículo automotor el cual, por razón de su diseño y designación, está considerado para transportar personas y equipaje para viajes a largas distancias, este vehículo esta acondicionado para la comodidad de sus pasajeros sentados y no lleva pasajeros de pie. Adicional este vehículo debe tener más de 9 asientos incluyendo el de conductor.

#### **2.2. NORMATIVA**

##### **2.2.1. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Organismo técnico nacional, eje principal del Sistema Ecuatoriano de la Calidad en el país, competente en Normalización, Reglamentación Técnica y Metrología, que contribuye a garantizar el cumplimiento de los derechos ciudadanos relacionados con la seguridad; la protección de la vida y la salud humana, animal y vegetal; la preservación del medio ambiente; la protección del consumidor y la promoción de la cultura de la calidad y el mejoramiento de la productividad y competitividad en la sociedad ecuatoriana.

##### **2.2.2. NORMA NTE INEN 1323:2009 (ANEXO E)**

La norma NTE INEN 1323:2009 es el reglamento técnico con el que se detallan los requisitos para los vehículos automotores carrozados para servicio de transporte masivos de personas. Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional.

La entidad encargada del cumplimiento de la norma es la ANT (Agencia Nacional de Tránsito), esta entidad basa su operación en función de las normas y reglamentos INEN. Dentro de la norma NTE INEN 1323:2009 se establecen los parámetros para el diseño de la carrocería, así como también los procesos de ensamble, planos, memorias de cálculos.

Las definiciones y requisitos que utiliza por la norma para el diseño son las siguientes.

**Literal 3.1.1.** Carga de aceleración Brusca (Ab). Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.

**Literal 3.1.2.** Carga de Frenado (F). Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo.

**Literal 3.1.3.** Carga de Giro (G). Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo.

**Tabla No. 1**

**Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera**

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	8
90	350	8
95	450	8
100	500	8
105	550	8
110	600	8
115	650	8

Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Literal 5.1.1.2, pp 5

La carga de giro debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar al vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad.

Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h.

**Literal 3.1.4. Carga por Resistencia Del Aire Frontal (Raf).** Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitud.

**Literal 3.1.5. Carga Muerta (M).** Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios.

**Literal 3.1.6. Carga Viva (V).** Corresponde a la carga por ocupación y se la considerara como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería.

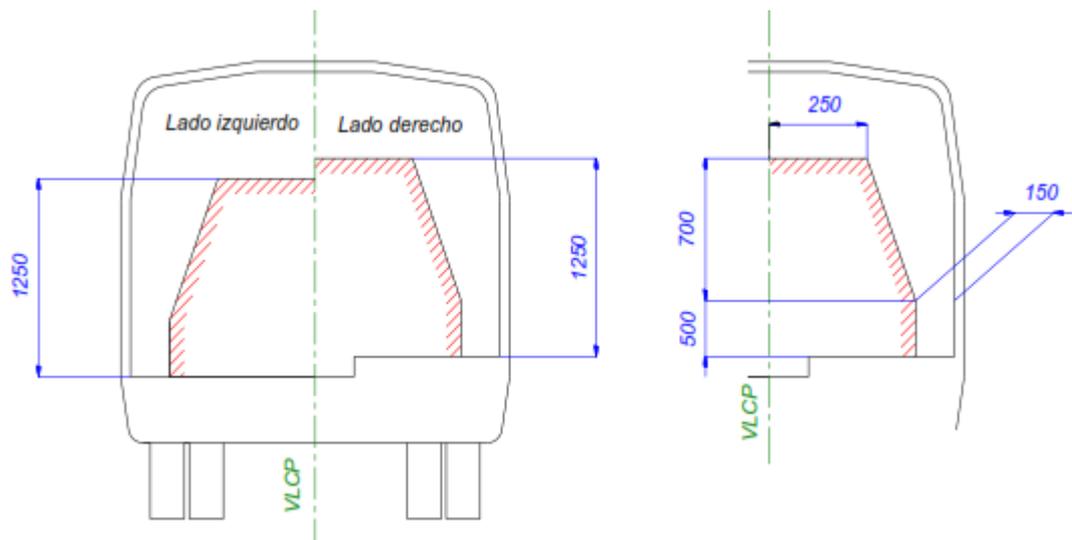
## Tabla No. 2

### Determinación de cargas

Tipo de Servicio	Masa de un ocupante (kg)	Masa Mínima de equipaje por pasajero (kg)	Masa Mínima de equipaje en bodegas (kg)	Espacio necesario por pasajero de pie (m <sup>2</sup> )
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin Pasajeros de Pie

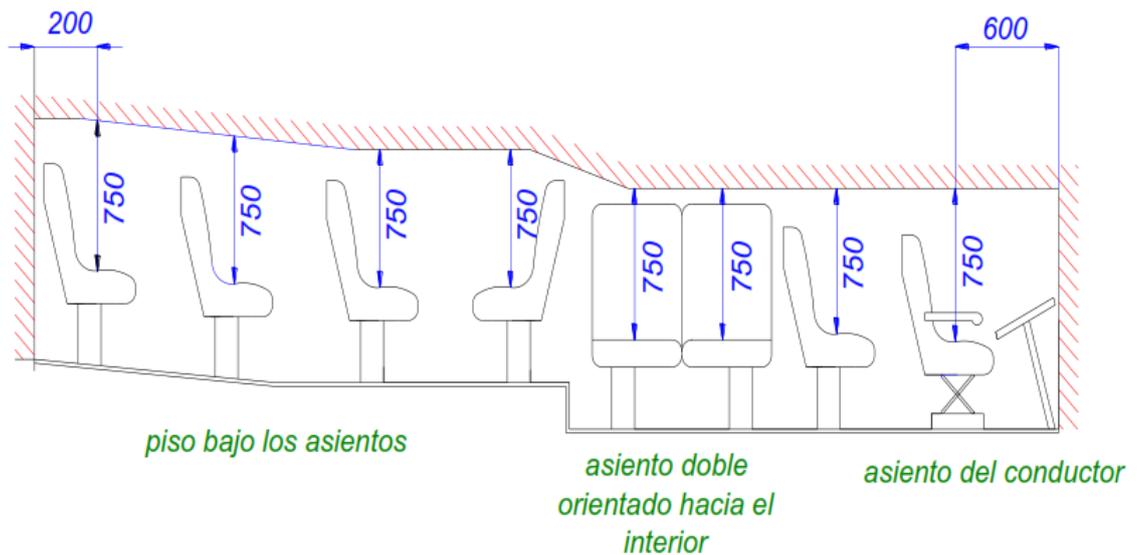
Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Literal 5.1.1.1, pp 5

**Literal 3.1.10. Espacio de Supervivencia.** Es el volumen que se obtiene en el compartimiento de ocupantes, desplazando en línea recta en el plano vertical y transversal indicado en la figura 2.1, de manera que se pase por el punto SR de la figura 2.2 desde el punto SR del ultimo asiento exterior a través del punto SR de cada asiento exterior intermedio hasta el punto SR del primer asiento exterior del ocupante.



**Figura No. 1 Vista transversal del espacio de supervivencia**

**Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Figura 1, pp 2**



**Figura No. 2 Vista longitudinal del espacio de supervivencia**

**Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Figura 2, pp 3**

Con las cargas mencionadas anteriormente se procede a determinar las combinaciones de cargas, en el presente proyecto se determinara la combinación de carga más crítica de acuerdo al elemento a diseñarse, en el capítulo 3 sección 3.1 se definen las cargas y las combinaciones.

La norma NTE INEN 1323:2009 indica los métodos con los que se debe calcular las combinaciones de carga. Los cuales indicamos a continuación:

**Literal 5.1.2.1.** Según método ASD (Allowable Strength Design)

**Tabla No. 3**

**Combinaciones de Cargas según método ASD**

N.-	COMBINACIÓN
1	M
2	M + V
3	M + V + G
4	M + V + F
5	M + V + F + Raf
6	M + V + Raf
7	M + V + Ab
8	M + V + Raf

Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Literal 5.1.2.1, pp 6

**Literal 5.1.2.2.** Según método LRFD (Load resistance factor design)

**Tabla No. 4**

**Combinaciones de Cargas según método LRFD**

N.-	Combinación
1	1.4M
2	1.2M + 1.6V + 0.5G
3	1.2M + 0.5V + 1.6G
4	1.2M + 1.6F + 0.8Raf
5	1.2M + 0.5V + 0.5F + 1.3Raf
6	1.2M + 1.5Ab + 0.5V
7	0.9M – 1.3Raf
8	0.9M + 1.3Raf

Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Literal 5.1.2.2, pp 6

Los factores utilizados para los cálculos según el método ASD y LRFD serán los indicados en: Specification for Structural Steel Buildings (AISC) y North American

Specification for the design of Cold Formed Steel-Structural Members (AISII). La combinación de las cargas según los métodos ASD y LRFD, deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud.

La resistencia de la estructura debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al cincuenta por ciento (50%) del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros (70 mm).

Los materiales de la estructura deben ser perfiles estructurales protegidos contra corrosión que cumplan con las NTE INEN correspondientes vigentes.

La soldadura de la carrocería de buses debe soldarse de acuerdo con las normas vigentes por la normativa INEN.

- ☑ Norma AWS D8.8 para componentes de acero.
- ☑ Norma AWS D8.14 para componentes de aluminio.

Las uniones entre el chasis y carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para bus de transporte de pasajeros, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de buses.

### **2.2.3. MÉTODO LRFD (Load and Resistance Factor Design)**

El diseño con factores de carga y resistencia se basa en los conceptos de estados límite, dentro de los cuales existen dos tipos: los de resistencia y los de servicio. En el método LRFD las cargas de trabajo o servicio ( $Q_i$ ) se multiplican por ciertos factores de carga o seguridad ( $\lambda_i$ ) que son casi siempre mayores que 1.0 y se obtienen las “cargas factorizadas” usadas para el diseño de la estructura.

En las combinaciones de carga se forman grupos posibles de cargas de servicio y de cada servicio se multiplica por un factor de carga. Los mayores valores

determinados de la combinación de carga se usan para calcular los momentos, los cortantes y otras fuerzas en la estructura. Estos valores de control no deben ser mayores que las resistencias nominales de sus miembros multiplicadas por su factor de reducción  $\phi$ .

$$\begin{aligned} &(\text{Factor de reducción } \phi)(\text{Resistencia nominal de un miembro}) \geq \text{fuerza} \\ &\text{factorizada calculada en el miembro, } R_u \\ &\phi R_n \geq R_u \end{aligned}$$

#### **2.2.4. FACTORES DE REDUCCIÓN O RESISTENCIA**

Para tomar en cuenta las incertidumbres que se tienen en la Resistencia de los materiales, en las dimensiones y en la mano de obra. Debido a las imperfecciones en las propiedades de los materiales y a las imperfecciones en las dimensiones de los elementos estructurales, necesario multiplicar la resistencia nominal ( $R_n$ ) de cada elemento por un factor  $\phi$ , de resistencia o de sobrecapacidad que es casi siempre menor que 1,0.

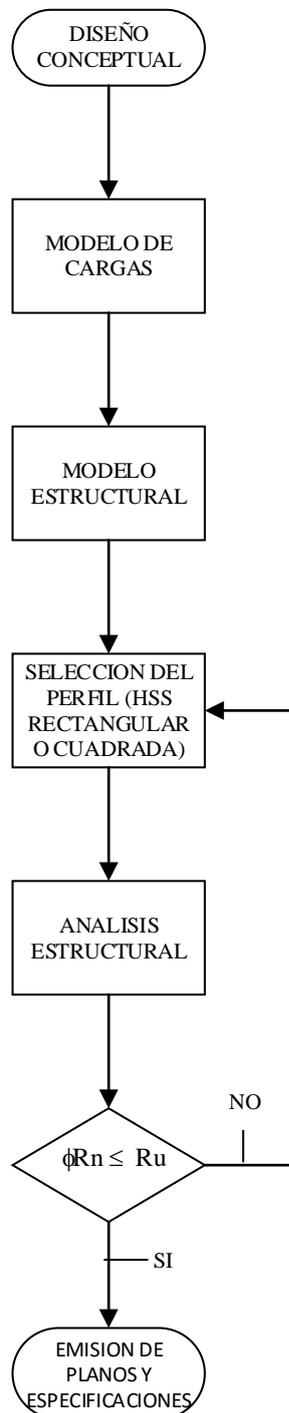
A continuación se detalla la tabla con los coeficientes en base a diferentes situaciones.

**Tabla No. 5****Factores de resistencias**

Factores de Reducción $\phi$	SITUACIONES
1.00	Aplastamiento en áreas proyectantes de pasadores, fluencia de alma bajo cargas concentradas, cortantes en tornillos en juntas tipo fricción.
0.90	Vigas sometidas a flexión y corte, filetes de soldadura con esfuerzos paralelos al eje de soldadura, soldaduras de ranura en el metal base, fluencia de la sección total de miembros a tensión.
0.85	Columnas, aplastamientos del alma, distancias al borde y capacidad de aplastamiento en agujeros.
0.80	Cortante en el área efectiva de soldaduras de ranura con penetración completa, tensión normal al área efectiva de soldaduras de ranura con penetración parcial.
0.75	Tornillos a tensión, soldaduras de tapón o muesca, fractura en la sección neta de miembros a tensión.
0.65	Aplastamiento en tornillos ( que no sean tipo A307)
0.60	Aplastamiento en cimentaciones de concreto.

Fuente: McCormac, J.C. "Factores de Resistencia", *Diseño de Estructuras de Acero*, 2da Edición, Mexico, D.F. 2002, Tabla 2.2, pp 57

El diseño de los elementos estructurales mediante el método LRFD podemos sintetizar en un flujograma LRFD de un proceso iterativo para la selección de los perfiles que cumplan con los requisitos de diseño.

**FLUJOGRAMA MÉTODO LRFD****Figura No. 3** Flujograma para el cálculo estructural LRFD**Fuente:** Departamento de Diseño EVA Engineering

### 2.2.5. ANÁLISIS DEL MÉTODO LRFD

El diseño de elementos mediante el método LRFD utiliza criterios que están contemplados en el manual de la AISC (American Institute Steel Construction), el método LRFD utiliza criterios no conservadores para el diseño, y construcción de estructuras metálicas tales como: edificios, galpones, puentes, etc. En manual de la AISC abarca todo tipo de estructuras estáticas.

Las combinaciones de carga para el método LRFD, son combinaciones que fueron desarrolladas durante décadas analizando las fuerzas y la variaciones que soportan las estructuras antes mencionadas.

A continuación se muestra las combinaciones del método LRFD contenidas en el manual de la AISC.

**Tabla No. 6**

#### Combinación de cargas según LRFD

ÍTEM	COMBINACIÓN
Pu1	1.4M
Pu2	1.2M + 1.6V + 0.5(Lr o S o R)
Pu3	1.2M + 0.5V + 1.6(Lr o S o R)
Pu4	1.2M + 1.6W + 0.5L + 0.5(Lr o S o R)
Pu5	1.2M + 1.0E + 0.5L + 0.2S
Pu6	0.9M+1.6W
Pu7	0.9M +1.0E

Fuente: Manual AISC 13th edición

De donde:

- M*: Carga Muerta
- V*: Carga Viva
- Lr*: Carga Viva en el techo
- S*: Carga de Nieve
- R*: Carga al agua de lluvia o nieve
- E*: Carga por sismo

$W$ : Carga por viento

Continuamos con el análisis de las combinaciones de carga propuestas por la Norma INEN NTE 1323:2009.

**Tabla No. 7**

**Combinación de cargas según LRFD**

ÍTEM	COMBINACIÓN
Pu1	$1.4M + V$
Pu2	$1.2M + 1.6V + 0.5G$
Pu3	$1.2M + 0.5V + 1.6G$
Pu4	$1.2M + 1.6V + 0.8Raf$
Pu5	$1.2M + 0.5V + 0.5F + 1.3Raf$
Pu6	$1.2M + 1.5Ab + 0.5V$
Pu7	$0.9M - 1.3Raf$
Pu8	$0.9M + 1.3Raf$

Fuente: Norma INEN NTE 1323:2009

A continuación exponemos un análisis sobre las combinaciones de cargas expuestas anteriormente.

- ✓ Los criterios de diseño del método LRFD según el manual de la AISC son para estructuras estáticas por lo cual no se pueden aplicar para el diseño de autobuses.
- ✓ Los factores de incremento o decremento utilizados en la norma INEN NTE 1323:2009 no están sustentados o no contiene una referencia científica, por lo cual los resultados obtenidos por esas combinaciones pueden presentar variaciones a las cargas reales que soportaría el autobús.
- ✓ Los criterios utilizados en el método LRFD se fundamentan en mecánica clásica, ocupando principios de resistencia de materiales. Por lo que para el diseño de los elementos estructurales se ocupara criterios de resistencia de materiales. Lo cual nos permite tener un respaldo científico del diseño.

En base al análisis anterior se procede a desarrollar los criterios de diseño mediante resistencias de materiales.

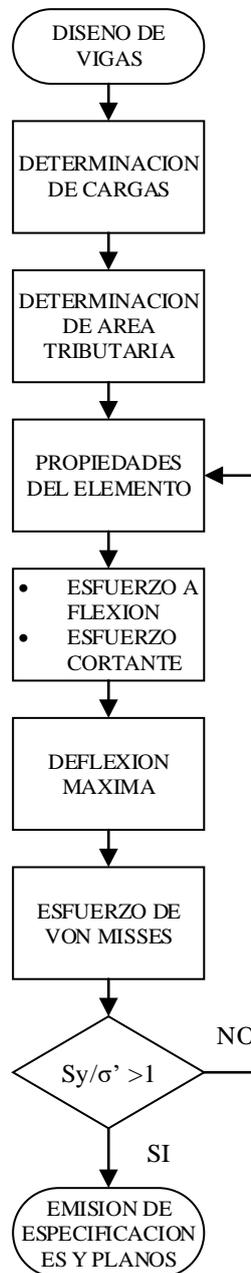
### **2.3. DISEÑO DE VIGAS**

El diseño de las vigas que conforman el arreglo estructural del autobús, se parte desde el análisis donde se conocen las dimensiones de la viga, la determinación del máximo esfuerzo para la carga dada, o la carga permisible para un esfuerzo permisible dado.

En el diseño de vigas se conoce el claro de la viga, las condiciones de carga, y los esfuerzos permisibles, el problema consiste en determinar las dimensiones necesarias de la sección transversal de la viga.

Para el diseño de las vigas que conforman el arreglo estructural se necesita calcular el esfuerzo a flexión y el esfuerzo cortante que soportara la viga para lo cual con el perfil seleccionado se procederá a determinar los parámetros que se mencionaran en el capítulo 3 seccion 3.8. Los parámetros a considerar en el diseño son la seguridad, economía y detalles generales.

El diseño de vigas se puede sintetizar mediante un flujograma donde consta los parámetros a considerar dentro del diseño.

**FLUJOGRAMA DE DISEÑO DE VIGAS****Figura No. 4** Flujograma procedimiento de diseño de vigas**Fuente:** Departamento de Diseño EVA Engineering

## 2.4. DISEÑO DE COLUMNAS

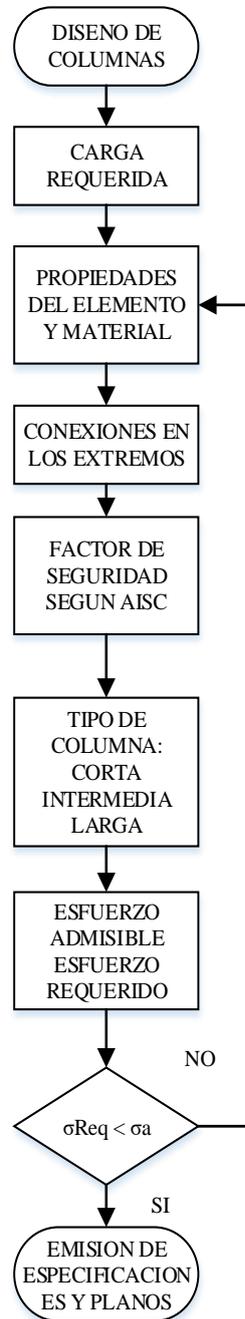
En el diseño de una columna se parte son la selección del esfuerzo admisible adecuada. Considerando parámetros tales como: material, códigos y especificaciones bajo las cuales se hace el diseño, longitud, las condiciones en los extremos y la carga aplicada.

La AISC en sus especificaciones establece fórmulas para los esfuerzos admisibles en miembros a compresión cargados axialmente.

En estas especificaciones, el parámetro a considerar para el diseño es la determinación del tipo de columna, mediante la longitud de la columna y el radio de giro en su eje más débil se conocerá si es una columna: corta, intermedia o larga, las fórmulas para el diseño varían si se trata de una columna larga o de una columna corta e intermedia. Las condiciones en los extremos de la columna es otro parámetro necesaria para el diseño siendo este un factor que determinara si el diseño es conservador o no conservador. El procedimiento detallado para el diseño de columnas se explicara en capítulo 3 sección 3.9.

Es importante destacar que las formulas usadas para el diseño de las vigas y columnas sirven para determinar el comportamiento del material dentro de su rango elástico. Para conocer el comportamiento de las vigas y columnas dentro del rango plástico del material se utilizara software computacional.

El diseño de columnas se puede sintetizar mediante un flujograma donde consta los parámetros a considerar dentro del diseño.

**FLUJOGRAMA DE DISEÑO DE COLUMNAS****Figura No. 5** Flujograma procedimiento de diseño de columnas**Fuente:** Departamento de Diseño EVA Engineering

## **2.5. MECÁNICA COMPUTACIONAL**

La Mecánica Computacional es la ciencia aplicada que estudia el comportamiento de fluidos, sólidos y materiales complejos bajo la acción de fuerzas. La Mecánica Computacional es la sub-disciplina de la Mecánica que, utilizando herramientas y métodos computacionales, estudia problemas gobernados por los principios de la Mecánica.

El Método de los Elementos Finitos (FEM) es una herramienta poderosa de la mecánica computacional. Para nuestro caso se utilizara esta herramienta para obtención de los esfuerzos en la estructura del bus, simulación de choque frontal simétrico y lateral asimétrico.

## **2.6. MÉTODO FEM (FINITE ELEMENT METHOD)**

El método de Elementos Finitos es usado para la solución de problemas en la ingeniería de análisis y diseño. Típicamente los problemas físicos actuales involucran una estructura o componentes de una estructura sometidos a ciertas cargas. La idealización del problema físico hacia el modelo matemático requiere ciertos supuestos que juntos a ecuaciones diferenciales gobiernan el modelo. La técnica de solución de elementos finitos es un proceso numérico, esto es necesario para evaluar la precisión de la solución.

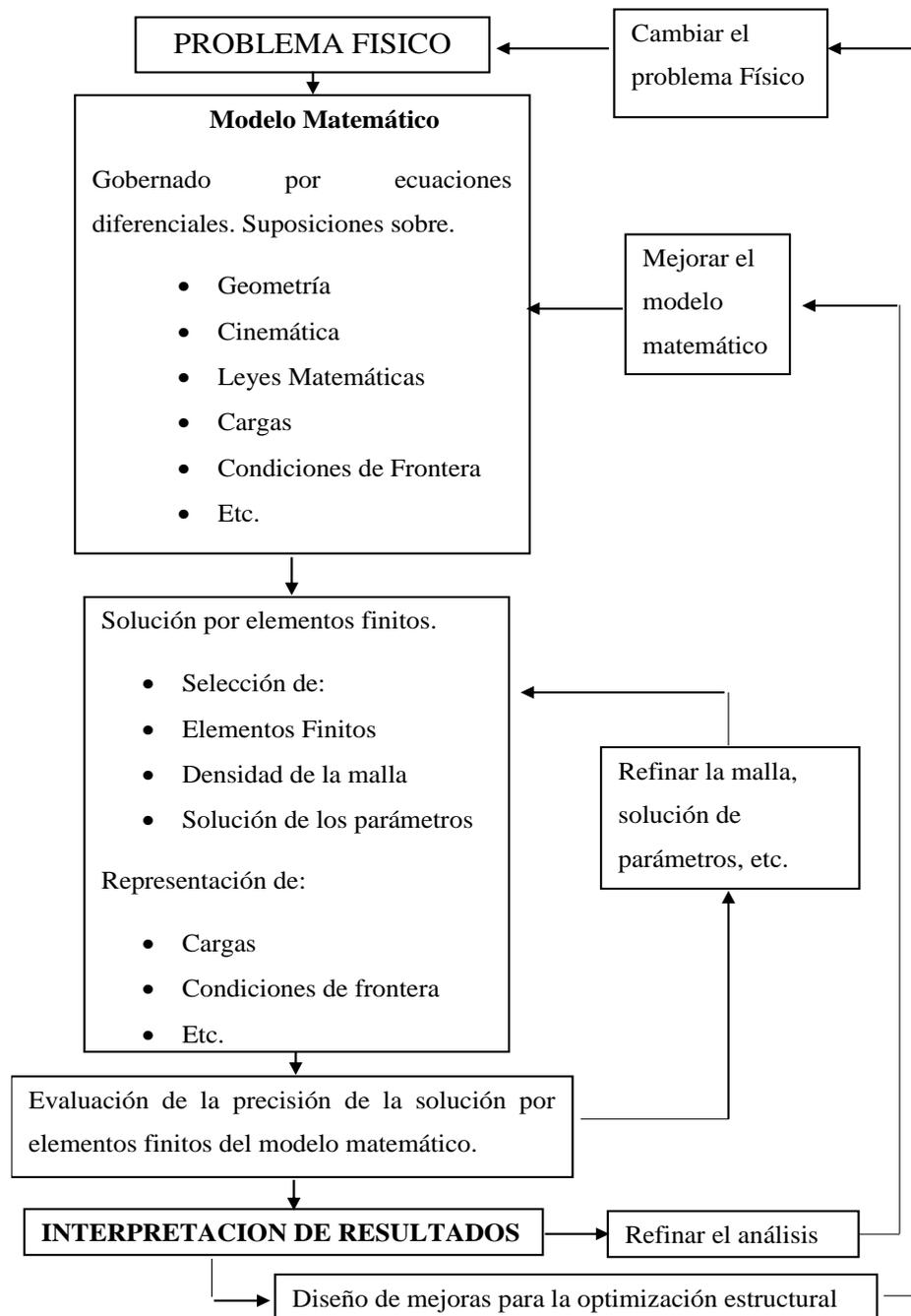
Los modelos matemáticos están destinados a representar los fenómenos físicos, tales fenómenos están compuestos por un conjunto de ecuaciones diferenciales, las cuales en su mayoría no poseen una solución analítica. Además, la descripción del fenómeno físico puede variar en el tiempo, por lo tanto la solución exige un modelo más complejo.

El mayor afán de los hombres a lo largo de la historia ha sido tratar de solucionar los modelos matemáticos, dando como resultado un sin número de soluciones genéricas, a pesar de no cumplir con la descripción total del problema, tales soluciones

son muy adecuadas en un gran rango del dominio, finalmente a estas soluciones genéricas se las denomina soluciones numéricas.

En la actualidad existen varios métodos numéricos con ventajas y desventajas, cada uno tiene una funcionalidad limitada a las características del problema. El método numérico de los Elementos Finitos (FEM por sus siglas en inglés) es en la actualidad el método pionero dentro de la Mecánica Computacional.

El análisis por elementos finitos resuelve el modelo matemático, a continuación se resume el proceso de análisis por elementos finitos



**Figura No. 6 Modelo Matemático para Método FEM**

**Fuente: Klaus, J.B (2006). Finite Element Procedures, In J. Bathe, PHYSICAL PROBLEMS, MATHEMATICAL MODELS, AND THE FINITE ELEMENT SOLUTION (pp. 2). Massachusetts: Prentice Hall.**

## CAPITULO III

### PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y VALIDACIÓN

#### 3.1. DEFINICIONES

**Tabla No. 8**

**Definiciones para el Diseño**

PALABRAS	DESCRIPCIÓN
Carrocería con chasis	Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas.
Carrocería Autoportante	Aquella que en su diseño conforma el chasis e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico.
Chasis	Constituye el soporte de todos los componentes principales del vehículo .
Espacio de supervivencia	Es el volumen que se obtiene en el compartimiento de ocupantes, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal.
Escotilla	Aberturas localizadas en el techo de la carrocería, utilizadas para la ventilación interior y salidas de personas en caso de emergencia.
Voladizo	Parte de la carrocería que sobresale respecto a un eje del chasis
Componentes estructurales	Elementos que conforman la estructura metálica de la carrocería
Componentes no estructurales	Elementos que conforman los accesorios, componentes eléctricos de la carrocería
Acometida	Lugar en el cual la conducción en el cual la conducción de fluido de enlaza con el principal
Bastidor	Armazón principal al cual los componentes
Trocha	Espacio comprendido entre dos ejes principales
Peldaño	Travesaño o plataforma horizontales de una escalera en los que se apoya el pie al subir o bajar
Arrostramiento	Elementos utilizadas para estabilizar o rigidizar la estructura impidiendo su desplazamiento o deformación
Reglamento Técnico Ecuatoriano	Conjunto de normas vigentes en el país de carácter obligatorio para el diseño, fabricación de bienes o productos.
Normativa Técnica Ecuatoriana	Conjunto de normas vigentes en el país de carácter no obligatorio para el diseño, fabricación de bienes o productos.
Frenado de Pánico	Un vehículo circulando a una velocidad de 80 Km/h a su máximo peso bruto vehicular sobre una superficie horizontal, debe frenar totalmente en una distancia no mayor de 85 m.

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

### 3.2. NORMATIVA Y REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

**Tabla No. 9**

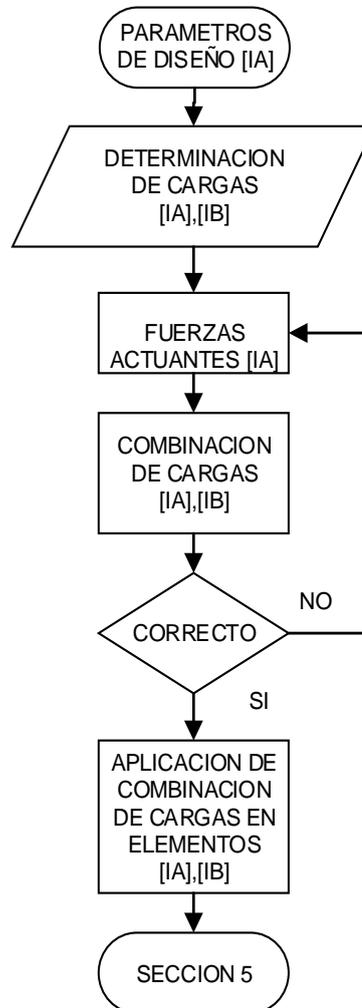
**Normativa y Referencia Bibliográfica**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
NTE INEN 1323:2009	Norma técnica Ecuatoriana que establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías para buses para todas sus modalidades. Esta norma se aplica a todas las carrocerías de buses, sean importadas o de construcción nacional. Incluye las carrocerías que son parte de los chasis carrozados o carrocerías autoportantes.
RTE INEN 043	Este reglamento Técnico Ecuatoriano establece los requisitos que deben cumplir los buses interprovinciales e intraprovinciales de transporte masivo de pasajeros con la finalidad de proteger la vida y seguridad de las personas, el ambiente y la propiedad, y prevenir prácticas engañosas que puedan inducir a error a los fabricantes o usuarios finales.
Regulation 66	Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure
Resistencia de Materiales	Libro 1: Shigley
	Libro 2: Robert Fitzgerald
Mecánica de Fluidos	Libro 1: Frank White
Estructuras Metálicas	Libro 1: Vinnakota
Finite Element Method	Libro 1: Bathe

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

### 3.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

Los parámetros de diseño se basan en la norma NTE INEN 1323:2009 y RTE INEN 043.



**Figura No. 7** Parámetros de diseño

**Fuente:** Departamento de Diseño EVA Engineering

### 3.3.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

**Tabla No. 10**

**Parámetros de diseño según RTE INEN 043**

ÍTEM	UNIDADES	VALOR	OBSERVACIONES
Largo máximo	[mm]	13300	2 Ejes
Largo máximo	[mm]	15000	3 Ejes
Ancho total	[mm]		Sin espejos y con puertas cerradas. Cubra la trocha, sin sobresalir más de 75 a cada lado
Altura máxima de la carrocería	[mm]	4000	Medida desde la calzada hasta la escotilla
Altura mínima en el corredor central	[mm]	1900	Medido en la zona de tránsito de los usuarios
Altura de la ventana	[mm]	700	Medido desde el piso hasta el borde inferior de la ventana
Altura del peldaño	[mm]	400	Medido desde el nivel del suelo hasta el peldaño inferior
Parachoques frontal y posterior	[mm]	300	Medida máxima que sobresale de la carrocería
Altura parachoques frontal	[mm]	500	Valor máximo desde la calzada
Altura parachoques posterior	[mm]	600	Valor máximo desde la calzada
Voladizo trasero	[mm]		Max. 66% de la distancia entre ejes
Voladizo delantero	[mm]	2000-3000	
Angulo de acometida			Entre 8° a 12°
Angulo de salida			Min 8.5 Grados
Altura de la puerta de acceso	[mm]	2000	Altura mínima
Ancho libre de la puerta de acceso	[mm]	850	Ancho mínimo

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

### 3.3.2. DETERMINACIÓN DE CARGAS ACTUANTES

Se especifican en la norma INEN NTE 1323:2009.

### 3.3.3. CARGA VIVA [V]

Cargas vivas de diseño de la norma NTE INEN 1323:2009.

**Tabla No. 11**  
**Cargas Vivas Actuantes**

TIPO DE SERVICIO	MASA [kg/pasajero]	NUMERO DE OCUPANTES	MASA DE EQUIPAJE EN BODEGA [kg/pasajero]	MASA TOTAL [kg]
Urbano	70		Sin bodegas	
Urbano ( escolar e institucional)	70		Sin bodegas	
Interurbano (Intraprovincial)	75			
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	75			

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

**Nota:** La masa de equipaje de bodega por pasajero para buses Intraprovinciales e Interprovinciales se establecerá de acuerdo al requerimiento del cliente.

$$V = Mv * g \quad [EC 1.1]$$

Donde:

$Mv$ :	Masa total para cada tipo de bus	[kg]
$g$ :	Gravedad	[m/s <sup>2</sup> ]
$V$ :	Carga Viva	[N]

### 3.3.4. CARGA MUERTA [M]

Constituye los elementos estructurales y no estructurales principales.

**Tabla No. 12**

#### Componentes estructurales

ELEMENTO	MATERIAL	DIMENSIONES [mm]	CANTIDAD	MASA [kg/mm]	MASA TOTAL [kg]
$M_E$					

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

**Tabla No. 13**

#### Componentes no estructurales

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	DIMENSIONES	MASA [kg/m <sup>3</sup> ]	MASA TOTAL [kg]
$M_{NE}$					

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

**Nota:** El masa de asiento para dos personas es aproximadamente 30kg/unidad.

$$M = 1.1(M_E + M_{NE}) * g \quad [\text{EC 1.2}]$$

Donde:

$M_E$ : Sumatoria de elementos estructurales [kg]

$M_{NE}$ : Sumatoria de elementos no estructurales [kg]

$M$ : Carga muerta [N]

**Nota:** Se incrementa un 10% de la masa de elementos estructurales y no estructurales debido a los componentes menores como: accesorios, madera, sistema de cableado eléctrico.

### 3.3.5. CARGA DE GIRO [G]

Basada en la Tabla 2. Norma NTE INEN 1323:2009.

**Tabla No. 14**

#### Velocidad y radio de curvatura para los vehículos

VELOCIDAD DEL VEHÍCULO [km/h]	RADIO DE CURVATURA DE LA CARRETERA [m]	PERALTE (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	

Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009.

$$G = \frac{M_b * V^2}{r_c} \quad [\text{EC 1.3}]$$

Donde:

$G$ : Carga de giro [N]

$V$ : Velocidad del vehículo [km/h]

$r_c$ : Radio de curvatura de la carretera [m]

$M_b$ : Masa de bus en condiciones operativas [kg]

$$M_b = M_v + M_E + M_{NE} + M_c \quad [\text{EC 1.4}]$$

Donde:

$M_c$ : Masa del chasis [kg]

**Nota:** La velocidad del vehículo es 90 [km/h] de acuerdo a la normativa vigente según la Agencia Nacional de Tránsito.

### 3.3.6. CARGA POR RESISTENCIA DEL AIRE FRONTAL [Raf]

Carga por resistencia de aire frontal especificado en la norma NTE INEN 1323:2009.

$$Raf = \frac{1}{2} * C_x * \rho * Af * V^2 \quad [\text{EC 1.5}]$$

Donde:

$C_x$ : Coeficiente de Resistencia de Aire frontal. (Como mínimo 0.7)

$$C_x = 0.76$$

$\rho$ : Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

$$\rho = 1.22$$

$A_f$ : Área correspondiente a la [m<sup>2</sup>]  
proyección del bus en un plano  
perpendicular a su eje longitudinal

$V$ : Velocidad del aire [m/s]

**Nota:** La velocidad del aire es como mínimo 25 [m/s]

### 3.3.7. CARGA DE FRENADO [F] Y ACELERACIÓN BRUSCA [Af]

Carga de frenado para un frenado de pánico del vehículo.

$$a_r \geq a_t \quad [\text{EC1.6}]$$

Donde:

$a_r$ : Desaceleración real del vehículo [m/s<sup>2</sup>]

$a_t$ : Desaceleración teórica [m/s<sup>2</sup>]

**Nota:** De acuerdo a la Norma NTE INEN 1323:2009 la desaceleración real aplicada al frenar el vehículo debe ser igual o mayor a 4 m/s<sup>2</sup>.

$$a_r = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2 * S} \quad [\text{EC1.7}]$$

Donde:

$V_0$ : Velocidad inicial [m/s]

$V_1$ : Velocidad final [m/s]

$S$ : Desplazamiento del vehículo para [m]  
un frenado de pánico

$$Cf = M_b * a_r \quad [\text{EC1.8}]$$

Donde:

$M_b$ : Masa de bus en condiciones operativas [kg]

$F$ : Carga de frenado [N]

La carga de aceleración brusca se calcula con la desaceleración real con el signo contrario. Norma NTE INEN 1323:2009.

$$A_b = -M_b * a_r \quad [EC1.9]$$

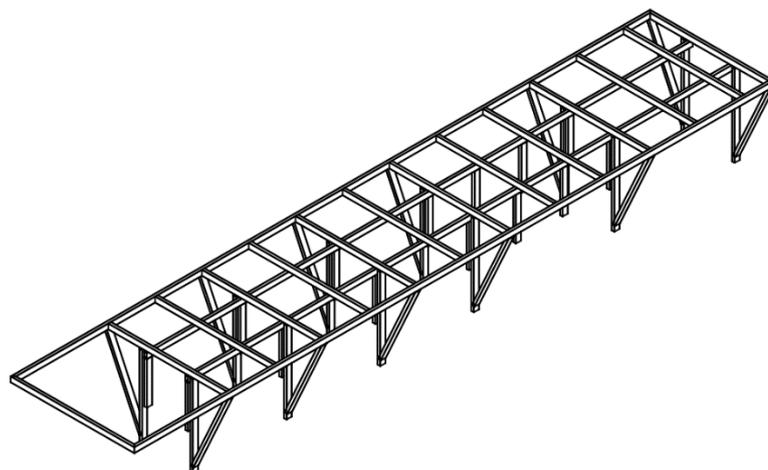
Donde:

$A_b$ : Carga de aceleración brusca [N]

### 3.4. CODIFICACIÓN DE ELEMENTOS

#### 3.4.1. BASTIDOR DE LA CARROCERÍA

Estructura anclada al chasis, en la cual se asientan los elementos estructurales y no estructurales.



**Figura No. 8 Vista isométrica del bastidor de la carrocería**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**

### **3.4.2. VIGA TIPO 1 [VG1]**

Vigas cargadas a lo largo de su eje longitudinal, localizadas en la parte superior del bastidor en sentido transversal al eje longitudinal del bastidor.

### **3.4.3. VIGA TIPO 2 [VG2]**

Vigas cargadas a lo largo de su eje longitudinal, localizadas paralela al eje longitudinal del bastidor, en la parte inferior de las vigas tipo 1 [VG1].

### **3.4.4. VIGA TIPO 3 [VG3]**

Vigas cargadas a lo largo de su eje longitudinal, localizadas paralela al eje longitudinal del bastidor, en los extremos de las vigas tipo 1 [VG1].

### **3.4.5. COLUMNA TIPO 1 [CL1]**

Columnas cargadas axialmente, soportan a las Vigas Tipo 1 [VG1], incrementando la estabilidad al bastidor.

### **3.4.6. COLUMNA TIPO 2 [CL2]**

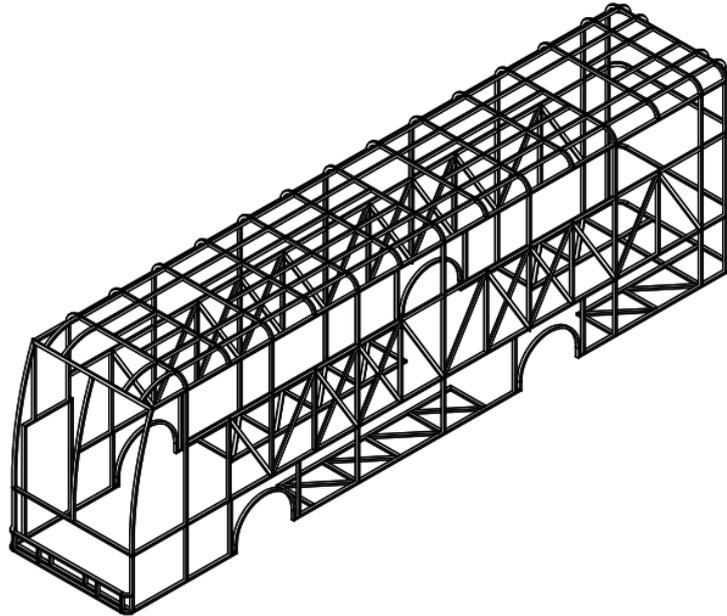
Columnas cargadas axialmente, soldadas a las Columna Tipo 1 [CL1], las columnas Tipo 2 [CL2] se conectaran al chasis del vehículo.

### **3.4.7. ARROSTRAMIENTO TIPO 1 [AR1]**

Los arrostros Tipo 1 [AR1] se encuentran entre las vigas Tipo 1 [VG1] y las columnas tipo 1 [CL1].

### **3.4.8. CARROCERÍA EXTERIOR**

Estructura anclada al bastidor de la carrocería, en el cual se asientan los elementos estructurales y no estructurales.



**Figura No. 9 Vista isométrica de la Carrocería exterior**

**Fuente: Departamento de Diseño. EVA Engineering**

#### **3.4.9. CERCHA TIPO 1 [CR1]**

Elementos Distribuidos en el eje longitudinal de la carrocería.

#### **3.4.10. CERCHA TIPO 2 [CR2]**

Localizadas en la parte superior de la estructura. Distribuidas en el eje longitudinal de la carrocería.

#### **3.4.11. CERCHA TIPO 3 [CR3]**

Localizadas en la parte superior de la estructura. Distribuidas paralelas al eje longitudinal de la carrocería.

#### **3.4.12. VIGA LATERAL TIPO 3 [VG3]**

Distribuidas en la parte lateral de las Cercha Tipo 1 [CR1].

### 3.5. COMBINACIONES DE CARGA PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

#### 3.5.1. COMBINACIÓN DE CARGA PARA CARROCERÍA EXTERIOR

Combinaciones de cargas actuantes para la carrocería exterior.

**Tabla No. 15**

**Cargas actuante para carrocería exterior**

ÍTEM	COMBINACIÓN
<b>Pu1</b>	1.4M + V
<b>Pu2</b>	1.2M + 1.6V + 0.5G
<b>Pu3</b>	1.2M + 0.5V + 1.6G

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

#### 3.5.2. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO CR1 (VIGA)

Selección de la mayor combinación de carga actuante para el elemento.

**Tabla No. 16**

**Cargas actuante para elemento CR1**

ÍTEM	COMBINACIÓN	VALOR [N]
<b>Pu1</b>	1.4M + V	

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

#### 3.5.3. COMBINACIÓN DE CARGA PARA BASTIDOR

**Tabla No. 17**

**Cargas actuante para bastidor de la carrocería**

ÍTEM	COMBINACIÓN
<b>Pu1</b>	1.4M + V
<b>Pu2</b>	1.2M + 1.6V + 0.5G
<b>Pu3</b>	1.2M + 0.5V + 1.6G
<b>Pu4</b>	1.2M + 1.6V + 0.8Raf
<b>Pu5</b>	1.2M + 0.5V + 0.5F + 1.3Raf
<b>Pu6</b>	1.2M + 1.5Ab + 0.5V

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

### 3.5.4. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO VG1

Selección de la mayor combinación de carga actuante para el elemento.

**Tabla No. 18**

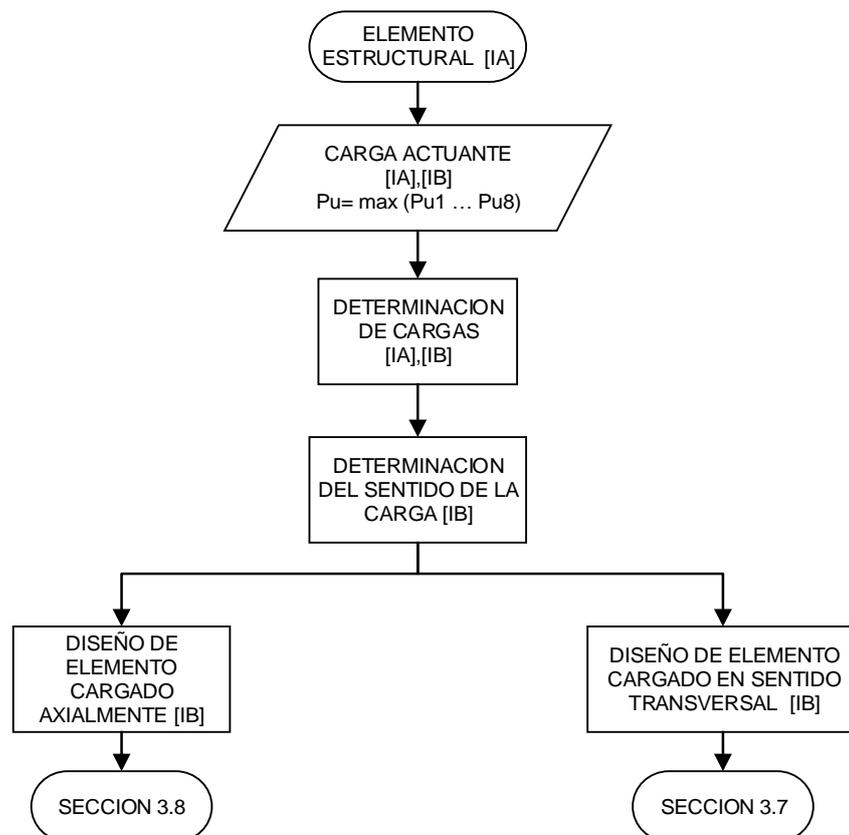
#### Cargas actuante para elemento VG1

ÍTEM	COMBINACIÓN	VALOR [N]
<b>Pu2</b>	1.2M + 1.6V + 0.5G	

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

### 3.6. DISEÑO DE BASTIDOR Y CARROCERÍA EXTERIOR

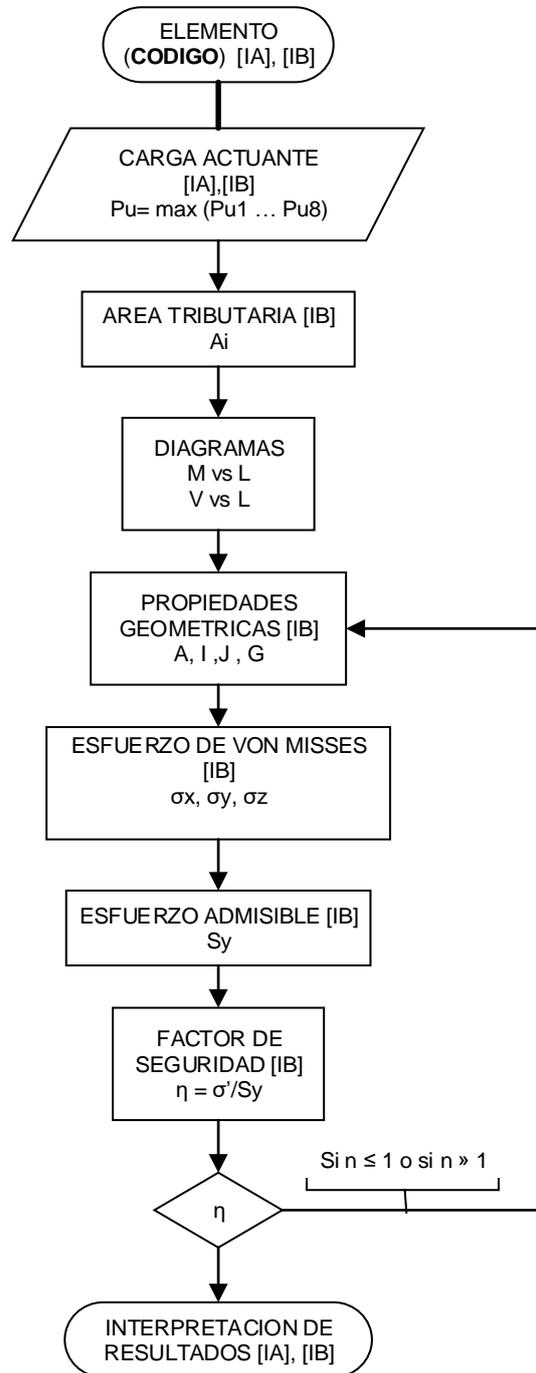
El diseño de los elementos estructurales se determinara de acuerdo a las combinaciones de cargas definidas en las secciones 3.6.1 y 3.6.3.



**Figura No. 10 Selección de Diseño Estructural**

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

### 3.7. DISEÑO ELEMENTOS CARGADOS EN SENTIDO TRANSVERSAL



**Figura No. 11 Procedimiento de Diseño de Vigas**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**

**Nota:** La filosofía de diseño se base en el criterio de diseño a flexión. Diseño en ingeniería mecánica – Shigley.

Siendo:

$P_u$ :	Carga actuante	[N]
$A_i$ :	Área tributaria	[m <sup>2</sup> ]
$M$ :	Momento flector	[N·m]
$V$ :	Cortante	[N]
$A$ :	Área transversal del elemento	[m <sup>2</sup> ]
$I$ :	Inercia	[m <sup>4</sup> ]
$\tau_{xy}$ :	Esfuerzo cortante	[N/ m <sup>2</sup> ]

### 3.7.1. DETERMINACIÓN DEL ÁREA TRIBUTARIA

Para la determinación del área tributaria se considera la separación entre vigas.

$$A_i = \left( \frac{Sb_{izq}}{2} + \frac{Sb_{der}}{2} \right) \cdot Lb \quad [EC1.10]$$

Donde:

$Sb_{izq}$ :	Longitud en vigas en el lado izquierdo	[m]
$Sb_{der}$ :	Longitud en vigas en el lado derecho	[m]
$Lb$ :	Longitud de la viga	[m]

### 3.7.2. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE VON MISES

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad [EC1.11]$$

Donde:

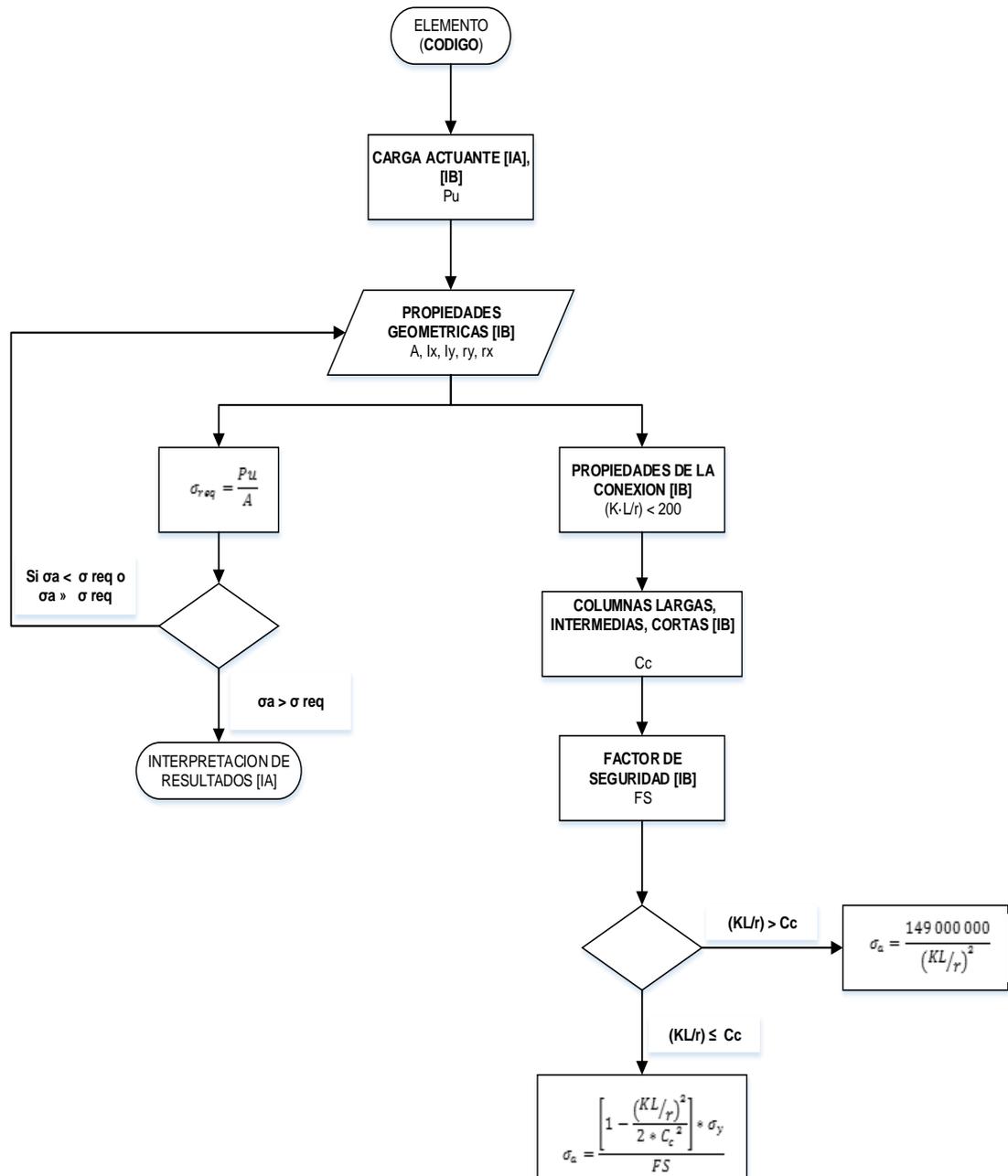
$\sigma_x$ : Esfuerzo normal al eje x [N/m<sup>2</sup>]

$\sigma_y$ : Esfuerzo normal al eje y [N/m<sup>2</sup>]

$\tau_{xy}$ : Esfuerzo cortante [N/m<sup>2</sup>]

$\sigma'$ : Esfuerzo de Von Mises [N/m<sup>2</sup>]

### 3.8. DISEÑO ELEMENTOS CARGADOS AXIALMENTE



**Figura No. 12 Procedimiento de Diseño de Columnas**  
**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**

**Nota:** La filosofía de diseño se base en el criterio de diseño para columnas.  
Resistencia de Materiales – Fitzgerald.

Siendo:

$P_u$	Carga actuante	[N]
$A$	Área transversal del elemento	[m <sup>2</sup> ]
$K$	Factor de conexión de columnas	N/A
$L$	Longitud de la columna	[m]
$I_x$	Inercia en el eje x	[m <sup>4</sup> ]
$I_y$	Inercia en el eje y	[m <sup>4</sup> ]
$r$	Radio de giro mínimo	[m]
$C_c$	Factor para columnas cortas, intermedias y largas	N/A

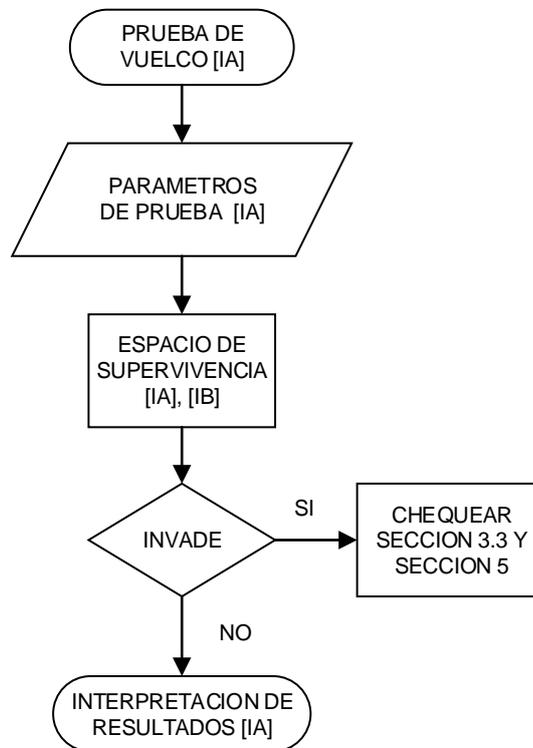
### 3.8.1. CALCULO DEL FACTOR [Cc]

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot E}{\sigma_y}} \quad [\text{EC1.12}]$$

Donde:

$E$ :	Módulo de elasticidad	[Pa]
$\sigma_y$ :	Esfuerzo del material	[Pa]

### 3.9. VALIDACIÓN DE LA CARROCERÍA

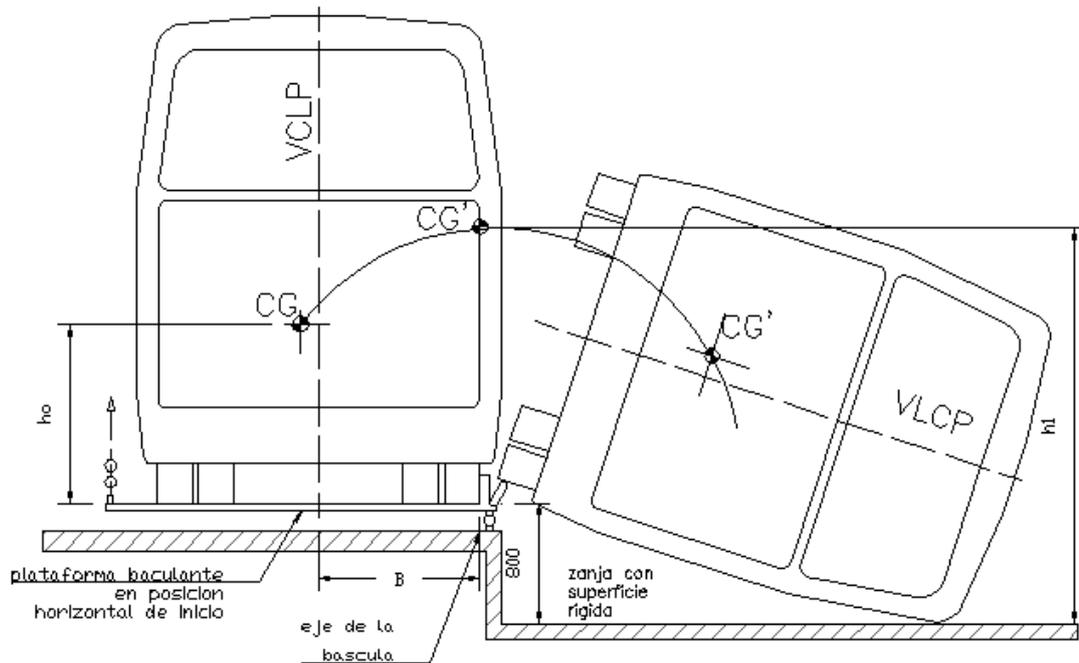


**Figura No. 13 Prueba de volcamiento**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**

### 3.9.1. PRUEBA DE VOLCAMIENTO

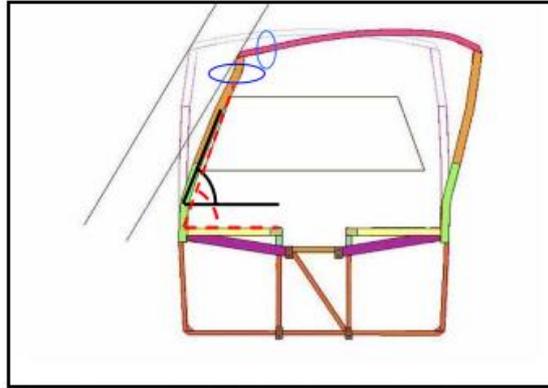
El ensayo de la estructura del bus se realizara de acuerdo a lo dispuesto por las Naciones Unidas en el ECE Regulation 66 en el cual se define el ensayo de vuelco que la estructura de prueba debe cumplir. La prueba principal es un ensayo de vuelco cuasi estático sobre una plataforma de 800 mm de altura.



**Figura No. 14 Parámetros de prueba de volcamiento**

**Fuente: New optimized bus structure to improve the roll-over test (ECE R66) using structural foam (Terocore) with high strength steel. Figura 1, pp 1.**

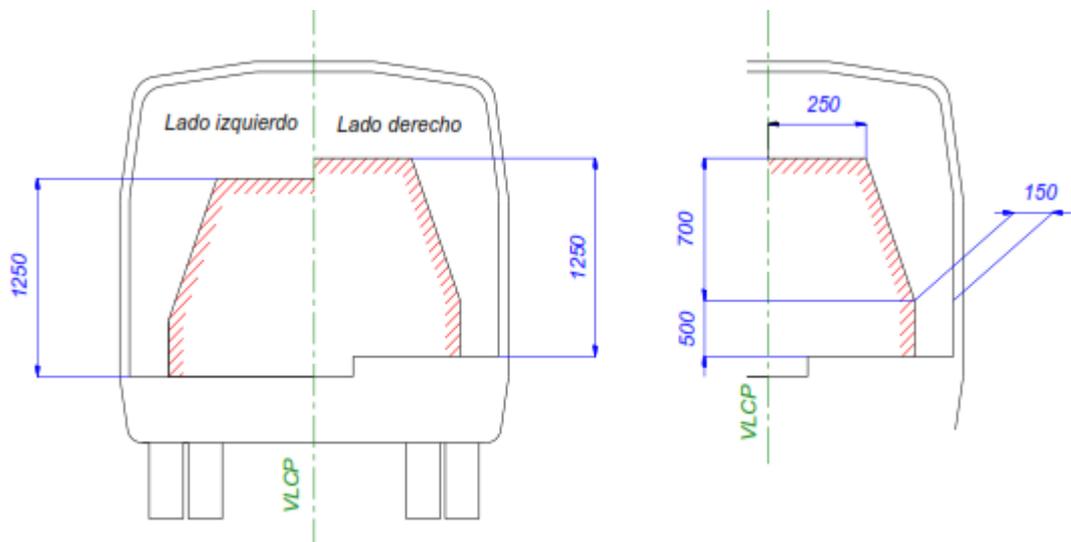
Adicionalmente la norma de la prueba de volcamiento muestra una variante para realizar la prueba de volcamiento. La cual va a ser usada para la simulación virtual del volcamiento.



**Figura No. 15 Simulación de volcamiento virtual**

**Fuente: New optimized bus structure to improve the roll-over test (ECE R66) using structural foam (Terocore) with high strength steel. Figura 3, pp 2.**

Con la prueba de volcamiento se verificara si el espacio de supervivencia es invadido por la estructura al realizar el vuelvo cuasi estático.



**Figura No. 16 Vista transversal del espacio de supervivencia**

**Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Figura 1, pp 2**

## CAPÍTULO IV

### INFORME DE INTEGRIDAD DE RESULTADOS

#### 4.1. CASOS DE ESTUDIO

En el presente capítulo se determinaran las fuerzas actuantes las cuales provienen de los diversos parámetros a los cuales debe funcionar la carrocería. Para lo cual se utilizara las tablas del capítulo 3.

##### 4.1.1. DETERMINACIÓN DE FUERZAS

###### CARGA VIVA [V]

**Tabla No. 19**

**Cargas Vivas Actuantes**

TIPO DE SERVICIO	MASA [kg/pasajero]	NUMERO DE OCUPANTES	MASA DE EQUIPAJE EN BODEGA [kg/pasajero]	MASA TOTAL [kg]
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	75	42	20	3990

Fuente: Norma NTE INEN 1323:2009, Figura 1, pp 2

$$V = Mv * g \quad [EC 1.1]$$

$$V = 39141.9 [N]$$

## CARGA MUERTA [M]

**Tabla No. 20**

### Componentes estructurales

ELEMENTO	MATERI AL	DIMENSIÓN [mm]	CANTIDAD	MASA [kg/mm]	MASA TOTAL [kg]
HSS CUADRADA	ASTM A36	75x75x2	300 [m]	4.52*10 <sup>-3</sup>	1356
HSS CUADRADA	ASTM A36	100x100x2	70 [m]	6.17*10 <sup>-3</sup>	431.5
ANGULO SIMPLE	ASTM A36	50x50x3	25 [m]	2.24*10 <sup>-3</sup>	44.8
PERFIL C	ASTM A36	100x50x15	25 [m]	.31*10 <sup>-3</sup>	82.75
<b>ME</b>					1915.05

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

**Tabla No. 21**

### Componentes no Estructurales

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	DIMENSIÓN [mm]	MASA [kg/m3]	MASA TOTAL [kg]
Ventanas	Vidrio automotriz	2	700 x 1200 x 4	2457.6	527.52
Parabrisas	Vidrio automotriz	1	2000 x 2500 x 4	2457.6	49.15
Laminas metálicas	ASTM A36	3	1200x 2500 x 2	7850	1413
Asiento doble	VARIOS	20	N/A		400
<b>MNE</b>					2389.67

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

$$M = 1.1(M_E + M_{NE}) * g$$

$$M = 46452.23[N]$$

**CARGA DE GIRO [G]**

$$M_b = M_v + M_E + M_{NE} + M_c \quad [\text{EC 1.4}]$$

$$M_b = 13144.72 \text{ [kg]}$$

**Tabla No. 22****Velocidad y radio de curvatura para los vehículos**

VELOCIDAD DEL VEHÍCULO [km/h]	RADIO DE CURVATURA DE LA CARRETERA [m]	PERALTE (%)
90	350	8

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

$$G = \frac{M_b * V^2}{r_c} \quad [\text{EC 1.3}]$$

$$G = 23472.71 \text{ [N]}$$

**CARGA POR RESISTENCIA DEL AIRE FRONTAL [Raf]**

$$Raf = \frac{1}{2} * C_x * \rho * Af * V^2 \quad [\text{EC 1.5}]$$

$$Raf = 3755.16 \text{ [N]}$$

**CARGA DE FRENADO [F] Y ACELERACIÓN BRUSCA [Af]**

$$Cf = M_b * a_r \quad [\text{EC1.8}]$$

$$Cf = 69697.1 \text{ [N]}$$

$$A_b = -M_b * a_r \quad [\text{EC1.9}]$$

$$A_b = -69697.1 [N]$$

#### 4.2. COMBINACIÓN DE CARGAS

Para el diseño de los elementos estructurales se elegirá la mayor combinación de cargas actuante sobre el elemento.

**Tabla No. 23**

##### Combinaciones de cargas actuantes

ÍTEM	COMBINACIÓN	VALOR [N]
<b>Pu1</b>	1.4M + V	$1.417 \cdot 10^5$
<b>Pu2</b>	1.2M + 1.6V + 0.5G	$2.632 \cdot 10^5$
<b>Pu3</b>	1.2M + 0.5V + 1.6G	$5.168 \cdot 10^5$
<b>Pu4</b>	1.2M + 1.6V + 0.8Raf	$1.213 \cdot 10^5$
<b>Pu5</b>	1.2M + 0.5V + 0.5F + 1.3Raf	$1.150 \cdot 10^5$
<b>Pu6</b>	1.2M + 1.5Ab + 0.5V	$1.798 \cdot 10^5$
<b>Pu7</b>	0.9M – 1.3Raf	$5.086 \cdot 10^4$
<b>Pu8</b>	0.9M + 1.3Raf	$4.668 \cdot 10^4$
<b>Pu9</b>	0.5Cc	$6.965 \cdot 10^4$

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

#### 4.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO CR1 (VIGA)

Para el elemento CR1 la carga crítica será el caso de volcamiento del bus, por lo cual se selecciona la combinación Pu9, donde el factor primordial es la deformación de elemento, esta no debe ser mayor a 0.070 [m].

**Tabla No. 24**

##### Cargas actuante para elemento CR1

ÍTEM	COMBINACIÓN	VALOR [N]
Pu9	0.5Cc	$6.965 \cdot 10^4$

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

$$M_{max} = 3.918 \cdot 10^3 [N \cdot m]$$

$$V_{max} = 6.219 \cdot 10^3 [N \cdot m]$$

Esfuerzo de Von Mises

$$\sigma' = 2.926 \cdot 10^8 [Pa]$$

Factor de seguridad para el elemento

$$\eta = 0.855$$

Deflexión máxima

$$Y_{max} = 0.026 [m]$$

#### 4.4. RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTÁTICO DEL ELEMENTO CR1 (COLUMNA)

Para el análisis del elemento CR1 (columna) se considera la carga transmitida a la columna en caso de un volcamiento.

**Tabla No. 25**

##### **Cargas actuante para elemento CR1**

ÍTEM	COMBINACIÓN	VALOR [N]
<b>Pu9</b>	0.5Cc	$6.965 \cdot 10^4$

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

$$Pu = 6219 [N]$$

Esbeltez del Elemento

$$\frac{KL}{r} = 103.87$$

Factor de seguridad para columnas

$$FS = 1.90$$

Esfuerzo admisible para acero ASTM A 36

$$\sigma_a = 8.636 * 10^7 [Pa]$$

Esfuerzo requerido para el elemento

$$\sigma_{req} = 1.083 * 10^7 [Pa]$$

Comprobación de esfuerzo

$$\sigma_{req} < \sigma_a$$

## CAPÍTULO V

### SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN

#### 5.1. SIMULACIÓN ESTÁTICA

La simulación estática de la estructura del bus es validada considerando las combinaciones de cargas descritas en la norma INEN NTE 1323:2009, para lo cual se va a validar los resultados de los cálculos obtenidos manualmente con los cálculos obtenidos mediante el software computacional.

#### 5.2. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE DEFORMACIÓN MÁXIMA

La simulación de deformación máxima de la carrocería se consideró los siguientes parámetros.

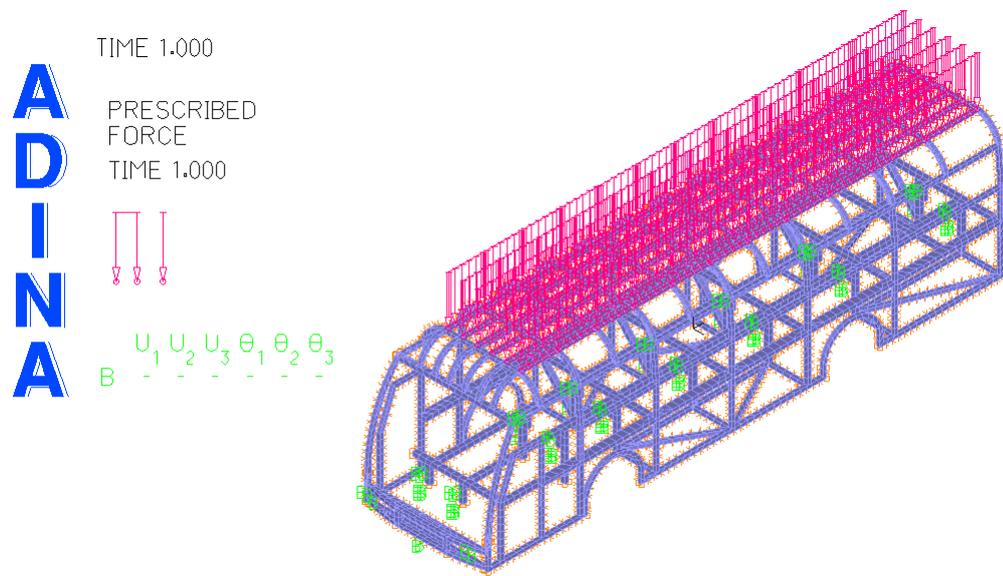
- ☑ De acuerdo a las características del chasis, se procede a aplicar el 50% de la capacidad de carga máxima del chasis sobre el techo de la carrocería.
- ☑ El chasis utilizado en el diseño pertenece a la marca Hino, modelo AJ8JRSA. El cual esta diseño para soportar una carga máxima de 14200 kg.
- ☑ Aplicada esta carga sobre el techo, la carrocería no debe exceder en ningún punto una deformación superior a 70 [mm].

**Tabla No. 26**

#### Parámetros de entrada carrocería

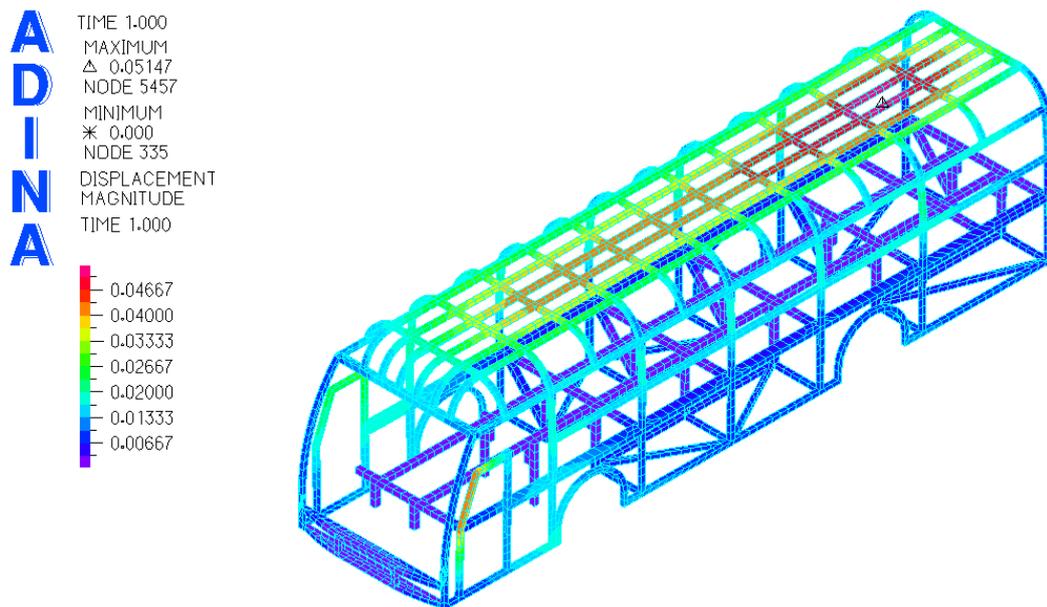
PARÁMETROS DE ENTRADA		
N.-	ÍTEM	VALOR
1	Carga Aplicada	69651 [N]
2	Perfil HSS CUADRADO, Bastidor del piso	100 x 100 x 2
3	Perfil HSS CUADRADO, Estructura exterior	75 x 75 x 2
4	Material: Acero ASTM A36	
5	Módulo de Young	2.07e11 [Pa]
6	Poisson	0.27
7	Densidad	7850 [Kg/m <sup>3</sup> ]

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering



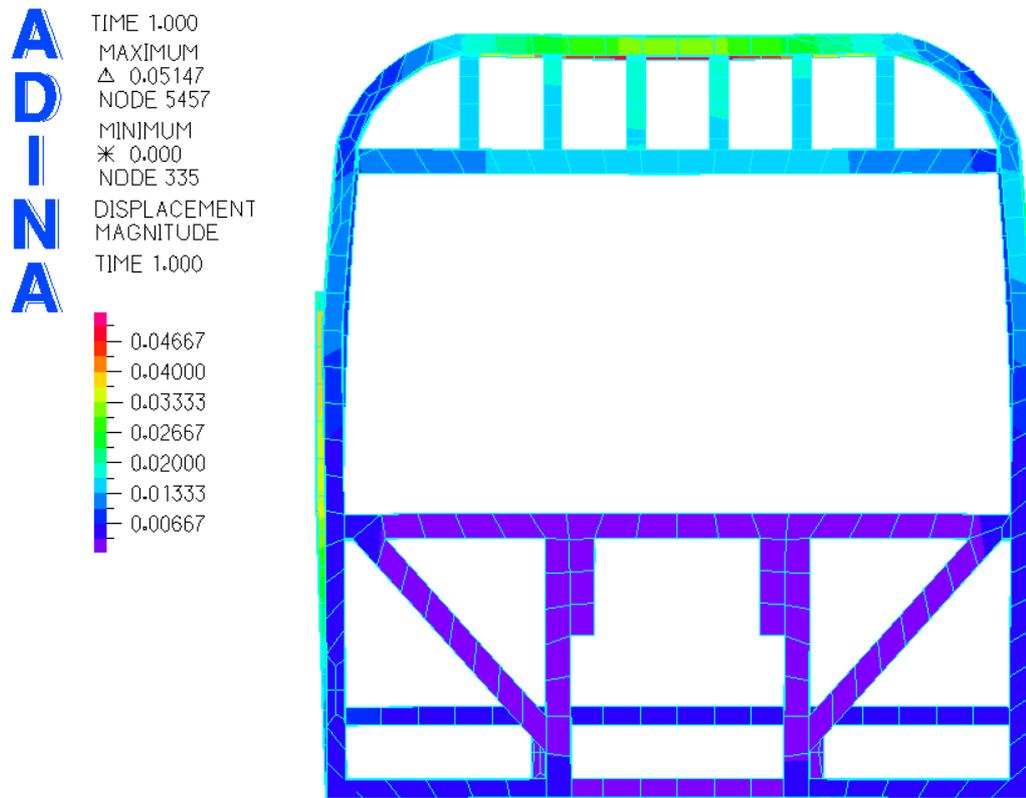
**Figura No. 17** Entrada de parámetros para deformación máxima.

**Fuente:** Departamento de Diseño EVA Engineering



**Figura No. 18** Simulación de deformación máxima. Vista Isométrica

**Fuente:** Departamento de Diseño EVA Engineering



**Figura No. 19 Simulación de deformación máxima. Vista Frontal**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**

**Tabla No. 27**

**Deformación máxima de la carrocería**

RESULTADOS DEFORMACIÓN MÁXIMA			
ÍTEM	DEFORMACIÓN MÁXIMA PERMITIDA	DEFORMACIÓN RESULTANTE	MÁXIMA
CARROCERÍA	70 [mm]	51 [mm]	

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

### 5.3. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE VOLCAMIENTO

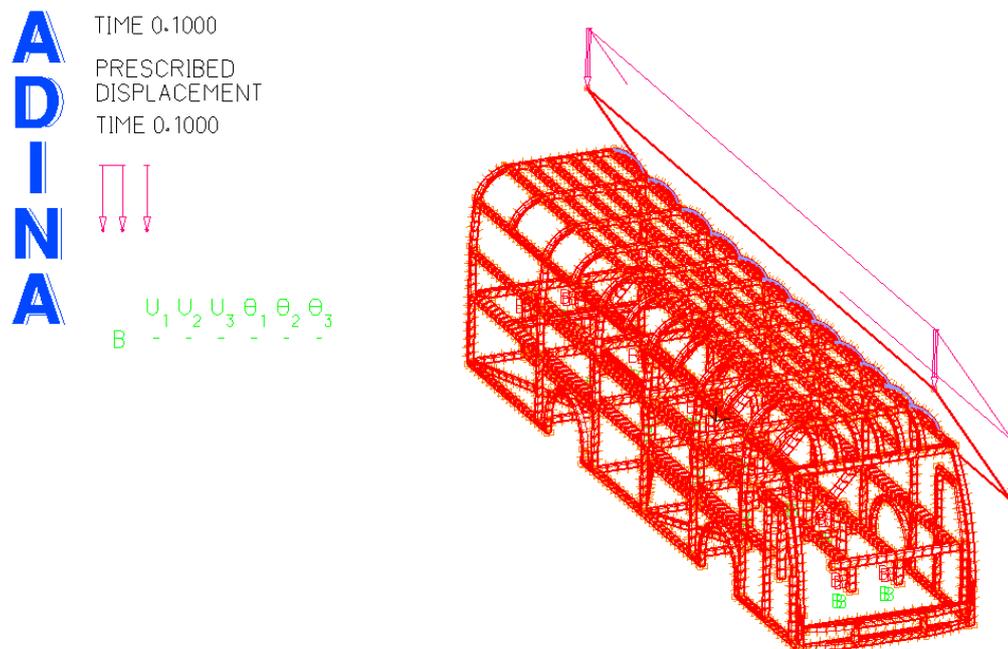
La simulación de volcamiento de la carrocería se realizó considerando los parámetros de la figura 9 y figura 10 del capítulo 3. Adicionalmente se consideró los siguientes parámetros.

- ✓ La prueba se realiza con el bus sin pasajeros, por tanto se aplicara la fuerza proveniente de peso muerto de la carrocería.
- ✓ La fuerza aplicada es de 50700 [N], la cual considera todos los elementos estructurales y accesorios de la carrocería.
- ✓ Se validara la prueba de volcamiento localizando la geometría de la figura 11 del capítulo 3. Para comprobar la zona de supervivencia.

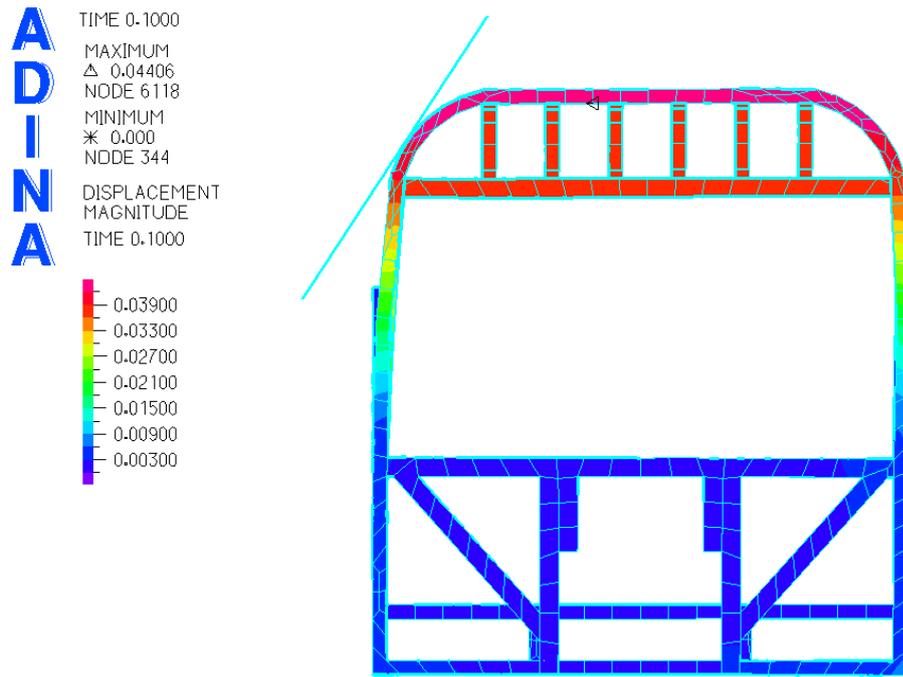
**Tabla No. 28****Parámetros de entrada volcamiento virtual**

PARÁMETROS DE ENTRADA		
N.-	ÍTEM	VALOR
1	Carga Aplicada	50700[N]
2	Perfil HSS CUADRADO, Bastidor del piso	100 x 100 x 2
3	Perfil HSS CUADRADO, Estructura exterior	75 x 75 x 2
4	Material: Acero ASTM A36	
5	Módulo de Young	2.07e11 [Pa]
6	Poisson	0.27
7	Densidad	7850 [Kg/m <sup>3</sup> ]

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering

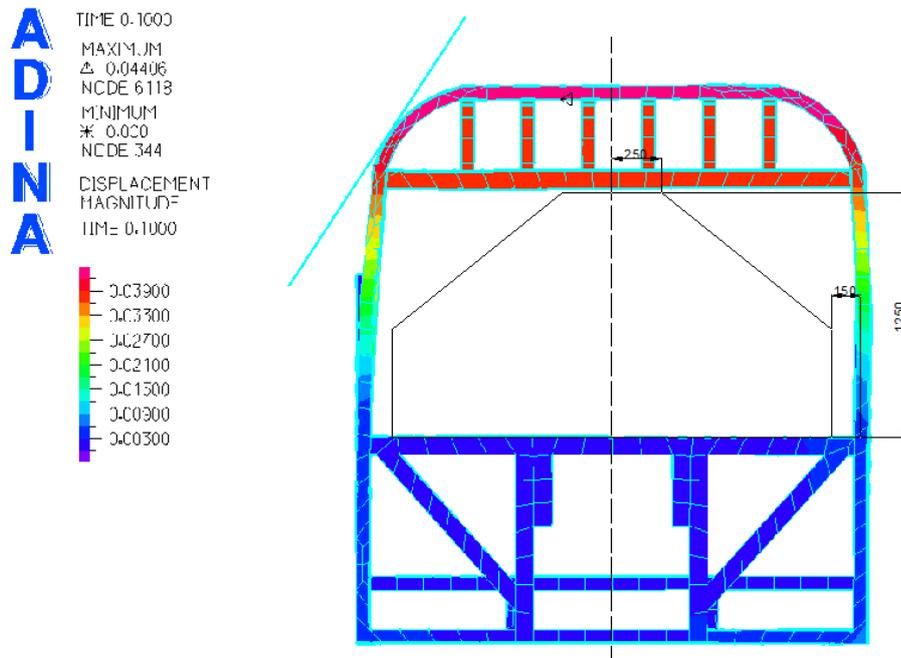
**Figura No. 20 Entrada de parámetros para Volcamiento virtual**

Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering



**Figura No. 21 Simulación de volcamiento. Vista Frontal**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**



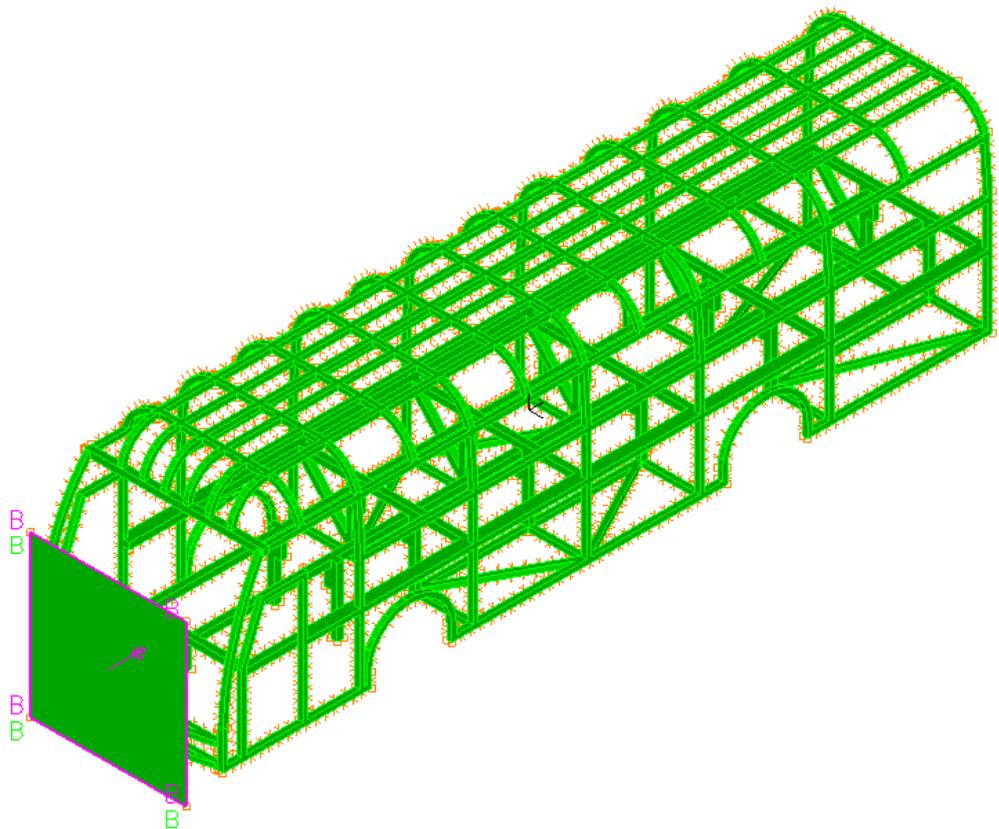
**Figura No. 22 Simulación de volcamiento. Vista Frontal**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**

Con la simulación de volcamiento se procede a proyectar la zona de supervivencia para comprobar si esta es invadida por la estructura. En el grafico anterior se puede comprobar que la zona de supervivencia no es invadida por lo cual es modelo es apto para su aprobación.

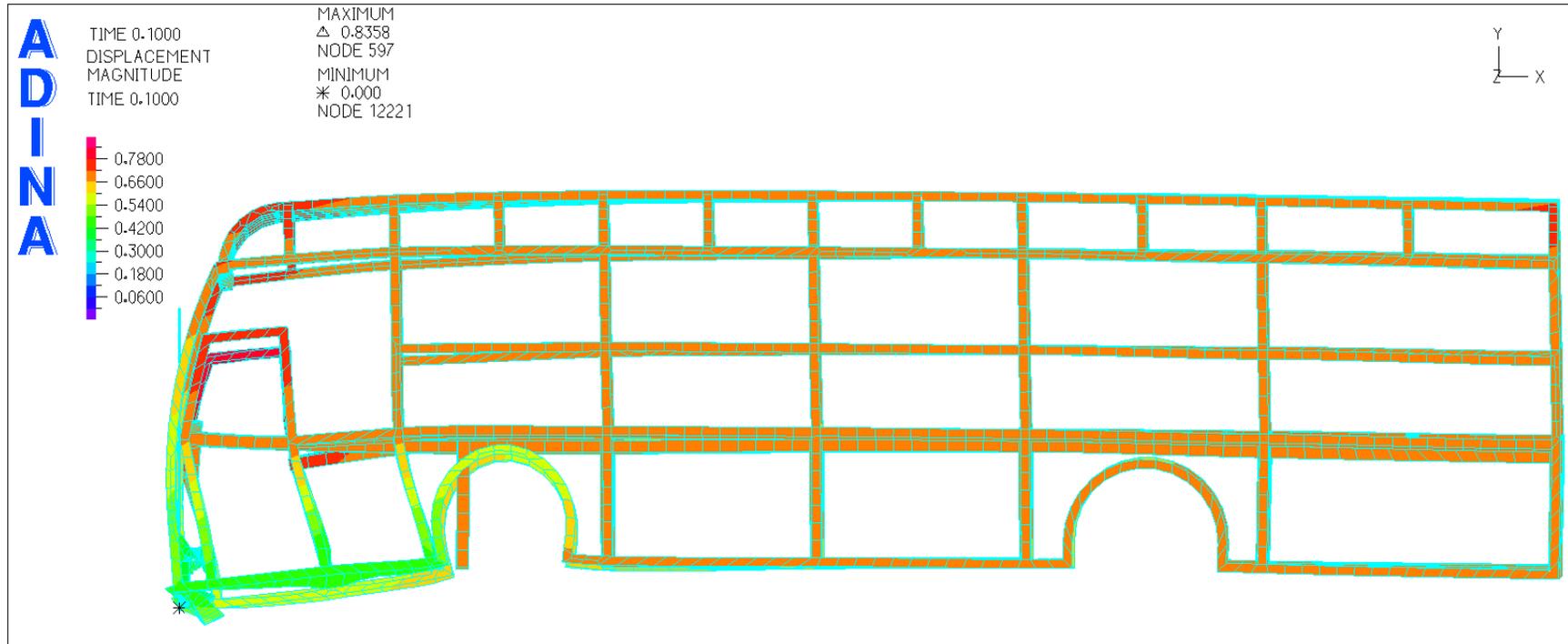
#### 5.4. SIMULACIÓN DE CHOQUE FRONTAL

Para la simulación de un choque frontal, se realizó considerando al bus sin carga de pasajeros y equipajes. La fuerza aplicada es proveniente de la carga muerta del bus y a una velocidad de 50 km/h. Los resultados de la simulación están en función del tiempo.



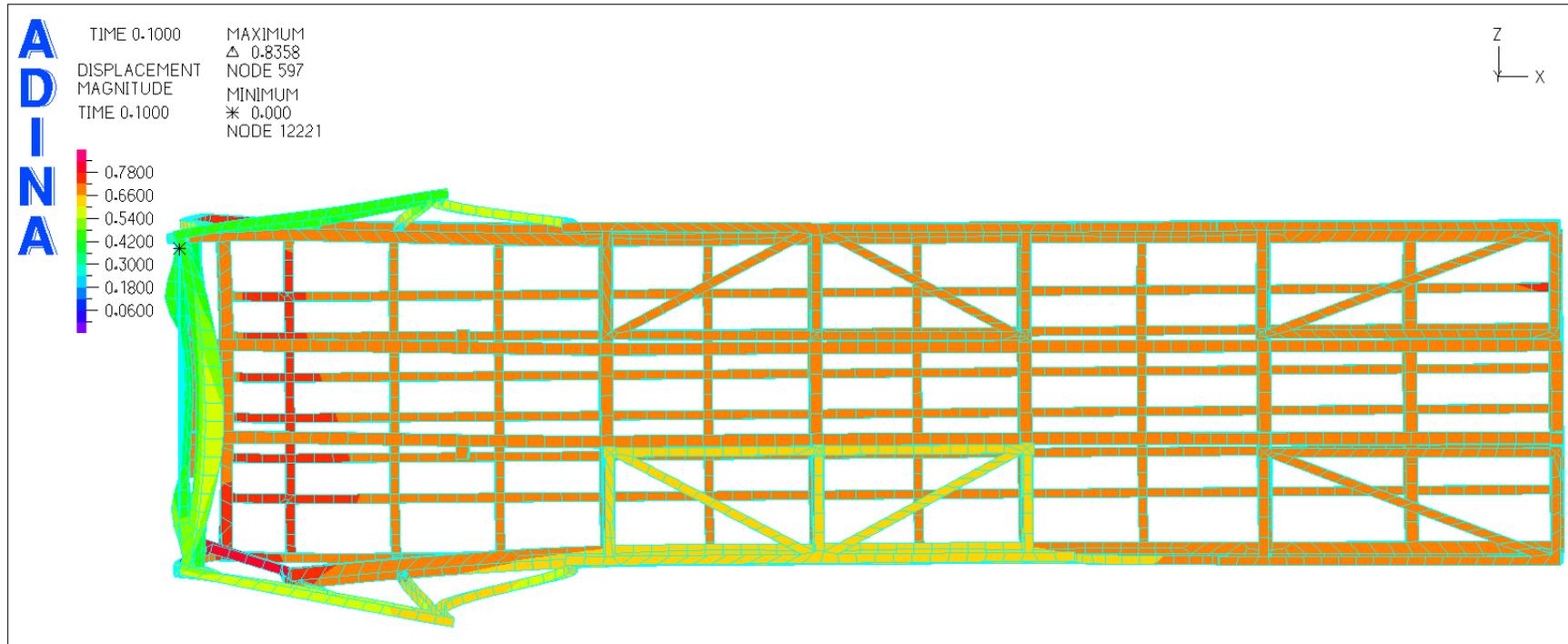
**Figura No. 23 Entrada de parámetros para choque frontal**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**



**Figura No. 24 Simulación de choque frontal. Vista Lateral**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**



**Figura No. 25 Simulación de choque frontal. Vista Superior**

**Fuente: Departamento de Diseño EVA Engineering**

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ El parámetro considerado más importante dentro del diseño de la carrocería, es la capacidad de esta de absorber un impacto y transformar esta energía en deformación, garantizando de esta manera que la estructura absorba el impacto, salvaguardando la vida de los pasajeros.
- ✓ Los métodos LRFD y ASD según el manual de la AISC, son criterios de diseño desarrollado para estructuras estáticas como edificios. Por lo cual no se recomienda el diseño de la carrocería de un bus en base a estos criterios.
- ✓ No existe una sustentación científica de los factores de incrementos y decremento en las combinaciones de carga LRFD, por lo cual los valores obtenidos de estas combinaciones pueden variar a los valores reales actuantes en la carrocería.
- ✓ Mediante el uso de métodos computacionales, se obtienen modelos más económicos y seguros, ya que nos permiten acelerar y optimizar el proceso de diseño.
- ✓ Para el diseño de los elementos estructurales es necesario determinar las correctas combinaciones de cargas que pueden actuar sobre el elemento, ya que una selección errónea de combinación, pueden provocar un dimensionamiento erróneo de los elementos.
- ✓ Con los ensayos de choque frontal y lateral, se observan el comportamiento de la carrocería a condiciones establecidas. Estos ensayos sirven para mejorar el diseño a fin de salvaguardar vidas en caso de un accidente.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Fitzgerald. (2007). *Mecanica de Materiales*. Mexico: Alfaomega.
- Hino. (2010). *Manual de Montaje HINO AK8JRSA*. Japon: Hino Motors.
- Klaus, J. B. (2006). Finite Element Procedures. En J. Bathe, *PHYSICAL PROBLEMS, MATHEMATICAL MODELS, AND THE FINITE ELEMENT SOLUTION* (págs. 2-3). Massachusetts: Prentice Hall.
- UN. (2012). *Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure*.
- Vinnakota, S. (2006). *Elementos de acero: comportamiento y LRFD*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- White, F. M. (2008). Movimientos a bajos numeros de Reynolds . En White, *Mecanica de Fluidos* (pág. 481). España: Mc Graw Hill .